

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

محمدجواد منعم<sup>۱\*</sup>، جمشید خرمی<sup>۲</sup>، سیداحمد حیدری‌یان<sup>۳</sup>

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 به مراتب پایین‌تر از حد مورد انتظار است. برای بهبود کارایی شبکه‌ها اولین گام، ارزیابی عملکرد آنها است. بدین منظور تاکنون روش‌هایی نظری و کمی بر مبنای مجموعه‌ای از عواملی که از اندازه‌گیری در سطح شبکه به دست 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 به صورت کمی انعکاس یابد که این خواسته با روشهای مرسوم ممکن نیست. در این تحقیق به منظور برطرف ساختن برخی از مشکلات در روشهای ارزیابی فعلی، از منطق فازی استفاده شده است. به منظور نمایش قابلیت‌های منطق فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، مدلی براساس سیستم استنتاج فازی حداقل- حداکثر مددانی و روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل تدوین شده و با استفاده از این مدل، عملکرد شبکه آبیاری مارون از دیدگاه کلی مدیریتی ارزیابی شده است. ۲۲ پارامتر به صورت 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 نمره ارزیابی عملکرد شبکه از دیدگاه کلی مدیریتی ۰/۷۱ است که با درجه عضویت ۰/۳۴ به طبقه متوسط و با درجه عضویت ۰/۶۶ به طبقه خوب تعلق دارد. برخلاف روشهای مرسوم، در روش ارزیابی فازی با توجه به امکان ارزیابی کمی برخی از شاخصهای نادقیق و توصیفی مانند رضایتمندی، انعطاف‌پذیری و اعتمادپذیری - که در شبکه‌های آبیاری اهمیت شایان توجهی دارند - و با در نظر 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.

## ۱- مقدمه

مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی شبکه‌های آبیاری بیانگر آن است که عملکرد بیشتر آنها به علت ضعف در طراحی و اجرا، نگهداری و بهره‌برداری نامناسب و فقدان مدیریت کارآمد، به مراتب 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<sup>۱</sup> قرار گرفته است [۲]. در ایران نیز مؤسسات مرتبط، توجه خاصی به این موضوع داشته‌اند به طوری که 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 عمده روشهای ارزیابی نظری و کمی تقسیم کرد. روشهای نظری چگونگی بررسی موضوع را به صورت توصیفی و تشریحی مطرح ساخته و به تعیین شاخصهای کمی نپرداخته‌اند. روشهای نظری که تاکنون در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری به کار رفته، عبارتند از: تجزیه و تحلیل تشخیصی<sup>۲</sup> (DA)، ارزیابی سریع<sup>۳</sup> (RA)، روش مرجع<sup>۴</sup> (RM) و ارزیابی چارچوبی<sup>۵</sup> (FA). مهمترین نارسایی روشهای نظری، عدم ارائه عملکرد سیستم به صورت کمی است. در روشهای کمی، محققان با هدف خاص خود، شاخصهای مختلفی را پیشنهاد کرده و با اندازه‌گیریهای میدانی یا شبیه‌سازی ریاضی، مقادیر شاخصها را به صورت کمی تعیین کرده‌اند.

یکی از روشهای جامع کمی مبتنی بر اندازه‌گیریهای میدانی، روش کمی کلاسیک است که توسط رستریو در

سال ۱۹۸۳ ارائه شده است [۴]. مدل ارزیابی پاییز<sup>۶</sup> 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. به منظور پرهیز از نظرهای متفاوت کارشناسی در تعیین استانداردها، روش تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۷</sup> (DEA) که در سایر علوم نیز به کار رفته، برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری استفاده شده است [۶]. در این روش استانداردها به صورت مقایسه‌ای و با استفاده از بهینه‌سازی خطی تعیین می‌شود. روشهای ارزیابی کمی اگرچه موجب توسعه فناوری موجود در زمینه ارزیابی شده‌اند، اما همچنان دارای نارساییهایی هستند که به شرح زیر است:

الف- علی‌رغم تلاشهای گسترده‌ای برای تعریف کمی انواع شاخصها، برخی از متغیرهای مؤثر بر عملکرد وجود دارند که همچنان به صورت کیفی بیان شده‌اند و تاکنون شاخصهایی کمی برای آنها بیان نشده و هنوز ناچاریم اثر آنها را بر عملکرد، به صورت توصیفی و تشریحی بیان کنیم زیرا روشهای کمی 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 طبقه 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

عملکرد سیستم به صورت جهشی از یک طبقه به طبقه دیگر تغییر نماید که اصولاً قابل قبول و توجیه نیست. با توجه به اثر طیفی و دامنه دار شاخصها، تشریح مرز آنها به صورت قطعی به خوبی نمی تواند منعکس کننده اثر آنها بر عملکرد باشد.

ج- بسیاری از عوامل مؤثر بر عملکرد که به صورت کمی بیان می شوند در عمل باید اندازه گیری شود. اما به علت محدودیتهای فنی، مدیریتی و مالی در بیشتر شبکه ها این اندازه گیریها انجام نمی شود یا در صورت اندازه گیری، داده ها 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 در نظر گرفته شود و این مسأله ای است که در روشهای مرسوم نادیده گرفته می شود.

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، می تواند بسیاری از مفاهیمی را که دارای متغیرهای توصیفی و نادقیق، طیفی و دامنه دار هستند، شکل ریاضی ببخشد و امکان تجزیه تحلیل کمی آنها را فراهم سازد [۷]. با توجه به قابلیت های روش فازی در به کارگیری متغیرهای نادقیق و توصیفی و بهره گیری از طبقه بندی طیفی، می توان شاخصهایی را که در ارزیابیهای مرسوم نادیده گرفته می شوند یا اثر آنها در تجزیه تحلیل به خوبی منعکس نمی شود به نحو مطلوبی در نظر گرفت و مشکلات ناشی از به کارگیری مرزهای قطعی در طبقه بندی شاخصهای ورودی و عملکرد شبکه را برطرف کرد. بدین ترتیب با استفاده از روش فازی می توان بخشی از نارسایی های روشهای مرسوم ارزیابی مانند نادیده گرفتن متغیرهای توصیفی، عدم به کارگیری اطلاعات نادقیق ولی مهم و عدم توجه به مرزهای طیفی طبقه بندی را برطرف ساخت. مالانو و همکاران در سال ۱۹۹۲ از روش خوشه بندی فازی برای رتبه بندی دو شبکه

آبیاری کاملاً متفاوت در استرالیا و چین استفاده کردند [۸]. ایشان صرفاً از شاخصهای کمی 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 آمو 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 به کار رفته، اما ارزیابی صرفاً در سطح مزارع بوده و ارزیابی شبکه انجام نشده است. به تازگی حیدری یان و همکاران در سال ۱۳۸۳ مدلی را برای کاربرد روش فازی به منظور ارزیابی عملکرد سیستمهای آبیاری تهیه کرده و آن را برای شبکه قزوین استفاده کرده اند [۱۱].

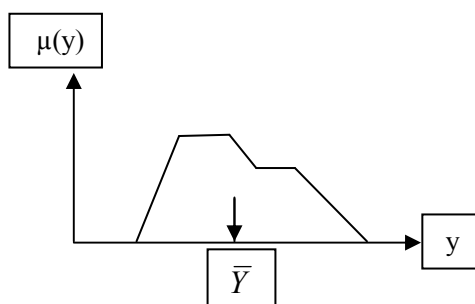
در این تحقیق به منظور بهره گیری از تواناییهای منطق فازی در ارزیابی عملکرد شبکه های آبیاری، مدل ارزیابی فازی به کار رفت و سعی شد با کاربرد آن برای شبکه آبیاری مارون، قابلیت این روش در برطرف ساختن محدودیت های روشهای مرسوم ارزیابی در سطح شبکه ها نشان داده شود.

## 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 می کنند. در مدلهای فازی خالص، ورودیها به صورت متغیرهای بیانی فازی مطرح شده، با قواعد فازی "اگر-آنگاه" خروجیها به صورت متغیرهای بیانی فازی تولید می شود که برای مسائل مهندسی با ورودی و خروجیهای حقیقی کاربرد ندارد. در مدل TSK<sup>۱</sup>

1. Takagi-Sugeno-Kang



شکل ۱ غیرفازی‌ساز مرکز ثقل

$$\bar{y} = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy} \quad (1)$$

که در آن  $y$  مقدار خروجی  $\mu(y)$  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 ارائه خدمات موردنظر به مشتریان 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 به کار برد. در کوتاه‌مدت، وظیفه اصلی مدیریت شبکه انجام عملیات بهره‌برداری برای توزیع و

بخش "آنگاه" قواعد فازی به صورت 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 - که به علت ساختار ساده و مؤثر - بیشترین کاربرد را در مسائل عملی پیدا کرده، استفاده شده است. در این روش که برای قواعد عطفی به کار 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 به دست 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. روشهای مختلف غیرفازی‌ساز مانند روش مرکز ثقل، مرکز مجموعه‌ها، روش ارتفاع و روش متوسط حداکثر، در تحقیقات مختلف به کار 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.

تحويل آب مورد نیاز به مشترکان است. در میان مدت، مدیریت شبکه باید با نگهداری مناسب و تعمیرات به موقع، شرایط بهره‌برداری مطلوب از شبکه را تأمین نماید. اهداف بلندمدت مدیریت، پوشش بخش معینی از اراضی و تولید محصول کشاورزی است. بدین ترتیب عملکرد کلی مدیریت شبکه در قالب چهار شاخص اصلی بهره‌برداری، تحويل آب، تعمیر و نگهداری و کشاورزی منعکس می‌شود. هر یک از شاخصهای اصلی، تابعی از مجموعه‌ای از شاخصهای جزئی 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 تحويل آب، سه شاخص انعطاف‌پذیری، اعتمادپذیری و راندمان کل به‌کار رفته است. انعطاف‌پذیری سیستم، رابطه نزدیکی با روش تحويل 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 مسئولیت تنظیم و توزیع آب در کانالهای درجه سه، به‌صورت گردشی به‌عهده زارعان است. اعتمادپذیری، میزان پایداری دبی تحويلی و قابلیت پیش‌بینی زمان تحويل آب را از دیدگاه زارعان نشان می‌دهد. این دو شاخص به‌صورت کیفی بیان می‌شوند. بدین ترتیب ارزیابی عملکرد کلی

مدیریت شبکه براساس چهار شاخص اصلی و به‌کمک ۱۲ شاخص جزئی 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 جزئی تعیین شد. در بخش تحويل آب و کشاورزی، مقادیر تعیین شده عوامل مستقیماً به‌عنوان شاخصهای جزئی در نظر گرفته شده است. برای هر یک از شاخصهای اصلی، کلیه شاخصهای جزئی 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: ارزیابی عملکرد بهره‌برداری براساس سه شاخص جزئی نیروی انسانی، ماشین‌آلات و مشترکان.

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

بخش سوم: ارزیابی عملکرد تحويل آب براساس سه شاخص جزئی راندمان، انعطاف‌پذیری و اعتمادپذیری.

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

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

جدول ۱ شاخصها و عوامل ارزیابی مدیریتی شبکه

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

## ۲-۳- معرفی مدل مورد استفاده

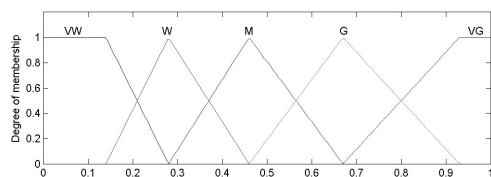
مدلسازی این تحقیق در نرم‌افزار MATLAB نسخه ۶/۵ براساس استنتاج فازی حداقل- حداکثر ممدانی و روش غیرفازی‌ساز مرکز ثقل انجام شد.

برای فازی‌سازی شاخصهای ورودی و خروجی، با توجه به اهمیت شاخصها، دامنه تغییرات آنها و تأثیر کمی و کیفی آنها بر عملکرد سیستم، پنج طبقه برای هر یک از شاخصها در نظر گرفته شد. این طبقات خیلی ضعیف (VW)، ضعیف (W)، متوسط (M)، خوب (G) و خیلی خوب (VG) بوده و به ترتیب از ۱ تا ۵ شماره‌گذاری شده‌اند. با توجه به کاربرد

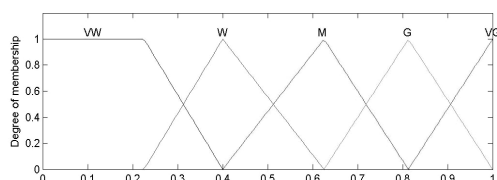
گسترده توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای در مسائل کاربردی و تجربه محدود کاربرد تئوری فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری، در این تحقیق توابع عضویت مثلثی و دوزنقه‌ای هر دو به کار رفته است. در طبقاتی که تغییر مقادیر شاخص در یک محدوده، تأثیر یکسانی بر عملکرد داشته باشد، از تابع عضویت دوزنقه‌ای (که برای یک محدوده، ثابت است) و در غیراین صورت 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 مسئولان شبکه

مربور 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.

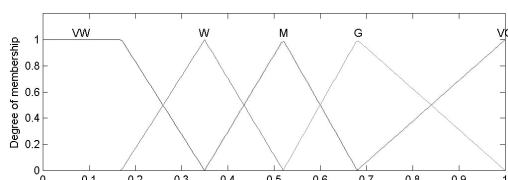
در این جدول شماره مربوط به هر شاخص، بیانگر طبقه آن شاخص و وزن قاعده، درجه عضویت خروجی مربوط به هر یک از طبقات موردنظر است.



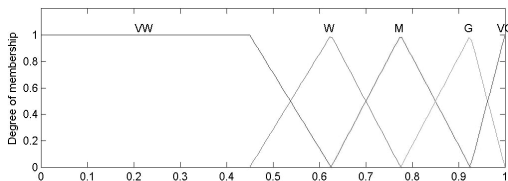
شکل ۲ فازی سازی شاخص بهره‌برداری



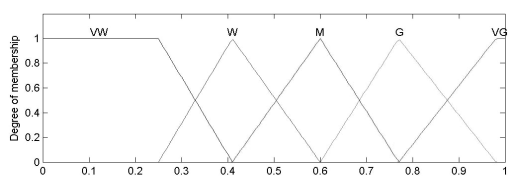
شکل ۳ فازی سازی شاخص تعمیرات و نگهداری



شکل ۴ فازی سازی شاخص تحویل آب



شکل ۵ فازی سازی شاخص کشاورزی



شکل ۶ فازی سازی شاخص عملکرد شبکه از دیدگاه کلی مدیریتی

تعیین شده است. پس از فازی سازی شاخصهای ورودی با توجه به تعیین مرز طبقات همنام، با میانگین گیری آنها مرز طبقه همنام در شاخص خروجی به صورت فازی مشخص می‌شود. همچنین توابع عضویت کلیه شاخصهای جزئی 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 فازی سازی شاخصهای ورودی و خروجی، مرحله 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 رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$I = K_1 \times \dots \times K_2 \times K_n \quad (2)$$

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 ۵<sup>۴</sup> قاعده انجام شود. در ارزیابی عملکرد شبکه مارون، مقادیر هر یک از شاخصهای ارزیابی متعلق به دو طبقه است، بنابراین برای استنتاج نهایی تعداد قواعد مورد نیاز ۱۶ = ۲<sup>۴</sup> 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 غیرفازی سازی 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 به دست می‌آید. بنابراین ۱۶ قاعده

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

ردیف	بهره‌برداری	تعمیرات و نگهداری	تحويل آب	کشاورزی	طبقه شاخص خروجی	وزن قاعده
۱	۴	۲	۳	۳	۲	۰/۰۴
۲	۴	۲	۳	۳	۳	۰/۹۶
۳	۴	۲	۳	۴	۳	۰/۸۳
۴	۴	۲	۳	۴	۴	۰/۱۸
۵	۴	۲	۴	۳	۳	۰/۸۲
۶	۴	۲	۴	۳	۴	۰/۱۸
۷	۴	۲	۴	۴	۳	۰/۶
۸	۴	۲	۴	۴	۴	۰/۴
۹	۴	۳	۳	۳	۳	۰/۷۲
۱۰	۴	۳	۳	۳	۴	۰/۲۸
۱۱	۴	۳	۳	۴	۳	۰/۵
۱۲	۴	۳	۳	۴	۴	۰/۵
۱۳	۴	۳	۴	۳	۳	۰/۴۸
۱۴	۴	۳	۴	۳	۴	۰/۵۲
۱۵	۴	۳	۴	۴	۳	۰/۲۶
۱۶	۴	۳	۴	۴	۴	۰/۷۴
۱۷	۵	۲	۳	۳	۳	۰/۶۷
۱۸	۵	۲	۳	۳	۴	۰/۳۳
۱۹	۵	۲	۳	۴	۳	۰/۴۵
۲۰	۵	۲	۳	۴	۴	۰/۵۵
۲۱	۵	۲	۴	۳	۳	۰/۴۳
۲۲	۵	۲	۴	۳	۴	۰/۵۷
۲۳	۵	۲	۴	۴	۳	۰/۲۱
۲۴	۵	۲	۴	۴	۴	۰/۷۹
۲۵	۵	۳	۳	۳	۳	۰/۳۴
۲۶	۵	۳	۳	۳	۴	۰/۶۶
۲۷	۵	۳	۳	۴	۳	۰/۱۱
۲۸	۵	۳	۳	۴	۴	۰/۸۹
۲۹	۵	۳	۴	۳	۳	۰/۱
۳۰	۵	۳	۴	۳	۴	۰/۹
۳۱	۵	۳	۴	۴	۴	۰/۹
۳۲	۵	۳	۴	۴	۵	۰/۱



### ۳- نتایج ارزیابی عملکرد شبکه 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 به دست 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 به دست 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 در نظر 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 به دست 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 به دست 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

توابع عضویت				مقدار شاخص	عنوان شاخص
درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت	طبقه		
۰/۲۲	بسیار خوب	۰/۷۸	خوب	۰/۸۳	نیروی انسانی
۰/۵۶	بسیار خوب	۰/۴۴	خوب	۰/۸۷	ماشین‌آلات
۰/۴۴	بسیار خوب	۰/۵۶	خوب	۰/۶۶	مشترکان
۰/۲۶	بسیار خوب	۰/۷۴	خوب	۰/۷۴	بهره‌برداری

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

توابع عضویت				مقدار شاخص	عنوان شاخص
درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت	طبقه		
-	-	۱	بسیار ضعیف	۰/۱۴	راندمان
۰/۲۵	بسیار خوب	۰/۷۵	خوب	۰/۸۵	انعطاف‌پذیری سیستم
۰/۵	خوب	۰/۵	متوسط	۰/۷۵	اعتمادپذیری سیستم
۰/۷۸	خوب	۰/۲۲	متوسط	۰/۶۴	سیستم تحویل آب

جدول ۵ نتایج ارزیابی بخش تعمیرات و نگهداری و شاخصهای مربوط

توابع عضویت				مقدار شاخص	عنوان شاخص
درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت	طبقه		
۰/۳۲	متوسط	۰/۶۸	ضعیف	۰/۴۸	میزان تعمیرات و نگهداری در کانالهای درجه یک
۰/۵۳	ضعیف	۰/۴۷	بسیار ضعیف	۰/۲۳	میزان تعمیرات و نگهداری در کانالهای درجه دو
۰/۹۳	متوسط	۰/۰۷	ضعیف	۰/۷۳۳	وضعیت سازه‌ها در کانالهای درجه یک
۰/۵	خوب	۰/۵	متوسط	۰/۷	وضعیت سازه‌ها در کانالهای درجه دو
۰/۵۶	متوسط	۰/۴۴	ضعیف	۰/۵۲	شاخص تعمیرات و نگهداری

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 به صورت فازی ارائه شده است. با توجه به مقادیر به دست 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.

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 به دست آمده که با درجه عضویت ۰/۱۴ به طبقه متوسط و ۰/۸۶ به طبقه خوب تعلق دارد.

جدول ۶ نتایج ارزیابی عملکرد بخش کشاورزی و شاخصهای مربوط

توابع عضویت				مقدار شاخص	عنوان شاخص
درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت	طبقه		
-	-	۱	بسیار خوب	۱	تولید محصول در واحد هکتار
۰/۶	خوب	۰/۴	متوسط	۰/۹۱	سطح قابل کشت
۰/۸۶	خوب	۰/۱۴	متوسط	۰/۹۰	کشاورزی (خروجی)

جدول ۷ نتایج ارزیابی از دیدگاه کلی مدیریتی و شاخصهای مربوط

توابع عضویت				مقدار	بخشهای ارزیابی و شاخص خروجی
درجه عضویت	طبقه	درجه عضویت	طبقه	شاخص	
۰/۲۶	بسیار خوب	۰/۷۴	خوب	۰/۷۳	بهره‌برداری
۰/۵۶	متوسط	۰/۴۴	ضعیف	۰/۵۲	تعمیرات و نگهداری
۰/۷۸	خوب	۰/۲۲	متوسط	۰/۶۴	سیستم تحویل آب
۰/۸۶	خوب	۰/۱۴	متوسط	۰/۹۰	کشاورزی
۰/۶۶	خوب	۰/۳۴	متوسط	۰/۷۱	دیدگاه کلی مدیریتی

#### ۴- نتیجه‌گیری

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 مسئولان محترم شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری مارون و شرکت مهندسان مشاور «آب کاوش سرزمین» که در ارائه 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 Frontiers 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.

در این تحقیق نشان داده شد که چگونه می‌توان از قابلیت‌های روش فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری استفاده کرد. کاربرد ترکیبی از شاخصهای کمی و کیفی - که در روشهای مرسوم امکان‌پذیر نیست - با استفاده از این روش به راحتی انجام شده است. در نظر گرفتن متغیرهای نادقیق با مرزهای طیفی و دامنه‌دار - که در روشهای معمول انجام نمی‌شود - امکان اعتماد بیشتری را نسبت به نتایج ارزیابی فراهم می‌کند. بدین ترتیب ارزیابی عملکرد شبکه مارون از دیدگاه کلی مدیریتی براساس چهار شاخص بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری، تحویل آب و کشاورزی برابر ۰/۷۱ به دست 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، پیشنهادها 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،

- [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] حیدریان 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.
- [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.; پورزند، ا.; «مدل نظری و کامپیوتری ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی»; مجموعه مقالات دهمین همایش کمیته آبیاری و زهکشی ایران; ۱۳۷۹; ص ۱۵۴-۱۴۳.
- [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 ۶، شماره ۴؛ 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.