توسعه مدل ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار شبکه های آبیاری و کاربرد آن برای ارزیابی منطق کنترل فازی

فاطمه صادقی[۱]
کارشناس ارشد سازه‌های آبی- دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
f.sadeghi1004@gmail.com
محمدجواد منعم[۲]
دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
احمدرضا میراب زاده[۳]
رئیس گروه توسعه سیستم های سنجش وبهبودراندمان آبیاری سازمان آب و برق خوزستان
Ah_mirab@yahoo.com

چکیده

محدودیت منابع موجود برای احداث شبکه‌های جدید آبیاری در دنیا، پایین‌بودن عملکرد اغلب شبکه‌های آبیاری از حد انتظارات و صرف سرمایه‌های وسیع جهت ساخت و بهره‌برداری از آن‌ها، موجب توجه بیش از پیش به ارزیابی و ارتقاء عملکرد شبکه‌ها گردیده است. خودکارسازی شبکه‌های آبیاری نقش بسزایی در افزایش بهره وری آب ایفا می نماید. گسترش روزافزون خودکارسازی در شبکه های آبیاری بیانگر لزوم ارائه مدل جهت ارزیابی این سیستم هاست. در این تحقیق مدل INACSEM با استفاده از روش ارزیابی کلاسیک برای ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری تهیه گردیده است. در این مدل، ارزیابی شامل دو دیدگاه فنی و عمومی است. دیدگاه فنی شامل انواع تجهیزات، نرم افزار و سازه‌های کنترل خودکار و کاربرد آنها در مراحل مختلف بهره‌برداری در بخش‌های مختلف شبکه و دیدگاه عمومی که جنبه‌های عمومی ارزیابی را دربر می‌گیرد، شامل زیردیدگاه مدیریتی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی است. به منظور نمایش کاربرد مدل توسعه یافته، منطق فازی مورد استفاده در سامانه سازه تنظیم آب در مقیاس آزمایشگاهی ارزیابی شد که نتایج بیانگر عملکرد ۷۷ درصدی این الگوریتم در تنظیم عمق آب است.

کلمات کلیدی: شبکه های آبیاری، ارزیابی، خودکارسازی، مدل

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد منابع آبی در جهان در بخش کشاورزی و به منظور آبیاری مورد استفاده قرار می گیرد و قسمت عمده ای از این آب مصرفی به علت مدیریت ضعیف در این بخش به هدر می رود(Litirco *et al*., 2005). عملکرد ضعیف شبکه های آبیاری و تاثیر آن در کاهش بهره وری آب در بخش کشاورزی ضرورت ارائه روش‌های موثر در بهره برداری بهینه از شبکه های آبیاری را ایجاد نموده است. مدرن سازی شبکه های آبیاری برای افزایش عملکرد و بهره برداری مطلوب از این شبکه ها به عنوان یک هدف استراتژیک در نقاط مختلف جهان مطرح شده است(Gomez *et al*., 2002). در حالت کلی هدف عمومی خودکارسازی افزایش انعطاف پذیری و بهره برداری مطلوب در شبکه‌های آبیاری است. کاربرد سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری سابقه‌ای ۴ تا ۵ دهه دارد و بطور گسترده‌ای از نظر الگوریتم‌های کنترل، نوع تجهیزات و دامنه کاربرد در حال توسعه می‌باشد. با توجه به گسترش روزافزون سامانه‌های

کنترل خودکار لازم است که ارزیابی این سیستم ها نیز به عنوان یک هدف مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد سامانه های خودکار از روش کلاسیک استفاده شده است. روش کلاسیک از جمله روش‌های ارزیابی کمی شبکه‌های آبیاری است که به علت ساده بودن مورد توجه است.

روش ارزیابی کلاسیک نخستین بار برای ارزیابی طرح‌های آبیاری جنوب و جنوب شرقی آسیا استفاده شد و ضمن ارائه یک مدل جامع برای ارزیابی طرح‌های آبیاری، با استفاده از شاخص‌های مختلف و سیستم امتیاز دهی وزنی، عملکرد کلی طرح‌های آبیاری تعیین شد (Restrepo, 1983). مدل‌های PAIS(منعم و همکاران، ۱۳۷۹) و NPAIS (قاهری،۱۳۸۶) با تلفیق دو روش ارزیابی کلاسیک و سریع، برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های روباز ارائه شدند. مدل‌های PAPIS (مهدوی و منعم، ۱۳۸۹) و NPAPIS (پیری، ۱۳۸۸) با استفاده از روش ارزیابی کلاسیک، برای ارزیابی سیستم‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار ارائه شدند. نتایج کاربرد مدل در ارزیابی عملکرد سامانه تحت فشار در واحد اکرم آباد شبکه آیدوغموش نشان داد که این مدل‌ها ابزار مناسبی برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار هستند. مدل‌های توسعه یافته، ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری روباز و تحت فشار را در برمی‌گیرد و ارزیابی سامانه‌های خودکار را پوشش نمی‌دهد. بنابراین در این تحقیق، مدل INACSEM برای ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار با استفاده از روش ارزیابی کلاسیک ارائه می‌شود.

مواد و روش ها

در این تحقیق تلاش وسیعی صورت گرفت تا کلیه اجزاء سامانه‌های خودکار و تاسیسات قابل خودکارسازی شبکه‌های آبیاری شناسایی شوند و چارچوب جامع ارزیابی سامانه‌های خودکار شامل دیدگاه ها و زمینه های مربوط توسعه یابد. براساس چارچوب جامع(شکل۱)، مدل INACSEM برای ارزیابی سامانه های خودکار در شبکه های آبیاری ارائه شد. در این مدل ارزیابی از دو دیدگاه فنی و عمومی انجام می‌گردد. در مدل مذکور هریک از اجزای این دیدگاه ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس با شناسایی عوامل موثر بر ارزیابی آنها و تعریف شاخص های کمی و کیفی، عملکرد شبکه تعیین می گردد. به علت اینکه میزان تاثیر شاخص‌ها و دیدگاه‌ها بر عملکرد سیستم یکسان نیست، برای بیان اهمیت این شاخص‌ها و دیدگاه‌ها از ضرایب وزنی استفاده شد. تعیین اوزان شاخص‌ها و دیدگاه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با مقایسات زوجی و نرم افزار Expert Choice انجام شده است.

برای نمایش کاربرد مدل، منطق فازی مورد استفاده در سامانه سازه تنظیم آب در مقیاس آزمایشگاهی که در فلوم آزمایشگاه هیدرولیک گروه سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس ساخته شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم فازی از داده‌های آزمایشگاهی انجام شده، استفاده می‌گردد (نورسته و منعم، ۱۳۹۰). این الگوریتم کنترل بر روی سرریز لولایی اجرا شد. در این مدل متغیرهای ورودی عمق آب ، میزان ارتفاع سرریز و متغیر خروجی میزان تنظیم ارتفاع سرریز می‌باشد. مدل فیزیکی با گزینه‌های تغییرات ناگهانی و تدریجی دبی از ۹ تا ۱۵ و ۳تا ۱۵ لیتر در ثانیه مورد آزمون قرار گرفت که در این مقاله، گزینه افزایش دبی از ۹ تا ۱۵ لیتر در ثانیه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. عمق هدف در این مدل برابر ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

نتایج

با توجه به گستردگی عوامل موثر بر عملکرد سامانه‌های کنترل خودکار، چارچوب کلی ارزیابی به دو دیدگاه فنی و عمومی تقسیم گردید. دیدگاه فنی شامل تجهیزات، نرم افزار و سازه‌های کنترل است. تجهیزات خودکار شامل حسگر، دیتالاگر، منبع انرژی، سیستم انتقال داده، مودم و محرک‌ها می باشد. نرم افزارهای کنترل خودکار شامل انواع الگوریتم های کنترل و سیستم کنترل در شبکه است. تاسیسات کنترل شامل انواع سازه های قابل خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری است که در بخش‌های مختلف شبکه اعم از سد انحرافی و تاسیسات وابسته، آبگیرها و سامانه انتقال آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیدگاه عمومی نیز شامل مسائل مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است. در دیدگاه عمومی، دیدگاه مدیریتی مربوط به نحوه بهره‌برداری و نگه‌داری سامانه، دیدگاه اجتماعی شامل میزان رضایت‌مندی بهره برداران و ارتقای سطح دانش و تکنولوژی در منطقه، دیدگاه اقتصادی شامل وضعیت اقتصادی در طراحی، نصب، اجرا و بهره برداری سامانه و دیدگاه زیست محیطی بیانگر مسائل و اثرات مثبت و منفی زیست محیطی سامانه‌های خودکار است. با شناسایی

عوامل موثر بر عملکرد اجزا در چارچوب ارزیابی و تعریف شاخص‌های کمی و کیفی، عملکرد سامانه خودکار تعریف می‌شود. با توجه به مطالعه موردی انجام شده در ادامه تعدادی از شاخص های کمی و کیفی مورد استفاده در مدل اشاره می شود.

۱- دیدگاه فنی

۱-۱- شاخص‌های کمی فنی

با توجه به مطالعه موردی که ارزیابی الگوریتم کنترل است در دیدگاه فنی شاخص های ارزیابی الگوریتم های کنترل ارائه شده است.

- شاخص پیچیدگی الگوریتم(ACO)

$$ACO = \frac{N_{out}}{N_{in}} \quad \text{.....(۱)}$$

که در آن N_{in} = تعداد متغیرهای ورودی و N_{out}= تعداد متغیرهای خروجی است.

با توجه به اینکه خروجی الگوریتم‌های کنترل همواره کمتر از متغیرهای ورودی و یا مساوی با آن است پس شاخص پیچیدگی الگوریتم کوچکتر از یا مساوی ۱ است. هرچه تعداد ورودی های الگوریتم نسبت به خروجی های آن بیشتر باشد الگوریتم پیچیده تر و نمره آن کمتر خواهد بود.

برای تعریف شاخص‌های حداکثر و متوسط خطای الگوریتم کنترل از متمم شاخص‌هایASCE استفاده شده است.

- متمم حداکثر خطا(MAE)

$$MAE = 1 - \frac{\max|y_m - y_t|}{y_t} \quad \text{.....(۲)}$$

که در آن y_m = مقدار عمق آب مشاهده شده در زمان t و y_t= مقدار عمق هدف است.

- متمم خطای مطلق تجمعی (IAE)

$$IAE = 1 - \frac{\frac{\Delta t}{T}\sum_{t=0}^{T}|y_m - y_c|}{y_c} \quad \text{.....(۳)}$$

که در آن Δt = گام زمانی محاسباتی و T= طول دوره بهره‌برداری است.

در صورتیکه مقدار شاخص‌های محاسبه شده در رابطه (۲) و (۳) برابر یا کوچکتر از ۱ باشد، همان مقدار در ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما اگر مقدار شاخص بزرگتر از ۱ باشد مقدار آن برابر صفر لحاظ می‌گردد.

۱-۲- شاخص‌های کیفی فنی

شاخص‌های کیفی الگوریتم های کنترل مورد استفاده در سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری به صورت زیر در نظر گرفته شد.

از مهمترین شاخص‌های ارزیابی کیفی الگوریتم های کنترل می توان به سادگی منطق کنترل، سادگی سخت افزار الکترونیک مورد نیاز، کاهش میزان دخالت اپراتور، کوتاهی زمان پاسخگویی، دقت الگوریتم و اطلاعات جانبی مورد، نیاز اشاره کرد. امتیازدهی این شاخص‌ها در محدوده صفر تا ۱۰۰ است. بدین ترتیب که هر چه الگوریتم ساده‌تر یا به سخت افزار الکترونیک ساده‌تری نیاز داشته باشد امتیاز

اختصاص یافته به ۱۰۰ نزدیک می شود و برعکس. همچنین هرچه دقت الگوریتم در تنظیم متغیر هدف بیشتر، میزان دخالت بهـره‌بـردار در فرآیند کنترل کمتر و اطلاعات جانبی کمتری نیز نیاز باشد، امتیاز اختصاص یافته بیشتر و به ۱۰۰ نزدیک می‌شود.

۲- دیدگاه عمومی

۲-۱- دیدگاه مدیریتی

عوامل موثر در ارزیابی دیدگاه مدیریتی به صورت شاخص‌های کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به آموزش بهره برداران و حذف اشتباهات انسانی در بهره برداری اشاره کرد.

۲-۲- دیدگاه اجتماعی

مسائل اجتماعی بصورت شاخص‌های کیفی و کمی تعیین گردید. از جمله شاخص‌های کیفی عبارتند از رضایت زارعین، ارتقای آگاهی عمومی و افزایش سطح فناوری. از جمله شاخص‌های کمی نیز می‌توان به وضع اشتغال (کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای بهره برداری از شبکه) اشاره کرد.

- وضع اشتغال(JP)

$$JP=1-\frac{PJ}{IJ} \quad \text{.....} \quad (۴)$$

که در آن JP = شاخص اشتغال، PJ= میزان اشتغال نیروی کار پس از احداث پروژه، نفر در هکتار، IJ = میزان اشتغال نیروی کار اولیه ، نفر در هکتار است.

مقدار این شاخص همواره کوچکتر از و یا مساوی ۱ است.

۲-۳- دیدگاه اقتصادی

عوامل موثر در ارزیابی دیدگاه اقتصادی به صورت شاخص‌های کمی ارائه شده است از جمله می توان به شاخص افزایش درآمد شبکه از فروش آب اشاره کرد.

- افزایش درآمد شبکه از فروش آب (NRRWS)

$$NRRWS=\frac{C_{PI}}{C_{PP}} \quad \text{.....} \quad (۵)$$

که در آن C_{PI} = درآمد حاصل از فروش آب، C_{PP}= درآمد پیش بینی شده حاصل از فروش آب است.

در صورتیکه مقدار شاخص محاسبه شده در رابطه (۵) برابر یا کوچکتر از ۱ باشد، همان مقدار در ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما اگر مقدار شاخص بزرگتر از ۱ باشد نشان دهنده افزایش درآمد شبکه است و مقدار آن برابر ۱ لحاظ می‌گردد.

۲-۴- دیدگاه زیست محیطی

عوامل موثر در ارزیابی دیدگاه زیست محیطی به صورت شاخص‌های کمی ارائه شده است از جمله این شاخص‌ها می توان به شرایط ماندابی اشاره کرد.

- شرایط ماندابی(WA)

$$WA=\frac{IWA}{PIW} \quad \text{.....} \quad (۶)$$

که در آن IWA = مساحت اولیه اراضی ماندابی و PIW= مساحت موجود اراضی ماندابی است.

با توجه به اینکه خودکارسازی باعث کاهش تلفات آب می‌گردد اصولاً نباید در اثر آن سطح اراضی ماندابی افزایش یابد یا سطح آب زیر زمینی بالا آید. لذا در صورتیکه مقدار شاخص محاسبه شده در رابطه(۶) برابر یا بزرگتر از ۱ باشد نشان دهنده عملکرد نامطلوب سامانه خودکار بوده و مقدار شاخص برابر صفر لحاظ می‌گردد.

ضرایب اهمیت وزنی برای کلیه شاخص‌ها در دیدگاه‌های مختلف و برای دیدگاه‌ها تعیین شد و بصورت پیش فرض در مدل در نظر گرفته شد. کاربر مدل می‌تواند در صورت نیاز نسبت به انتخاب ضرایب اهمیت طبق نظر خود اقدام نماید. برای تعیین عملکرد عملکرد کلی سامانه‌های خودکار از روابط(۷) تا (۹) استفاده شده است(قاهری، ۱۳۸۰).

$$Y1=\sum_{i=1}^{N} C_i \sum_{j=1}^{M_i} C_{ij} \quad \text{.....(۷)}$$

$$Y2=\sum_{i=1}^{N} C_i \sum_{j=1}^{M_i} C_{ij} \quad \text{.....(۸)}$$

$$Y1=\left(\frac{Y1}{Y2}\right)*100 \quad \text{.....(۹)}$$

در روابط فوق Y1= عملکرد واقعی کل سامانه خودکار، Y2= عملکرد استاندارد سامانه خودکار، PA= نمره عملکرد کل سامانه خودکار، i = شماره دیدگاه، C_i =ضریب وزنی دیدگاه iام، N = تعداد کل دیدگاه ها، Mi= تعداد کل شاخص‌ها، j = شماره شاخص در دیدگاه iام، C_{ij}= ضریب وزنی شاخص j ام در دیدگاه i ام، =I_{ij} مقدار شاخص j ام در دیدگاه i ام است.

نتایج کاربرد مدل در ارزیابی الگوریتم فازی

اعتبار ارزیابی که با استفاده از نسبت تعداد شاخص‌های محاسبه شده به کل شاخص‌ها بدست می‌آید، برای هرکدام از دیدگاه‌ها و کل شبکه محاسبه شده و در جداول زیر برای هر دیدگاه ذکر شده است. شاخص پیچیدگی الگوریتم‌فازی(جدول۲) برابر ۵۰ درصد است بدین معنی که الگوریتم فازی به طور متوسط جز الگوریتم های پیچیده محسوب می‌شود که در نتیجه متناسب با پیچیدگی الگوریتم، سخت افزارهای سامانه از نظر تعداد و گستردگی حسگرها، خطوط انتقال، محرک‌ها و سیستم‌های الکترونیک نسبتا پیچیده می‌شود. بنابراین میزان خطا کاهش می‌یابد. شاخص‌های متمم حداکثر خطا و متوسط خطا برابر ۹۹درصد حاصل شد. در مجموع نتیجه ارزیابی عملکرد کمی الگوریتم، ۸۴ درصد با اعتبار ارزیابی ۱۰۰درصد است. در ارزیابی کیفی الگوریتم‌فازی (جدول۳)، شاخص سادگی حداقل مقدار را دارد که بیانگر پیچیده بودن الگوریتم است. در نتیجه میزان دخالت بهره بردار در فرآیند کنترل و تنظیم متغیر هدف و زمان پاسخگویی سامانه به تغییرات کاهش می‌یابد. در کل ارزیابی کیفی الگوریتم برابر ۶۳ درصد با اعتبار ارزیابی ۱۰۰درصد حاصل شد.
نتیجه کلی ارزیابی الگوریتم (جدول۴) با نمره ارزیابی ۷۷ درصد با اعتبار ارزیابی ۱۰۰درصد، بیانگر وضعیت خوب الگوریتم در تنظیم عمق آب است.

جدول ۲- شاخص‌های کمی ارزیابی عملکرد دیدگاه فنی الگوریتم فازی

ردیف	شاخص	شرح	مقدار
۱	ACO	پیچیدگی الگوریتم	۰/۵
۲	MAE	متمم حداکثر خطا	۰/۹۹
۳	IAE	متمم متوسط خطا	۰/۹۹
ارزیابی عملکرد			۰/۸۴
اعتبار ارزیابی			۱

جدول ۳- شاخص‌های کیفی ارزیابی عملکرد دیدگاه فنی الگوریتم فازی

ردیف	شاخص	شرح	مقدار
۱	scl	سادگی منطق کنترل	۰/۳
۲	seh	سادگی سخت افزار الکترونیک مورد نیاز	۰/۶
۳	roi	کاهش میزان دخالت اپراتور	۰/۷
۴	srt	کوتاهی زمان پاسخگویی	۰/۶
۵	ac	دقت	۰/۹
۶	sir	اطلاعات جانبی مورد نیاز	۰/۶
ارزیابی عملکرد			۰/۶۳
اعتبار ارزیابی			۱

جدول ۴- نتایج کلی ارزیابی عملکرد الگوریتم فازی

ردیف	نوع دیدگاه	اعتبار ارزیابی		عملکرد
۱	دیدگاه فنی	ارزیابی کمی	۱	۰/۸۴
		ارزیابی کیفی	۱	۰/۶۳
نتایج کلی			۱	۰/۷۷

- نتیجه‌گیری

تنوع گسترده تجهیزات مورد استفاده، انواع روش‌های بهره‌برداری ، نوع الگوریتم کنترل وانواع سازه‌های قابل خودکارسازی در بخش‌های مختلف شبکه، باعث پیچیدگی موضوع ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار شبکه‌های آبیاری می‌گردد. در مجموع لحاظ کردن کلیه عوامل موثر در ارزیابی سامانه‌های خودکار و قابلیت کاربرد آنها برای شرایط گوناگون و همچنین ضرورت توسعه این سامانه‌ها مبتنی بر ارزیابی آنها، بیانگر لزوم ارائه یک مدل جامع برای ارزیابی سامانه‌های خودکار است. این امر در توسعه مدل ارزیابی INACSEM بخوبی انجام شده است. مدل مذکور علاوه بر نتایج ارزیابی عملکرد در هر دیدگاه، مقادیر شاخص‌های محاسبه شده و عملکرد کل را نیز نشان می‌دهد. نتایج کاربرد مدل در مورد الگوریتم فازی بیانگر عملکرد ۷۷ درصد با اعتبار ارزیابی ۱۰۰درصد است. نتایج حاصل از کاربردهای مدل بیانگر مناسب بودن آن برای ارزیابی سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری است.

فهرست علائم

PAIS: Performance Assessment of Irrigation System, **NPAIS:** New Performance Assessment of Irrigation System

PAPIS: Performance Assessment of Pressurized Irrigation System, **NPAPIS:** New Performance Assessment of Pressurized Irrigation System, **INACSEM:** Irrigation Networks Automatic Control System Evaluation Model

ACO: Algorithm Complexity
MAE: Maximum Absolute Error
IAE: Integral of Absolute Error
scl: simple control logic
srt: short response time
sir: side information required
ac: accuracy
roi: reduce operators interference

- مراجع

- پیری، س. (۱۳۸۸). توسعه و تکمیل مدل(PAPIS) برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری تحت فشار(مطالعه موردی: آیدوغموش- میانه) . پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.

- قاهری، ع.، (۱۳۸۶). توسعه و تکمیل مدل PAIS و تبدیل آن به نرم افزار قابل کاربرد در مدیریت‌ها. معاونت پژوهشی و مطالعات پایه سازمان مدیریت منابع آب.

- قاهری، ع.،(۱۳۸۰). روش بهبود عملکرد از طریق مقایسه در شبکه‌های آبیاری و زهکشی. سومین کارگاه فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی.

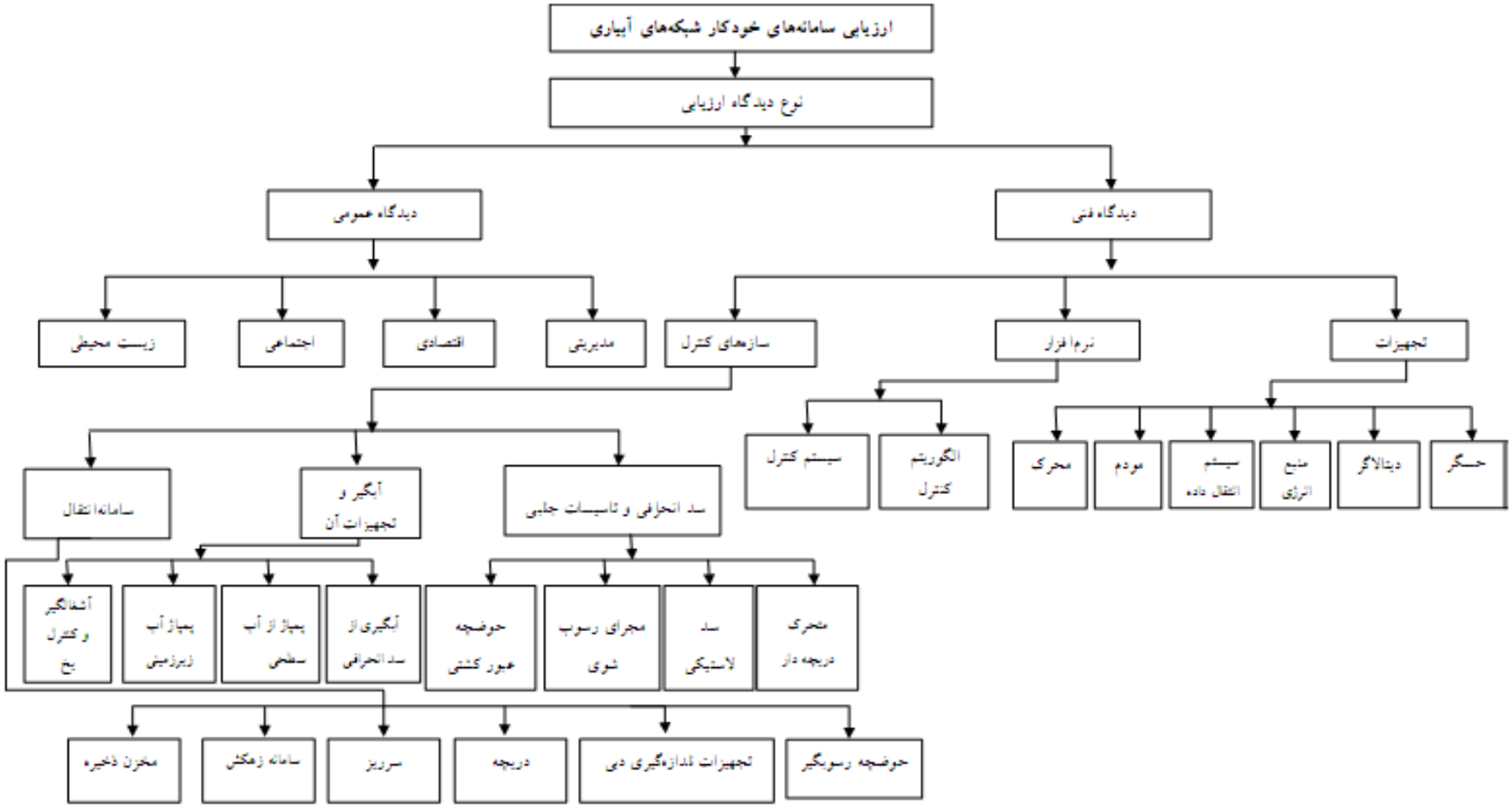
- مهدوی، پ.، منعم، م. ج. (۱۳۸۹). توسعه مدل ارزیابی عملکرد سامانه¬های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار با استفاده از روش کلاسیک. مجله آبیاری و زهکشی ایران, جلد ۴ شماره (۱). ص ۶۲-۷۲.

- منعم، م.ج.، قاهری، ع.، بادزهر، ع.ع.، غروی، ح.، برهان، ن.، ذوالفقاری، ا.، ثابتی، ا.، احسانی، ن .(۱۳۷۹). ارزیابی شبکه آبیاری قزوین با استفاده از مدل PAIS. دهمین کنفرانس بین المللی آبیاری و زهکشی، تهران. ۱۵۵- ۱۶۷.

-Litirco, X., Fromion, V., Baume, J., Arranja, C., Rijo, M. (2005). Experimental Validation of Methodology to control irrigation canals base on Saint- Venant equation. Control Engineering Practice, 13:1425-1437.

-Gomez, M., Rodellar, J., Mantencon, J., (2002). Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. Applied Mathematical Modeling, 26:1039-1056.

-Restrepo, C. G., (1983). A Methodology to Evaluation the Performance of Irrigation System: Appliction to Philippine National System. Ph. D dissertation, the Faculty of The Graduate School . 374.



شکل(۱) چارچوب کلی ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری