

به کارگیری رویکرد فازی در ارزیابی سیستم‌های آبیاری

سیداحمد حیدریان*

حسین فرداد**

محمدجواد منعم***

عبدالمجید لیاقت****

عباس قاهری*****

محمد تشنهل*****

(دریافت ۸۱/۱۱/۲۶ پذیرش ۸۲/۵/۲۹)

چکیده

طراحی یک مدل فراگیر ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری متأثر از پارامترهای نامعین طبیعی و عدم قطعیت مقادیر بسیاری از پارامترهای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری می‌باشد. از آنجا که سیستم آبیاری برای خدمت به کشاورزان بنا شده، سودمندی سیستم از نگاه کشاورزان، مهم‌ترین قسمت ارزیابی عملکرد یک سیستم می‌باشد. معمولاً کمی کردن مستقیم این شاخص‌ها ممکن نبوده و لذا کاربرد تئوری مجموعه‌های فازی، به عنوان رویکردی جایگزین توصیه می‌شود. ارزش این روش در توانایی آن در جمع‌آوری داده‌ها به زبان طبیعی و پذیرش قضاوت ذینفع‌های اصلی در کنار عوامل فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد. در این تحقیق با جداسازی پارامترهای مورد نظر مدیران و آب‌بران و تعریف شاخص‌های فازی، امکان ارزیابی مدیریتی از نگاه قضاوت آب‌بران فراهم گردیده است. هم‌چنین با تعریف به‌کارگیری شاخص‌های مقدماتی و قواعد فازی، امکان اعمال اثرات متقابل شاخص‌ها در ارزیابی فراهم گردیده است. با توجه به مدول طراحی شده، شاخص‌ها با مقادیر قطعی نیز فازی سازی شده و سپس با استفاده از مدل مددانی برای استنتاج فازی به کار گرفته شده است. لذا در صورت نیاز، امکان تعریف کلیه شاخص‌ها به صورت فازی و به کارگیری آن در مدل فراهم می‌باشد. این توانایی زمینه‌ای مناسب برای توسعه مدل و به کارگیری صحیح‌تر هرگونه زمینه مغشوش (بدون مرز) بین مقادیر شاخص‌ها را نیز فراهم نموده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که به کارگیری مقادیر شاخص‌ها در ارزیابی، بدون در نظر گرفتن اثر متقابل فاکتورها، ماهیت فازی داده‌ها، تفکیک شرایط و اهداف ارزیابی، نتیجه ارزیابی را از راه‌کارهای کاربردی که از اهداف اصلی و نهایی ارزیابی بوده، دور می‌سازد. مقایسه مقادیر ارزیابی حاصل کاربرد این مدل، مدیریت تحویل از نگاه قضاوت کشاورزان را به میزان ۰/۳۹ و ارزیابی مدیریت از نگاه کارشناسی به میزان ۰/۵۸ و ارزیابی کفایت آبیاری از نگاه کشاورزان برابر ۰/۳۸ و از نگاه کارشناسی را به میزان ۰/۸۲ نشان داده است. این ارقام نشان می‌دهد که مشکلات اصلی مدیریت بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری، کمبود آب و بدی شرایط فیزیکی شبکه نبوده، بلکه این مشکل بیشتر در عدم تناسب برنامه بهره‌برداری با نیاز واقعی کشاورزان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، شبکه آبیاری، سیستم‌های فازی.

Application of Fuzzy Rule in Assessment of Irrigation Systems

Hidarian, A. (M.Sc.), Fardad, H. (Ph.D), Monam, M. (Ph.D)
Lyaghat, A. (Ph.D), Ghaheri, A. (Ph.D), Teshnelab, M. (Ph.D)
Faculty of Agriculture, Karaj

Abstract

The basic concept of this paper is to establish systematization of performance assessment. To improving a methodology for integrated model on performance assessment of irrigation systems is subjected to uncertainty of natural events and vagueness or fuzziness of management characteristics

* عضو هیات علمی مرکز تحقیقات آبخیزداری

** دانشیار دانشکده کشاورزی کرچ، دانشگاه تهران

*** استاد . دانشکده کشاورزی کرچ، دانشگاه تهران

**** دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت

***** استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

***** استادیار دانشکده برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

objectives. It is important to consider the objective of irrigation system as a service to be provided for farmers. The main issue of performance assessment is to provide indicators, based on subjective judgments of management environment. Initial indicators and fuzzy rule are defined as a physical and institutional condition of system and inter relation of indicators respectively.

In this model level of water users and irrigation water supply agency is distinguished, linguistic-expression indicators are defined, all indicators are fuzzified, Mamdani fuzzy system is implied, these foresaid is enabled the model to assess each fuzziness condition, and assessment of irrigation management transfer and upgrading management. Results indicated that measured performance indicators for a given design or intended value can be subjected to significant rule that could describe the interrelationship between different parameters of performance. The effects of various types of fuzziness and the assessment of irrigation performance for irrigation water delivery are investigated. Management performance measures from water users and irrigation water supply agency judgments in the pilot were 39% and 58% respectively, adequacy indicator from water users and irrigation water supply agency judgments were 38% and 82% respectively, these two measures shows that unfavorites physical and natural condition is not the main problem of the system. But difference between actual water users needs, and insufficient plan of water delivery, is the main problem of the system.

مقدمه

فازی برخورد با عدم قطعیت ناشی از اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. این سیستم‌ها در چهار دهه قبل مطرح و در دهه اخیر جایگاه خود را در علوم مهندسی باز کرده است.

طراحی یک مدل فراگیر ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری نه تنها متأثر از پارامترهای نامعین طبیعی نظیر موارد فوق‌الذکر بوده، بلکه عدم قطعیت مقادیر بسیاری از پارامترهای مدیریت بهره‌برداری و نگهداری، تأثیر قابل توجهی بر نتیجه ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری می‌گذارد. حاصل این تأثیرات منفی، بی‌اعتبار بودن نتیجه ارزیابی و بی‌توجهی مدیران به ضرورت ارزیابی را به همراه خواهد داشت. ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری^۱ بخش عمده‌ای از مدیریت شبکه برای هر یک از سطوح مدیریت را شامل می‌شود. ارزیابی عملکرد یک فرآیند بررسی عملیات اجرایی^۲، تشخیص نارسایی‌ها^۳، ارزشیابی اهداف عملکرد و نهایتاً ایجاد زمینه‌ای مناسب برای برآورد چگونگی رفع نارسایی‌ها و به روز کردن اهداف پروژه می‌باشد [۱۶]. مشکلات روش‌شناسی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری را می‌بایست در ضعف شناخت نارسایی‌ها در طول بهره‌برداری جستجو کرد. وجود همین ضعف، انتخاب فرآیند ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری را پیچیده کرده است. دانشمندان امر آبیاری و زهکشی سال‌هاست در سطح بین‌المللی بر روی روش‌شناسی این فرآیند مطالعه می‌کنند و هنوز به معیارها و روش‌های نتیجه

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دلیل تنوع موضوعی و ماهیت شاخص‌های طبیعی و اجتماعی، دارای پارامترهای غیرقطعی، گسترده و دینامیک می‌باشد. این عوامل باعث می‌گردد که برخورد دقیق با این گونه مسائل عملاً غیر ممکن باشد. اکثر روش‌های کلاسیک ارزیابی عملکرد بر پایه بررسی‌های تجربی و یا در بهترین حالت استفاده از روابط پیچیده هیدرولیکی برای بررسی شرایط جریان و نهایتاً میزان و چگونگی تحویل آب بوده و در واقعیت انحراف قابل توجهی از شرایط واقعی دارند. به عنوان مثال دبی جریان در هر زمان تابعی پیچیده از شرایط قبلی جریان و راندمان کاربرد آن نیز تابعی پیچیده از شرایط قبل خاک و گیاه می‌باشد. برای اندازه‌گیری این پارامترها، فرد ارزیابی کننده ناچار به ساده‌سازی و وارد کردن فرضیات فراوان در مدل ارزیابی بوده و ماحصل تغییرات و فرضیات ارزیابی غیرواقعی، در شرایط مسئله غیرواقعی می‌باشد [۴]. در صورتی که اطلاعات کافی از داده‌ها و ستاده‌ها و مقادیر طراحی و مورد انتظار اولیه برنامه تحویل آب در اختیار باشد، می‌توان از روش‌های آماری برای تحلیل مسئله استفاده کرد. این روش‌ها نیازمند تعداد قابل توجهی داده از وضعیت و شرایط گذشته تکرار ناپذیر می‌باشد. معمولاً برای دستیابی به این داده‌ها، اقدام به یک سری اندازه‌گیری‌ها در شرایط خاص و غیر واقعی گردیده، که با شرایط واقعی و تنوع شرایط در یک دوره آبیاری، هیچ‌گونه غرابتی ندارد. یکی از کاربردهای منطق

¹ Performance Assessment of Irrigation Systems

² Current Operation

³ Diagnosis

بخش مطلوب دست نیافته‌اند [۶]. در این رابطه گروه کار ارزیابی، زیر نظر کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی بعد از یک دهه فعالیت مستمر، نتوانست روش مناسب و فراگیری برای ارزیابی شبکه‌ها ارائه نماید و آخرین پیش‌نویس ارائه شده این گروه، از نقاط ضعف بسیاری برخوردار می‌باشد. روش‌های موجود ارزیابی، چه روش‌های کمی مانند: کلاسیک و روش تحلیل پوششی داده‌ها^۱ و چه روش‌های نظری مانند: روش تحلیل تشخیصی^۲ و روش ارزیابی سریع^۳، هیچ‌یک نتوانست مشکلات موجود را مرتفع نماید. روش‌های کمی با قرار گرفتن در مقابل فاکتورهای متنوع و پیچیده که یا در دسترس نبوده و یا در صحت آن‌ها تردید بوده، با وارد کردن فرضیات غیرواقعی در مسائل، ارزش تجزیه و تحلیل انجام شده را غیر کاربردی نموده است. برای مثال، در مطالعات کاربردی، استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با مشکل روبرو می‌باشد، عدم امکان استفاده از اعداد قطعی در بسیاری از موارد از جمله مشکلات است [۴]. اولین بار سنگویتا^۴ در سال ۱۹۹۲ برنامه‌ریزی فازی را برای رفع این مشکل به کار برد. بعدها گو و تاناکا^۵ در سال ۲۰۰۱ نیز این موضوع را مورد توجه قرار دادند [۱۴]. روش‌های نظری مانند ارزیابی سریع، اگرچه از ویژگی‌های زیادی برخوردار بوده، لیکن به دلیل حجم زیاد داده‌ها [۹]، مقادیر نادقیق فاکتورها و ماهیت مغشوش (بدون مرز) داده‌ها، در تجزیه و تحلیل آن‌ها با مشکل روبرو می‌باشد. طرح رویکرد مدیریت مشارکتی^۶ در دهه ۱۹۷۰ توسط چمبرز^۷ با استفاده از روش ارزیابی مشارکتی روستایی (PRA)^۸، اگرچه بر رهیافت ارزیابی با نگرش چند هدفه^۹ منطبق بود، لیکن در کاربرد این روش نیز مشکلات فوق باقی بود. نمونه‌هایی از ارزیابی چند هدفه توسط نارایان و گوسلینگ^{۱۰} در سال ۱۹۹۳ و استروسر^{۱۱} در سال ۱۹۹۵ به کار رفته است [۱۳].

¹ Data Envelopment Analysis
² Diagnostic Analysis
³ Rapid Appraisal
⁴ Sengupta
⁵ Guo & Tanaka
⁶ Participatory Management
⁷ Chambers
⁸ Participatory Rural Appraisal
⁹ Multiperspective
¹⁰ Narayan & Gosselink
¹¹ Strosser

در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ تأکید بر شاخص‌های چند هدفه عملکرد بود. محققین هر یک با نگاه خاصی به عملکرد شبکه‌ها پرداخته و کمتر به اولویت‌های مورد نظر آب بران توجه داشته‌اند. چمبرز در سال ۱۹۸۸ و اسمال و سوان سن^{۱۲} در سال ۱۹۹۰ اختلافات اساسی بین اولویت‌های زارعین و مدیران سیستم را مورد توجه قرار دادند [۱۴]. حاصل این چالش‌های علمی بر روش شناختی، ارزیابی عملکرد شبکه‌ها، پذیرش قضاوت ذینفع‌های اصلی در کنار فاکتورهای فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به همراه داشت. گوئینگ^{۱۳} در سال ۱۹۹۶ و سام‌عمو^{۱۴} در سال ۲۰۰۱ شاخص چند هدفه سودمندی آب را از نگاه قضاوت کشاورزان و ارزیابی شبکه‌ها به کار بردند [۱۷]. در تحقیق حاضر ضمن بررسی جامع روش‌های ارزیابی و شاخص‌های به کار گرفته در منابع مختلف داخلی و خارجی، چالش‌های چند دهه اخیر در روش شناسی ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری بررسی شده، و ضمن توجه ویژه به ارزیابی عملکرد مدیریتی سیستم، مدولی برای ارزیابی مرحله‌ای با استفاده از روش فازی ارائه گردیده است. هم‌چنین با به کارگیری سیستم‌های فازی^{۱۵} و با استفاده از نرم‌افزار فازی و برنامه‌نویسی در محیط مطلب^{۱۶} [۵]، امکان به کارگیری شاخص‌های فازی به همراه شاخص‌ها با مقادیر قطعی فراهم گردیده است.

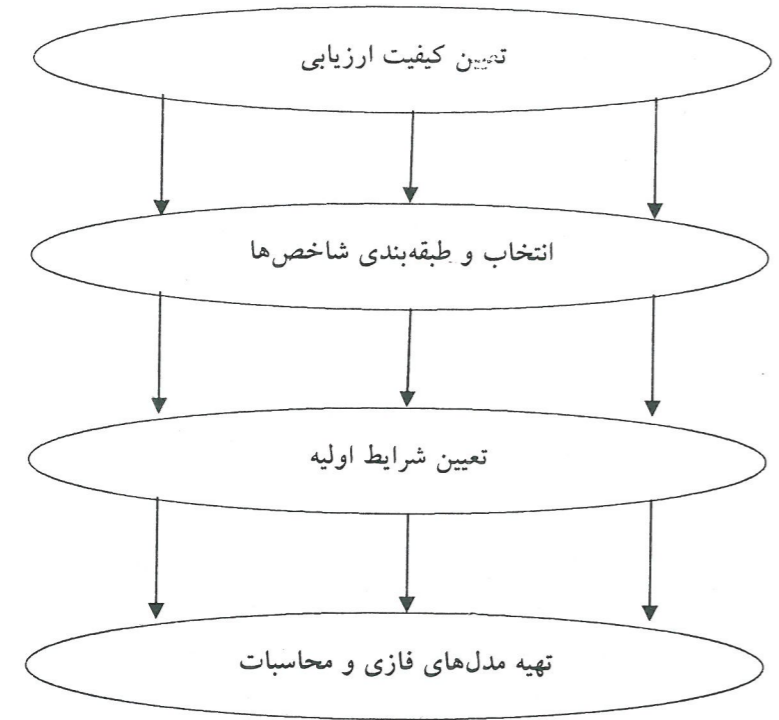
روش تحقیق

برای رفع مشکلات روش‌های گذشته ارزیابی و دستیابی به یک مدل فراگیر، مطالعات و بررسی منابع و گزارش‌های موجود در دو زمینه روش‌های ارزیابی و شاخص‌های ارزیابی به انجام رسید. مهم‌ترین منابع خارجی مورد استفاده شامل: کمیته بین‌المللی آبیاری زهکشی (ICID)، برنامه بین‌المللی در تحقیقات و فناوری آبیاری زهکشی (IPTIRID)، سازمان کشاورزی و غذا (FAO)، موسسه بین‌المللی مدیریت آبیاری (IIMI)، موسسه بین‌المللی توسعه و احیا اراضی (IILRI)، موسسه بین‌المللی هیدرولیک و محیط زیست (IHE)، شبکه

¹² Small & Svendsen
¹³ Gowing
¹⁴ Sum.Amou
¹⁵ Fuzay Systems
¹⁶ Matlab

بین‌المللی مدیریت آبیاری (INPIM)، موسسه ژاپنی آبیاری و زهکشی (JIID) و منابع داخلی شامل: مدل ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری (PAIS)^۱ و برنامه جامع نظارت شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور می‌باشد. جمع‌آوری داده‌های مربوط به شاخص‌های عملکردی در شبکه آبیاری قزوین شامل: داده‌های ثبت شده، تهیه فرم و پرسشنامه برای تعیین فاکتورهای ارزیابی، تهیه فهرست سوالات برای استفاده از روش ارزیابی سریع (RRA) و ارزیابی مشارکت مدار روستایی (PRA) صورت گرفته است. برای جلوگیری از مخدوش شدن و یا حفظ ارزشی داده‌های توصیفی، ابتدا پاسخ‌ها در قالب توصیف‌های بیانی "خیلی زیاد"، "زیاد"، "متوسط"، "کم" و "خیلی کم" جمع‌آوری شده و کاستی‌های موجود در قالب

^۱ Performance Assessment of Irrigation Systems



شکل ۱- مراحل انجام ارزیابی

تعاریف کمی جمع‌آوری شده است. چگونگی این انطباق به شرح زیر می‌باشد:
 داده‌های جمع‌آوری شده اعم از توصیفی و کمی، در پنج گروه زیر انطباق شده است.
 گروه اول: مقادیر عددی قطعی بین صفر تا یک و توصیف بیانی "خیلی زیاد".
 گروه دوم: مقادیر عددی قطعی بین یک تا دو و توصیف بیانی "زیاد".
 گروه سوم: مقادیر عددی قطعی بین دو تا سه و توصیف بیانی، "متوسط".
 گروه چهارم: مقادیر عددی قطعی بین سه تا چهار و توصیف بیانی "کم".
 گروه پنجم: مقادیر عددی قطعی بین چهار تا پنج و توصیف بیانی "خیلی کم".
 مراحل مختلف ارزیابی عملکرد به شرح زیر تفکیک گردیده است (شکل ۱).

(۱) تعیین و کیفیت ارزیابی، (۲) طبقه‌بندی شاخص‌ها، (۳) به کارگیری شاخص‌ها در مدل، (۴) طراحی مدل فازی و محاسبات ارزیابی براساس اهداف مورد نظر.

۱) تعیین کیفیت ارزیابی

تعیین تعداد شاخص‌های ارزیابی از دو جنبه زیر مورد توجه می‌باشد:

- تعداد شاخص‌ها در حدی باشد که کاربر به هدف مورد نظر از ارزیابی برسد.

- تعداد شاخص‌ها در حدی باشد که از جمع‌آوری اطلاعات اضافی و پرهزینه پرهیز شود.

براین اساس "روش ارزیابی" به دو صورت ذیل ممکن می‌باشد:

ارزیابی سریع: هدف از ارزیابی سریع دستیابی به مقادیر ارزیابی از یک سیستم، در چند مقوله محدودده مورد نظر بوده، به طوری که قابلیت‌ها و محدودیت‌های بهبود عملکرد و حدود میزان آن، با توجه به نوع ارزیابی و سطح ارزیابی بروز نماید. لذا در این حالت حداقل ممکن شاخص‌های مورد نیاز انتخاب گردیده و به کار گرفته می‌شود. در این حالت ارزیابی معمولاً نیازها در زمان کوتاه و با نتایج واقعی‌تر و کاربردی‌تر برآورده می‌شود. هم‌چنین برای دستیابی به اهداف فوق‌الذکر در سطوح بزرگ شبکه‌ها با تنوع تأسیسات انتقال و توزیع آب، این روش اقتصادی‌تر و قابل توصیه می‌باشد.

ارزیابی کامل: در این حالت با توجه به ارزیابی، شاخص‌های مورد نیاز برای بررسی جزئیات عملکرد و میزان آن به کار گرفته می‌شود. لذا در این حالت حداکثر ممکن شاخص‌ها، برای دستیابی به اهداف جزئی مورد نظر انتخاب گردیده و به کار گرفته می‌شود. این حالت ارزیابی معمولاً برای کشف مسائل و محدودیت‌ها، مورد توجه محققین می‌باشد. در صورتی که این نوع بررسی در سطح کوچک و صرف زمان طولانی‌تری همراه باشد، نتایج عملی مثبتی خواهد داشت. این روش برای سطوح بزرگ به دلیل وارد کردن فرضیات با حذف شرایط واقعی روبرو بوده است. لذا به این دلیل ارزش کاربردی آن نسبت به روش ارزیابی سریع کمتر می‌باشد.

۲) طبقه‌بندی شاخص‌های ارزیابی

در این تحقیق پس از تعیین روش ارزیابی، انتخاب شاخص‌ها متناسب با نوع کاربرد آن‌ها به گروه‌ها و طبقات

مختلف (۱) سطوح ارزیابی، (۲) وضعیت مدیریتی، (۳) نوع ارزیابی، به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

سطوح ارزیابی: در این رابطه ارزیابی به چهار سطح سیاست‌گذاران، مدیران، آب بران و محققین تفکیک شده است. توجه به این موضوع الزامی است که سطوح ارزیابی نشان دهنده "سطح ارزشی شاخص" بوده و با "شاخص مورد نظر هر سطح" متفاوت است.

وضعیت مدیریتی: مدیریت یک شبکه آبیاری و زهکشی می‌تواند کاملاً دولتی، نیمه دولتی، خصوصی و یا مشارکتی باشد. به کارگیری شاخص‌ها، متناسب با شرایط مختلف مدیریتی ضروری است.

نوع ارزیابی: در این نوع طبقه‌بندی، شاخص‌های ارزیابی در پنج گروه شامل: (۱) شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدیریتی، (۲) فنی، (۳) اقتصادی-مالی (۴) زیست‌محیطی، (۵) اجتماعی، تفکیک شده است. برای استفاده حداکثر از خروجی‌های مدل و دستیابی به اهداف تحقیق و هم‌چنین به کارگیری سیستم کنترل فازی، این گروه‌ها خود به گروه‌های کوچک‌تر تقسیم گردیده است.

۳) به کارگیری شاخص‌ها در مدل

شاخص‌ها با توجه به (۱) نوع شبکه، (۲) شرایط طبیعی، (۳) مقدماتی و اصلی، برای تعیین شرایط اولیه سیستم به کار می‌رود.

نوع شبکه: ارزیابی در یک سیستم آبیاری و زهکشی مدرن و سنتی متفاوت بوده و به کارگیری شاخص متناسب با نوع شبکه الزامی است. در این رابطه سه نوع شبکه با عناوین مدرن، سنتی و تلفیقی پیش‌بینی شده است و در هر یک شاخص‌های متناسب اختیار می‌گردد.

شرایط طبیعی: با توجه به این که وضعیت متغیر طبیعی و به تبع آن تغییر در میزان حجم آب قابل تحویل، در برنامه‌های تحویل آب تأثیرات قابل توجهی می‌گذارد، لذا لازم است که در این حالت مدیریت خاص اعمال گردد. در وضعیت اضطراری به لحاظ خشک‌سالی، مقادیر ارزشی برخی از شاخص‌ها تغییر کرده و همانند شرایط عادی این شاخص‌ها را نمی‌توان به کار گرفت. در شرایط عادی، دستیابی به منافع حداکثر از تولید محصول، و در شرایط کمبود آب و خشک‌سالی، ماندگاری سیستم و به منظور عبور از شرایط اضطراری اهمیت می‌یابد، لذا انتخاب و

چگونگی به کارگیری شاخص از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

تفکیک شاخص‌های مقدماتی و اصلی: به طور کلی شاخص‌ها به دو گروه (۱) شاخص‌های مقدماتی، و (۲) شاخص‌های اصلی، تقسیم شده‌اند. حاصل این تفکیک امکانات زیر را فراهم می‌نماید:

۱- شناخت وضعیت عمومی شبکه حاصل عملکرد شبکه از شروع طراحی، اجرا و نگهداری شبکه.

۲- ارزیابی عملکرد با توجه به شرایط مختلف (ارزیابی نسبی).

۳- ارزیابی عملکرد در دوره مورد نظر (ارزیابی مطلق).

۴- تعیین نوع شبکه و وضعیت طبیعی.

۵- ارائه یک استاندارد نسبی داخلی برای ارزیابی عملکرد به روش مقایسه‌ای.

علاوه بر امکانات فوق، زمینه تهیه یک مدل مرحله‌ای که قادر باشد با توجه به وضع موجود سطح و درجه اهمیت در به کارگیری هر شاخص را تعیین نماید، فراهم می‌گردد. در این صورت در بسیاری از موارد، تعداد قابل توجهی از شاخص‌ها حذف و یا با درجه اهمیت کمتری به کار گرفته شده و لذا ضمن صرفه‌جویی در هزینه‌های جمع‌آوری داده‌ها، داده‌های غیر ضرور و بعضاً انحرافی در نتیجه ارزیابی، حذف و یا با ارزش کمتری به کار گرفته می‌شوند.

انتخاب نتیجه ارزیابی: چهار شکل ارزیابی شامل: (۱) ارزیابی کامل عملکرد سیستم آبیاری، (۲) ارزیابی کلی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی، (۳) ارزیابی مطلق عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی، (۴) ارزیابی نسبی عملکرد شبکه آبیاری و زهکشی، به عنوان نتیجه ارزیابی در خروجی مدل خواهیم داشت.

۴) طراحی مدل فازی و انجام محاسبات

میزان ارزش هر شاخص در ارزیابی، با توجه به شرایط طبیعی منطقه متفاوت بوده و این ارزش متناسب با هدف ارزیابی نیز متغیر خواهد بود. ماهیت ارزش شاخص‌ها با توجه به شرایط متنوع بهره‌برداری غیر قطعی بوده و لذا سیستم‌های فازی متناسب انتخاب شده، و برای موتور استنتاج فازی قواعد تعریف و به کار رفته است.

سیستم فازی: پس از تعریف، طبقه‌بندی و تعیین ضرایب اهمیت شاخص‌ها، به کارگیری سیستم فازی ضرورت می‌یابد. تعیین مدل مناسب فازی نیازمند شناخت طبیعت داده‌ها و طراحی آن متناسب با شرایط خاص شاخص و یا گروه شاخص‌ها می‌باشد. در این رابطه با استفاده از نگارش ۶/۱ نرم‌افزار Matlab و جعبه ابزار فازی آن و به کارگیری سیستم فازی با استلزام حاصل ضرب ممدانی و غیر فازی‌سازی میانگین مراکز، توابع تعلق و قواعد برای موتور استنتاج فازی طراحی گردیده است. داده‌های اولیه شامل دو گروه داده فازی و غیرفازی با فازی‌ساز منفرد، به صورت فازی به کار رفته است. تست صحت قواعد به کار رفته نیز با داده‌های ورودی و خروجی در امکانات گرافیکی موجود در جعبه ابزار فازی ممکن بوده و لذا قبل از به کارگیری نتایج تجزیه و تحلیل فازی در مدل اصلی، خروجی‌های مدل فازی مورد بررسی قرار گرفته و تناسب آن با شرایط تغییرات شاخص و یا گروه شاخص‌ها کنترل و مطابقت داده شده و سپس به کار گرفته شده است.

موتور استنتاج فازی: موتور استنتاج با استفاده از پایگاه قواعد، نگاشت ورودی به خروجی را انجام می‌دهد. اساس عملکرد آن، مجموعه‌ای از قواعد اگر-آنگاه فازی است. معیار انتخاب چگونگی عملکرد موتور استنتاج فازی با توجه به معنای شهودی که استقلال و یا وابستگی قواعد آن توسط افراد خبره تأیید گردیده، صورت می‌گیرد [۱]. به عنوان مثال قواعد زیر را در نظر بگیرید:

(۱) اگر X_1 مساوی S_1 و X_2 مساوی S_2 است، آنگاه Y مساوی B_1 است.

(۲) اگر X_1 مساوی S_1 و X_2 مساوی L_2 است، آنگاه Y مساوی B_2 است.

(۳) اگر X_1 مساوی M_1 و X_2 مساوی S_2 است، آنگاه Y مساوی B_3 است.

(۴) اگر X_1 مساوی L_1 و X_2 مساوی L_2 است، آنگاه Y مساوی B_2 است.

هر کدام از عبارات ۱، ۲، ۳ و ۴ یک گزاره شرطی است که از معادله‌های گفته شده در بخش شبیه‌سازی آنها استفاده می‌شود. در قسمت "اگر" از مقادیر شاخص‌های مقدماتی استفاده شده و در قسمت "آنگاه" قواعد با توجه به اثرات متقابل شاخص‌ها، برای تعیین ضرایب اهمیت شاخص‌های اصلی تعریف و به کار گرفته شده است. اگر

هر قاعده در پایگاه قواعد را با $\mu_{R1}, \mu_{R2}, \dots, \mu_{RM}$ نشان دهیم، آنگاه حاصل M قاعده، به عنوان یک رابطه فازی Q_M در $U \times V$ تفسیر می‌شود. لذا می‌توان رابطه بین قواعد را به دو صورت اجتماع بین قواعد، $Q_M = \bigcup_{i=1}^M \mu_{Ri}$ و یا اشتراک بین قواعد، $Q_M = \bigcap_{i=1}^M \mu_{Ri}$ بیان کرد. برای اعمال اثرات متقابل شاخص‌ها بر هم، و اعمال تأثیر شرایط اولیه سیستم در نتیجه ارزیابی، این ضرایب در دو حالت ارزیابی نسبی و مطلق سیستم به صورت متفاوت به کار می‌رود. مثال ساده زیر روش کار را روشن می‌نماید. برای شرایطی که مقادیر شاخص‌ها غیر فازی بوده و اثرات شاخص‌های مقدماتی بر شاخص‌های اصلی غیرقطعی باشد تأثیر و نحوه به کارگیری اثرات وضعیت فیزیکی سیستم با عنوان "حداکثر راندمان ممکن" در ارزیابی بخشی از راندمان سیستم با استفاده از قواعد "اگر-آنگاه" فازی به صورت زیر می‌باشد:

در ارزیابی نسبی: اگر حداکثر راندمان انتقال آب ممکن بیش از ۰/۸ باشد، آنگاه ضریب اهمیت شاخص راندمان انتقال آب بیش از ۰/۸ می‌باشد و اگر ... آنگاه....

در ارزیابی مطلق: اگر حداکثر راندمان انتقال آب ممکن بیش از ۰/۸ باشد، آنگاه ضرایب اهمیت (تصحیح) شاخص راندمان انتقال آب کمتر از ۰/۲ می‌باشد و اگر ... آنگاه....

قابل ذکر است که ضرایب در ارزیابی نسبی به صورت حاصل ضرب، و در ارزیابی مطلق به صورت مجموع به کار می‌رود. در این تحقیق با تعریف مستقل قواعد امکان استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه و در ترکیب با تعریف وابستگی قواعد، امکان استنتاج مبتنی بر ترکیب استنتاج ممدانی با استلزام حداقل و حاصل ضرب مطابق با فرمول‌های زیر فراهم شده است. در بخش نتایج و بحث،

اثر کاربرد هر یک در نتیجه نهایی تشریح گردیده است. سیستم فازی با موتور استنتاج ضرب، فازی ساز منفرد و غیرفازی میانگین مراکز با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y \left(\prod_{i=1}^n \mu_{Ai}^I(x_i) \right)}{\sum_{i=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{Ai}^I(x_i) \right)} \quad (1)$$

که در آن y ها مرکز سطوح می‌باشد سیستم دیگری که از جایگزینی موتور استنتاج حداقل به جای موتور استنتاج ضرب به دست می‌آید با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y \left(\min_{i=1}^n \mu_{Ai}^I(x_i) \right)}{\sum_{i=1}^M \left(\min_{i=1}^n \mu_{Ai}^I(x_i) \right)} \quad (2)$$

نمونه قواعد به کار رفته در هر یک از مدل‌های فازی، به شرح جدول ۱ می‌باشد.

با توجه به هفت گروه شاخص در ارزیابی مدیریتی، سه گروه شاخص در ارزیابی فنی، سه گروه شاخص در ارزیابی اقتصادی، یک گروه در ارزیابی زیست‌محیطی، دو گروه در ارزیابی اجتماعی و هم‌چنین ارزیابی در دو نوع نسبی و مطلق و در سه سطح سیاست‌گزاران، مدیران و آب‌بران، جمعاً ۱۱۴ قاعده در مدل‌های استنتاج فازی، به کار رفته است.

به منظور آزمایش کارایی مدل، مطالعه موردی در شبکه

جدول ۱- نمونه قواعد برای ارزیابی نسبی در سطح مدیران

شاخص‌های اصلی (Y_i)				شاخص مقدماتی (X_i)
گروه چهار	گروه سه	گروه دو	گروه یک	
VL	VL	VL	L	VL
L	L	VL	L	L
L	L	M	M	M
M	M	H	H	H
H	H	VH	H	VH

VL = خیلی کم، L = کم، M = متوسط، H = زیاد، VH = خیلی زیاد

آبیاری قزوین صورت گرفته است. عملیات اجرایی این شبکه از سال ۱۳۵۰ آغاز و شبکه‌ای با حدود ۱۲۰۰ کیلومتر کانال در وسعتی حدود ۶۰ هکتار تا پایان سال ۱۳۷۰، تماماً ساخته و آماده بهره‌برداری گردید [۸]. در طی ۳۰ سال بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین، به مقتضای زمان و وضع موجود و تحت شرایط و دلایلی در نظام بهره‌برداری شبکه تغییراتی نظیر، انحلال سازمان عمران قزوین، واگذاری چاه‌های تلفیقی به مردم، تشکیل شرکت‌های تعاونی آب‌بران به منظور انتقال مدیریت بهره‌برداری در کانال درجه دو L_2 ، اعمال شده است. در این مطالعه ارزیابی عملکرد در اراضی زیر دست کانال L_2 و کل شبکه به تفکیک صورت گرفته است. از مجموعه داده‌های جمع‌آوری و یا اندازه‌گیری شده، ۸۷ شاخص محاسبه و در مدل به کار گرفته شده است. سپس مقدار ارزیابی عملکرد با نتایج مدل پاییز^۱، مورد مقایسه قرار گرفته است. مدل پاییز با استفاده از روش کلاسیک و با انتخاب ۳۷ شاخص مدیریتی، ۷ شاخص فنی، ۱۸ شاخص اقتصادی-مالی و ۱۴ شاخص زیست‌محیطی و ۲۶ شاخص اجتماعی پوشش قابل توجهی بر شاخص‌ها، برای بررسی همه جانبه یک شبکه آبیاری و زهکشی فراهم نموده است. در این مدل برای هر شاخص و هر پنجره، متناسب با اهمیت هر شاخص و هر پنجره و نظر کارشناسی، ضریبی تعیین گردیده و جمع وزنی مقدار عددی شاخص‌ها معرف عملکرد هر پنجره و عملکرد کل می‌باشد. در این مدل ۱۲ شاخص با مقادیر عددی صفر و

^۱ مدل پاییز، به عنوان تنها مدل استاندارد داخلی می‌باشد. که نگارش جدید آن تحت عنوان NPAIS توسط دکتر عباس قاهری در دست تهیه است و در جهت تکامل آن تغییرات اساسی داده شده است.

یک به کار می‌رود (برای کسب اطلاعات بیشتر در رابطه با مدل پاییز به مرجع شماره شش مراجعه شود).

نتایج و بحث

برای به کارگیری شاخص‌ها در مدل ارزیابی، شاخص‌های توصیفی و کمی جمع‌آوری شده، با توجه به شرح آمده در روش تحقیق انطباق داده شده است. سپس مطابق با قواعد و سیستم فازی ذکر شده، داده‌ها در مدل طراحی شده به کار رفته و مقادیر ارزیابی محاسبه شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که مجموع عملکرد مدیریت سیستم در پایلوت انتخابی، از نگاه مدیریت تحویل و از نگاه قضاوت کشاورزان معادل ۴۸/۵ درصد و محاسبه مقادیر شاخص مدیریت در زمینه‌های راندمان آب آبیاری، کفایت و سیستم خدمات ۵۸ درصد را نشان می‌دهد. این مقادیر از نگاه قضاوت آب‌بران، در گروه شاخص‌های اعتمادپذیری، مناسب بودن زمان آبیاری، کفایت آبیاری و عدالت در توزیع آب برابر ۳۹ درصد می‌باشد. ارزیابی شاخص کفایت آبیاری، از نگاه قضاوت مدیران ۸۲ درصد و از نگاه قضاوت آب‌بران برابر ۳۸ درصد به دست آمده است. (جدول ۲)

به کارگیری مقادیر شاخص‌ها در مدل پاییز، مقدار ارزیابی عملکرد را در شاخص‌های مدیریت، برابر ۵۷ درصد نشان می‌دهد. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که ارائه مقادیر عددی در ارزیابی بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل فاکتورها، ماهیت فازی داده‌ها، تفکیک شرایط و اهداف ارزیابی، در برخی از موارد نتیجه ارزیابی را از دستیابی به راهکارهای کاربردی که هدف اصلی و نهایی ارزیابی بوده، دور می‌سازد. مقایسه مقادیر ارزیابی مدیریت

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های مدیریت و ضرایب اهمیت

مقادیر ارزیابی	ضرایب اهمیت	مقادیر شاخص	گروه شاخص
۰/۵۸	۲/۴۲	۰/۲۳	راندمان آب آبیاری
	۲/۲۶	۰/۸۲	کفایت آب آبیاری
	۴/۳۶	۰/۶۵	خدمات بهره‌برداری
۰/۳۹	۲/۹۸	۰/۵۳	۱- اعتمادپذیری
	۱/۱۲	۰/۷۲	۲- مناسب بودن آب آبیاری
	۲/۰۴	۰/۳۸	۳- کفایت آب آبیاری
	۴/۲۵	۰/۲۱	۴- عدالت در توزیع آب
۰/۴۸		متوسط عملکرد مدیریت	

تحويل از نگاه قضاوت کشاورزان به میزان ۳۹ درصد و ارزیابی مدیریت از نگاه کارشناسی به میزان ۵۸ درصد و ارزیابی کفایت آبیاری از نگاه قضاوت کشاورزان به میزان ۳۸ درصد و از نگاه قضاوت کارشناسی به میزان ۸۲ درصد، به خوبی نشان می‌دهد که مشکل اساسی شبکه، کمبود آب و بدی شرایط فیزیکی شبکه نیست، بلکه مشکل اصلی مدیریت بهره‌برداری شبکه و عدم تناسب برنامه بهره‌برداری شبکه با نیاز واقعی کشاورزان می‌باشد.

تفاوت کمتر از ۱۰ درصد مقادیر ارزیابی در مدل پاییز و این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از تعداد معدودی از شاخص، در صورتی که با آشنایی کافی از شرایط فیزیکی و طبیعی شبکه همراه بوده و شاخص‌های متناسب اختیار گردد، نتیجه ارزیابی به مقدار واقعی نزدیک می‌شود.

بررسی نشان می‌دهد که در شرایط معمول که اجزای عملکردی یک گروه شاخص هماهنگ و همسو است، مقادیر مدل مرحله‌ای فازی با مدل پاییز همخوانی زیادی دارد و این مقایسه همبستگی بیش از ۹۸ درصد را نشان می‌دهند. لیکن با وارد شدن مقادیر غیرهمسوی شاخص‌ها در یک گروه شاخص، میزان همبستگی به ۷۱ درصد تقلیل می‌یابد. این موضوع خود نیز بر کارایی مدل مرحله‌ای و تفکیک شرایط ناهماهنگ و غیر همسوی شاخص‌ها از یکدیگر - به خصوص در شرایطی که سیستم از نظر عملکرد طراحی و ساخت در وضعیت مناسبی قرار ندارد - تأکید دارد. نتایج به دست آمده صحت کارکرد هر دو مدل را در شرایط پایلوت به خوبی نشان می‌دهد. با توجه به شرایط طراحی و اجرای مناسب شبکه آبیاری قزوین (ارزیابی این بخش از عملکرد، بیش از ۸۰ درصد می‌باشد)، مقدار ارزیابی از دیدگاه کارشناسان و مدیران در مدل مرحله‌ای فازی، به مقدار ارزیابی در مدل پاییز نزدیک می‌باشد.

دستاوردها و توصیه‌ها

براساس یافته‌ها و بررسی‌های این تحقیق ضرورت‌های به‌کارگیری تئوری فازی در ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و توصیه‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- بسیاری از شاخص‌های ارزیابی، ماهیتاً فازی می‌باشند، برای مثال وقتی سؤال می‌شود که آیا مدیریت توزیع آب در مجموع، یک مدیریت سودمندی است شاید بتوان پاسخ روشنی از طریق بیان توصیفی ارائه داد، این

پاسخ هر میزان روشن باشد، لکن پاسخ دقیقی برای تجزیه و تحلیل عددی در اختیار ارزیابی کننده قرار نمی‌دهد. اگر این سؤال کلی را به سؤال جزئی‌تر تبدیل کنیم، باز هم این مشکل باقی می‌ماند. برای مثال آیا میزان آب تحویلی به کشاورزان در شرایط مطلوبی قرار دارد؟

- شاخص‌ها از مرز مشخصی برخوردار نمی‌باشند. طبقه‌بندی شاخص‌ها توسط گروه‌های مختلف کارشناسی، متفاوت صورت می‌گیرد. قرار دادن شاخص‌ها در گروه‌های متفاوت، نشان از مرز نامشخص اهمیت و موضوعیت هر شاخص دارد.

- شاخص‌ها در یکدیگر تأثیرات متقابل دارند. میزان ارزش هر شاخص با توجه به هدف ارزیابی متفاوت است، این میزان ارزشی، ناشی از تأثیراتی است که از دیگر شاخص‌ها می‌پذیرد. برای مثال در ارزیابی انتقال مدیریت، میزان هر شاخص بستگی تام به مقادیر شاخص‌ها در فرآیند انتقال مدیریت دارد. در صورتی که این فرآیند به خوبی طی نشده باشد، مقادیر ارزشی شاخص با آن متفاوت است.

- مقادیر شاخص‌ها در دو شبکه آبیاری و زهکشی قابل مقایسه نیست. در صورتی که درجه مطلوبیت یک شاخص بستگی به تأثیرات متقابل دیگر شاخص‌ها داشته باشد، با توجه به این که دو سیستم از تفاوت‌هایی برخوردارند، لذا درجه مطلوبیت هر شاخص در هر سیستم متفاوت بوده و بنابراین لازم است شاخص‌ها را به گونه‌ای به کار برد که امکان این مقایسه فراهم باشد.

- مدل‌های ارزیابی یا از نظر موضوعی فراگیر نیستند و یا قابل تعمیم به دیگر سیستم‌ها نمی‌باشند. با خارج ساختن مقادیر ارزشی هر شاخص از مقدار عددی و تبدیل آن به مقادیر فازی، امکان تعمیم یک مدل در شرایط مختلف و در سیستم‌های مختلف فراهم می‌گردد.

- اهمیت شاخص‌ها و فاکتورهای ارزیابی نیز نسبی بوده و بیان ضرایب اهمیت مطلق برای شاخص‌ها، در برآورد نهایی مقادیر ارزیابی تأثیر منفی می‌گذارد. ضریب اهمیت شاخص‌ها نیز در بسیاری از موارد ماهیتاً فازی می‌باشند.

- اندازه‌گیری کمی مقادیر شاخص‌ها در بسیاری از موارد غیراقتصادی و یا غیر ممکن است. تنوع شرایط طبیعی آب و خاک و گیاه، تنوع فاکتورهای اندازه‌گیری را

به همراه دارد. تنوع در میزان، نوع، زمان مصرف کود، تنوع در میزان مدت آب زهکشی شده و تنوع در بسیاری از فاکتورهای دیگر، نشان می‌دهد که برای دستیابی به میزان واقعی یک شاخص و عوامل مؤثر بر آن یا نیازمند وقت و هزینه زیادی بوده که در این صورت غیر اقتصادی است و یا به دلیل گذشت زمان و عدم استقرار یک سیستم پایش، داده‌های کافی در اختیار نبوده و یا در کیفیت آن تردید بسیار خواهد بود، لذا نیازمند داده‌های توصیف بیانی و تجربی مورد احتیاج است.

- تناسب یک برنامه آبیاری هر میزان که علمی باشد، در صورتی مورد قبول است، که کشاورز بتواند از آن برنامه استفاده مؤثر نماید استفاده مؤثر کشاورز از آب، بستگی به ویژگی‌های مزرعه و خود او دارد. استخراج این گونه داده‌ها صرفاً به صورت توصیف بیانی ممکن است.

- سیستم‌ها با مدیریت خدمت مدار نیاز مستمر به نظرات مصرف کنندگان دارند. در این نوع سیستم‌های مدیریتی، برای درک نیازهای واقعی سرویس‌گیران، دریافت نظرات واقعی آن‌ها در شکل توصیف بیانی مورد نیاز است.

مراجع

- ۱- تنهنبل، م. و همکاران، (۱۳۷۸). "سیستم‌های فازی و کنترل فازی"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- ۲- حیدریان، س.ا.، (۱۳۸۱). "روش فازی در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی"، مجموعه مقالات سومین همایش مجموعه‌های فازی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ص ۳۲.
- ۳- حیدریان، س.ا.، (۱۳۸۰). "برنامه‌ریزی سیستمی در مدیریت منابع آب و خاک"، سمینار دوره دکتری، گروه آبیاری دانشگاه کشاورزی دانشگاه تهران.
- ۴- سومین همایش مجموعه‌های فازی، (۱۳۸۱). "مجموعه مقالات مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن"، گروه ریاضی دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۵- فکور یکتا، ع.، (۱۳۸۰). "خودآموز نرم‌افزار مطلب"، جهاد دانشگاهی مشهد.
- ۶- قاهری، ع. و همکاران، (۱۳۷۸). "تعیین چارچوب ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبیاری و زهکشی"، معاونت پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو.
- ۷- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، (۱۳۸۰). "ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی"، کارگاه فنی گروه کار ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی، شماره ۵۲.
- ۸- مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، (۱۳۷۴). "مطالعات نظام بهره‌برداری و مشارکت مردمی در شبکه آبیاری دشت قزوین"، دفتر بهره‌برداری از سدها و شبکه‌های آبیاری، وزارت نیرو.
- ۹- منعم، م.ج.، (۱۳۷۶). "مدل‌های نظری، استاندارد و کمی کردن ارزیابی عملکرد و کاربرد آن"، مجموعه مقالات کارگاه فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ص ۱۹-۲۳.
- ۱۰- منعم، م.ج.، (۱۳۷۸). "روش‌های ارزیابی عملکرد پروژه‌های آبیاری و زهکشی"، مجموعه مقالات کارگاه فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ص ۲۰-۷.
- 11- Al-Faraj, A., George, E. meyer, Garald, L. Horst, (2001). "A Crop Water Stress Index for Tall Fescue (*Festuca Arundinacea Schreb*)", Irrigation Decision- Making- a Fuzzy Logic Method, Computers and Electronics in Agriculture, 32: 69-84.
- 12- Bos, M.G., (1997). "Performance Indicators for Irrigation and Drainage", Irrigation and Drainage Systems, 11:119-137.
- 13- Bardossy, A., and Markus, D., (1993). "Fuzzy Rule-Based Models for Infiltration", Water Resources Research, Vol 29.
- 14- Gowing, J. Tarimo, A., and EL-AWAD, O., (1996), "A Rational Method for Assessing Irrigation Performance at Farm Level with the Aid of Fuzzy set theory", Irrigation and Drainage Systems, 10:319-330.
- 15- IPTRID, (2002). "Benchmarking Performance in Irrigation and Drainage Sector, IPTRID, FAO, Italy.
- 16- International Commission on Irrigation and Drainage, (2000). "Guidelines on Performance Assessment", Working Group on Irrigation and Drainage Performance, NewDelhi, India.
- 17- Sam-Amoah, L.K. and Gowing, J.W., (2001). "Assessing the Performance of Irrigation Schemes with Minimum Data on Water Deliveries", Irrigation and Drainage Journal, 50:31-39.