Archive of SID

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری با استفاده از منطق فازی: مطالعه موردی شبکه مارون

محمدجواد منعم[1*]، جمشید خرّمی[2]، سیداحمد حیدری‌یان[3]

۱- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- کارشناس ارشد تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار مرکز تحقیقات آبخیزداری

*** تهران، صندوق پستی ۱۱۶-۱۴۱۱۵**

monem_mj@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: شهریور ۱۳۸۴)

چکیده- ارزیابی شبکه‌های آبیاری نشان داده است که عملکرد بیشتر آنها به‌مراتب پایین‌تر از حد مورد انتظار است. برای بهبود کارایی شبکه‌ها اولین گام، ارزیابی عملکرد آنها است. بدین‌منظور تاکنون روشهایی نظری و کمّی بر مبنای مجموعه‌ای از عواملی که از اندازه‌گیری در سطح شبکه به‌دست می‌آید، پیشنهاد شده است. واقعیت این است که بخشی از اطلاعات مورد نیاز در ارزیابیها نادقیق و توصیفی بوده و لازم است که تأثیرات طیفی بسیاری از شاخصها در ارزیابی به‌صورت کمّی انعکاس یابد که این خواسته با روشهای مرسوم ممکن نیست. در این تحقیق به‌منظور برطرف ساختن برخی از مشکلات در روشهای ارزیابی فعلی، از منطق فازی استفاده شده است. به‌منظور نمایش قابلیتهای منطق فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، مدلی براساس سیستم استنتاج فازی حداقل- حداکثر ممدانی و روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل تدوین شده و با استفاده از این مدل، عملکرد شبکهٔ آبیاری مارون از دیدگاه کلی مدیریتی ارزیابی شده است. ۲۲ پارامتر به‌صورت ترکیبی در قالب چهار شاخص اصلی بهره‌برداری، تعمیرات و نگهداری، تحویل آب و کشاورزی، تعیین شده و با تعریف طبقات مختلف هر یک از شاخصها، تابع عضویت آنها و قواعد فازی، ارزیابی صورت گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که نمرهٔ ارزیابی عملکرد شبکه از دیدگاه کلی مدیریتی ۰/۷۱ است که با درجه عضویت ۰/۳٤ به طبقهٔ متوسط و با درجه عضویت ۰/٦٦ به طبقهٔ خوب تعلق دارد. برخلاف روشهای مرسوم، در روش ارزیابی فازی با توجه به امکان ارزیابی کمّی برخی از شاخصهای نادقیق و توصیفی مانند رضایتمندی، انعطاف‌پذیری و اعتمادپذیری ـ که در شبکه‌های آبیاری اهمیت شایان توجهی دارند ـ و با درنظر گرفتن تأثیر طیفی و دامنه‌دار شاخصها، می‌توان نسبت به نتایج ارزیابی، اطمینان بیشتری داشت و استفاده از این روش را در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری در سطح گسترده‌ای توصیه کرد.

کلید واژگان: ارزیابی عملکرد، شبکه‌های آبیاری، منطق فازی، شبکه مارون.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مطالعات انجام شده در زمینهٔ ارزیابی شبکه‌های آبیاری بیانگر آن است که عملکرد بیشتر آنها به علت ضعف در طراحی و اجرا، نگهداری و بهره‌برداری نامناسب و فقدان مدیریت کارامد، به‌مراتب پایین‌تر از حد مورد انتظار است [۱]. با توجه به حجم سرمایه‌گذاری انجام شده در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و همچنین محدودیت منابع موجود برای احداث پروژه‌های جدید، توجه به برطرف ساختن معضلات شبکه‌های موجود و بهبود عملکرد آنها، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است که مورد توجه مؤسسات بین‌المللی از جمله IWMI[1] قرار گرفته است [۲]. در ایران نیز مؤسسات مرتبط، توجه خاصی به این موضوع داشته‌اند به‌طوری‌که ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، جزو اولویتهای تحقیقاتی وزارت نیرو قرار گرفته است [۳].

روشهای بررسی و ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری را می‌توان به دو گروه عمدهٔ روشهای ارزیابی نظری و کمّی تقسیم کرد. روشهای نظری چگونگی بررسی موضوع را به‌صورت توصیفی و تشریحی مطرح ساخته و به تعیین شاخصهای کمّی نپرداخته‌اند. روشهای نظری که تاکنون در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری به‌کار رفته، عبارتند از: تجزیه و تحلیل تشخیصی[2](DA)، ارزیابی سریع[3](RA)، روش مرجع[4](RM) و ارزیابی چارچوبی[5] (FA). مهمترین نارسایی روشهای نظری، عدم ارائه عملکرد سیستم به‌صورت کمّی است. در روشهای کمّی، محققان با هدف خاص خود، شاخصهای مختلفی را پیشنهاد کرده و با اندازه‌گیریهای میدانی یا شبیه‌سازی ریاضی، مقادیر شاخصها را به‌صورت کمّی تعیین کرده‌اند.

یکی از روشهای جامع کمّی مبتنی بر اندازه‌گیریهای میدانی، روش کمّی کلاسیک است که توسط رسترپو در سال ۱۹۸۳ ارائه شده است [۴]. مدل ارزیابی پاییز[6] نیز بر مبنای روش کلاسیک در ایران ارائه شده است [۵]. با استفاده از این مدل با اندازه‌گیری شاخصهای متعدد می‌توان ضمن ارزیابی عملکرد بخشهای مختلف، میزان اعتبار ارزیابی را براساس تعداد شاخصهای اندازه‌گیری شده تعیین کرد. در روشهای کلاسیک با اندازه‌گیری مقدار قطعی پارامترها و مقایسه شاخصها نسبت به استانداردهایی که براساس قضاوت کارشناسی تعیین شده، راهکارهای بهبود عملکرد توصیه می‌شود. به‌منظور پرهیز از نظرهای متفاوت کارشناسی در تعیین استانداردها، روش تحلیل پوششی داده‌ها[7](DEA) که در سایر علوم نیز به‌کار رفته، برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری استفاده شده است [۶]. در این روش استانداردها به‌صورت مقایسه‌ای و با استفاده از بهینه‌سازی خطی تعیین می‌شود. روشهای ارزیابی کمّی اگرچه موجب توسعهٔ فناوری موجود در زمینه ارزیابی شده‌اند، اما همچنان دارای نارساییهایی هستند که به شرح زیر است:

الف- علی‌رغم تلاشهای گسترده‌ای برای تعریف کمّی انواع شاخصها، برخی از متغیرهای مؤثر بر عملکرد وجود دارند که همچنان به‌صورت کیفی بیان شده‌اند و تاکنون شاخصهایی کمّی برای آنها بیان نشده و هنوز ناچاریم اثر آنها را بر عملکرد، به‌صورت توصیفی و تشریحی بیان کنیم زیرا روشهای کمّی موجود از این کار عاجز است. در میان این شاخصها می‌توان رضایتمندی، انعطاف‌پذیری و اعتمادپذیری را نام برد.

ب- برای تجزیه و تحلیل و استنتاج نتایج ارزیابی، شاخصهای ورودی و خروجی باید طبقه‌بندی شوند. در روشهای مرسوم، طبقه‌بندی شاخصها براساس طبقه‌بندی با تعیین مرزهای قطعی انجام می‌شود. این باعث می‌شود که با کوچکترین تغییر در مقدار شاخص، وضعیت آن شاخص از یک طبقه به طبقهٔ دیگر جابه‌جا شود یا

1. International Water Management Institute
2. Diagnostic Analysis
3. Rapid Appraisal
4. Reference Methodology
5. Framework Appraisal
6. Performance Assessment – Irrigation System –Model (PAIS)
7. Data Envelopment Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد سیستم به‌صورت جهشی از یک طبقه به طبقهٔ دیگر تغییر نماید که اصولاً قابل قبول و توجیه نیست. با توجه به اثر طیفی و دامنه‌دار شاخصها، تشریح مرز آنها به‌صورت قطعی به‌خوبی نمی‌تواند منعکس‌کنندهٔ اثر آنها بر عملکرد باشد.

ج- بسیاری از عوامل مؤثر بر عملکرد که به‌صورت کمّی بیان می‌شوند در عمل باید اندازه‌گیری شود. اما به‌علت محدودیتهای فنی، مدیریتی و مالی در بیشتر شبکه‌ها این اندازه‌گیریها انجام نمی‌شود یا در صورت اندازه‌گیری، داده‌ها عموماً کیفیت خوب و قابل قبولی ندارند. با توجه به اهمیت برخی از این عوامل لازم است اثر آنها بر عملکرد، حتی با اطلاعات نادقیق درنظر گرفته شود و این مسأله‌ای است که در روشهای مرسوم نادیده گرفته می‌شود.

در دهه ۱۹۶۰ میلادی منطق جدیدی برای تحلیل کیفی و استفاده از اطلاعات نادقیق با نام منطق فازی ارائه شده است. این منطق که برای اولین بار توسط لطفی عسگرزاده دانشمند ایرانی دانشگاه برکلی برای عملکرد در شرایط عدم اطمینان مطرح شد، می‌تواند بسیاری از مفاهیمی را که دارای متغیرهای توصیفی و نادقیق، طیفی و دامنه‌دار هستند، شکل ریاضی ببخشد و امکان تجزیه تحلیل کمّی آنها را فراهم سازد [۷]. با توجه به قابلیتهای روش فازی در به‌کارگیری متغیرهای نادقیق و توصیفی و بهره‌گیری از طبقه‌بندی طیفی، می‌توان شاخصهایی را که در ارزیابیهای مرسوم نادیده گرفته می‌شوند یا اثر آنها در تجزیه تحلیل به‌خوبی منعکس نمی‌شود به‌نحو مطلوبی درنظر گرفت و مشکلات ناشی از به‌کارگیری مرزهای قطعی در طبقه‌بندی شاخصهای ورودی و عملکرد شبکه را برطرف کرد. بدین‌ترتیب با استفاده از روش فازی می‌توان بخشی از نارسایی‌های روشهای مرسوم ارزیابی مانند نادیده گرفتن متغیرهای توصیفی، عدم به‌کارگیری اطلاعات نادقیق ولی مهم و عدم‌توجه به مرزهای طیفی طبقه‌بندی را برطرف ساخت. مالانو و همکاران در سال ۱۹۹۲ از روش خوشه‌بندی فازی برای رتبه‌بندی دو شبکه آبیاری کاملاً متفاوت در استرالیا و چین استفاده کردند [۸]. ایشان صرفاً از شاخصهای کمّی استفاده کردند. گوینگ و همکاران در سال ۱۹۹۶ عملکرد واحدهای مزارع کوچک را از دیدگاه زارعان با استفاده از روش فازی ارزیابی کردند [۹]. سام آموا و همکاران نیز در سال ۲۰۰۱ ارزیابی عملکرد مزارع را با حداقل اطلاعات از دیدگاه زارعان به روش فازی انجام دادند [۱۰]. در این دو تحقیق اگرچه شاخصهای کیفی به‌کار رفته، اما ارزیابی صرفاً در سطح مزارع بوده و ارزیابی شبکه انجام نشده است. به تازگی حیدری‌یان و همکاران در سال ۱۳۸۳ مدلی را برای کاربرد روش فازی به‌منظور ارزیابی عملکرد سیستمهای آبیاری تهیه کرده و آن را برای شبکه قزوین استفاده کرده‌اند [۱۱].

در این تحقیق به‌منظور بهره‌گیری از تواناییهای منطق فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، مدل ارزیابی فازی به‌کار رفت و سعی شد با کاربرد آن برای شبکه آبیاری مارون، قابلیت این روش در برطرف ساختن محدودیت‌های روشهای مرسوم ارزیابی در سطح شبکه‌ها نشان داده شود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- روش فازی

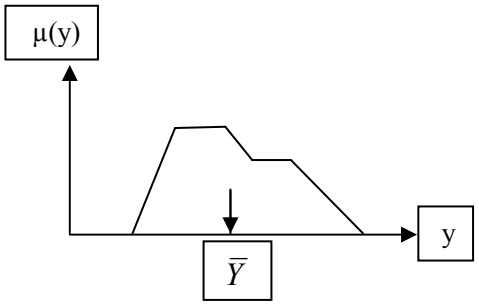
هر مدل فازی شامل سه بخش شاخصهای ورودی، قواعد فازی که موتور استنتاج فازی است و شاخصهای خروجی است. مدلهای فازی از روشهای مختلفی برای توصیف شاخصهای ورودی و خروجی و چگونگی ترکیب قواعد برای استنتاج نتیجه استفاده می‌کنند. در مدلهای فازی خالص، ورودیها به‌صورت متغیرهای بیانی فازی مطرح شده، با قواعد فازی "اگر- آنگاه" خروجیها به‌صورت متغیرهای بیانی فازی تولید می‌شود که برای مسائل مهندسی با ورودی و خروجیهای حقیقی کاربرد ندارد. در مدل TSK [1]

1. Takagi-Sugeno-Kang

www.SID.ir

Archive of SID

بخش "آنگاه" قواعد فازی به‌صورت یک رابطه ریاضی تعریف شده و خروجیهایی با مقادیر حقیقی ایجاد می‌کند و در این بخش از مزایای استنتاج فازی بهره نمی‌برد. برای برطرف ساختن این دو مشکل و استفاده از روش فازی در مسائل مهندسی، از سیستم فازی‌ساز و غیرفازی‌ساز در مدلهای خالص فازی استفاده شده است. در این مدلها تبدیل شاخصهای حقیقی به متغیر فازی با تعیین طبقات شاخصها و تعریف درجه عضویت هر یک از اعضای شاخصها در هر طبقه انجام می‌شود. تابع حاصل، تابع عضویت نامیده می‌شود. انواع مختلفی از توابع عضویت در تحقیقات مرتبط مطرح شده است، اما در بیشتر مسائل کاربردی از توابع مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شده است [۱۲]. در بخش قواعد و استنتاج فازی، از روش حداقل – حداکثر ممدانی ـ که به‌علت ساختار ساده و مؤثر ـ بیشترین کاربرد را در مسائل عملی پیدا کرده، استفاده شده است. در این روش که برای قواعد عطفی به‌کار می‌رود، از میان درجه عضویت انواع ورودیهای یک قاعده فازی در هر محدوده، کمترین درجه عضویت انتخاب و به خروجی منتقل می‌شود؛ این کار برای تمامی قواعد در کل محدوده تغییرات متغیرها تکرار شده و متغیر فازی خروجی به‌دست می‌آید. سپس متغیر فازی خروجی را باید با استفاده از یکی از روشهای غیرفازی‌ساز و با توجه به تابع عضویت خروجی به عدد حقیقی تبدیل کرد. روشهای‌مختلف غیرفازی‌ساز مانند روش مرکز ثقل، مرکز مجموعه‌ها، روش ارتفاع و روش متوسط حداکثر، در تحقیقات مختلف به‌کار رفته است. در این تحقیق از روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل-که مرسوم‌ترین روش در مسائل کاربردی است- استفاده شده [۷]. در این روش با توجه به شکل ۱ مقدار حقیقی خروجی از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.



شکل ۱ غیرفازی‌ساز مرکز ثقل

$$\bar{Y} = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy} \qquad (۱)$$

که در آن y مقدار خروجی μ(y) درجه عضویت خروجی y و $\bar{Y}$ مقدار حقیقی شاخص خروجی است.

برای این منظور ابتدا شاخصهای ورودی و خروجی ارزیابی عملکرد مشخص شده است. سپس شاخصهای موردنظر فازی‌سازی و سپس با تشریح قواعد ارزیابی عملکرد، با استفاده از روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل، نتایج ارزیابی ارائه شده است.

۲-۲- شاخصهای ارزیابی عملکرد از دیدگاه کلی مدیریتی

مدیریت شبکه، مجموعه‌ای از فعالیتهای برنامه‌ریزی، هدایت، کنترل و پایش شبکه برای ارائهٔ خدمات موردنظر به مشترکان است. مدیریت شبکه برای اجرای وظایف خود به بهره‌گیری از امکانات و تجهیزات ضروری، نیازمند است و عملکرد آن با توجه به استفاده از این امکانات، در برابر دسترسی به اهداف موردنظر قابل ارزیابی است. اهداف مدیریت شبکه را می‌توان به اهداف کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم کرد. برای ارزیابی موفقیت شبکه در دستیابی به این اهداف شاخصهای مناسبی را باید تعریف کرد و به‌کار برد. در کوتاه‌مدت، وظیفه اصلی مدیریت شبکه انجام عملیات بهره‌برداری برای توزیع و

www.SID.ir

Archive of SID

تحویل آب مورد نیاز به مشترکان است. در میان‌مدت، مدیریت شبکه باید با نگهداری مناسب و تعمیرات به‌موقع، شرایط بهره‌برداری مطلوب از شبکه را تأمین نماید. اهداف بلندمدت مدیریت، پوشش بخش معینی از اراضی و تولید محصول کشاورزی است. بدین‌ترتیب عملکرد کلی مدیریت شبکه در قالب چهار شاخص اصلی بهره‌برداری، تحویل آب، تعمیر و نگهداری و کشاورزی منعکس می‌شود. هر یک از شاخصهای اصلی، تابعی از مجموعه‌ای از شاخصهای جزیی و عوامل متعددی است. به‌عنوان نمونه، اجرای عملیات بهره‌برداری، مستلزم بهره‌گیری از نیروی انسانی و ماشین‌آلات و تعامل نزدیک با مشترکان است. شاخص نیروی انسانی تابعی از تعداد افراد، تخصص و سابقه کار مفید است. برای ارزیابی عملکرد تحویل آب، سه شاخص انعطاف‌پذیری، اعتمادپذیری و راندمان کل به‌کار رفته است. انعطاف‌پذیری سیستم، رابطه نزدیکی با روش تحویل آب در هنگام برنامه‌ریزی دارد و منعکس‌کننده آزادی عمل زارع در اعمال مدیریت دلخواه خود در آبیاری مزرعه است. اعتمادپذیری منعکس‌کننده کیفیت سرویس‌دهی مدیریت شبکه به زارعان است. در شبکه‌های آبیاری معمولاً جریان در کانالهای درجه یک و دو دائمی بوده و مسؤولیت تنظیم و توزیع آب در کانالهای درجه سه، به‌صورت گردشی به‌عهده زارعان است. اعتمادپذیری، میزان پایداری دبی تحویلی و قابلیت پیش‌بینی زمان تحویل آب را از دیدگاه زارعان نشان می‌دهد. این دو شاخص به‌صورت کیفی بیان می‌شوند. بدین‌ترتیب ارزیابی عملکرد کلی مدیریت شبکه براساس چهار شاخص اصلی و به‌کمک ۱۲ شاخص جزیی و ۲۲ عامل انجام شد که در جدول ۱ همراه با مقادیر مربوط ارائه شده است. این مقادیر از طریق بررسیهای دفتری گزارشهای موجود، مصاحبه با زارعان، بازدید از شبکه و اندازه‌گیریهای میدانی به‌دست آمده است [۱۳]. برای انجام ارزیابی در بخش بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری، با توجه به تعداد عوامل، با میانگین‌گیری وزنی عوامل، مقدار هر یک از شاخصهای جزیی تعیین شد. در بخش تحویل آب و کشاورزی، مقادیر تعیین شده عوامل مستقیماً به‌عنوان شاخصهای جزیی درنظر گرفته شده است. برای هر یک از شاخصهای اصلی، کلیه شاخصهای جزیی مربوط به‌صورت فازی ارزیابی شده و مقادیر شاخصهای اصلی به‌دست آمده است. نهایتاً با ارزیابی فازی شاخصهای اصلی چهارگانه، عملکرد کلی مدیریتی شبکه تعیین شد. بنابراین مدل ارزیابی از پنج بخش تشکیل شده است:

بخش اول: ارزیابی‌عملکرد بهره‌برداری براساس سه شاخص جزیی نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مشترکان.

بخش دوم: ارزیابی عملکرد تعمیر و نگهداری براساس چهار شاخص جزیی تعمیر و نگهداری و وضعیت سازه‌ها در کانالهای اصلی و فرعی.

بخش سوم: ارزیابی عملکرد تحویل آب براساس سه شاخص جزیی راندمان، انعطاف‌پذیری و اعتمادپذیری.

بخش چهارم: ارزیابی عملکرد کشاورزی براساس دو شاخص جزیی تولید محصول و سطح تحت پوشش.

بخش پنجم: ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری از دیدگاه کلی مدیریتی براساس شاخصهای چهارگانه اصلی.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ شاخصها و عوامل ارزیابی مدیریتی شبکه

شاخصهای اصلی	شاخصهای جزیی		عوامل شاخصها	
	عنوان	مقدار	عنوان	مقدار
بهره‌برداری	نیروی انسانی	۰/۸۳	نسبت تعداد نیروی انسانی موجود به مورد نیاز	۱
			نسبت نیروی انسانی متخصص موجود به مورد نیاز	۰/۵۷
			سوابق کاری مفید نیروی انسانی	۰/۹
	ماشین‌آلات	۰/۸۷	نسبت ماشینهای سنگین موجود به مورد نیاز	۱
			نسبت ماشینهای سنگین فعال به موجود	۰/۷
			نسبت وسائل نقلیه موجود به مورد نیاز	۰/۹۵
			نسبت وسائل نقلیه فعال به موجود	۰/۹۵
	مشترکان	۰/۶۶	نسبت تعداد دریچه‌های دارای نماینده به کل دریچه‌ها	۰/۶۶
تحویل آب	راندمان کل	۰/۱۴	راندمان کل	۰/۱۴
	انعطاف‌پذیری	۰/۸۵	انعطاف‌پذیری	۰/۸۵
	اعتمادپذیری	۰/۷۵	اعتمادپذیری	۰/۷۵
تعمیر و نگهداری	تعمیر و نگهداری کانالهای اصلی	۰/۴۸	نسبت لایروبی انجام شده به مورد نیاز	۰/۹۲
			نسبت بتن‌ریزی انجام شده به مورد نیاز	۰/۸۱
			نسبت تعمیر جاده سرویس انجام شده به مورد نیاز	۰/۰۳
	تعمیر و نگهداری کانالهای فرعی	۰/۲۳	نسبت لایروبی انجام شده به مورد نیاز	۰/۲۸
			نسبت بتن‌ریزی انجام شده به مورد نیاز	۰/۲۴
			نسبت تعمیر جاده سرویس انجام شده به مورد نیاز	۰/۱۵
	وضعیت سازه‌های کانالهای اصلی	۰/۷۳	نسبت تعداد سازه‌های تنظیم فعال به کل	۰/۸۳
			نسبت تعداد سازه‌های اندازه‌گیری فعال به کل	۰/۷۳
	وضعیت سازه‌های کانالهای فرعی	۰/۷	نسبت تعداد سازه‌های تنظیم فعال به کل	۰/۷
کشاورزی	محصول در واحد سطح	۱	نسبت تولید محصول در واحد سطح موجود به طراحی	۱
	سطح تحت پوشش	۰/۹۱	نسبت سطح تحت پوشش موجود به طراحی	۰/۹۱

۲-۳- معرفی مدل مورد استفاده

مدلسازی این تحقیق در نرم‌افزار MATLAB نسخهٔ ۶/۵ براساس استنتاج فازی حداقل- حداکثر ممدانی و روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل انجام شد.

برای فازی‌سازی شاخصهای ورودی و خروجی، با توجه به اهمیت شاخصها، دامنه تغییرات آنها و تأثیر کمّی و کیفی آنها بر عملکرد سیستم، پنج طبقه برای هر یک از شاخصها درنظر گرفته شد. این طبقات خیلی ضعیف (VW)، ضعیف (W)، متوسط (M)، خوب (G) و خیلی خوب (VG) بوده و به‌ترتیب از ۱ تا ۵ شماره‌گذاری شده‌اند. با توجه به کاربرد گسترده توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه ای در مسائل کاربردی و تجربه محدود کاربرد تئوری فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، در این تحقیق توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای هر دو به‌کار رفته است. در طبقاتی که تغییر مقادیر شاخص در یک محدوده، تأثیر یکسانی بر عملکرد داشته باشد، از تابع عضویت ذوزنقه‌ای (که برای یک محدوده، ثابت است) و در غیراین‌صورت از توابع عضویت مثلثی استفاده شده است. مقادیر محدوده تابع عضویت در هر یک از طبقات براساس نظر خبرگان، قضاوت کارشناسی و بحث و بررسی موضوع با کمک زارعان و مسؤولان شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین شده است. پس از فازی‌سازی شاخصهای ورودی با توجه به تعیین مرز طبقات همنام، با میانگین‌گیری آنها مرز طبقه همنام در شاخص خروجی به‌صورت فازی مشخص می‌شود. همچنین توابع عضویت کلیه شاخصهای جزیی و شاخصهای اصلی و شاخص کلی مدیریتی شبکه تعیین شد. در شکلهای ۲ تا ۶ تابع عضویت شاخصهای چهارگانه اصلی و شاخص خروجی عملکرد مدیریتی نشان داده شده است.

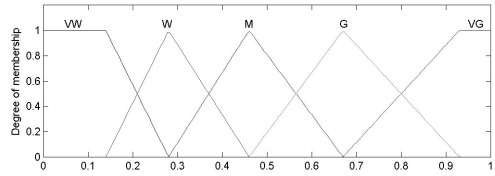
۲-۴- بیان قواعد ارزیابی عملکرد

پس از فازی‌سازی شاخصهای ورودی و خروجی، مرحلهٔ بعدی مدلسازی فازی بیان قواعد و استنتاج فازی است. قواعد فازی ارزیابی عملکرد، عبارتهایی با ساختار " اگر- آنگاه" است که در هر یک از این قواعد، آثار ترکیبی شاخصهای مورد استفاده بر عملکرد شبکه از دیدگاه موردنظر تعیین می‌شود. تعداد قواعد مورد نیاز برای ارزیابی کامل عملکرد شبکه در محدودهای تعریف شده، به تعداد شاخصها و تعداد طبقات هر شاخص بستگی دارد و از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

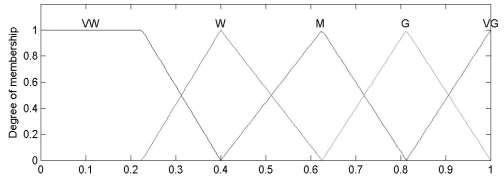
$$I = K_1 \times \ldots \times K_2 \times K_n \qquad (۲)$$

در این رابطه I تعداد قواعد، n شماره شاخص و K تعداد طبقات هر شاخص را نشان می‌دهد. در این تحقیق با توجه به تعریف چهار شاخص اصلی و پنج طبقه برای هر شاخص، ارزیابی جامع در تمامی طبقات باید با تشریح 5^4 قاعده انجام شود. در ارزیابی عملکرد شبکهٔ مارون، مقادیر هر یک از شاخصهای ارزیابی متعلق به دو طبقه است، بنابراین برای استنتاج نهایی تعداد قواعد مورد نیاز $2^4 =$ ۱٦ است. برای هر یک از قواعد تعریف شده در شاخصهای ورودی، با استفاده از روش حداقل- حداکثر ممدانی، یک تابع عضویت برای خروجی آن ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از روش غیرفازی‌سازی مرکز ثقل، مقدار حقیقی شاخص خروجی تعیین می‌شود. هر شاخص خروجی معمولاً به دو طبقه تعلق دارد که با استفاده از تابع عضویت خروجی شکل ۶ وزن و درجه عضویت آن قاعده به هر یک از طبقات موردنظر به‌دست می‌آید. بنابراین ۱۶ قاعده مزبور هر یک با دو وزن مختلف، به دو طبقه شاخص خروجی تعلق خواهد داشت که جمعاً ۳۲ قاعده مختلف را برای ارزیابی شبکه مارون ایجاد می‌کند. جدول ۲ قواعد مربوط به ارزیابی شبکه مارون را نشان می‌دهد.

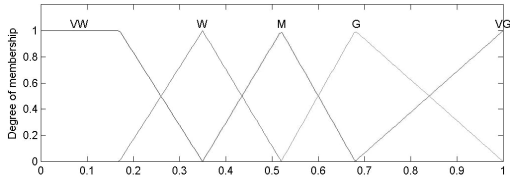
در این جدول شماره مربوط به هر شاخص، بیانگر طبقه آن شاخص و وزن قاعده، درجه عضویت خروجی مربوط به هر یک از طبقات موردنظر است.



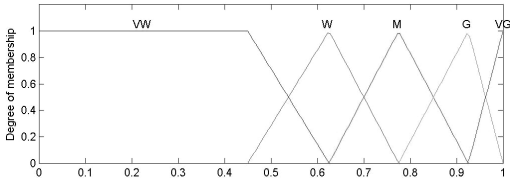
شکل ۲ فازی‌سازی شاخص بهره‌برداری



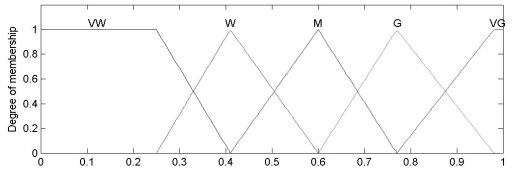
شکل ۳ فازی‌سازی شاخص تعمیرات و نگهداری



شکل ۴ فازی‌سازی شاخص تحویل آب



شکل ۵ فازی‌سازی شاخص کشاورزی



شکل ۶ فازی‌سازی شاخص عملکرد شبکه از دیدگاه کلی مدیریتی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ قواعد مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد شبکه مارون از دیدگاه کلی مدیریتی

ردیف	بهره‌برداری	تعمیرات و نگهداری	تحویل آب	کشاورزی	طبقه شاخص خروجی	وزن قاعده
۱	۴	۲	۳	۳	۲	۰/۰٤
۲	٤	۲	۳	۳	۳	۰/۹٦
۳	٤	۲	۳	٤	۳	۰/۸۳
٤	۴	۲	۳	٤	٤	۰/۱۸
٥	٤	۲	٤	۳	۳	۰/۸۲
٦	٤	۲	٤	۳	٤	۰/۱۸
۷	۴	۲	٤	٤	۳	۰/٦
۸	٤	۲	٤	٤	٤	۰/٤
۹	٤	۳	۳	۳	۳	۰/۷۲
۱۰	۴	۳	۳	۳	٤	۰/۲۸
۱۱	٤	۳	۳	٤	۳	۰/٥
۱۲	٤	۳	۳	٤	٤	۰/٥
۱۳	۴	۳	٤	۳	۳	۰/٤۸
۱٤	٤	۳	٤	۳	٤	۰/٥۲
۱٥	٤	۳	٤	٤	۳	۰/۲٦
۱٦	٤	۳	٤	٤	٤	۰/۷٤
۱۷	٥	۲	۳	۳	۳	۰/٦۷
۱۸	٥	۲	۳	۳	٤	۰/۳۳
۱۹	٥	۲	۳	٤	۳	۰/٤٥
۲۰	٥	۲	۳	٤	٤	۰/٥٥
۲۱	٥	۲	٤	۳	۳	۰/٤۳
۲۲	٥	۲	٤	۳	٤	۰/٥۷
۲۳	٥	۲	٤	٤	۳	۰/۲۱
۲٤	٥	۲	٤	٤	٤	۰/۷۹
۲٥	٥	۳	۳	۳	۳	۰/۳٤
۲٦	٥	۳	۳	۳	٤	۰/٦٦
۲۷	٥	۳	۳	٤	۳	۰/۱۱
۲۸	٥	۳	۳	٤	٤	۰/۸۹
۲۹	٥	۳	٤	۳	۳	۰/۱
۳۰	٥	۳	٤	۳	٤	۰/۹
۳۱	٥	۳	٤	٤	٤	۰/۹
۳۲	٥	۳	٤	٤	٥	۰/۱

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج ارزیابی عملکرد شبکهٔ آبیاری مارون از دیدگاه کلی مدیریتی

در این بخش نتایج حاصل از اجرای مدل برای شبکه آبیاری مارون به تفکیک هر یک از بخشهای ارزیابی و ارزیابی عملکرد از دیدگاه کلی مدیریتی ارائه می‌شود.

نتایج ارزیابی بخش بهره‌برداری در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول ملاحظه می‌شود که با مقادیر به‌دست آمده برای شاخصهای نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مشترکان و تابع عضویت آنها، هر یک از این سه شاخص با درجه‌های متفاوت عضویت به دو طبقه خوب و بسیار خوب تعلق دارند. با ارزیابی فازی این سه شاخص، عملکرد شاخص اصلی بهره‌برداری برابر ۰/۷۴ به‌دست آمده که با درجه عضویت ۰/۷۴ به طبقه خوب و با ۰/۲۶ به طبقه خیلی خوب تعلق دارد که بیانگر عملکرد مطلوب این بخش است.

در ارزیابی بخش تحویل آب، سه شاخص انعطاف‌پذیری، اعتمادپذیری و راندمان کل شبکه درنظر گرفته شده است. نتایج ارزیابی این بخش در جدول ۴ آورده شده است. براساس مصاحبه با زارعان و طبقه‌بندی فازی شاخصها، عملکرد انعطاف‌پذیری در طبقه خوب تا بسیار خوب و عملکرد اعتمادپذیری در طبقه متوسط تا خوب است. راندمان کلی شبکه مارون بسیار پایین‌تر از حد مورد انتظار بوده (۰/۱۴) و به طبقه بسیار ضعیف تعلق دارد. با ارزیابی فازی این سه شاخص عملکرد، شاخص اصلی تحویل آب برابر ۰/۶۴ به‌دست آمده که با درجه عضویت ۰/۳۲ به طبقه متوسط و ۰/۷۸ به طبقه خوب تعلق دارد.

نتایج ارزیابی بخش تعمیرات و نگهداری نیز در جدول ۵ ارائه شده است. در ارزیابی این بخش، شاخصهای تعمیر و نگهداری و وضعیت سازه‌ها در کانالهای اصلی با درجه‌های متفاوت عضویت به طبقه ضعیف و متوسط تعلق دارند. شاخص تعمیر و نگهداری کانالهای فرعی، به طبقه بسیار ضعیف و ضعیف و شاخص وضعیت سازه‌ها در کانالهای فرعی، به طبقه متوسط و خوب تعلق دارد. با ارزیابی فازی این چهار شاخص، عملکرد شاخص اصلی تعمیر و نگهداری برابر ۰/۵۲ به‌دست آمده که با درجه عضویت ۰/۴۴ به طبقه ضعیف و با ۰/۵۶ به طبقه متوسط تعلق دارد. علت ضعف شاخص تعمیر و نگهداری در کانالهای اصلی و فرعی، وفور آب و سهولت دسترسی به آن در شبکه است. در چنین شرایطی عملیات تعمیر و نگهداری که مانع تلفات آب در کانالها می‌شود، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد.

جدول ۳ نتایج ارزیابی بخش بهره‌برداری و شاخصهای مربوط

عنوان شاخص	مقدار شاخص	توابع عضویت			
		طبقه	درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت
نیروی انسانی	۰/۸۳	خوب	۰/۷۸	بسیار خوب	۰/۲۲
ماشین‌آلات	۰/۸۷	خوب	۰/٤٤	بسیار خوب	۰/٥٦
مشترکان	۰/٦٦	خوب	۰/٥٦	بسیار خوب	۰/٤٤
بهره‌برداری	۰/۷٤	خوب	۰/۷٤	بسیار خوب	۰/۲٦

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ نتایج ارزیابی عملکرد بخش سیستم تحویل آب و شاخصهای مربوط

عنوان شاخص	مقدار شاخص	توابع عضویت			
		طبقه	درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت
راندمان	۰/۱٤	بسیار ضعیف	۱	–	–
انعطاف‌پذیری سیستم	۰/۸۵	خوب	۰/۷۵	بسیار خوب	۰/۲۵
اعتمادپذیری سیستم	۰/۷۵	متوسط	۰/۵	خوب	۰/۵
سیستم تحویل آب	۰/٦٤	متوسط	۰/۲۲	خوب	۰/۷۸

جدول ۵ نتایج ارزیابی بخش تعمیرات و نگهداری و شاخصهای مربوط

عنوان شاخص	مقدار شاخص	توابع عضویت			
		طبقه	درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت
میزان تعمیرات و نگهداری در کانالهای درجهٔ یک	۰/٤۸	ضعیف	۰/٦۸	متوسط	۰/۳۲
میزان تعمیرات و نگهداری در کانالهای درجهٔ دو	۰/۲۳	بسیار ضعیف	۰/٤۷	ضعیف	۰/۵۳
وضعیت سازه‌ها در کانالهای درجهٔ یک	۰/۷۳۳	ضعیف	۰/۰۷	متوسط	۰/۹۳
وضعیت سازه‌ها در کانالهای درجهٔ دو	۰/۷	متوسط	۰/۵	خوب	۰/۵
شاخص تعمیرات و نگهداری	۰/۵۲	ضعیف	۰/٤٤	متوسط	۰/۵٦

نتایج ارزیابی بخش کشاورزی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که شاخص تولید محصول در واحد سطح، در حد بسیار مطلوب و شاخص سطح قابل کشت در حد متوسط تا خوب بوده است. با ارزیابی فازی این دو شاخص عملکرد، شاخص اصلی کشاورزی برابر ۰/۹ به‌دست آمده که با درجه عضویت ۰/۱۴ به طبقه متوسط و ۰/۸۶ به طبقه خوب تعلق دارد.

در جدول ۷ نتایج ارزیابی عملکرد شبکه مارون از دیدگاه کلی مدیریتی مبتنی بر چهار شاخص اصلی بهره‌برداری، تحویل آب، تعمیر و نگهداری و کشاورزی به‌صورت فازی ارائه شده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده، عملکرد کلی مدیریتی شبکه مارون برابر ۰/۷۱ است که با درجه عضویت ۰/۳۴ به طبقه متوسط و ۰/۶۶ به طبقه خوب تعلق دارد.

جدول ۶ نتایج ارزیابی عملکرد بخش کشاورزی و شاخصهای مربوط

عنوان شاخص	مقدار شاخص	توابع عضویت			
		طبقه	درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت
تولید محصول در واحد هکتار	۱	بسیار خوب	۱	–	–
سطح قابل کشت	۰/۹۱	متوسط	۰/٤	خوب	۰/٦
کشاورزی (خروجی)	۰/۹۰	متوسط	۰/۱٤	خوب	۰/۸٦

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷ نتایج ارزیابی از دیدگاه کلی مدیریتی و شاخصهای مربوط

بخشهای ارزیابی و شاخص خروجی	مقدار شاخص	توابع عضویت			
		طبقه	درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت
بهره‌برداری	۰/۷۳	خوب	۰/۷٤	بسیار خوب	۰/۲٦
تعمیرات و نگهداری	۰/۵۲	ضعیف	۰/٤٤	متوسط	۰/۵٦
سیستم تحویل آب	۰/٦٤	متوسط	۰/۲۲	خوب	۰/۷۸
کشاورزی	۰/۹۰	متوسط	۰/۱٤	خوب	۰/۸٦
دیدگاه کلی مدیریتی	۰/۷۱	متوسط	۰/۳٤	خوب	۰/٦٦

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نشان داده شد که چگونه می‌توان از قابلیتهای روش فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری استفاده کرد. کاربرد ترکیبی از شاخصهای کمّی و کیفی ـ که در روشهای مرسوم امکان‌پذیر نیست ـ با استفاده از این روش به‌راحتی انجام شده است. درنظر گرفتن متغیرهای نادقیق با مرزهای طیفی و دامنه‌دار- که در روشهای معمول انجام نمی‌شود ـ امکان اعتماد بیشتری را نسبت به نتایج ارزیابی فراهم می‌کند. بدین‌ترتیب ارزیابی عملکرد شبکه مارون از دیدگاه کلی مدیریتی براساس چهار شاخص بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری، تحویل آب و کشاورزی برابر ۰/۷۱ به‌دست آمده که با درجه عضویت ۰/۳۴ به طبقه متوسط و ۰/۶۶ به طبقه خوب تعلق دارد.

با توجه به تجربه محدود کاربرد نظریه فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، پیشنهادهای زیر برای ادامه تحقیقات در این زمینه ارائه می‌شود:

۱- نتایج ارزیابی فازی، تابعی از نوع مدل فازی مورد استفاده است. با توجه به اینکه کاربرد منطق فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، موضوع جدید تحقیقاتی است، بسیاری از اجزای روش مانند نوع توابع عضویت، تعداد طبقات تابع عضویت، چگونگی تعریف قواعد فازی، روشهای مختلف فازی‌سازی و غیرفازی‌سازی باید با توجه به شرایط مختلف شبکه‌ها، مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد و حساسیت نتایج نسبت به آنها سنجیده شود.

۲- مسائل مختلف مدلهای ارزیابی فازی برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری از دیدگاه‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره و ارزیابی کل شبکه باید مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.

۵- تقدیر و تشکر

از مسؤولان محترم شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری مارون و شرکت مهندسان مشاور «آب کاوش سرزمین» که در ارائهٔ اطلاعات شبکه آبیاری همکاری مطلوبی داشتند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

۶- منابع

[1] Repetto, R; "Skimming the Water: Rent Seeking and the Performance of Public Irrigation Systems"; World Resources Institute, A center for Policy Research, Report 4; 1986.

[2] Douglas, J. M. Expanding the Frontiors of Irrigation Management Research. International, Irrigation Management Institute; 1997.

[۳] معاونت امور آب، «اولویتهای تحقیقاتی وزارت نیرو»؛ معاونت پژوهشی دفتر پژوهشهای کاربردی و پشتیبانی علمی؛ فراخوان تحقیقاتی؛ ۱۳۸۱.

www.SID.ir

Archive of SID

[4] Restrepo, C.G.; "A Methodology to Evaluate the Performance of Irrigation Systems: Application to Philippine National Systems"; Ph.D. Theses, Cornell University; 1983.

[۵] قاهری، ع؛ منعم، م. ج؛ غروی، ح؛ برهان، ن؛ ذوالفقاری، ع؛ احسانی، م؛ پور زند، ا؛ «مدل نظری و کامپیوتری ارزیابی عملکرد سیستمهای آبیاری و زهکشی»؛ مجموعه مقالات دهمین همایش کمیتهٔ آبیاری و زهکشی ایران؛ ۱۳۷۹؛ ص ۱۵٤-۱٤۳.

[۶] منعم، م. ج؛ علیرضایی، م؛ و صالحی، ا؛ «ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری به روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA»؛ مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، جلد ٦، شماره ٤؛ ۱۳۸۱.

[۷] وانگ لی؛ «سیستمهای فازی و کنترل فازی»؛ تشنه‌لب؛ چاپ اول، تهران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۱۳۷۸.

[8] Malano, H. M., Gao, G.; "Ranking and Classification of Irrigation System Performance Using Fuzzy Set Theory: Case Study in Australia and China"; Journal of Irrigation and Drainage Systems; Vol. 6, No. 2; pp. 129-148; 1992.

[9] Gowing, J.; Tarimo, A.; El-Awad, O.; "A Rational Method for Assessing Irrigation Performance at Farm Level with the Aid of Fuzzy Set Theory"; Journal of Irrigation and Drainage Systems, Vol.10, No. 2; pp. 319-330; 1996.

[10]Sam-Amoah, L. K.; Gowing, J. W.; "Assessing the Performance of Irrigation Schemes with Minimum Data on Water Deliveries"; Journal of Irrigation and Drainage; Vol.50, No. 3; pp.31-39; 2001.

[۱۱] حیدری‌یان س. ا.؛ منعم، م. ج.؛ فرداد، ح.؛ لیاقت، ع.؛ قاهری، ع.؛ تشنه‌لب، م.؛ «مدول ارزیابی عملکرد سیستمهای آبیاری با به‌کارگیری رویکرد فازی»؛ مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان؛ جلد ۱۲، شماره ۱؛ بهار ۱۳۸۵.

[۱۲] زهیدی، ر؛ *کاربردهای صنعتی منطق و شبکه‌های عصبی فازی*؛ چاپ اول؛ تهران، انتشارات نشر دانشگاهی؛ ۱۳۸۰.

[۱۳] مهندسین مشاور پندام؛ «پروژه بهسازی آبیاری دشت بهبهان. پیش‌نویس گزارش مطالعات برنامه‌ریزی ارزیابی عملکرد شرکت آبیاری دشت بهبهان»؛ ۱۳۷۹.

www.SID.ir