

توسعه مدل ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری

فاطمه صادقی^۱، محمدجواد منعم^{۲*}

۱. کارشناس ارشد گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشیار گروه مهندسی سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۳/۸)

چکیده

کاربرد سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری در حال گسترش و ارزیابی آن‌ها ضروری است. با توجه به تنوع اجزای سامانه‌های خودکار عملکرد مجموعه سامانه در شبکه تابعی از عملکرد هر یک از اجزاست. توسعه مدل ارزیابی عملکرد با در نظر گرفتن همه جنبه‌های خودکارسازی در شبکه ضروری است. در این تحقیق مدل INACSEM با استفاده از روش ارزیابی کلاسیک برای ارزیابی سامانه‌های کنترل خودکار شبکه‌های آبیاری در دو دیدگاه فنی و عمومی تهیه شده است. دیدگاه فنی شامل تجهیزات و نرم‌افزار و سازه‌های کنترل خودکار در بخش‌های مختلف شبکه و دیدگاه عمومی شامل دیدگاه‌های مدیریتی و اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی است. با استفاده از مدل، نتیجه ارزیابی سامانه خودکار پایش دبی در کانال عقیلی شبکه گتوند برابر ۶۳ درصد با اعتبار ۸۰ درصد به دست آمد. تحقیق انجام شده بیانگر آن است که مدل جامع توسعه یافته ابزاری مناسب برای ارزیابی سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری است.

کلیدواژگان: خودکارسازی، سامانه‌های خودکار، شبکه‌های آبیاری، کانال عقیلی، مدل ارزیابی عملکرد

مقدمه

بیش از ۸۰ درصد منابع آبی جهان در بخش کشاورزی استفاده می‌شود و قسمت عمده آن به علت مدیریت ضعیف به هدر می‌رود (Litirco et al., 2005). عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری ضرورت بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های آبیاری را ایجاب می‌کند. مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری برای بهبود عملکرد شبکه‌ها به منزله هدفی استراتژیک در نقاط مختلف جهان مطرح شده است (Gomez et al., 2002). هدف خودکارسازی یکی از رویکردهای مدرن‌سازی و افزایش انعطاف‌پذیری و بهره‌برداری مطلوب در شبکه‌های آبیاری است.

کاربرد سامانه‌های کنترل خودکار در شبکه‌های آبیاری، چهار تا پنج دهه سابقه دارد و به طور گسترده‌ای از نظر الگوریتم‌های کنترل و نوع تجهیزات و دامنه کاربرد در حال توسعه است. خودکارسازی می‌تواند در بخش‌های متفاوتی از یک شبکه آبیاری صورت گیرد. بسته به نیاز، ممکن است خودکارسازی در سطح بند انحرافی، ایستگاه پمپاژ، کانال‌های اصلی و فرعی، یا به طور جامع در سراسر شبکه به صورت سیستم‌های تله‌متری اجرا گردد. در ایران به کاربرد سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری اخیراً توجه شده و روندی رو به رشدی دارد و لازم است توسعه آن‌ها مبتنی بر ارزیابی عملکرد

آن‌ها باشد. در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار از روش کلاسیک استفاده شد. روش کلاسیک از روش‌های ارزیابی کمی شبکه‌های آبیاری است که به علت کارآمدی و ساده بودن به آن توجه می‌شود.

روش ارزیابی کلاسیک نخستین بار با ارائه یک مدل جامع ارزیابی و استفاده از شاخص‌های مختلف و سیستم امتیازدهی وزنی در طرح‌های آبیاری جنوب و جنوب شرقی آسیا استفاده شد (Restrepo, 1983). مدل‌های PAIS (Monem et al., 2000) و NPAIS (Ghaehri, 2007) با تلفیق دو روش ارزیابی کلاسیک و سریع برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری روباز ارائه شدند. نتایج کاربرد مدل‌ها در شبکه قزوین نشان داد این مدل‌ها ابزاری کارآمد برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری‌اند. مدل‌های PAPIS (Mahdavi and Monem, 2010) و NPAPIS (Piri et al., 2012) با استفاده از روش کلاسیک برای ارزیابی سیستم‌های انتقال و توزیع آبیاری تحت فشار ارائه شدند. در این مدل‌ها کاربر می‌تواند در سطح و دقت مورد نظر هر یک از دیدگاه‌های پیش‌بینی‌شده مدل را ارزیابی کند. نتایج کاربرد مدل در سامانه تحت فشار در واحد اکرم‌آباد شبکه آیدوغموش نشان داد این مدل‌ها ابزاری مناسب برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری تحت فشارند. مدل‌های توسعه یافته ارزیابی عملکرد صرفاً شبکه‌های آبیاری روباز و تحت فشار را در برمی‌گیرد و ارزیابی سامانه‌های خودکار را به صورت مستقل پوشش نمی‌دهد.

دیگر ویژگی‌های روش ارزیابی کلاسیک عبارت‌اند از سرعت عمل بیشتر در فرایند ارزیابی، مشخص‌تر شدن محدوده ضعف‌ها و کاستی‌ها، تعیین مشخص‌تر جهت‌گیری‌ها در اقدامات اصلاحی. در این روش، ابتدا دیدگاه‌ها و زمینه‌های ارزیابی دسته‌بندی و شاخص‌های ارزیابی در هر زمینه تعریف می‌شود. سپس با ایجاد یک سیستم امتیازدهی برای شاخص‌های هر یک از زمینه‌ها و اندازه‌گیری شاخص‌ها نمره عملکرد هر یک از زمینه‌ها و دیدگاه‌ها و نهایتاً شاخص عملکرد کلی طرح آبیاری محاسبه می‌شود.

با شناسایی مجموعه عوامل مؤثر بر عملکرد همه اجزاء سامانه‌های خودکار و شاخص‌های ارزیابی تعریف و در مجموعه مدل درج شد. برای تعیین عملکرد کل متوسط وزنی شاخص‌ها در دیدگاه‌ها به کار رفت (Ghaheri et al., 2000). به‌علت اینکه میزان تأثیر 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 سلسله‌مراتبی (AHP) با مقایسات زوجی و نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. برای نمایش کاربرد مدل، سامانه پایش خودکار شبکه گتوند ارزیابی شد. شبکه گتوند با وسعت ناخالص ۴۷۷۱۰ هکتار یکی از شبکه‌های آبیاری بزرگ کشور است. این شبکه دو کانال اصلی گتوند و عقیلی دارد. در این مقاله ارزیابی سامانه خودکار پایش دبی استفاده‌شده در کانال عقیلی انجام شد. خودکارسازی در این کانال شامل سیستم اندازه‌گیری و پایش دبی است. دستگاه آراین 2000 نصب‌شده در این کانال شامل ۱. حسگر سرعت‌سنج آب؛ ۲. حسگر سطح‌سنج آب اولتراسونیک؛ ۳. سیستم نشان‌دهنده سرعت آب به نام Velocity؛ ۴. سیستم محاسبه جریان‌های لحظه‌ای و تجمعی دبی به نام Arian2000 است.

یافته‌ها و بحث

با توجه به ضرورت جامع‌نگری در ارزیابی سامانه‌های خودکار تلاش وسیعی برای شناسایی همه اجزای سامانه‌های خودکار و دسته‌بندی مناسب آن‌ها در چارچوب ارزیابی صورت گرفت. شکل ۱ چارچوب جامع ارزیابی سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری توسعه‌یافته در این تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به گستردگی عوامل مؤثر بر عملکرد سامانه‌های کنترل خودکار، چارچوب کلی ارزیابی به دو دیدگاه فنی و عمومی تقسیم شد. دیدگاه فنی شامل تجهیزات و نرم‌افزار و سازه‌های کنترل است. تجهیزات خودکار شامل حسگر، دیتالاگر، منبع انرژی، سیستم انتقال داده، مودم، و محرک‌هاست. نرم‌افزارهای کنترل خودکار شامل انواع الگوریتم‌های کنترل و سیستم کنترل در شبکه است.

با وجود چند دهه سابقه توسعه سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری در جهان، به موضوع ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار به‌صورت موردی در بخش‌های مختلف توجه شده است. انواع سیستم‌های کنترل خودکار بالادست و پایین‌دست در تحقیقات مختلف بررسی و ارزیابی شده است (Monem and Shuurmans, 1992; Savagere, 1992). برای همسان‌سازی ارزیابی الگوریتم‌های کنترل خودکار انجمن مهندسان عمران آمریکا، ضمن معرفی شاخص‌های ارزیابی، دو نمونه کانال‌های استاندارد و گزینه‌های بهره‌برداری را معرفی کرد (Clemmens et al., 1998). آزمون‌های پیشنهادی در تحقیقات مختلف به کار رفت؛ از جمله سیستم کنترل PII (الگوریتم تناسبی انتگرالی) (Clemmens and Wahlin, 2004) و الگوریتم کنترل فازی (Monem and Kiapasha, 2008). تجربیات گذشته عموماً موردی است و صرفاً الگوریتم‌های کنترل خودکار را ارزیابی می‌کند و ارزیابی سایر جنبه‌های سامانه‌های خودکار را به‌صورت جامع دربرنمی‌گیرد.

سامانه‌های خودکار به‌صورت پراکنده در شبکه‌های آبیاری سطح کشور کاربرد دارند و روند آن‌ها رو به رشد است. قبل از ادامه توسعه خودکارسازی، لازم است تجربیات موجود در بخش‌های مختلف شبکه‌های آبیاری بررسی و ارزیابی و مسائل و مشکلات شناسایی شوند تا از تکرار مشکلات در طرح‌های آینده پرهیز کرد.

سامانه‌های کنترل خودکار از اجزا و تجهیزات متعدد تشکیل شده‌اند؛ به‌طوری‌که عملکرد هر یک از آن‌ها عملکرد کل سامانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر آن بخش‌های مختلف یک سامانه خودکار می‌تواند در قسمت‌های مختلف یک شبکه استفاده شود. بنابراین، ارزیابی عملکرد کل سامانه خودکار باید دربرگیرنده همه اجزای خودکار در شبکه باشد. با توجه به گستردگی سامانه‌های خودکار از نظر نوع تجهیزات و اجزا و امکان کاربرد آن در بخش‌های مختلف شبکه و نیز عدم توجه کافی به ارزیابی آن‌ها به‌صورت جامع توسعه مدل جامعی برای ارزیابی سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری ضروری است که هدف اصلی این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق تلاش وسیعی صورت گرفت تا همه اجزای سامانه‌های خودکار و تأسیسات قابل خودکارسازی شبکه‌های آبیاری شناسایی شوند و چارچوب جامع ارزیابی سامانه‌های خودکار، شامل دیدگاه‌ها و زمینه‌های مربوط، توسعه یابد. از روش‌های ارزیابی کمی شبکه‌های آبیاری روش کلاسیک است که به‌علت ساده‌بودن در این تحقیق استفاده شد.

JP: شاخص اشتغال، PJ: میزان اشتغال نیروی کار پس از احداث پروژه، نفر در هکتار، II: میزان اشتغال نیروی کار اولیه، نفر در هکتار.

ج) دیدگاه اقتصادی

عوامل مؤثر در ارزیابی دیدگاه اقتصادی به صورت شاخص های کمی ارائه شده است. از این شاخص ها می توان به افزایش درآمد شبکه از فروش آب (NRRWS) اشاره کرد (رابطه ۲).

$$NRRWS = \frac{C_{PI}}{C_{PP}} \quad \text{رابطه ۲}$$

C_{PI}: درآمد حاصل از فروش آب، C_{PP}: درآمد پیش بینی شده حاصل از فروش آب.

در صورتی که مقدار شاخص محاسبه شده در رابطه ۲ برابر یا کوچک تر از ۱ باشد، همان مقدار در ارزیابی عملکرد استفاده می شود. در غیر این صورت نشان دهنده افزایش درآمد شبکه است و مقدار آن برابر ۱ لحاظ می شود.

د) دیدگاه زیست محیطی

عوامل مؤثر در ارزیابی دیدگاه زیست محیطی به صورت شاخص های کمی ارائه شده است. از این شاخص ها می توان به شرایط ماندابی (WA) اشاره کرد (رابطه ۳).

$$WA = \frac{IWA}{PIW} \quad \text{رابطه ۳}$$

IWA: مساحت اولیه اراضی ماندابی، PIW: مساحت موجود اراضی ماندابی.

با توجه به اینکه خودکارسازی باعث کاهش تلفات آب می شود اصولاً نباید در اثر آن سطح اراضی ماندابی افزایش یابد یا سطح آب زیرزمینی بالا بیاید. بنابراین، در صورتی که مقدار شاخص محاسبه شده در رابطه ۳ برابر یا بزرگ تر از ۱ باشد نشان دهنده عملکرد نامطلوب سامانه خودکار است و مقدار شاخص برابر صفر لحاظ می شود. در جدول ۱ تعداد شاخص های کمی و کیفی تعریف شده در هر یک از دیدگاه ها در مدل می آید (Sadeghi, 2012).

ضرایب اهمیت وزنی برای همه شاخص ها و دیدگاه ها به صورت پیش فرض در مدل به کار رفته است.

تأسیسات کنترل شامل انواع سازه های قابل خودکارسازی در شبکه های آبیاری است که در بخش های مختلف شبکه، اعم از سد انحرافی و تأسیسات وابسته و آبیگرها و سامانه انتقال آب، استفاده می شود. دیدگاه عمومی نیز شامل مسائل مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، و زیست محیطی است. در دیدگاه عمومی دیدگاه مدیریتی نحوه بهره برداری و نگهداری سامانه و دیدگاه اجتماعی شامل میزان رضایتمندی بهره برداران و ارتقای سطح دانش و تکنولوژی در منطقه و دیدگاه اقتصادی شامل وضعیت اقتصادی در طراحی و نصب و اجرا و بهره برداری سامانه و دیدگاه زیست محیطی بیانگر مسائل و آثار مثبت و منفی زیست محیطی سامانه های خودکار است.

با شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد اجزا در چارچوب ارزیابی و تعریف شاخص های کمی و کیفی عملکرد سامانه خودکار تعریف می شود. شاخص های فنی کارایی مؤلفه های فیزیکی سامانه را از جنبه های مختلف ارزیابی می کنند. با توجه به مطالعه موردی انجام شده بر سامانه خودکار پایش دبی در کانال عقیلی شبکه گتوند شاخص های فنی استفاده شده در ارزیابی حسگرها در آن بخش به طور کامل معرفی شده اند. در این قسمت نمونه هایی از شاخص های عمومی استفاده شده معرفی می شود. گفتنی است محدوده شاخص ها صفر تا ۱ است که در بهترین وضعیت مقدار شاخص ۱ و در بدترین وضعیت مقدار آن صفر است.

الف) دیدگاه مدیریتی

عوامل مؤثر در ارزیابی دیدگاه مدیریتی به صورت شاخص های کیفی بررسی شدند. از این شاخص ها می توان به آموزش بهره برداران و حذف اشتباهات انسانی در بهره برداری اشاره کرد.

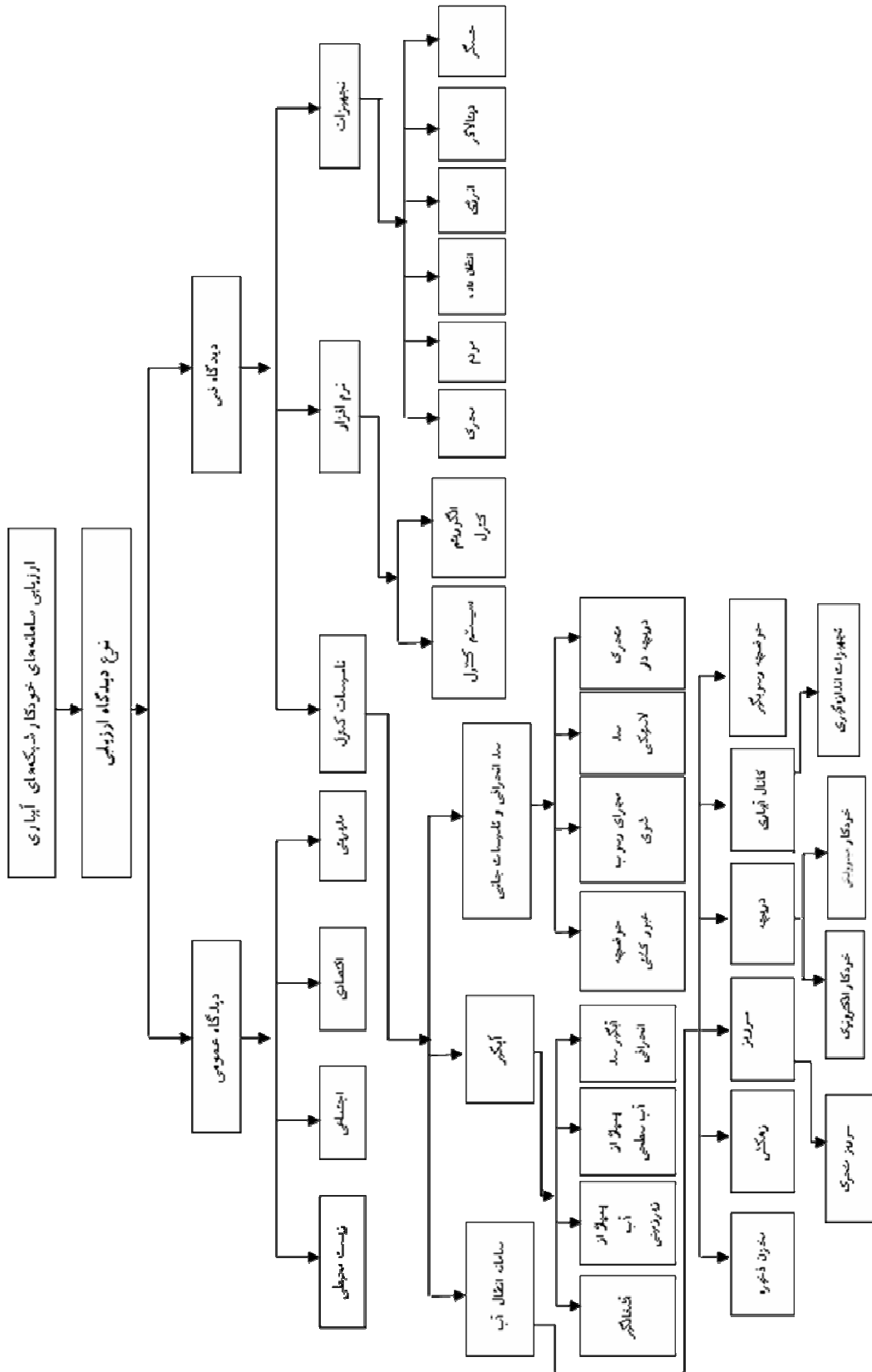
ب) دیدگاه اجتماعی

مسائل اجتماعی به صورت شاخص های کیفی و کمی تعیین شد. شاخص های کیفی عبارتند از رضایت زارعان و ارتقای آگاهی عمومی و افزایش سطح فناوری. از شاخص های کمی نیز می توان به وضع اشتغال و کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای بهره برداری از شبکه اشاره کرد (رابطه ۱).

$$JP = 1 - \frac{PJ}{IJ} \quad \text{رابطه ۱}$$

جدول ۱- تعداد شاخص های تعریف شده در مدل ارزیابی عملکرد سامانه های خودکار شبکه های آبیاری

نوع دیدگاه	دیدگاه فنی						نوع زیرمجموعه
	تجهیزات	نرم افزار	تأسیسات کنترل	مدیریتی	اجتماعی	اقتصادی	
تعداد شاخص های کمی	۵۶	۱۳	۱۳۸	-	۲	۹	۲
تعداد شاخص های کیفی	۴۳	۱۸	۱۱۲	۱۵	۸	-	-
تعداد کل شاخص ها	۳۸۰				۳۴		



شکل ۱ - چارچوب مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری

- متوسط تجمعی خطا (IAER) (رابطه ۱۱).

$$IAER = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |F_m - F_t|}{F_t} \quad (11)$$

- حداکثر خطا (MAER) (رابطه ۱۲).

$$MAER = \frac{\max |F_m - F_t|}{F_t} \quad (12)$$

n تعداد اندازه‌گیری‌هاست. در صورتی که مقدار شاخص محاسبه‌شده در روابط ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ برابر یا کوچک‌تر از ۱ باشد، از همان مقدار در ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود. در غیر این صورت، وضعیت حسگر نامناسب است و نمره صفر برای آن لحاظ می‌گردد.

- تکرارپذیری (R): نشان‌دهنده میزان پراکندگی مقادیر خروجی در اندازه‌گیری‌های متوالی یک مقدار از ورودی است (رابطه ۱۴).

$$R = \frac{|F_{\max} - A_v|}{(F_{\max} - F_{\min})} \quad (14)$$

A_v: مقدار متوسط داده‌های اندازه‌گیری‌شده، F_{max}: بزرگ‌ترین مقدار اندازه‌گیری‌شده، F_{min}: کوچک‌ترین مقدار اندازه‌گیری‌شده.

در صورتی که سطح آب ثابت باشد، مقدار F_{max} و F_{min} برابر می‌شود. در این صورت مقدار مخرج برابر صفر و حاصل کسر برابر ۱ است. در سایر موارد مقدار کسر همواره کوچک‌تر از ۱ است.

ب) شاخص‌های بهره‌برداری و نگهداری

- واسنجی دستگاه میزان مطابقت با استاندارد را تعیین می‌کند. در واقع واسنجی اندازه‌گیری و تعیین صحت وسیله اندازه‌گیری در مطابقت با مرجع تأییدشده است.

- تعداد واسنجی (NCA) (رابطه ۱۵).

$$NCA = \frac{N_{ca}}{N_p} \quad (15)$$

N_{ca}: تعداد واسنجی انجام‌شده، N_p: تعداد واسنجی پیش‌بینی‌شده در طرح.

اگر N_{ca} بیشتر از N_p باشد، NCA برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

- فاصله زمانی واسنجی (TCA) (رابطه ۱۶).

$$TCA = \frac{T_{ca}}{T_p} \quad (16)$$

T_p: فاصله زمانی توصیه‌شده واسنجی در طرح، T_{ca}: فاصله زمانی اجراشده واسنجی.

اگر فاصله زمانی واسنجی انجام‌شده بیشتر از مقدار پیش‌بینی‌شده باشد، حاصل کسر بزرگ‌تر از ۱ می‌شود که

کاربر مدل می‌تواند در صورت نیاز برای انتخاب ضرایب اهمیت طبق نظر خود اقدام کند. برای تعیین عملکرد دیدگاه ارزیابی و عملکرد کلی سامانه‌های خودکار از روابط ۴ تا ۹ استفاده شد (Ghaehri, 2000).

$$YA1 = \sum_{j=1}^{M_i} C_j I_j \quad (4)$$

$$YA2 = \sum_{j=1}^{M_i} C_j \quad (5)$$

$$PAA = \left(\frac{YA1}{YA2} \right) \times 100 \quad (6)$$

YA1: عملکرد واقعی دیدگاه، YA2: عملکرد استاندارد دیدگاه، PAA: نمره عملکرد کل دیدگاه، z: شماره شاخص در دیدگاه،

$$Y1 = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^{M_i} C_{ij} I_{ij} \quad (7)$$

$$Y2 = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^{M_i} C_{ij} \quad (8)$$

$$PA = \left(\frac{Y1}{Y2} \right) \times 100 \quad (9)$$

Y1: عملکرد واقعی کل سامانه

خودکار، Y2: عملکرد استاندارد سامانه خودکار، PA: نمره عملکرد کل سامانه خودکار، z: شماره دیدگاه، C_i: ضریب وزنی دیدگاه i، N: تعداد کل دیدگاه‌ها، M_i: تعداد کل شاخص‌ها، z: شماره شاخص در دیدگاه i، C_{ij}: ضریب وزنی شاخص i در دیدگاه j، I_{ij}: مقدار شاخص i در دیدگاه j.

نتایج کاربرد مدل در ارزیابی سامانه پایش خودکار شبکه آبیاری گتوند

در سامانه خودکار پایش کانال عقیلی در شبکه گتوند حسگر سرعت‌سنج و حسگر سطح‌سنج آب ارزیابی شدند. به همین علت در این قسمت شاخص‌های ارزیابی حسگرها تشریح می‌شود.

ارزیابی دیدگاه فنی

در دیدگاه فنی، در بخش تجهیزات، حسگرها که از اجزای اصلی هر سامانه خودکارند از نظر فنی و بهره‌برداری و نگهداری و اقتصادی ارزیابی شدند. شاخص‌های استفاده‌شده به شرح زیر است.

الف) شاخص‌های فنی

- نسبت خطا (ER): عبارت است از نسبت خطای موجود حسگر به خطای مجاز آن (رابطه ۱۰).

$$ER = \frac{ER_m}{ER_t} \quad (10)$$

ER_t: مقدار خطای مجاز حسگر و ER_m: مقدار مطلق خطاست و برابر است با تفاوت خروجی حقیقی حسگر (F_m) و واقعی (اندازه‌گیری‌شده با دستگاه دیگر با دقت بیشتر F_t).

مطلوب نیست و مقدار آن صفر در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت، مقدار آن برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

- اطمینان (CO): نشان‌دهنده سهم خرابی هر یک از اجزا نسبت به کل خرابی سامانه خودکار است (رابطه ۱۷).

$$\text{رابطه ۱۷} \quad Co = 1 - \frac{ND_s}{ND_T}$$

ND_s: تعداد خرابی حسگر در طول سال، ND_T: تعداد کل خرابی‌های سامانه خودکار گزارش شده در طول سال.

در صورتی که حسگرها در طول سال خرابی نداشته باشند، حاصل شاخص برابر ۱ می‌شود. در صورتی که کل خرابی اجزای سامانه ناشی از حسگرها باشد، حاصل عبارت، صفر خواهد بود.

ج) اقتصادی

- نسبت قیمت حسگر (CSR) (رابطه ۱۸).

$$\text{رابطه ۱۸} \quad CSR = 1 - \frac{C_s}{C_{s_{max}}}$$

C_s: قیمت یک دستگاه حسگر، C_{s_{max}}: بیشترین هزینه حسگرهای موجود در بازار.

- نسبت هزینه بهره‌برداری و نگهداری (RMC)، شامل تعویض باتری و جایگزینی حسگرهای خراب شده (رابطه ۱۹).

$$\text{رابطه ۱۹} \quad RMC = \frac{RMC_m}{RMC_p}$$

RMC_m: هزینه سالیانه بهره‌برداری و نگهداری، RMC_p: هزینه سالانه بهره‌برداری و نگهداری پیش‌بینی شده در طرح. اگر مقدار شاخص بزرگ‌تر از ۱ باشد، نشان‌دهنده وضعیت نامناسب است و مقدار شاخص برابر صفر لحاظ می‌گردد.

د) شاخص‌های کیفی فنی

از جنبه‌های مهم ارزیابی کیفی فنی حسگرها سهولت نصب، واسنجی، بهره‌برداری و نگهداری، و سادگی دستورالعمل‌هاست. علاوه بر این تأثیرپذیری حسگر از عوامل محیطی، شامل دمای هوا و آب و تأثیر رسوب، نیز به صورت کیفی ارزیابی می‌شود. دیگر جنبه‌های ارزیابی کیفی عبارت‌اند از دردسترس بودن، که در واقع موجود بودن حسگر مورد نظر در بازار را نشان می‌دهد، آسیب‌پذیری، که نشان‌دهنده فرهنگ مردم در پذیرش و بهره‌برداری صحیح از این تجهیزات است، و تأخیر زمانی، که بیانگر فاصله زمانی میان اولین خروجی دستگاه بعد از روشن شدن آن است. انواع حسگرهای استفاده شده در شبکه آبیاری از نظر معیارهای فوق بررسی و متناسب با هر یک از حسگرها امتیازی به آن‌ها داده شد. نتایج شاخص‌های کیفی و کمی دیدگاه فنی ارزیابی حسگرها در جدول‌های ۲ و ۳ می‌آید. مقادیر ۱- در جدول ۳ بیانگر نبود اطلاعات برای محاسبه شاخص است.

جدول ۲. شاخص‌های کیفی فنی ارزیابی عملکرد حسگرهای دستگاه آبرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی

شاخص	شرح	عمق سنج	سرعت سنج
ec	سهولت واسنجی	۰/۸	۰/۸
av	دردسترس بودن	۰/۸	۰/۷
neat	عدم تأثیر دمای هوا	۰/۶	۰/۹
newt	عدم تأثیر دمای آب	۰/۹	۰/۳
Nes	عدم تأثیر رسوب	۰/۷	۰/۹
Vu	آسیب‌پذیری	۰/۳	۰/۷
ei	سهولت نصب	۰/۸	۰/۷
si	سادگی دستورالعمل	۰/۵	۰/۴
em	سهولت نگهداری	۰/۸	۰/۷
cw	تماس با آب	۰/۱	۰/۹
aiw	عملکرد در آب‌های ناخالص	۰/۹	۰/۹
lt	تأخیر زمانی	۰/۷	۰/۷
per	نیاز به تجهیزات جانبی	۰/۸	۰/۷
co	هزینه	۰/۷	۰/۵
	نتایج کیفی ارزیابی	۰/۷	۰/۶۷
	اعتبار ارزیابی	۱	۱

جدول ۳. شاخص‌های کمی فنی ارزیابی عملکرد حسگرهای دستگاه آبرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی

شاخص	شرح	عمق سنج	سرعت سنج
ER	نسبت خطا	۰	۱
AR	نسبت صحت	۰/۸۹	۰/۸۳
P	نسبت دقت	۰/۳۵	۰/۹
IAER	متوسط تجمعی خطا	۰/۵	۰/۷
IAAR	متوسط صحت	۰	۰
IP	متوسط دقت	۰/۶۵	۰/۴۵
MAER	حداکثر خطا	۰/۱۴۱	۰/۷۴
MAR	حداکثر صحت	۰/۲۸	۰
MP	حداکثر دقت	۰/۷	۰/۱۸
R	تکرارپذیری	۰/۵۳	۱
Re	قدرت تفکیک	۱	۰/۰۱
FR	فرکانس	۱	۱
NCA	تعداد واسنجی	۱	۱
TCA	فاصله زمانی واسنجی	۱	۱
Co	اطمینان	-۱	-۱
CSR	نسبت قیمت حسگر	۰/۶۲	۰/۶۲
CER	نسبت هزینه تجهیزات جانبی	-۱	-۱
RMC	نسبت هزینه تعمیر، نگهداری، و بهره‌برداری	.	.
	نتایج کمی ارزیابی	۰/۵۳	۰/۵۱
	اعتبار ارزیابی	۰/۸۸	۰/۸۸

مدیریتی و ۶۶ درصد در دیدگاه اجتماعی است. در دیدگاه مدیریتی بهترین شاخص را سهولت بهره‌برداری و نگهداری دستگاه دارد. زیرا بهره‌بردار کمترین دخالت را دارد. کمترین شاخص را تعمیر و نگهداری تخصصی دارد. به علت اینکه در صورت بروز مشکل فنی بهره‌برداران باید منتظر اعزام کارشناس از شرکت سازنده باشند؛ که در صورت آموزش بهره‌برداران ذی‌صلاح، می‌توان این مشکل را برطرف کرد. در دیدگاه اجتماعی بیشترین عملکرد مربوط به شاخص کاهش درگیری‌ها و مناقشات است. بدین ترتیب که در صورت بروز مناقشه (اعتراض کشاورزان) خروجی دستگاه، که مورد قبول طرفین و مراجع رسمی است، چاپ و ارائه می‌شود. از طرفی کمترین امتیاز در ارتباط با شاخص ارتقای آگاهی عمومی است، که با اقدامات ترویجی می‌توان سطح دانش کشاورزان را در زمینه فناوری‌های جدید ارتقا داد.

نتایج کلی ارزیابی عملکرد دستگاه آیرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی شبکه گتوند در جدول ۴ می‌آید. در دیدگاه عمومی زیر دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، به علت نبود اطلاعات کافی، ارزیابی نشده است. نتایج کمی ارزیابی دیدگاه فنی حسگر سرعت‌سنج و عمق‌سنج به ترتیب برابر ۵۳ درصد و ۵۱ درصد با اعتبار ارزیابی ۸۸ درصد است. این مقادیر بیانگر عملکرد متوسط حسگرهای آیرین ۲۰۰۰ در اندازه‌گیری پارامترهاست. نتایج کمی ارزیابی دیدگاه فنی بیانگر وضعیت مناسب عملیات بهره‌برداری و نگهداری است؛ مانند واسنجی دستگاه، که به صورت منظم انجام شده است. مقادیر شاخص‌های خطا نشان‌دهنده عملکرد متوسط دستگاه در اندازه‌گیری عمق و سرعت است. همچنین نتایج کیفی ارزیابی دیدگاه فنی حسگرهای عمق‌سنج و دبی‌سنج برابر ۷۰ و ۶۷ درصد با اعتبار ارزیابی ۱۰۰ درصد است. نتایج کیفی ارزیابی دیدگاه عمومی نشان‌دهنده عملکرد ۷۶ درصد در دیدگاه

جدول ۴. نتایج ارزیابی دستگاه آیرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی شبکه گتوند

ارزیابی دیدگاه عمومی		ارزیابی دیدگاه فنی		نتایج کمی ارزیابی
اجتماعی	مدیریتی	حسگر عمق سنج	حسگر سرعت سنج	
-	-	۰/۵۱	۰/۵۳	نتایج کمی ارزیابی
-	-	۰/۸۸	۰/۸۸	اعتبار ارزیابی
۰/۶۶	۰/۷۶	۰/۶۷	۰/۷	نتایج کیفی ارزیابی
۰/۸۳	۱	۱	۱	اعتبار ارزیابی
		۰/۶۳		نتایج کلی ارزیابی
		۰/۸		اعتبار ارزیابی

قوت هر دیدگاه را شناسایی و توصیه‌هایی برای رفع آن‌ها ارائه کرد. نتایج کاربرد مدل در مورد سامانه پایش دبی در کانال عقیلی شبکه گتوند عملکرد ۶۳ درصد را با اعتبار ارزیابی ۸۰ درصد نشان می‌دهد که گویای عملکرد متوسط سامانه پایش است. بیشترین پتانسیل بهبود در دیدگاه فنی قرار دارد که به بررسی وضعیت نصب دستگاه و شرایط تأثیرگذار بر عملکرد آن نیاز دارد. نتایج کاربرد مدل بیانگر مناسب بودن آن برای ارزیابی سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری است.

نتیجه‌گیری

گسترده‌گی اجزای سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و عوامل مؤثر بر عملکرد آن‌ها مستلزم توجه به اجزا و عوامل و تعریف مجموعه گسترده‌ای از شاخص‌های ارزیابی و تقسیم‌بندی آن‌ها در دیدگاه‌ها و زیردیدگاه‌هاست. این کار در توسعه مدل ارزیابی INACSEM به‌خوبی انجام شد. مدل یادشده، علاوه بر نتایج ارزیابی عملکرد در هر دیدگاه، مقادیر شاخص‌های محاسبه‌شده را نیز نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به مقادیر این شاخص‌ها در هر دیدگاه می‌توان نقاط ضعف و

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

AHP: Analytical Hierarchy Process

INACSEM: Irrigation Networks Automatic Control System Evaluation Model

ER: Error Ratio

IAER: Integral of Absolute Error Ratio

MAER: Maximum Absolute Error Ratio

P: Presidion

IP: Integral of Presidion

MP: Maximum of Presidion

AR: Accuracy Ratio

IAAR: Integral of Average Accuracy Ratio

MAR: Maximum of Accuracy

R: Repeatability

Re: Resolution

FR: Frequency

NCA: Number of Calibration

TCA: Time of Calibration

CO: Confidence

CSR: Cost of Sensor Ratio

CER: Cost of Equipment Ratio

RMC: Repair and Maintenance Cost

JP: Job performance

NRRFWS: Networks Revenue Ratio From Water Sales

ec: easy calibration

av: availability

neat: not effect air temp

newt: not effect water temp

nes: not effect sediment

vu: vulnerability

ei: easy installation

si: simple instruction

em: easy maintenance

cw: contact with water

aiw: application in impure water

It: lag time

per: peripheral equipment requirement

co: cost

REFERENCE

- Clemmens, A. J. and Wahlin, B. T. (2004). Simple Optimal Downstream Feedback Canal Controllers: ASCE test case results, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 130 (10), 35-46.
- Clemmense, A. J., kacerek, T. F., Grawitz, B., and Schuuramans, W. (1998). Test Cases for Canal Control Algorithms, *Journal of Iriigation and Drainage Engineering*, 1 24 (1), 23-29.
- Gaheri, A. (2007). *Development and complete of Evaluation PAIS Model and conversion its a software pplication management*, Research and basic studies of water resources management, (In Farsi).
- Gomez, M., Rodellar, J., and Mantencon, J. (2002). Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals, *Journal of Applied Mathematical Modeling*, 26, 1039-1056.
- Litrico, X., Fromion, V., Baume, J., Arranja, C., and Rijo, M. (2005). Experimental Validation of Methodology to Control Irrigation Canals Base on Saint Venant Equation, *Journal of Control Engineering, Practice*, 13, 1425-1437.
- Mahdavi, P. and Monem, M. J. (2010). Development of evaluation model for performance pressure irrigation conveyance and distribution system by use of classic method, *Journal of Iranian Irrigation and drainage*, 4 (1), 62-72, (In Farsi).
- Monem, M., Gaheri, A., Badzahr, A. A., Gharvi, H., Borhan, N., Zolfaghari, A., Sabeti, A., and Ehsani, M. (2000). Performance assessment of Qazvin irrigation network by using PAIS model, *10th Conference of the National Committee Irrigation and Drainage, Tehran*, 155-167, (In Farsi).
- Monem, M. J. and Kiapasha, M. S. (2008). Development of Downstream Fuzzy Controll System of Irrigation Canals, *Journal of Hydraulics*, 3 (4), 13-26, (In Farsi).
- Monem, M. J and Shuurmans, W. (1992). Performance of canal delivery strategies and control systems, *International workshop on the application of mathematical modeling for the improvement of irrigation canal operation*, 307-315.
- Piri, S., Monem, M. J., and Hasanpoor, F. (2012). *Development and Completion of Performance Evaluation Model for Pressurized Irrigation Networks (NPAPIS)* Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3 (6), 196-205, (In Farsi).
- Rahimi, H. (1990). The effect of soil salinity and sodicity on stability of Hydraulic structure (case study: Gotvand network), *Journal of Iranian agriculture science*, 21 (1, 2), (In Farsi).
- 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.
- Sadeghi, F. (2012). *Development of Evaluation Model for Automated Control Systems in Irrigation Networks*, MSc dissertation, Tarbiat Modarres University, (In Farsi).Sauvagere, J. P. (1992). The Bival Canal Control System Application to the Sahel Canal Operatedby the Office du Niger (Mali), International workshop on the application of mathematical modeling for the improvement of irrigation canal operation, 199-212.
- Wahlin, B. T. (2004). Performance of Model Predictive Control on ASCE Test Canal 1, *Journal of Irrigation And Drainage Engineering*, 130 (3), 227-238.