



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۱۹۰-۱۷۷

توسعه مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار جریان در شبکه‌های آبیاری

زینب حسین‌زاده^۱، محمدجواد منعم^{۲*} و نسیم نهاوندی^۳

۱. دانشجوی دوره دکتری مهندسی سازه‌های آبی، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار بخش مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۴

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۰

چکیده

یکی از روش‌های مؤثر در بهبود عملکرد، مدیریت تحویل آب، بهره‌وری و افزایش انعطاف‌پذیری در شبکه‌های آبیاری، استفاده از سامانه‌های خودکار است که یکی از مهم‌ترین آنها، سامانه‌های اندازه‌گیری جریان است. عوامل متعددی در انتخاب این سامانه‌ها در زمینه‌های هیدرولیکی، فنی، فیزیکی، محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی مؤثرند. تعدد این عوامل و تنوع تجهیزات موجود موجب پیچیدگی تصمیم‌انتخاب مناسب این سامانه‌ها در کانال‌های آبیاری می‌شود که ضرورت کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه را ایجاد می‌کند. در این تحقیق با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، مدلی برای انتخاب سامانه اندازه‌گیری خودکار ارائه شده است. بدین منظور سامانه‌های خودکار اندازه‌گیری جریان در کانال‌های آبیاری شناسایی و سپس مجموعه شاخص‌های مؤثر بر انتخاب این سامانه‌ها در زمینه‌های مذکور تعریف و دسته‌بندی شدند. با امتیازدهی به شاخص‌های شناسایی شده برای تمامی گزینه‌ها، ماتریس تصمیم‌گیری به‌عنوان ورودی مدل تولید شد و مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه، با استفاده از روش تاپسیس و روش وزن‌دهی آنتروپی در نرم‌افزار متلب توسعه‌یافته، برای کانال L_1 شبکه آبیاری قزوین اجرا شد. نتایج کاربرد مدل در کانال L_1 نشان داد که سامانه‌های دبی-اشل و سرعت-مساحت، نسبت به سامانه‌های سازه‌ای، همچنین حسگرهای فشاری و شناور نسبت به حسگرهای بابلر و آلتراسونیک رتبه بالاتری کسب کرده‌اند.

کلیدواژه‌ها: آنتروپی، اندازه‌گیری جریان، تاپسیس، خودکارسازی، روش وزن‌دهی شبکه آبیاری قزوین.

۱. مقدمه

یکی از راهکارهای بهبود عملکرد، سامانه‌های آبیاری خودکارسازی شبکه‌ها است. این امر در خصوص اندازه‌گیری جریان اهمیت ویژه‌ای دارد. ابداع فناوری‌های جدید اندازه‌گیری جریان از یک سو و تعامل آنها با شرایط مختلف هیدرولیکی، فنی، فیزیکی، محیطی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی از سوی دیگر، تصمیم‌گیری در مورد انتخاب این سامانه‌ها را به فرایند دشواری تبدیل کرده است.

انواع مختلفی از سامانه‌های اندازه‌گیری جریان از جمله سرریزها، فلوم‌ها و روزنه‌ها در شبکه‌های آبیاری وجود دارد (۲۷). در سامانه‌های خودکار، اندازه‌گیری جریان به‌صورت پیوسته انجام می‌گیرد. برخی از مزایای اندازه‌گیری پیوسته جریان عبارتند از تخصیص دقیق حقایق تحویلی به مصرف‌کنندگان، امکان اجرای تحویل حجمی آب و مدیریت مناسب آن، و مستندسازی اطلاعات تحویل آب (۲۷). به‌منظور انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار، باید گزینه‌های مختلف و شاخص‌های مؤثر در انتخاب این سامانه‌ها تعیین شوند. سوابق تحقیق در زمینه کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و معیارهای تصمیم در شبکه‌های آبیاری و انتخاب فناوری‌های مختلف صنعتی بررسی شد که به‌اختصار معرفی می‌شوند. ضمن بررسی تحقیقات محققان در زمینه‌های مختلف صنعتی فهرستی از معیارهای پیشنهادی آنها به‌دست آمد. معیارهای مورد بررسی عبارتند از: مطلوبیت اقتصادی، هزینه، بازگشت سرمایه، ایجاد درآمد، ایجاد ارزش برای مشتریان، تأثیر بر اشتغال، قابلیت استفاده، زمان دستیابی، کاربرد آسان، وابستگی، انعطاف‌پذیری، ریسک، چرخه عمر فناوری، پیچیدگی، نوآوری، تأثیرات فرهنگی، دانش فنی و آموزش، سازگاری، مطلوبیت راهبردی، تأثیرات سیاسی، توانایی کنونی فناوری، انحصار فناوری و مزایای زیست‌محیطی

(۱۱). برای بررسی بیشتر در این زمینه می‌توان به مراجع ۱۹ و ۲۴ مراجعه کرد.

از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه‌های مختلف ارزیابی سیاست‌های مدیریت آب، انتخاب شیوه‌های آبیاری و سیاستگذاری قیمت آب و ارزیابی شبکه‌های آبیاری استفاده شده است. روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی راهبردهای مدیریت آبیاری با استفاده از معیارهای هزینه اولیه، هزینه نگهداری، حجم آب آبیاری، سودبخشی، بازده کاربرد آب و تأثیرات اجتماعی، به‌کار گرفته شد (۲۹). از تئوری کاربرد چندمعیاره (MAUT) برای تحلیل آثار سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری در حوزه درودن استفاده شد. برخی معیارهای مورد توجه در این تحقیق عبارتند از تعداد کشاورزان، سن کشاورزان، سنوات تحصیلات و تجربه کشاورزان و درجه اتوماسیون. نتایج نشان داد که به‌منظور صرفه‌جویی بیشتر آب توسط گروه کشاورزان، تعرفه‌های به‌کارگرفته‌شده باید بیشتر از قیمت‌های آستانه باشد (۲۳). با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها هشت شبکه آبیاری ارزیابی و کارایی آنها تعیین شد. هفت دسته معیار در زمینه شبکه، هزینه، کارکنان، ماشین‌آلات، کشاورزی، درآمد و مشترکان در ارزیابی شبکه‌ها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که شبکه آبیاری زاینده‌رود و شرکت میراب زاینده‌رود، کارایی زیادی دارند (۸). برای بررسی بیشتر در این زمینه می‌توان به مراجع ۳، ۷، ۱۸، ۱۷، ۱۵، ۱۶، ۲۱، ۲۲، ۱۲، ۲۵، ۲۷ و ۲۰ مراجعه کرد.

در برخی تحقیقات صورت‌گرفته، سامانه‌های اندازه‌گیری جریان که اغلب از نوع سازه‌ای و غیرخودکارند، به‌صورت کیفی مقایسه شده‌اند (۱۳، ۲۸، ۲۶). برخی شاخص‌های به‌کاررفته در این تحقیقات عبارتند از: افت انرژی، صحت، هزینه، شرایط فیزیکی، ساخت و نصب.

مدیریت آب و آبیاری

۲.۲. روش آنتروپی

آنتروپی مفهومی اساسی در علوم فیزیک، اجتماعی و سیستم‌ها و منعکس‌کننده میزان عدم اطمینان یا پراکندگی مجموعه‌ای از داده‌ها است. در روش آنتروپی بسته به میزان پراکندگی داده‌ها، میزان عدم اطمینان آنها براساس یک توزیع احتمال بیان می‌شود. بدین ترتیب هرچه پراکندگی داده‌ها بیشتر شود، میزان عدم اطمینان به آنها نیز افزایش می‌یابد. در نهایت براساس عدم اطمینان وزن شاخص‌های مختلف تعیین می‌شود (۱). تعیین وزن در روش آنتروپی دارای چهار مرحله زیر است (۴):

۱. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم (D) با تقسیم هر درایه از ماتریس بر جمع تمامی درایه‌های موجود در ستون مربوط؛

۲. محاسبه مقدار اطمینان (E) برای هر ستون از ماتریس نرمال‌شده (p_{ij}) از رابطه ۳؛

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n [p_{ij} \cdot L_n p_{ij}]; \forall j \quad (3)$$

به طوری که $0 \leq E \leq 1$ و $K = \frac{1}{L_n m}$ که در آن m تعداد شاخص‌های ماتریس تصمیم است.

۳. محاسبه عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از

اطلاعات ایجادشده به ازای شاخص j از رابطه ۴. درجه انحراف بیان می‌کند که شاخص مربوط چه اطلاعات مفیدی را برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد؛

$$d_j = 1 - E_j; \forall j \quad (4)$$

۴. تعیین اوزان شاخص‌های موجود از رابطه ۵.

$$w_i = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}; \forall j \quad (5)$$

۳.۲. سامانه‌های اندازه‌گیری دبی جریان

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌ها

وجود دارد. با بررسی این روش‌ها، به‌طور کلی می‌توان آنها را به سه دسته روش‌های سازه‌ای، سرعت - مساحت و رابطه دبی - اشل بدون سازه تقسیم کرد. در روش سازه‌ای با استفاده از سازه‌های مناسب برای اندازه‌گیری جریان مانند سرریزها، دریچه‌ها و فلوم‌ها و قرائت عمق و با استفاده از رابطه دبی - عمق سازه، مقدار دبی جریان محاسبه می‌شود. در روش‌های سرعت - مساحت (عمق)، سرعت و عمق جریان اندازه‌گیری شده و سپس با استفاده از رابطه پیوستگی دبی جریان محاسبه می‌شود. در رابطه دبی - اشل بدون استفاده از سازه، عمق جریان در یک مقطع مشخص و ثابت، اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه دبی - عمق که برای مقطع استخراج شده است، دبی جریان محاسبه می‌شود.

اندازه‌گیری پیوسته جریان مستلزم به‌کار بردن سامانه‌های خودکار برای اندازه‌گیری عمق یا سرعت به‌صورت پیوسته است. اندازه‌گیری خودکار عمق توسط حسگر عمق انجام می‌گیرد که این حسگرها به چهار دسته شناور، فشاری، بابلر و آلتراسونیک تقسیم می‌شوند. حسگرهای شناور با ایجاد ولتاژ در اثر تماس با سطح آب در چاهک آرامش، سطح آب را اندازه‌گیری می‌گیرند. حسگرهای فشاری براساس تفاوت بین فشار اتمسفر و آب اطراف حسگر عمل می‌کنند. حسگرهای بابلر عمق آب را از طریق حس کردن فشار یک یا چند لوله که به‌صورت مستغرق‌اند، تعیین می‌کنند. در این نوع حسگر، تعیین فشار براساس خروج حباب هوا از لوله‌ها صورت می‌گیرد. حسگرهای آلتراسونیک با ساطع کردن امواج صوتی به سطح آب و با استفاده از زمان رفت و برگشت موج سطح آب را نشان می‌دهند (۵). همچنین اندازه‌گیری خودکار سرعت اغلب به روش‌های ترانزیت تایم و داپلر صورت می‌گیرد. سرعت جریان در روش داپلر از طریق اندازه‌گیری تغییر فرکانس صوت نسبت به فرکانس منعکس‌شده از

توسعه مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار جریان در شبکه‌های آبیاری

جریان، چهار نوع حسگر اندازه‌گیری عمق و دو روش اندازه‌گیری سرعت، در مجموع ۳۲ گزینه اندازه‌گیری خودکار جریان در کانال‌های آبیاری را می‌توان به شرح جدول ۱ دسته‌بندی کرد.

ذرات متحرک مانند ذرات رسوب تعیین می‌شود. سرعت‌سنج ترانزیت‌تایم بر پایه مدت زمان گذر یک سیگنال صوت در امتداد مسیری مشخص که متناسب با سرعت سیال تغییر می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود (۲۸). بدین ترتیب، با در نظر گرفتن سه روش اندازه‌گیری

جدول ۱. سامانه‌های اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری

زیرروش		روش	شماره	زیرروش		روش	شماره	
عمق	سازه	سازه‌ای	۱۷	عمق	سازه	سازه‌ای	۱	
حسگر شناور	دریچه‌ها			حسگر شناور	حسگر شناور			۲
حسگر فشاری				حسگر فشاری	حسگر فشاری			۳
حسگر بابلر				حسگر بابلر	سرریز لبه‌تیز			۴
حسگر آلتراسونیک		۲۰	حسگر آلتراسونیک					
عمق	حسگر سرعت	سرعت - مساحت	۲۱			سازه‌ای	۵	
حسگر شناور	ترانزیت‌تایم			حسگر شناور				۶
حسگر فشاری				حسگر فشاری	سرریز لبه‌پهن			۷
حسگر بابلر				حسگر بابلر				۸
حسگر آلتراسونیک	داپلر	۲۴	حسگر آلتراسونیک					
حسگر شناور		۲۵	حسگر شناور	فلوم با گلوگاه	۹			
حسگر فشاری		۲۶	حسگر فشاری	طولانی	۱۰			
حسگر بابلر		۲۷	حسگر بابلر		۱۱			
حسگر آلتراسونیک		۲۸	حسگر آلتراسونیک		۱۲			
عمق		دبی - اشل بدون سازه	۲۹	حسگر شناور		سازه‌ای	۱۳	
حسگر شناور				حسگر شناور	فلوم با گلوگاه			۱۴
حسگر فشاری				حسگر فشاری	باریک			۱۵
حسگر بابلر				حسگر بابلر				۱۶
حسگر آلتراسونیک		۳۱	حسگر آلتراسونیک					
		۳۲	حسگر آلتراسونیک					

۴.۲. شاخص‌های مؤثر بر انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری

برای تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری علاوه بر تعیین گزینه‌های تصمیم، باید شاخص‌های مؤثر بر فرایند انتخاب نیز شناسایی شوند. برخی شاخص‌های مؤثر بر انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری از تحقیقات صورت گرفته استخراج و بعضی دیگر توسط نویسندگان تعریف شد. شاخص‌های مؤثر در فرایند انتخاب به هفت دسته شاخص‌های شرایط هیدرولیکی، فنی، محیطی، فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی تقسیم شدند.

در شرایط هیدرولیکی، شاخص امکان‌پذیری هیدرولیکی که نشان‌دهنده امکان اجرای فناوری اندازه‌گیری مورد نظر در کانال موجود است، معرفی شده است. در زمینه فیزیکی، شاخص میزان تغییرات مورد نیاز برای اجرای فناوری مورد نظر در نظر گرفته شد. در زمینه اجتماعی، شاخص پتانسیل آسیب‌پذیری به کار رفته است که وضعیت هر یک از انواع فناوری از نظر امکان تخریب و آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. در زمینه اقتصادی، شاخص هزینه به عنوان ملاک تصمیم‌گیری پیشنهاد شده است. در زمینه فنی، شاخص‌هایی همچون صحت اندازه‌گیری، افت انرژی، پیچیدگی فناوری، زمان تأخیر،

نیاز به تجهیزات جانبی و توانایی اندازه‌گیری در محدوده مورد نظر به کار گرفته شده است. شاخص زمان تأخیر فاصله زمانی بین روشن شدن دستگاه تا نمایش اولین خروجی پارامتر مورد نظر برای اندازه‌گیری است. در زمینه محیطی شاخص‌های سازگاری با دما، عملکرد در شرایط وجود رسوب و املاح، توانایی شست‌وشوی رسوبات، توانایی عبور اجسام شناور و در دسترس بودن انرژی در نظر گرفته شد. در زمینه مدیریتی، شاخص‌های سادگی نصب، سادگی و نیازهای نگهداری و تعمیرات (نت) سامانه، سادگی بهره‌برداری، سهولت واسنجی و آشنایی کارکنان با روش اندازه‌گیری تعریف شده‌اند.

۵.۲. ماتریس تصمیم انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری جریان در شبکه‌های آبیاری

از ترکیب گزینه‌های سامانه‌های اندازه‌گیری جریان مطابق جدول ۱ در سطر ماتریس و شاخص‌های تعریف‌شده در ستون ماتریس، ماتریس تصمیم با ابعاد ۳۲×۱۹ تشکیل می‌شود. هر یک از درایه‌های این ماتریس، مقادیر امتیاز هر یک از گزینه‌ها از نظر شاخص‌های مربوط است. نمونه‌ای از ماتریس تصمیم در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نمونه‌ای از مقداردهی اعداد ماتریس تصمیم انتخاب سامانه‌های خودکار اندازه‌گیری جریان

شماره	شاخص		نیازهای نت سامانه	هزینه	...	صحت	آشنایی کارکنان با روش	توانایی اندازه‌گیری محدودۀ دبی مورد نظر
	گزینه	گزینه						
۱	سرریزلبه تیز-حسگر شناور	۲	۱	۹	...	۹	۹	۹
۲	سرریزلبه تیز-حسگر فشاری	۱	۳	۶	...	۸	۹	۹
۳	سرریزلبه تیز-حسگر بابلر	۱	۳	۶	...	۸	۹	۹
.
.
۳۰	دبی-اشل، حسگر عمق فشاری	۳	۴	۶	...	۳	۹	۹
۳۱	دبی-اشل، حسگر عمق بابلر	۴	۵	۶	...	۳	۹	۹
۳۲	دبی-اشل، حسگر عمق آلتراسونیک	۴	۶	۵	...	۲	۹	۹

مدیریت آب و آبیاری

شرایط منطقه نیستند، درحالی که برخی از آنها متناسب با شرایط تصمیم‌گیری، مانند منطقه مورد نظر، متغیرند. به همین دلیل ماتریس تصمیم به دو ماتریس تقسیم شد؛ یکی ماتریس عمومی که نشان‌دهنده خصوصیات کلی روش‌های اندازه‌گیری است و دیگری ماتریس متغیر که بیانگر خصوصیات متغیر مانند خصوصیات مربوط به منطقه مورد بررسی است.

۲.۶. مدل توسعه یافته انتخاب سامانه‌های خودکار اندازه‌گیری جریان

برای این تحقیق یک مدل تصمیم‌گیری در انتخاب مدل سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار جریان با روش رتبه‌بندی تاپسیس در نرم‌افزار متلب تهیه شد. در مدل تهیه‌شده، مقادیر ماتریس عمومی با بررسی سوابق، استفاده از کاتالوگ‌های تجهیزات مورد نظر، کسب اطلاعات از شرکت‌های تولیدکننده، و در نهایت نظر کارشناسی تعیین شد و به صورت پیش فرض برای مدل تعریف شد. ماتریس متغیر با توجه به شرایط خاص ورودی کانال L_1 شبکه آبیاری قزوین تعیین شد که امکان تغییر آن برای کاربر وجود دارد. وزن‌دهی شاخص‌ها نیز می‌تواند با استفاده از روش آنتروپی، پیش فرض مدل یا انتخاب کاربر صورت گیرد. به منظور نمایش قابلیت مدل توسعه‌یافته، فرایند انتخاب سامانه خودکار اندازه‌گیری جریان برای ورودی کانال L_1 شبکه آبیاری قزوین انجام گرفت.

شبکه آبیاری دشت قزوین با وسعتی معادل ۸۰۰۰۰ هکتار ناخالص به صورت نواری به طول ۹۲ کیلومتر است که از محدوده زیاران شروع شده و به اراضی کهک تاکنستان منتهی می‌شود. طول کانال اصلی آبرسان حدود ۹۴ کیلومتر است که ظرفیت آن در ابتدا ۳۰ و در انتها ۳ متر مکعب در ثانیه است. دوازده کانال درجه ۲ شبکه با اسامی L_1 تا L_{10} ، $L_{4.A}$ و L_{20} نامگذاری شده‌اند (۱۰).

دو شاخص امکان‌پذیری هیدرولیکی و در دسترس بودن انرژی با توجه به نقش و اهمیت اساسی آنها، به عنوان شاخص‌های کلیدی تعیین شدند که با مقادیر صفر (در صورت نبود) و یک (در صورت وجود) مقادیردهی می‌شوند. اگر هر یک از گزینه‌های تصمیم‌گیری سامانه‌های اندازه‌گیری، یکی از این دو شاخص را برآورده نکنند (مقدار صفر داشته باشند)، گزینه مورد نظر از لحاظ اجرایی امکان‌پذیر نیست و از فهرست گزینه‌ها حذف می‌شود.

سایر شاخص‌های به کارگرفته شده در ماتریس تصمیم از لحاظ اهمیت برای تصمیم‌گیرنده به دو دسته شاخص‌های مثبت و منفی تقسیم می‌شوند. شاخص‌های مثبت، شاخص‌هایی هستند که مقدار بیشتر آنها در فرایند تصمیم برای تصمیم‌گیرنده مطلوب است، مانند شاخص‌های صحت اندازه‌گیری، سهولت و اسنچی، آشنایی کارکنان با روش و توانایی شست‌وشوی رسوبات. شاخص‌های منفی، شاخص‌هایی است که مقادیر کمتر آن در فرایند تصمیم مطلوب‌تر خواهد بود، مانند افت انرژی، نیازهای نت سامانه و هزینه.

شاخص افت انرژی به صورت کمی با استفاده از مقادیر پیشنهادی در مراجع مختلف تعیین شد. دیگر شاخص‌ها به صورت کیفی امتیازدهی شده‌اند. برای امتیازدهی آنها از مقیاس‌های فاصله‌ای استفاده شده است. در مقیاس فاصله‌ای از عبارت‌های خیلی کم (معادل یک)، کم (سه)، متوسط (پنج)، زیاد (هفت) و خیلی زیاد (نه) برای امتیازدهی شاخص‌ها استفاده شد (۲). برای مثال به شاخص آشنایی کارکنان با روش، برای گزینه یک (سرریزلبه تیز-حسگر شناور) به دلیل آشنایی بیشتر بهره‌برداران با آن، عدد نه و برای گزینه ۳۲ (رابطه دبی-اشل-حسگر آلتراسونیک) به دلیل نا آشنایی بهره‌برداران با فناوری آن، عدد دو اختصاص داده شد.

برخی شاخص‌های پیشنهادی در ماتریس تصمیم‌گیری به اصول کلی روش‌های اندازه‌گیری مربوط می‌شوند و تابع

۳. نتایج و بحث

۳.۱. استفاده از مدل توسعه‌یافته برای انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری جریان در ورودی کانال L1 شبکه آبیاری قزوین

ماتریس عمومی براساس بررسی‌های کارشناسی، و ماتریس متغیر برای ورودی کانال L1 شبکه قزوین با توجه به وضعیت کانال و شبکه امتیازدهی و مدل تهیه‌شده برای انواع گزینه‌های خودکار اندازه‌گیری جریان اجرا شد. در ابتدا، عوامل کلیدی امکان‌پذیری هیدرولیکی و در دسترس بودن انرژی برای گزینه‌ها بررسی شد. گزینه‌های یک تا هشت جدول ۱ که شامل سرریزها است، به دلیل ناممکن بودن اجرای سازه تبدیل مناسب مورد نیاز که موجب پس‌زدگی جریان می‌شود، از فهرست گزینه‌های انتخاب حذف شدند.

برای تعیین اوزان شاخص‌ها از روش آنتروپی استفاده شد که وزن شاخص‌ها به صورت جدول ۳ به دست آمد.

نحوه توزیع آب در شبکه آبیاری قزوین توافقی است. در این حالت مقدار آب‌بهای محاسبه‌شده و همچنین برنامه‌ریزی کشاورزان برای انجام عملیات کشاورزی بر مبنای مقدار آب توافق‌یافته صورت می‌پذیرد. اگر مقدار آب تحویل داده‌شده بیش از مقدار آب توافق‌یافته باشد، تلفات تحویل و توزیع افزایش می‌یابد و اگر کمتر باشد، میزان محاسبه آب‌بها و برنامه‌ریزی عملیات کشاورزی با اختلال مواجه می‌شود. بنابراین، به کارگیری سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار جریان می‌تواند برخی از مشکلات موجود را رفع و بعضی دیگر را کاهش دهد (۶). کانال L1 دارای طول ۵۷۴۰ متر، دبی ۱/۶۵ متر مکعب بر ثانیه، مقطع دوزنقه‌ای بتنی و شیب طولی ۰/۷۴ درصد و چهار انشعاب فرعی است.

شکل ۱ نمودار گردشی برنامه روش تاپسیس برای انتخاب گزینه‌های مختلف سامانه‌های خودکار اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

جدول ۳. وزن شاخص‌های انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری با روش آنتروپی

ردیف	شاخص	وزن × ۱۰ ^{-۲}	ردیف	شاخص	وزن × ۱۰ ^{-۲}
۱	افت انرژی	۲۷/۲	۱۱	آشنایی کارکنان با روش	۳/۲
۲	زمان تأخیر	۱۰/۴	۱۲	سادگی نصب	۲/۹
۳	میزان تغییرات در کانال	۸/۵	۱۳	نیازهای نت	۲/۸
۴	هزینه	۶/۸	۱۴	سادگی نت	۲/۸
۵	نیاز به تجهیزات جانبی	۶/۶	۱۵	صحت	۲/۷
۶	قابلیت آسیب‌پذیری	۵/۷	۱۶	عملکرد در آب‌های رسوبدار و املاح دار	۲/۶
۷	سهولت واسنجی	۴/۴	۱۷	پیچیدگی فناوری	۲/۴
۸	توانایی عبور اجسام شناور	۳/۷	۱۸	توانایی شست‌وشوی رسوبات	۰/۶
۹	سازگاری با دما	۳/۴	۱۹	توانایی اندازه‌گیری محدوده دبی مورد نظر	۰
۱۰	سادگی بهره‌برداری	۳/۳			

تهیه شده انجام گرفت. جدول ۴ نام گزینه‌ها، شاخص نزدیکی نسبی و رتبه آنها را نشان می‌دهد.

در رتبه‌بندی ابتدا روش‌های دبی-اشل بدون سازه و سپس روش‌های سرعت-مساحت قرار دارد. نتایج رتبه‌بندی نشان می‌دهد که تفاوت چندانی بین روش‌های سرعت-مساحت با هم و همچنین با روش دبی-اشل بدون سازه وجود ندارد و مقادیر شاخص نزدیکی مربوط به این گزینه‌ها فاصله کمی با هم دارند. در روش‌های سرعت-مساحت (سرعت-سنج ترانزیت‌تایم و داپلر) و دبی-اشل بدون سازه، سامانه‌هایی که دارای حسگر آلتراسونیک هستند، در رتبه پایین تری قرار دارند که این مسئله ممکن است به دلیل عواملی چون پیچیده‌تر بودن این حسگرها نسبت با سایر حسگرها، آشنایی کمتر کارکنان و کشاورزان، قرار گرفتن در خارج از آب و قابلیت آسیب‌پذیری بیشتر باشد.

شاخص نزدیکی نسبی روش‌های دبی-اشل بدون سازه و سرعت-مساحت با روش سازه‌ای تفاوت چشمگیری دارد. در روش سازه‌ای فلوم با گلوگاه طولانی، تفاوتی بین گزینه‌های مختلف حسگر عمق (با شاخص نزدیکی نسبی یکسان $10^{-2} \times 10/44$) وجود ندارد، به عبارتی تأثیر سازه اندازه‌گیری در سامانه بسیار بیشتر از تأثیر حسگرهاست، به گونه‌ای که تفاوت حسگرها قابل-مشاهده نیست. همچنین در روش سازه‌ای، فلوم‌های با گلوگاه طولانی رتبه بالاتری نسبت به فلوم با گلوگاه باریک دارند که این امر با توجه به سادگی نصب و بهره‌برداری، هزینه کمتر، سهولت و اسنچی و ... در فلوم‌های با گلوگاه طولانی منطقی به نظر می‌رسد. در روش‌های سازه‌ای، درجه‌ها کمترین شاخص نزدیکی نسبی و در نتیجه پایین‌ترین رتبه را دارند که این امر با توجه به مشکلات نگهداری و تعمیرات، نیاز به اندازه‌گیری بازشدگی و سطح آب برای محاسبه دبی، و سهولت و اسنچی کمتر، منطقی به نظر می‌رسد.

همان‌گونه که از جدول ۳ مشخص است، شاخص افت انرژی بیشترین اهمیت ($10^{-2} \times 27/2$) را در رتبه‌بندی گزینه‌های اندازه‌گیری دارد که این امر با توجه به اهمیت حداقل بودن افت انرژی در فرایند اندازه‌گیری منطقی است، زیرا هر گونه افت در سطح آب سبب اختلال در آبیگری نقاط پایین دست در شبکه آبیاری خواهد شد. پس از این شاخص، شاخص زمان تأخیر ($10^{-2} \times 10/4$) اهمیت دوم را در رتبه‌بندی دارد. کمترین میزان وزن برای توانایی اندازه‌گیری روش در محدوده مورد نظر (صفر) است که با توجه به اینکه تمامی گزینه‌های موجود، این توانایی را دارند، وزن این شاخص از روش آنتروپی صفر محاسبه شده است. شاخص توانایی شست‌وشوی رسوبات، پس از شاخص توانایی اندازه‌گیری روش، در محدوده مورد نظر کم‌اهمیت‌ترین شاخص در رتبه‌بندی سامانه‌های اندازه‌گیری است. دلیل این مسئله آن است که روش آنتروپی، وزن شاخص‌ها را براساس پراکندگی داده‌های یک شاخص محاسبه می‌کند. هر چه پراکندگی داده‌ها بیشتر باشد، اهمیت شاخص در رتبه‌بندی بیشتر می‌شود. به دلیل آنکه سامانه‌های مختلف از لحاظ توانایی شست‌وشوی رسوبات تفاوت چندانی ندارند، از این نظر دارای پراکندگی چندانی نیستند، از این رو اهمیت این شاخص در رتبه‌بندی نسبت به دیگر شاخص‌ها کمتر محاسبه شده است. همچنین شاخص هزینه ($10^{-2} \times 6/8$) پس از شاخص‌های افت انرژی، زمان تأخیر و میزان تغییرات در کانال، در رتبه چهارم اهمیت قرار دارد. به‌طور کلی می‌توان گفت شاخص‌های فنی، فیزیکی و اقتصادی اهمیت بیشتری از سایر شاخص‌ها دارند، دلیل این مسئله آن است که شاخص‌های فنی و فیزیکی در گزینه‌های مختلف سامانه‌های خودکار اندازه‌گیری جریان، تنوع و پراکندگی بیشتری دارند.

پس از محاسبه اهمیت شاخص‌ها با روش آنتروپی، رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس روش تاپسیس توسط مدل

توسعه مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه برای انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری خودکار جریان در شبکه‌های آبیاری

جدول ۴. شاخص نزدیکی نسبی و رتبه‌بندی گزینه‌ها به روش تاپسیس

شاخص			شاخص		
رتبه	نزدیکی نسبی $\times 10^{-2}$	روش	رتبه	نزدیکی نسبی $\times 10^{-2}$	روش
۱۳	۸۹/۴۴	فلوم با گلوگاه طولانی - حسگر شناور	۱	۹۹/۸۶	رابطه دبی-اشل - حسگر فشاری
۱۴	۸۹/۴۴	فلوم با گلوگاه طولانی - حسگر فشاری	۲	۹۹/۸۳	رابطه دبی-اشل - حسگر بابلر
۱۵	۸۹/۴۴	فلوم با گلوگاه طولانی - حسگر بابلر	۳	۹۹/۸۲	رابطه دبی-اشل - حسگر شناور
۱۶	۸۹/۴۴	فلوم با گلوگاه طولانی - حسگر	۴	۹۹/۷۸	سرعت سنج ترانزیت تایم - حسگر شناور
آلتراسونیک					
۱۷	۴۰	فلوم با گلوگاه باریک - حسگر شناور	۵	۹۹/۷۷	رابطه دبی-اشل - حسگر آلتراسونیک
۱۸	۴۰	فلوم با گلوگاه باریک - حسگر فشاری	۶	۹۹/۷۶	سرعت سنج ترانزیت تایم - حسگر فشاری
۱۹	۴۰	فلوم با گلوگاه باریک - حسگر بابلر	۷	۹۹/۷۵	سرعت سنج داپلر - حسگر شناور
۲۰	۴۰	فلوم با گلوگاه باریک - حسگر آلتراسونیک	۸	۹۹/۷۳	سرعت سنج داپلر - حسگر فشاری
۲۱	۰/۵۴	دریچه‌ها - حسگر شناور	۹	۹۹/۷۲	سرعت سنج ترانزیت تایم - حسگر بابلر
۲۲	۰/۵۴	دریچه‌ها - حسگر فشاری	۱۰	۹۹/۶۸	سرعت سنج داپلر - حسگر بابلر
۲۳	۰/۵۲	دریچه‌ها - حسگر بابلر	۱۱	۹۹/۶۳	سرعت سنج داپلر - حسگر آلتراسونیک
۲۴	۰/۴۸	دریچه‌ها - حسگر آلتراسونیک	۱۲	۹۹/۶۳	سرعت سنج ترانزیت تایم - حسگر آلتراسونیک

سوابق موجود در زمینه انتخاب فناوری‌ها و همچنین فعالیت‌های صورت‌گرفته در شبکه‌های آبیاری، شاخص‌های مؤثر در انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری تعریف شد. پس از آن با تشکیل ماتریس تصمیم که در آن ماتریس متغیر برای کانال درجه دو L_1 شبکه آبیاری مقاردهی شده است، گزینه‌های اندازه‌گیری دبی جریان با استفاده از روش تاپسیس رتبه‌بندی شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین شاخص در رتبه‌بندی گزینه‌ها افت انرژی و کم‌اهمیت‌ترین آنها توانایی سازه برای اندازه‌گیری در محدوده دبی مورد نظر است. همچنین شاخص‌های فنی و فیزیکی اهمیت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها دارند. علاوه بر آن، نتایج رتبه‌بندی نشان داد که تفاوت چندانی

در مقایسه نوع حسگرهای عمق، به‌طور کلی می‌توان گفت در اکثر قریب به اتفاق روش‌ها، حسگرهای فشاری و شناور رتبه بهتری دارند و پس از آنها حسگر نوع بابلر و در نهایت حسگر آلتراسونیک دارای پایین‌ترین رتبه است.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق انتخاب سامانه‌های اندازه‌گیری دبی جریان در شبکه‌های آبیاری مورد توجه قرار گرفت. در ابتدا سامانه‌های اندازه‌گیری دبی جریان در سه دسته کلی روش‌های سازه‌ای، سرعت-مساحت و رابطه دبی-اشل بدون سازه دسته‌بندی شده و انواع گزینه‌های اندازه‌گیری جریان، شناسایی و دسته‌بندی شدند. سپس، با استفاده از

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳

عملکرد هشت شبکه آبیاری کشور با انجام تحلیل حساسیت در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۱ (۱): ۶۹-۷۷.

۸. منعم م ج، علیرضائی م ر، صالحی طالشی ا (۱۳۸۱) ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۶(۴): ۱۱-۲۵.

۹. مؤمنی م، جعفرنژاد ا، صادقی ش (۱۳۹۰) جایابی بهینه مراکز توزیع در فرایند بازاریابی با استفاده از روش‌های ریاضی. مجله مدیریت صنعتی. ۳(۶): ۱۲۹-۱۴۸.

۱۰. هاشمی شاهدانی، س. م. ۱۳۸۷. خوشه‌بندی مکانی و زمانی شبکه‌های آبیاری با استفاده از روش کلاسیک و فازی (مطالعه موردی شبکه آبیاری قزوین)، پایان‌نامه ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس.

11. Alinezhad A, Makui A, Kiani Mavi R and Zohrehbandian M (2011). An MCDM-DEA approach for technology selection. *Industrial Engineering International*. 7 (12): 32-38.

12. Berger P A (2006) *Generating Agricultural Landscapes for Alternative Futures Analysis: A Multiple Attribute Decision-Making Model*. *Transactions in GIS*. 10(1): 103-120

13. Bos M G (1989) *Discharge Measurement Structures*. 3th Revised Edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Netherlands. 401 pages.

14. Chen S J and Hwang C L (1992) *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA. ISBN: 0387549986.

15. Freeman B J (2008) *Modernization Criteria*

بین روش‌های دبی-اشل بدون سازه و روش‌های سرعت-مساحت وجود ندارد، درحالی که این دو روش تفاوت چشمگیری با روش‌های سازه‌ای دارند.

منابع

۱. آذرع (۱۳۸۰) بسط و توسعه روش آنتروپی شانون برای پردازش داده‌ها در تحلیل محتوی. علوم انسانی دانشگاه الزهرا (س). سال یازدهم. شماره ۳۷ و ۳۸، بهار و تابستان.

۲. اصغرپور م ج. (۱۳۹۰) تصمیم‌گیری چندمعیاره. چاپ نهم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ۳۹۹ صفحه.

۳. خلخالی م، منعم م ج، ابراهیمی ک. (۱۳۸۷) تدوین مدل پشتیبانی تصمیم برای ارزیابی و بهبود عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۹ (۱): ۱۲۵-۱۴۰.

۴. عنابستانی ع ا، خسرویگی ر، تقیلوع ا، شمس‌الدینی ر (۱۳۹۰) سطح‌بندی پایداری توسعه روستایی با استفاده از فن تصمیم‌گیری چندمعیاره برنامه‌ریزی توافقی CP (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان کمیجان)، مجله جغرافیای انسانی، ۳ (۲): ۱۰۸-۱۲۶.

۵. صادقی ف (۱۳۹۱) توسعه مدل ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری. گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس. تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.

۶. منعم م ج، هاشمی شاهدانی م (۱۳۹۰) خوشه‌بندی مکانی شبکه‌های آبیاری با استفاده از روش کلاسیک K-mean، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۷ (۱): ۳۸-۴۶.

۷. منعم م ج، قدوسی ح (۱۳۸۳) ارزیابی و بهبود

Assessment for Water Resources Planning;

مدیریت آب و آبیاری

- Klamath Irrigation Project, U.S. Institut für Wasserbau der Universitt Stuttgart. ISBN 3-933761-70-0.
16. Gomez Limon J A, Berbel J and Arriaza M (2007) MCDM Farm System Analysis for Public Management of Irrigated Agriculture. Handbook Of Operations Research In Natural Resources International Series In Operations Research amp; Mana. Volume 99, pp 93-114.
 17. Kohansal M R and Rafiei Darani H (2009) Choosing and Ranking Irrigation Methods and the Study of Effective Factors of adoption in Khorasan Razavi Province in Iran. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 15 (1), 67-76.
 18. Latinopoulos D (2009) Multicriteria Decision Making for Efficient Water and Land Resources Allocation in Irrigated Agriculture. Environment, Development and Sustainability. 11(2): 329-343.
 19. Mozaffari M M, Alvandi M and Memarzade M (2012) A Novel MCDM Method for Technology Selection. European Journal of Scientific Research. 71(4): pp. 600-618.
 20. Raju K S and Duckstein L (2004) Integrated Application of Cluster and Multicriterion Analysis for Ranking Water Resources Planning Strategies: a Case Study in Spain. Hydro Informatics. 6: 295-307.
 21. Rezaei P, Rezaie K, Nazari-Shirkouhi S and Jamalizadeh Tajabadi M R (2013) Application of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Analysis for Evaluating and Selecting the Best Location for Construction of Underground Dam. Acta Polytechnica Hungarica. 10 (7): 187-205.
 22. Saraiva J P and Pinheiro A C (2007) A Multi-Criteria Approach for Irrigation Water Management. Agricultural Economics Review. 8(1):64-77.
 23. Shajari M, Bakhshoodeh M and Soltani G R (2008) Suitability of Multiple- Criteria Decision Making Simulations to Study Irrigation Water Demand: A Case Study in the Doroudzan River Basin, Iran. American- Eurasian Journal. Agricultural and Environmental Science. 2 (1): 25-35.
 24. Shen Y Ch, Lin G T R and Tzeng G H (2011) Combined DEMATEL techniques with novel MCDM for the organic light emitting diode technology selection. Expert Systems with Applications. 38: 1468-1481.
 25. Shirokova Y, Sokolov V and Manthritilake H (2009) Integrated Water Resources Management: Putting Good Theory into Real Practice: Central Asian Experience. First edition. Scientific and Information Center of the Interstate Commission for Water Coordination (SIC ICWC) and GWP CACENA, Tashkent.381 pages.
 26. International Organization for Standardization (ISO) (1997) Measurement of liquid flow in open channels-General guidelines for selection of method, Technical Report, ISO/TR8363.
 27. Vacino J B, Baldovin M J and Gutierrez C (2005) Multicriteria and Multiperiod Programming for Scenario Analysis in Guadalquivir River Irrigated Farming. XI th Congress of the EAAE (European Association of Agricultural Economists).The Future of Rural Europe in the Global Agri- Food System, Copenhagen, Denmark.
 28. Water Measurement Manual. 3rd edition (1997) Revised reprint (2001)

29. Yelmez B and Yurdusev M A (2011) Use of Data Envelopment Analysis as a Multi Criteria Decision Tool – A Case of Irrigation Management. Mathematical and Computational Applications. 16(3): 669-679.