مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲ (ص۱۴۲-۱۳۵)

توسعهٔ 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 ـ 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 مجموعهٔ سامانه در شبکه تابعی از عملکرد هر یک از اجزاست. توسعهٔ مدل ارزیابی عملکرد با درنظرگرفتن همهٔ 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، نتیجهٔ ارزیابی سامانهٔ خودکار پایش دبی در کانال عقیلی شبکهٔ گتوند برابر ۶۳ درصد با اعتبار ۸۰ درصد به‌دست آمد. تحقیق انجام‌شده بیانگر آن است که مدل جامع توسعه‌یافته 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 عمدهٔ آن به‌علت مدیریت ضعیف به‌هدر 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 به‌منزلهٔ 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 به‌طور گسترده‌ای از نظر الگوریتم‌های کنترل و نوع تجهیزات و دامنهٔ کاربرد در حال توسعه است. خودکارسازی می‌تواند در بخش‌های متفاوتی از یک شبکهٔ آبیاری صورت گیرد. بسته به نیاز، ممکن است خودکارسازی در سطح بند انحرافی، ایستگاه پمپاژ، کانال‌های اصلی و فرعی، یا به‌طور جامع در سراسر شبکه به‌صورت 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 توسعهٔ 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 کمّی شبکه‌های آبیاری است که به‌علت کارآمدی و ساده‌بودن به آن توجه می‌شود.

روش ارزیابی کلاسیک نخستین بار با ارائهٔ 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 (Ghaheri, 2007) با تلفیق دو روش ارزیابی کلاسیک و سریع برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری روباز ارائه شدند. نتایج کاربرد مدل‌ها در شبکهٔ 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 پیش‌بینی‌شدهٔ مدل را ارزیابی کند. نتایج کاربرد مدل در سامانهٔ تحت فشار در واحد اکرم‌آباد شبکهٔ آیدوغموش نشان داد این مدل‌ها ابزاری مناسب برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری تحت فشارند. مدل‌های توسعه‌یافتهٔ ارزیابی عملکرد صرفاً شبکه‌های آبیاری روباز و تحت فشار را دربرمی‌گیرد و ارزیابی سامانه‌های خودکار را به‌صورت مستقل پوشش نمی‌دهد.

* نویسنده مسئول: monem_mj@modares.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

با وجود چند دهه سابقهٔ توسعهٔ 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 امریکا، ضمن معرفی شاخص‌های ارزیابی، دو نمونهٔ کانال‌های استاندارد و گزینه‌های بهره‌برداری را معرفی کرد (Clemmens *et al.*, 1998). آزمون‌های پیشنهادی در تحقیقات مختلف به‌کار رفت؛ از جمله سیستم کنترل PIL (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 ادامهٔ توسعهٔ 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 سامانهٔ خودکار می‌تواند در قسمت‌های مختلف یک شبکه استفاده شود. بنابراین، ارزیابی عملکرد کل سامانهٔ خودکار باید دربرگیرندهٔ همهٔ 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 جامعْ توسعهٔ 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 همهٔ 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 کمّی شبکه‌های آبیاری روش کلاسیک است که به‌علت ساده‌بودن در این تحقیق استفاده شد. دیگر ویژگی‌های روش ارزیابی کلاسیک عبارت‌اند از سرعت عمل بیشتر در فرایند ارزیابی، مشخص‌ترشدن محدودهٔ 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 نمرهٔ عملکرد هر یک از زمینه‌ها و دیدگاه‌ها و نهایتاً شاخص عملکرد کلی طرح آبیاری محاسبه می‌شود.

با شناسایی مجموعهٔ عوامل مؤثر بر عملکرد همهٔ اجزا، سامانه‌های خودکار و شاخص‌های ارزیابی تعریف و در مجموعهٔ مدل درج شد. برای تعیین عملکرد کل متوسط وزنی شاخص‌ها در دیدگاه‌ها به‌کار 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، سامانهٔ پایش خودکار شبکهٔ گتوند ارزیابی شد. شبکهٔ 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 سامانهٔ خودکار پایش دبی استفاده‌شده در کانال عقیلی انجام شد. خودکارسازی در این کانال شامل سیستم اندازه‌گیری و پایش دبی است. دستگاه آرین 2000 نصب‌شده در این کانال شامل ۱. حسگر سرعت‌سنج آب؛ ۲. حسگر سطح‌سنج آب اولتراسونیک؛ ۳. سیستم نشان‌دهندهٔ سرعت آب به نام Velocity؛ ۴. سیستم محاسبهٔ 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 همهٔ 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.

Archive of SID

www.SID.ir

تأسیسات کنترل شامل انواع سازه‌های قابل خودکارسازی در شبکه‌های آبیاری است که در بخش‌های مختلف شبکه، اعم از سد انحرافی و تأسیسات وابسته و آبگیرها و سامانهٔ انتقال آب، استفاده می‌شود. دیدگاه عمومی نیز شامل مسائل مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی است. در دیدگاه عمومی دیدگاه مدیریتی نحوهٔ بهره‌برداری و نگه‌داری سامانه و دیدگاه اجتماعی شامل میزان رضایتمندی بهره‌برداران و ارتقای سطح دانش و تکنولوژی در منطقه و دیدگاه اقتصادی شامل وضعیت اقتصادی در طراحی و نصب و اجرا و بهره‌برداری سامانه و دیدگاه زیست‌محیطی بیانگر مسائل و آثار مثبت و منفی زیست‌محیطی سامانه‌های خودکار است.

با شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد اجزا در چارچوب ارزیابی و تعریف شاخص‌های کمّی و کیفی عملکرد سامانهٔ خودکار تعریف می‌شود. شاخص‌های فنی کارایی مؤلفه‌های فیزیکی سامانه را از جنبه‌های مختلف ارزیابی می‌کنند. با توجه به مطالعهٔ موردی انجام‌شده بر سامانهٔ خودکار پایش دبی در کانال عقیلی شبکه گتوند شاخص‌های فنی استفاده‌شده در ارزیابی حسگرها در آن بخش به‌طور کامل معرفی شده‌اند. در این قسمت نمونه‌هایی از شاخص‌های عمومی استفاده‌شده معرفی می‌شود. گفتنی است محدودهٔ شاخص‌ها 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 به‌صورت شاخص‌های کیفی بررسی شدند. از این شاخص‌ها می‌توان به آموزش بهره‌برداران و حذف اشتباهات انسانی در بهره‌برداری اشاره کرد.

ب) دیدگاه اجتماعی

مسائل اجتماعی به‌صورت شاخص‌های کیفی و کمّی تعیین شد. شاخص‌های کیفی عبارت‌اند از رضایت زارعان و ارتقای آگاهی عمومی و افزایش سطح فناوری. از شاخص‌های کمّی نیز می‌توان به وضع اشتغال و کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای بهره‌برداری از شبکه اشاره کرد (رابطهٔ ۱).

$$JP=1-\frac{PJ}{IJ}$$

رابطهٔ ۱)

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

ج) دیدگاه اقتصادی

عوامل مؤثر در ارزیابی دیدگاه اقتصادی به‌صورت شاخص‌های کمّی ارائه شده است. از این شاخص‌ها می‌توان به افزایش درآمد شبکه از فروش آب (NRRWS) اشاره کرد (رابطهٔ ۲).

$$NRRWS=\frac{C_{PI}}{C_{PP}}$$

رابطهٔ ۲)

C_{PI}: درآمد حاصل از فروش آب، C_{PP}: درآمد پیش‌بینی‌شدهٔ حاصل از فروش آب.

در صورتی که مقدار شاخص محاسبه‌شده در رابطهٔ ۲ برابر یا کوچک‌تر از ۱ باشد، همان مقدار در ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود. در غیر این صورت نشان‌دهندهٔ افزایش درآمد شبکه است و مقدار آن برابر ۱ لحاظ می‌شود.

د) دیدگاه زیست‌محیطی

عوامل مؤثر در ارزیابی دیدگاه زیست‌محیطی به‌صورت شاخص‌های کمّی ارائه شده است. از این شاخص‌ها می‌توان به شرایط ماندابی (WA) اشاره کرد (رابطهٔ ۳).

$$WA=\frac{IWA}{PIW}$$

رابطهٔ ۳)

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

با توجه به اینکه خودکارسازی باعث کاهش تلفات آب می‌شود اصولاً نباید در اثر آن سطح اراضی ماندابی افزایش یابد یا سطح آب زیرزمینی بالا بیاید. بنابراین، در صورتی که مقدار شاخص محاسبه‌شده در رابطهٔ ۳ برابر یا بزرگ‌تر از ۱ باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد نامطلوب سامانهٔ خودکار است و مقدار شاخص برابر صفر لحاظ می‌شود. در جدول ۱ تعداد شاخص‌های کمّی و کیفی تعریف‌شده در هر یک از دیدگاه‌ها در مدل می‌آید (Sadeghi, 2012).

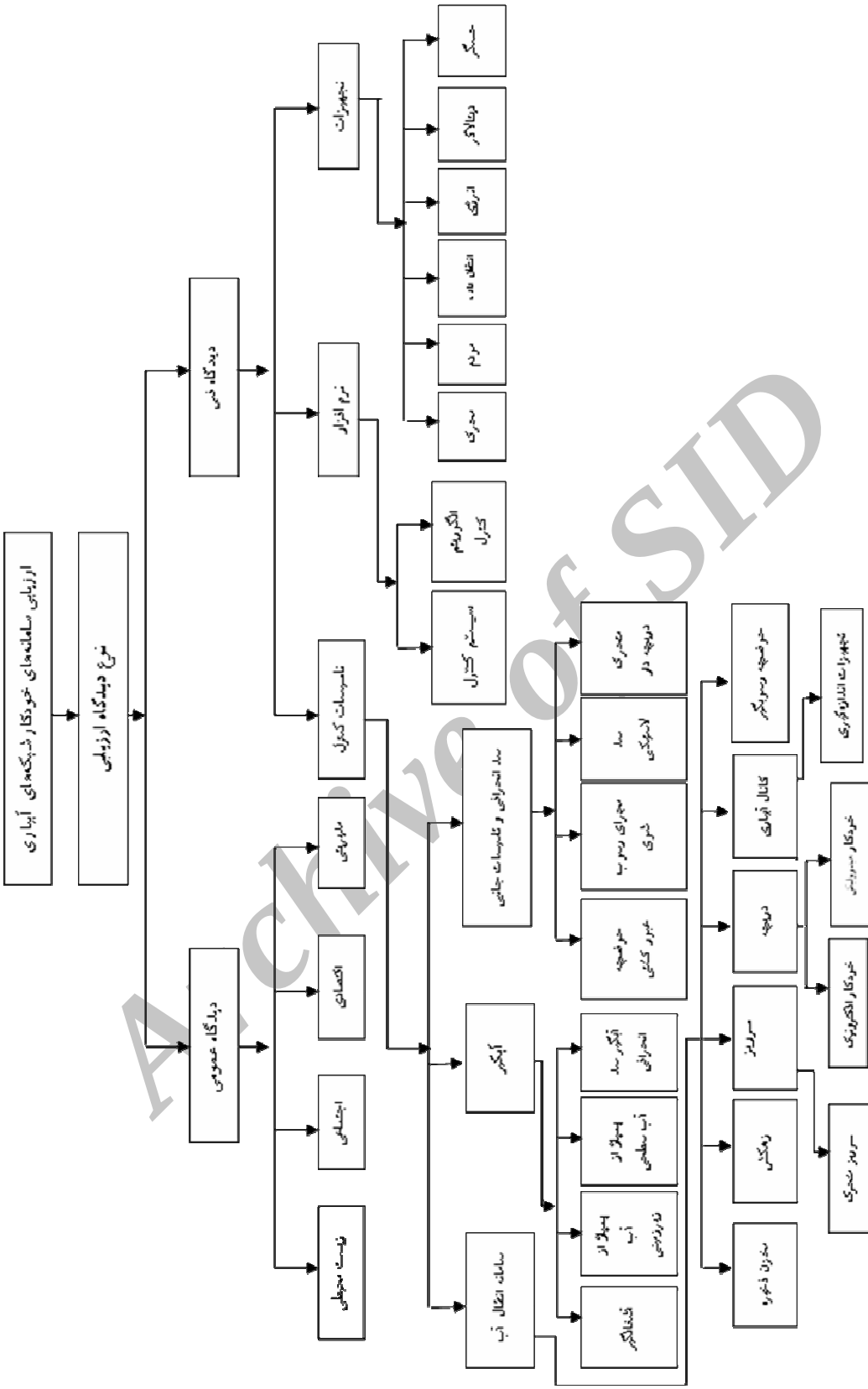
ضرایب اهمیت وزنی برای همهٔ شاخص‌ها و دیدگاه‌ها به‌صورت پیش‌فرض در مدل به‌کار رفته است.

جدول ۱- تعداد شاخص‌های تعریف‌شده در مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار شبکه‌های آبیاری

نوع دیدگاه	دیدگاه فنی			دیدگاه عمومی			
نوع زیرمجموعه	تجهیزات	نرم‌افزار	تأسیسات کنترل	مدیریتی	اجتماعی	اقتصادی	زیست‌محیطی
تعداد شاخص‌های کمّی	۵۶	۱۳	۱۳۸	-	۲	۹	۲
تعداد شاخص‌های کیفی	۴۳	۱۸	۱۱۲	۱۵	۸	-	-
تعداد کل شاخص‌ها	۳۸۰			۳۴			

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- چارچوب مدل ارزیابی عملکرد سامانه‌های خودکار شبکه های آبیاری

Archive of SID

www.SID.ir

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 (Ghaheri, 2000).

$$YA1 = \sum_{j=1}^{Mi} C_j I_j$$ رابطهٔ ۴)

$$YA2 = \sum_{j=1}^{Mi} C_j$$ رابطهٔ ۵)

$$PAA = (\frac{YA1}{YA2}) \times 100$$ رابطهٔ ۶)

YA1: عملکرد واقعی دیدگاه، YA2: عملکرد استاندارد دیدگاه، PAA: نمرهٔ عملکرد کل دیدگاه، j: شمارهٔ شاخص در دیدگاه، C_j: ضرایب وزنی شاخص jام، I_j: مقدار شاخص jام در دیدگاه.

$$Y1 = \sum_{i=1}^{N} C_i \sum_{j=1}^{Mi} C_{ij} I_{ij}$$ رابطهٔ ۷)

$$Y2 = \sum_{i=1}^{N} C_i \sum_{j=1}^{Mi} C_{ij}$$ رابطهٔ ۸)

$$PA = (\frac{Y1}{Y2}) \times 100$$ رابطهٔ ۹)

Y1: عملکرد واقعی کل سامانهٔ خودکار، Y2: عملکرد استاندارد سامانهٔ خودکار، PA: نمرهٔ عملکرد کل سامانهٔ خودکار، i: شمارهٔ دیدگاه، C_i: ضریب وزنی دیدگاه iام، N: تعداد کل دیدگاه ها، Mi: تعداد کل شاخص‌ها، j: شمارهٔ شاخص در دیدگاه iام، C_{ij}: ضریب وزنی شاخص jام در دیدگاه iام، I_{ij}: مقدار شاخص jام در دیدگاه iام.

نتایج کاربرد مدل در ارزیابی سامانهٔ پایش خودکار شبکهٔ آبیاری گتوند

در سامانهٔ خودکار پایش کانال عقیلی در شبکهٔ 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 سامانهٔ خودکارند از نظر فنی و بهره‌برداری و نگه‌داری و اقتصادی ارزیابی شدند. شاخص‌های استفاده‌شده به شرح زیر است.

الف) شاخص‌های فنی

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

$$ER = \frac{ER_m}{ER_t}$$ رابطهٔ ۱۰)

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).

ـ متوسط تجمعی خطا (IAER) (رابطهٔ ۱۱).

$$IAER = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n}|F_m - F_t|}{F_t}$$ رابطهٔ ۱۱)

ـ حداکثر خطا (MAER) (رابطهٔ ۱۲).

$$MAER = \frac{\max|F_m - F_t|}{F_t}$$ رابطهٔ ۱۲)

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 نمرهٔ صفر برای آن لحاظ می‌گردد.

ـ تکرارپذیری (R): نشان‌دهندهٔ میزان پراکندگی مقادیر خروجی در اندازه‌گیری‌های متوالی یک مقدار از ورودی است (رابطهٔ ۱۴).

$$R = \frac{|F_{max} - Av|}{(F_{max} - F_{min})}$$ رابطهٔ ۱۴)

Av: 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

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

ـ تعداد واسنجی (NCA) (رابطهٔ ۱۵).

$$NCA = \frac{N_{ca}}{N_P}$$ رابطهٔ ۱۵)

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.

ـ فاصلهٔ زمانی واسنجی (TCA) (رابطهٔ ۱۶).

$$TCA = \frac{T_{ca}}{T_p}$$ رابطهٔ ۱۶)

T_P: فاصلهٔ زمانی توصیه‌شدهٔ واسنجی در طرح، T_{ca}: فاصلهٔ زمانی اجراشدهٔ واسنجی.

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

Archive of SID

www.SID.ir

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

ـ اطمینان (CO): نشان‌دهندهٔ سهم خرابی هر یک از اجزا نسبت به کل خرابی سامانهٔ خودکار است (رابطهٔ ۱۷).

رابطهٔ ۱۷)
$$Co = 1 - \frac{ND_s}{ND_T}$$

ND_s: تعداد خرابی حسگر در طول سال، ND_T: تعداد کل خرابی‌های سامانهٔ خودکار گزارش‌شده 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

ـ نسبت قیمت حسگر (CSR) (رابطهٔ ۱۸).

رابطهٔ ۱۸)
$$CSR = 1 - \frac{C_s}{Cs_{max}}$$

C_s: قیمت یک دستگاه حسگر، Cs_{max}: بیشترین هزینهٔ حسگرهای موجود در بازار.

ـ نسبت هزینهٔ بهره‌برداری و نگه‌داری (RMC)، شامل تعویض باتری و جایگزینی حسگرهای خراب‌شده (رابطهٔ ۱۹).

رابطهٔ ۱۹)
$$RMC = \frac{RMC_m}{RMC_P}$$

RMC_m: هزینهٔ سالیانهٔ بهره‌برداری و نگه‌داری، RMC_P: هزینهٔ سالانهٔ بهره‌برداری و نگه‌داری پیش‌بینی‌شده در طرح.

اگر مقدار شاخص بزرگ‌تر از ۱ باشد، نشان‌دهندهٔ 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 دردسترس‌بودن، که در واقع موجودبودن حسگر مورد نظر در بازار را نشان می‌دهد، آسیب‌پذیری، که نشان‌دهندهٔ فرهنگ مردم در پذیرش و بهره‌برداری صحیح از این تجهیزات است، و تأخیر زمانی، که بیانگر فاصلهٔ زمانی میان اولین خروجی دستگاه بعد از روشن‌شدن آن است. انواع حسگرهای استفاده‌شده در شبکهٔ آبیاری از نظر معیارهای فوق بررسی و متناسب با هر یک از حسگرها امتیازی به آن‌ها داده شد. نتایج شاخص‌های کیفی و کمّی دیدگاه فنی ارزیابی حسگرها در جدول‌های ۲ و ۳ می‌آید. مقادیر ۱- در جدول ۳ بیانگر نبودِ اطلاعات برای محاسبهٔ شاخص است.

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

شاخص	شرح	عمق‌سنج	سرعت‌سنج
ec	سهولت واسنجی	۰/۸	۰/۸
av	دردسترس‌بودن	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	سهرلت 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 آرین 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	فاصلهٔ زمانی واسنجی	۱	۱
Co	اطمینان	-۱	-۱
CSR	نسبت قیمت حسگر	۰/۶۲	۰/۶۲
CER	نسبت هزینهٔ تجهیزات جانبی	-۱	-۱
RMC	نسبت هزینهٔ تعمیر، نگه‌داری، و بهره‌برداری	۰	۰
	نتایج کمّی ارزیابی	۰/۵۳	۰/۵۱
	اعتبار ارزیابی	۰/۸۸	۰/۸۸

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج کلی ارزیابی عملکرد دستگاه آرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی شبکهٔ گتوند در جدول ۴ می‌آید. در دیدگاه عمومی زیر دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، به علت نبودِ اطلاعات کافی، ارزیابی نشده است. نتایج کمّی ارزیابی دیدگاه فنی حسگر سرعت‌سنج و عمق‌سنج به‌ترتیب برابر ۵۳ درصد و ۵۱ درصد با اعتبار ارزیابی ۸۸ درصد است. این مقادیر بیانگر عملکرد متوسط حسگرهای آرین ۲۰۰۰ در اندازه‌گیری پارامترهاست. نتایج کمّی ارزیابی دیدگاه فنی بیانگر وضعیت مناسب عملیات بهره‌برداری و نگه‌داری است؛ مانند واسنجی دستگاه، که به صورت منظم انجام شده است. مقادیر شاخص‌های خطا نشان‌دهندهٔ 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 نشان‌دهندهٔ عملکرد ۷۶ درصد در دیدگاه 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 زمینهٔ فناوری‌های جدید ارتقا داد.

جدول ۴. نتایج ارزیابی دستگاه آرین ۲۰۰۰ در کانال عقیلی شبکهٔ گتوند

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

نتیجه‌گیری

گستردگی اجزای سامانه‌های خودکار در شبکه‌های آبیاری و عوامل مؤثر بر عملکرد آن‌ها مستلزم توجه به اجزا و عوامل و تعریف مجموعهٔ گسترده‌ای از شاخص‌های ارزیابی و تقسیم‌بندی آن‌ها در دیدگاه‌ها و زیردیدگاه‌هاست. این کار در توسعهٔ 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 قوت هر دیدگاه را شناسایی و توصیه‌هایی برای رفع آن‌ها ارائه کرد. نتایج کاربرد مدل در مورد سامانهٔ پایش دبی در کانال عقیلی شبکهٔ گتوند عملکرد ۶۳ درصد را با اعتبار ارزیابی ۸۰ درصد نشان می‌دهد که گویای عملکرد متوسط سامانهٔ 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.

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

Archive of SID

www.SID.ir

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
lt: 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.

Archive of SID

www.SID.ir