



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی SCE در تعیین ضرایب کنترل گر کلاسیک PID

ساحله کاکویی<sup>۱</sup>، \*علیرضا عمادی<sup>۲</sup> و محمدعلی غلامی سفیدکوهی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، آدانشیار گروه مهندسی آب،  
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۱

### چکیده

**سابقه و هدف:** با توجه به کمبود منابع آب در کشور، بهبود مدیریت توزیع آب برای افزایش عملکرد شبکه‌های توزیع آبیاری یک امر اجتناب‌ناپذیر است. سیستم‌های کنترل نقش مهمی در توزیع آب در شبکه‌ها دارند و میزان موفقیت شبکه بستگی به چگونگی عملکرد آن‌ها دارد. طراحی و اجرای موفق آن‌ها به تنظیم ضرایب کنترلی وابسته است. هدف از این پژوهش تعیین ضرایب بهینه سیستم کنترل با استفاده از روش تکامل تصادفی جوامع می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه سیستم کنترل تناسبی - انتگرالی - دیفرانسیلی کنترل از بالادست و کنترل از پایین‌دست برای سازه تنظیم کشویی در مدل هیدرودینامیک ICSS توسعه داده شد. برای تنظیم ضرایب این سیستم کنترل، از الگوریتم بهینه‌سازی تکامل تصادفی جوامع در گزینه بهره‌برداری افزایشی و کاهشی در مدت زمان بهره‌برداری ۵ ساعت در کانال اصلی شبکه آبیاری البرز به طول ۱۲/۶ کیلومتر استفاده شده است. برای ارزیابی ضرایب کنترل‌گرها، تابع هدف شامل شاخص‌های ماکزیمم قدرمطلق خطا، انتگرال قدرمطلق بزرگی خطا و زمان پاس‌خگویی سیستم در نظر گرفته شد. همچنین از شاخص‌های مولدن و گیتس برای ارزیابی عملکرد کانال استفاده شد.

**یافته‌ها:** در گزینه بهره‌برداری افزایشی و کاهشی، ضرایب بهینه هر یک از کنترل‌گرها به‌دست آمد. با استفاده از ضرایب به‌دست آمده، مدل در مدت زمان کم در هر یک از مراحل افزایشی و کاهشی قادر خواهد بود عمق را در عمق هدف تنظیم نماید. بیش‌ترین مقدار خطا (انحراف از عمق هدف) در کنترل‌گرهای کنترل از بالادست و پایین‌دست به‌ترتیب در سازه C1 با مقدار ۱۰ سانتی‌متر و در سازه C3 با مقدار ۶ سانتی‌متر می‌باشد. کنترل‌گر کنترل از بالادست قادر به تنظیم سطح آب در پایین‌دست خود نمی‌باشد بنابراین تامین نیاز آبیگرهای TO14 و TO16 به‌علت قرار گرفتن در پایین‌دست سازه تنظیم C3، دچار اختلالاتی شده است که مقدار شاخص کفایت در تحویل در این سازه‌ها به‌ترتیب در محدوده عملکرد متوسط و ضعیف قرار می‌گیرد. در روش کنترل‌گر کنترل از پایین‌دست مقادیر این شاخص در این آبیگرها نسبت به روش کنترل‌گر کنترل از بالادست بهبود یافته است. شاخص‌های کفایت، راندمان، پایداری در تحویل در هر دو کنترل‌گر در کل کانال در محدوده عملکرد خوب و عدالت در تحویل در محدوده متوسط قرار دارند.

\* مسئول مکاتبه: [emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com)

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد ضرایب بهینه به‌دست آمده از مدل توسعه داده شده در هر دو کنترل‌گر کنترل از بالادست و کنترل از پایین‌دست پاسخگویی تغییرات در بهره‌برداری در مدت زمان کوتاه می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم کنترل تناسبی - انتگرالی - دیفرانسیلی، مدل هیدرودینامیک ICSS، کانال اصلی شبکه آبیاری البرز، شاخص‌های ارزیابی

## مقدمه

تحویل آب، یکی از گزینه‌های مؤثر برای مدیریت بهینه شبکه‌های آبیاری است (۱۲). هدف اصلی سیستم‌های کنترل خودکار در کانال‌های آبیاری، کنترل دبی یا تراز سطح آب در کانال و تغییرات ناگهانی یا پیش‌بینی نشده پارامترهای بهره‌برداری در کم‌ترین زمان و با کم‌ترین تغییر در ارتفاع یا بازشدگی سازه‌های کنترل است. تاکنون الگوریتم‌های کنترل متعددی ابداع شده است که هر یک از آن‌ها دارای بخش‌های مشترکی شامل متغیرهای سیستم کنترل، ساختار ورودی و خروجی، منطق کنترل و تکنیک طراحی می‌باشند (۱۸). طراحی و اجرای موفق کنترل‌کننده‌ها به تنظیم ضرایب کنترلی وابسته است. این ضرایب باید به صورتی تعیین شوند که الگوریتم کنترل بتواند در کم‌ترین زمان ممکن، با دقت مناسب و کم‌ترین نوسانات، متغیر کنترل را به مقدار هدف برساند (۱۱). ضرایب کنترلی تابعی از نوع سازه‌ها، ظرفیت کانال‌ها و شیوه‌های بهره‌برداری می‌باشند که موجب می‌شوند تعیین مقدار مناسب آن‌ها مشکل و پیچیده شود.

بائوم و همکاران (۱۹۹۹) برای تعیین ضرایب کنترل‌گر تناسبی - انتگرالی<sup>۱</sup> از روش برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده کردند. در این پژوهش از مدل هیدرودینامیک<sup>۲</sup> SIC و معیار ارزیابی انتگرال مربع<sup>۳</sup> خطا<sup>۳</sup> استفاده شد (۳). اورلوپ و همکاران (۲۰۰۵) مدلی را برای کنترل‌گر خطی ارائه دادند که پایداری

پراکنش نامناسب بارندگی از نظر زمانی و مکانی، خشکسالی‌های مداوم، توسعه شهرنشینی و افزایش جمعیت، لزوم ارتقاء بهره‌وری آب را بیش از پیش نشان می‌دهد. با توجه به این که بخش کشاورزی یکی از مصرف‌کنندگان عمده آب می‌باشد، ارائه روش‌های مؤثر در بهره‌برداری مناسب از شبکه‌های آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به دلیل بهره‌برداری دستی در اغلب شبکه‌های آبیاری میزان بازشدگی واقعی دریچه‌ها با مقادیر برنامه‌ریزی شده آن‌ها متفاوت است. در این شبکه‌ها که اغلب به شیوه کنترل از بالادست بهره‌برداری می‌شوند، زمان تأخیر قابل‌ملاحظه‌ای بین زمان ورود جریان از سرآب تا زمان تحویل به آبیگرهای واقع در اواسط و انتهای شبکه وجود دارد. این مسأله سبب افزایش مدت زمان جریان غیرماندگار در شبکه خواهد شد که باعث افزایش مدت زمان تغییرات عمق در طول بازه‌های کانال و تغییرات در دبی تحویلی می‌شود (۲۸). بهره‌برداری دستی ارتباط مستقیم با تجربه اپراتور شبکه دارد تا بتواند با تخمین زمان‌های حرکت آب در طول کانال بهترین زمان تغییر وضعیت دریچه را مشخص کند. با این‌حال مشکل اصلی این روش تغییر ناگهانی در ارتفاع یا بازشدگی دریچه‌ها می‌باشد که منجر به نوسانات دبی تحویلی به آبیگرها خواهد شد (۲۶). استفاده از کنترل‌کننده‌های هوشمند برای کنترل خودکار سامانه‌های آبیاری، به دلیل افزایش انعطاف‌پذیری

1- Proportional Integral (PI)

2- Simulation Irrigation Canal (SIC)

3- Integral of the Squared Error (ISE)

کانال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ضرایب بهینه به دست آمده با ضرایب حاصل از آزمون و خطا در پژوهش حسین زاده (۲۰۱۰) نشان داد، همه شاخص‌ها در ضرایب بهینه شده بهبود یافته‌اند (۱۳). سیدموسوی و همکاران (۲۰۱۵) عملکرد فرآیند شناسایی سامانه<sup>۳</sup> نسبت به عملکرد آزمون و خطا، در محاسبه ضرایب کنترل کننده تناسبی-انتگرالی و میزان بهبود تنظیم الگوریتم کنترل را با مدل هیدرودینامیک سوپک در کانال EPC شبکه آبیاری دوستی مقایسه کردند (۲۷). جاس و همکاران (۲۰۱۶) کنترل گر<sup>۴</sup> PC را برای کانال‌های آبیاری طراحی کردند. در این پژوهش ابتدا مدل خطی گسسته بر اساس قوانین PC توسعه داده شد و پارامترهای آن با تعریف گزینه‌های بهره‌برداری برای کانالی در اسپانیا با آزمون و خطا تعیین شد (۱۵). سوابق پژوهش نشان می‌دهد که سه دسته از روش‌ها، شامل روش‌های مبتنی بر آزمون و خطا، تئوری کنترل کلاسیک و بهینه‌سازی برای تعیین ضرایب کنترل کننده‌های کلاسیک استفاده می‌شود.

در این پژوهش از روش تکامل تصادفی جوامع<sup>۵</sup> (SCE) برای تعیین ضرایب کنترل کننده متداول PID، استفاده می‌شود. تاکنون از این روش در پژوهش‌های بسیاری در زمینه منابع آب استفاده شده است. این روش نخست برای کالیبراسیون پارامترهای مدل‌های بارش- رواناب ارائه شد. سروشیان و همکاران (۱۹۹۳) برای کالیبراسیون پارامترهای مدل بارش- رواناب ساکرامنتا از دو روش SCE و سیمپلکس استفاده نمودند (۲۹). قادری و همکاران (۲۰۰۶) مدل بارش رواناب را با استفاده از روش SCE واسنجی نمودند (۲۴). عمادی (۲۰۰۷) با استفاده از این روش تنظیمات بهینه کانال L8 شبکه آبیاری قزوین را

کانال کنترلی را تضمین می‌کند. در این پژوهش ضرایب کنترل گر تناسبی- انتگرالی تابعی از خصوصیات نوسانی آب و مدل انتگرال تاخیری (میانگین سطح ذخیره، رزونانس پیک در جریان کم و فرکانس رزونانس پیک) در بازه کانال تعریف شد (۳۱). منعم و مامی زاده (۲۰۰۵) ضرایب تناسبی- انتگرالی سیستم کنترل از پایین دست با حجم ثابت را برای هر بازه با آزمون و خطا تعیین کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد عملکرد مدل تهیه شده نسبت به ضرایب به کار رفته حساس بوده و در صورت عدم تعریف صحیح این ضرایب، محاسبات همگرا نخواهد شد (۲۲). لیتریکو و همکاران (۲۰۰۷) ضرایب تناسبی و انتگرالی کنترل گر را با استفاده از قوانین کلاسیک تعیین کردند. نتایج شبیه‌سازی ریاضی این روش در مدل هیدرودینامیک SIC نشان داد کنترل کننده قابلیت کنترل سطح آب در کانال آبیاری را دارد (۱۶). عیسی پور (۲۰۰۸) برای تعیین ضرایب الگوریتم کنترل تناسبی- انتگرالی از مدل توسعه داده شده شورمانز (۱۹۹۷) که بر پایه سطح ذخیره، زمان تاخیر، تناوب رزونانس و رزونانس ماکزیمم می‌باشد، استفاده کرد (۱۱). حسین زاده (۲۰۱۰) ضرایب کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- دیفرانسیلی<sup>۱</sup> (PID) را در مدل ریاضی سازه سرریز لولایی با استفاده از آزمون و خطا به صورت تجربی و قضاوت کارشناسی روی تغییرات پایداری سیستم به دست آورد (۱۰). جمالی (۲۰۱۱) از الگوریتم ژنتیک در تلفیق با مدل هیدرودینامیک ICSS<sup>۲</sup> برای بهینه‌یابی ضرایب کنترل گر PID استفاده کرد. برای آزمون عملکرد این مدل، روند بهینه‌سازی این ضرایب برای سیستم کنترل خودکار سرریز لولایی تحت گزینه بهره‌برداری افزایش زیاد دبی در ورودی

3- System Identification (SI)  
4- Predictive Control (PC)  
5- Shuffled Complex Evolution (SCE)

1- Proportional Integral Derivative (PID)  
2- Irrigation Conveyance System Simulation (ICSS)

روش بهینه‌سازی SCE تحت گزینه بهره‌برداری افزایش و کاهش نیاز آبیگرها و ورودی به کانال در مدت زمان کوتاه بهره‌برداری در کانال اصلی شبکه آبیاری البرز می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**مدل ICSS:** مدل هیدرودینامیکی ICSS یکی از مدل‌های مناسب برای شبیه‌سازی شرایط مختلف بهره‌برداری کانال‌های آبیاری است. این مدل یک‌بعدی به‌منظور شبیه‌سازی شرایط هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و بهره‌برداری سیستم‌های انتقال آب تحت تغییرات زمانی دبی ورودی و خروجی و شرایط فیزیکی و بهره‌برداری در سال ۱۹۸۵ توسط مانز طراحی گردید (۱۹). در این مدل از معادلات جریان متغیر تدریجی ارائه‌شده توسط هندرسون (۱۹۶۶) (۹) برای شبیه‌سازی جریان در حالت ماندگار و معادلات سنت‌ونانت ارائه شده توسط استرکلف (۱۹۶۹) (۳۰) برای شبیه‌سازی حالت جریان غیرماندگار استفاده شد. این معادلات با روش تفاضل‌های محدود و بر اساس شمای چهارنقطه‌ای وزنی ارائه‌شده توسط آمین (۱۹۶۸) حل می‌شوند (۱). در پژوهش حاضر الگوریتم کنترل PID روی دریچه کشویی مستطیلی اعمال و از روابط هیدرولیکی این سازه استفاده شد. برای محاسبه دبی عبوری از سازه شرایط جریان آزاد و مستغرق در نظر گرفته شده و هر یک از زیر برنامه‌ها به زبان فرترن توسعه داده شده است.

**کنترلگر PID:** این کنترل‌کننده کلاسیک یکی از الگوریتم‌های مناسب و بسیار متداول در صنعت است که در سیستم‌های هیدرولیکی مانند کانال‌های آبیاری نیز کاربرد دارد. این کنترل‌کننده شامل سه جزء تناسبی، انتگرالی و دیفرانسیلی می‌باشد که سعی در حداقل کردن خطای بین متغیر اندازه‌گیری شده و مقدار هدف دارد. کنترل تناسبی، سازه تنظیم را با استفاده از

به‌دست آورد (۷). چو و همکاران (۲۰۱۰) از این روش در بهینه‌سازی سیستم‌های غیرخطی پیچیده برای کالیبراسیون مدل رطوبت خاک استفاده کرد (۵). جان و همکاران (۲۰۱۴) روش‌های SCE و ژنتیک<sup>۱</sup> را برای واسنجی مدل SCS-CN در شبیه‌سازی رواناب سطحی به‌کار بردند. نتایج پژوهش نشان داد روش SCE عملکرد بهتری نسبت به روش ژنتیک برای واسنجی ماهانه رواناب دارد (۱۴). عمادی و کاکویی (۲۰۱۴) نیز از این روش برای تعیین پارامترهای بهینه روش تجربی کاهش سطح در سد مخزنی کرج استفاده کردند. برای تعیین مقادیر بهینه این پارامترها، تابع هدف به‌صورت مجذور میانگین مربعات خطای مقادیر محاسباتی از مقادیر واقعی تعریف شد. نتایج این پژوهش نشان داد، مقدار تابع هدف در دوره واسنجی ۶۲ درصد و در دوره صحت‌سنجی ۴۸ درصد کاهش داشته است (۸). صادقی‌طبس و پوررضا بیلندی (۲۰۱۵) برای تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مدل بارش- رواناب در رودخانه لیف آمریکا از چهار الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات<sup>۲</sup>، SCE، جهش ترکیبی قورباغه<sup>۳</sup> و ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی مجموعه ذرات و ژنتیک استفاده کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد الگوریتم‌های مجموعه ذرات و SCE کارایی بهتری در تحلیل عدم قطعیت برآورد پارامترهای مدل بارش- رواناب نسبت به دو الگوریتم دیگر داشتند (۲۵). آبیاری و همکاران (۲۰۱۶) برای شناسایی منبع آلودگی آب زیرزمینی از روش SCE و GEM<sup>۴</sup> استفاده کردند (۲۳).

هدف از این پژوهش تعیین ضرایب بهینه الگوریتم کنترل PID سازه تنظیم کشویی با استفاده از

- 1- Genetic Algorithm (GA)
- 2- Particle Swarm Optimization (PSO)
- 3- Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)
- 4- Green Element Method (GEM)

۵- ترکیب نقاط جوامع مختلف با یکدیگر به صورتی که تنها یک نمونه از نقاط وجود داشته باشد.

۶- در صورت برقراری شرط توقف، برنامه متوقف شده و جواب‌های نهایی به‌عنوان پاسخ بهینه ثبت می‌شود در غیر این صورت فرآیند بهینه‌سازی با بازگشت به مرحله ۲ و انجام محاسبات ادامه می‌یابد.

الگوریتم CCE به صورت زیر می‌باشد (۶):

۱- انتخاب یک زیرمجموعه  $q$  نقطه‌ای  $u_1, u_2, \dots, u_q$  از جامعه به صورت تصادفی که والدین نامگذاری می‌شوند.

۲- مرتب‌سازی زیرمجموعه نقاط  $q$  براساس افزایش مقدار تابع هدف.

۳- تولید فرزندان:

الف- محاسبه مرکز ثقل نقاط ( $g$ ) بدون در نظر گرفتن نقطه‌ای که دارای بدترین ارزش است با استفاده از رابطه ۲.

$$g = \left[ \frac{1}{(q-1)} \sum_{j=1}^{q-1} u_j \right] \quad (2)$$

ب- تعیین نقطه جدید ( $r$ ) با توجه به موقعیت مرکز ثقل و نقطه‌ای که دارای بدترین ارزش است ( $u_q$ ) با استفاده از رابطه ۳ (گام انعکاس).

$$r = 2g - u_q \quad (3)$$

ج- در صورتی که نقطه جدید به‌دست آمده درون محدوده موردنظر قرار داشته باشد، مقدار تابع هدف در  $r$  محاسبه می‌شود. در غیر این صورت نقطه  $Z$  به صورت تصادفی در فضای امکان‌پذیر تولید و مقدار تابع هدف در آن محاسبه می‌شود (گام جهش).

یک ضریب تناسبی و متناسب با میزان خطای موجود بین مقدار اندازه‌گیری‌شده و مقدار هدف، تنظیم می‌کند (۲). مقدار انتگرالی متناسب با میزان تجمعی انحراف عمق از محدوده مجاز در طول دوره بهره‌برداری می‌باشد (۲۰). کنترل دیفرانسیلی متناسب با نرخ تغییرات عمق آب عمل کنترل خروجی را تعیین می‌کند (۳۲). میزان متغیر خروجی در این کنترل‌کننده بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$u_{(t)} = k_p e_{(t)} + k_i \int_0^t e dt + k_d \frac{de_{(t)}}{dt} \quad (1)$$

که در آن،  $u_{(t)}$  میزان تنظیم سازه،  $e_{(t)}$  میزان انحراف متغیر کنترل از مقدار هدف،  $K_p$ ،  $K_i$  و  $K_d$  به ترتیب ضرایب تناسبی، انتگرالی و دیفرانسیلی،  $t$  بازه زمانی کنترل انتگرالی و  $dt$  گام زمانی کنترل می‌باشد.

بر اساس مبانی و مفاهیم این روش، دو الگوریتم PID کنترل از بالادست و کنترل از پایین‌دست به زبان فرترن در تلفیق با مدل هیدرودینامیک ICSS توسعه داده شد.

**روش بهینه‌سازی SCE:** روش بهینه‌سازی سراسری به نام تکامل تصادفی جوامع که اصول و مبانی آن توسط دوان و همکاران (۱۹۹۲) ارائه شده است، یک روش بسیار قوی و کارا برای بسیاری از مسائل می‌باشد. به‌طورکلی مراحل مختلف این روش به صورت زیر است (۶):

۱- ایجاد یک نمونه تصادفی اولیه در فضای امکان‌پذیر که دارای  $S$  نقطه است.

۲- مرتب‌سازی نقاط  $S$  نمونه به صورت صعودی.

۳- تقسیم نقاط  $S$  نمونه به  $P$  جامعه به صورتی که هر جامعه دارای  $m$  نقطه باشد.

۴- توسعه هر جامعه بر اساس الگوریتم تکامل رقابتی جامعه<sup>۱</sup> (CCE).

بر اساس مفاهیم الگوریتم SCE یک مدل کامپیوتری به زبان فرترن برای بهینه‌سازی تهیه شد. در این مدل تابع هدف در یک زیربرنامه محاسبه می‌شود و مقدار آن نیز بر حسب مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری در آن محاسبه می‌شود. هنگامی که در برنامه اصلی به محاسبه مقدار تابع هدف نیاز باشد این زیربرنامه فراخوانده می‌شود.

**تابع هدف و متغیرهای تصمیم‌گیری:** برای ارزیابی عملکرد سیستم کنترل توسعه داده شده در تلفیق با مدل بهینه‌سازی، رابطه ۴ به‌عنوان تابع هدف تعریف شده است (۱۳) که کمینه‌سازی آن در این پژوهش مدنظر است. قسمت‌های اول و دوم تابع هدف شاخص‌های ماکزیمم قدرمطلق خطا و انتگرال قدرمطلق بزرگی خطا (۴) و قسمت سوم آن زمان پاسخگویی سیستم<sup>۱</sup> (۱۳) می‌باشد.

$$OF = \sum_1^n \frac{Max|y_m - y_t|}{y_t} + \sum_1^n \frac{\frac{\Delta t}{T} \sum_{t=0}^T |y_m - y_t|}{y_t} + \sum_1^n SRT \quad (4)$$

**شاخص‌های ارزیابی عملکرد کانال:** به‌منظور ارزیابی عملکرد کانال از شاخص‌های کفایت تحویل<sup>۱</sup>، راندمان تحویل<sup>۲</sup>، عدالت در تحویل<sup>۳</sup> و پایداری در تحویل<sup>۴</sup> استفاده شده است. تعریف این شاخص‌ها به‌صورت زیر است (۲۱):

۱- عبارت است از فاصله زمانی بین خارج شدن سطح آب از محدوده مجاز عمق حول عمق هدف، تا زمانی که عمق آب مجدداً به این محدوده باز گردد و در آن تثبیت شود.

- 2- Efficiency
- 3- Equity
- 4- Dependability

د- اگر نقطه جدید ایجاد شده در گام انعکاس بهتر از بدترین نقطه موجود در زیرمجموعه بود، آنگاه نقطه جدید پذیرفته شده و به گام (م) می‌رود. در غیر این‌صورت نقطه C در وسط فاصله مرکز ثقل و بدترین نقطه محاسبه و تابع هدف در آن به‌دست می‌آید (گام انقباض).

ل- اگر نقطه جدید ایجاد شده توسط گام انقباض دارای ارزش بهتری از بدترین نقطه بود، این نقطه پذیرفته شده و به مرحله (م) می‌رود. در غیر این‌صورت نقطه تصادفی Z درون فضای امکان‌پذیر تولید و مقدار تابع هدف در آن محاسبه می‌شود (گام جهش).

م- تکرار مراحل (الف) تا (ل)  $\alpha$  بار ( $\alpha$  یک پارامتر ویژه است که تعداد توالی تولید فرزندان را توسط اعضای زیرمجموعه‌ها تعیین می‌کند).

۴- جایگذاری فرزندان به‌جای والدین.

۵- تکرار مراحل ۲ تا ۴  $\beta$  بار ( $\beta$  یک پارامتر ویژه است که تعداد گام‌های تکاملی هر جامعه که باید قبل از اختلاط با دیگر جوامع طی کند را مشخص می‌کند).

که در آن، OF تابع هدف،  $y_m$  عمق آب مشاهده‌شده در زمان  $t$ ،  $y_t$  عمق آب هدف،  $\Delta t$  گام زمانی محاسباتی، T طول دوره بهره‌برداری و n تعداد سازه‌های تنظیم می‌باشد.

ضرایب  $K_p$ ،  $K_i$  و  $K_d$  برای یک سازه تحت شرایط مختلف بهره‌برداری معمولاً ثابت در نظر گرفته می‌شوند. این ضرایب به ابعاد و اندازه سازه و شرایط کانال بستگی دارد که در این پژوهش به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده‌اند. محدوده تغییرات در مدل توسعه داده شده برای  $K_p$ ، ۱ تا ۵،  $K_i$  و  $K_d$ ، ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۱ در نظر گرفته شده است (۱۳).

گام‌های زمانی مناسب در یک دوره تحویل که به طول دوره بهره‌برداری و  $\Delta t$  بستگی دارد،  $CV_N\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)$  انحراف معیار نسبت  $Q_D/Q_R$  تقسیم بر متوسط مقادیر  $Q_D/Q_R$  برای تک‌تک آبیگرهای موجود در طول کانال در یک گام زمانی که با عنوان ضریب تغییرات مکانی نسبت به  $Q_D/Q_R$  نامیده می‌شود و  $CV_N\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right)$  انحراف معیار نسبت  $Q_D/Q_R$  تقسیم بر متوسط مقادیر  $Q_D/Q_R$  در طول زمان و برای یک آبیگر که با عنوان ضریب تغییرات زمانی نسبت به  $Q_D/Q_R$  نامیده می‌شود.

با توجه به رابطه‌های بالا مقدار ایده‌آل شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل برابر با ۱ و مقدار ایده‌آل شاخص‌های عدالت و پایداری در تحویل صفر است. **کانال مورد مطالعه:** محدوده مورد مطالعه در این پژوهش قطعه‌های ۱ و ۲ از کانال MC شبکه آبیاری البرز به طول ۱۲/۶ کیلومتر واقع در استان مازندران می‌باشد. این کانال دارای ۱۶ آبیگر و ۳ سازه تنظیم از نوع آمیل است که نمای شماتیک و مشخصات آن‌ها به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است (۱۷). به منظور اجرای سیستم کنترل در کانال، کنترل‌گر PID به همراه سازه تنظیم کشویی به جای سازه آمیل در نظر گرفته شد.

○ کفایت تحویل: میزان توانایی روش بهره‌برداری در تحویل آب به قدر تامین نیاز.

$$MPA = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N (P_A), \begin{cases} Q_D < Q_R \\ P_A = \frac{Q_D}{Q_R} \end{cases}, \begin{cases} Q_D > Q_R \\ P_A = 1 \end{cases} \quad (5)$$

○ راندمان تحویل: میزان مازاد آب تحویلی نسبت به نیاز در اثر عملکرد نامتناسب روش بهره‌برداری.

$$MPF = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N (P_F), \begin{cases} Q_D > Q_R \\ P_F = \frac{Q_R}{Q_D} \end{cases}, \begin{cases} Q_D < Q_R \\ P_F = 1 \end{cases} \quad (6)$$

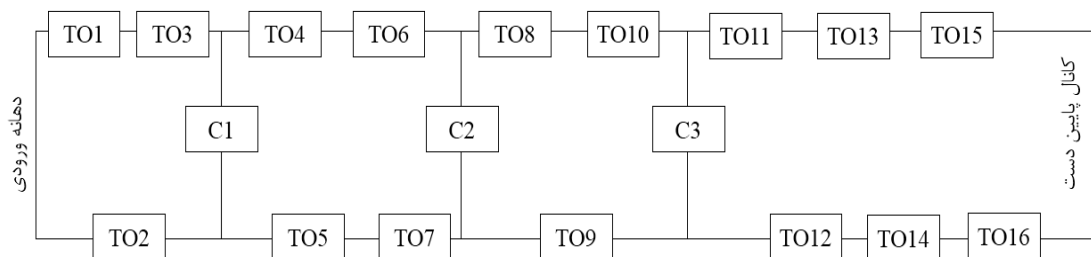
○ عدالت در تحویل: میزان تناسب موجود بین مقادیر تحویلی و مقادیر مورد نیاز در انشعابات در دوره‌های زمانی مختلف.

$$MPE = \frac{1}{T} \sum_T CV_N\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right) \quad (7)$$

○ پایداری در تحویل: یکنواختی زمانی در تحویل آب.

$$MPD = \frac{1}{N} \sum_N CV_T\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right) \quad (8)$$

که در آن،  $Q_D$  دبی واقعی تحویلی به هر دریچه آبیگر،  $Q_R$  دبی موردنیاز هر دریچه آبیگر برای تأمین اراضی پایین‌دست آن،  $N$  تعداد دریچه‌های آبیگر،  $T$  تعداد



شکل ۱- نمای شماتیک قطعه‌های ۱ و ۲ کانال MC.

Figure 1. Schematic view of MC Canal.

جدول ۱- مشخصات سازه‌ها در کانال MC (۱۷).

Table 1. Structures characteristic in MC canal.

نوع سازه Type	کیلومتر Km	سازه Name	نوع سازه Type	کیلومتر Km	سازه Name
Valve	7+417	TO8	L2	1+200	TO1
Valve	7+877	TO9	Slide gate	2+958	TO2
C2	8+880	TO10	C	3+100	TO3
Amil	8+964	C3	Amil	3+118	C1
Valve	9+365	TO11	CHO	3+855	TO4
Valve	10+096	TO12	CHO	4+960	TO5
Valve	10+356	TO13	Valve	5+709	TO6
Valve	11+432	TO14	Valve	6+267	TO7
Valve	11+875	TO15			
L1	12+602	TO16	Amil	6+356	C2

موج مثبت ناشی از افزایش دبی ورودی به هر یک از آب‌بندها تعیین شد. ابتدا مدل بر اساس شرایط اولیه تا ۱ ساعت اجرا شده، سپس در زمان ۱/۰۱ ساعت دبی ورودی کانال به مقدار ۸۸۰۰ لیتر بر ثانیه افزایش خواهد یافت. پس از ۱/۷ ساعت که موج مثبت ناشی از افزایش دبی در سرآب به آب‌بند سوم رسید، نیاز آبیگرها افزایش می‌یابد. تغییرات کاهش دبی ورودی و نیاز آبیگرها، پس از ۳ ساعت از شروع بهره‌برداری در نظر گرفته شد.

**گزینه بهره‌برداری:** به‌منظور ارزیابی کنترل‌گر روی سازه تنظیم کشویی گزینه بهره‌برداری همراه با تغییرات افزایشی و کاهش دبی در مدت زمان بهره‌برداری ۵ ساعته در نظر گرفته شد. گزینه بهره‌برداری در جدول ۲ ارائه شده است. برای آبیگرهای TO2، TO3، TO5، TO7، TO10، TO14 و TO16 در طول مدت زمان بهره‌برداری مقادیر نیاز مطابق جدول در نظر گرفته شد و برای بقیه آبیگرها نیاز صفر فرض شد. به‌منظور انجام عملیات بهره‌برداری زمان رسیدن

جدول ۲- گزینه بهره‌برداری (لیتر بر ثانیه).

Table 2. Operation scenario (L/s).

نیاز آبیگر در شروع بهره‌برداری Demand offtake on start operation	نیاز آبیگر پس از ۱/۷ ساعت Demand offtake after 1.7hr on start operation	نیاز آبیگر پس از ۳ ساعت Demand offtake after 3hr on start operation	سازه Name
2300	8800	6000	سرآب head
300	300	300	TO2
400	2000	1400	TO3
30	30	30	TO5
120	120	120	TO7
600	2800	2000	TO10
210	210	210	TO14
200	1000	700	TO16
440	2340	1240	پایین‌دست downstream



**نتایج و بحث**

در هر یک از کنترل‌گرهای توسعه داده شده برای کانال اصلی شبکه آبیاری البرز ارایه شده است.

پارامترهای مناسب روش بهینه‌سازی ( $m, p, q, \alpha$  و  $\beta$ ) با استفاده از آنالیز حساسیت تعیین شد. در جدول ۳ مقادیر مناسب این پارامترها

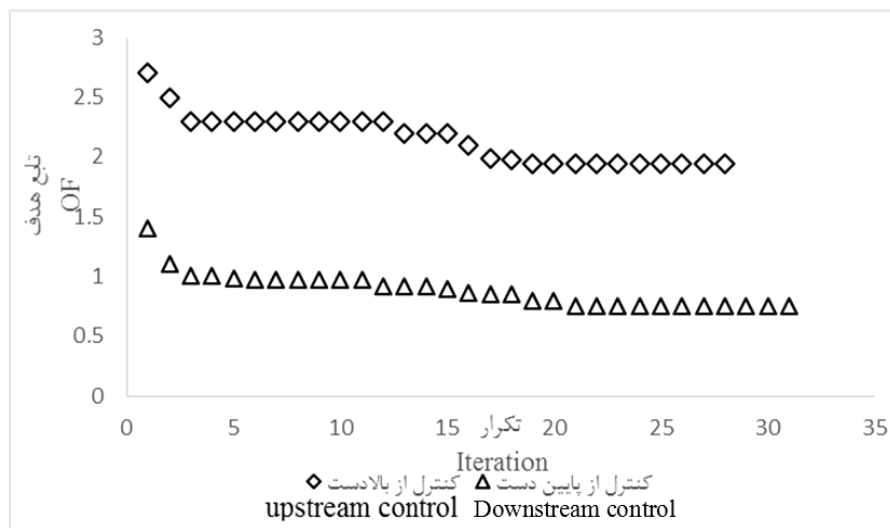
جدول ۳- مقادیر مناسب پارامترهای روش SCE.

**Table 3. Suitable values for SCE method parameters.**

$\alpha$	$\beta$	$q$	$m$	$p$	پارامتر Parameter
1	6	7	20	5	کنترل از بالادست Upstream control
1	6	6	20	3	کنترل از پایین‌دست Downstream control

پایین‌دست محاسبه شده توسط مدل ارایه شده است.

شکل ۲ تغییرات تابع هدف را در کنترل‌گرهای بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهد. در جدول ۴ مقادیر بهینه پارامترهای کنترل‌گرهای بالادست و



شکل ۲- تغییرات تابع هدف در کنترل‌گرهای بالادست و پایین‌دست.

**Figure 2. Objective function in upstream and downstream controller.**

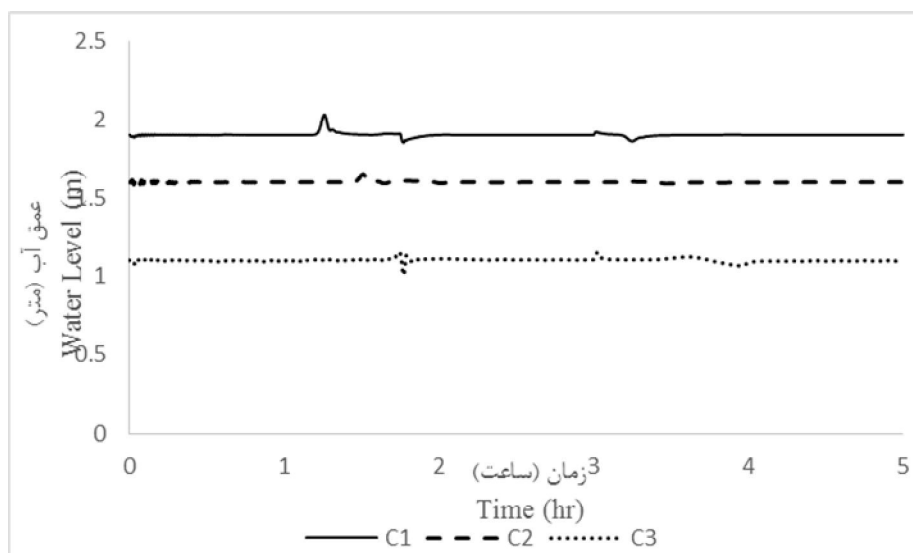
جدول ۴- مقادیر بهینه ضرایب کنترل‌گرها.

Table 4. Optimal coefficients in controllers.

کنترل از پایین دست Downstream control			کنترل از بالادست Upstream control			سازه Name
$K_d$	$K_i$	$K_p$	$K_d$	$K_i$	$K_p$	
0.0049	0.0069	3.1	0.0021	0.0031	1.7	C1
0.0034	0.0024	1.6	0.0071	0.0091	3.3	C2
0.0066	0.0084	3.3	0.0031	0.0081	2.5	C3

به هر یک از سازه‌های تنظیم (با تاخیر زمانی)، کنترل‌گر به گونه‌ای عمل می‌کند که بازشدگی دریچه‌ها بیشتر شده تا دبی عبوری از سازه بیشتر شود و عمق بالادست سازه کاهش یافته تا به محدوده مجاز عمق هدف برگردد. ماکزیمم انحراف از عمق هدف در سازه‌های تنظیم C1، C2 و C3 به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۹ متر می‌باشد. مدت زمان تنظیمات برای مرحله کاهشی تغییرات در سازه‌های تنظیم C1، C2 و C3 به ترتیب ۷، ۱ و ۲۳ گام زمانی است.

شکل ۳ تغییرات عمق را برای بازه‌هایی که عملیات بهره‌برداری در آنها انجام شده است برای کنترل‌گر کنترل از بالادست نشان می‌دهد. با رسیدن موج مثبت ناشی از افزایش دبی در سرآب، عمق آب دچار تغییرات نوسانی خواهد شد که مدل در مدت زمان کم قادر خواهد بود عمق را به عمق هدف برساند. این مدت زمان برای سازه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۱۰، ۶ و ۵ گام زمانی (هر گام زمانی برابر با ۰/۰۱ ساعت است) می‌باشد. با رسیدن موج

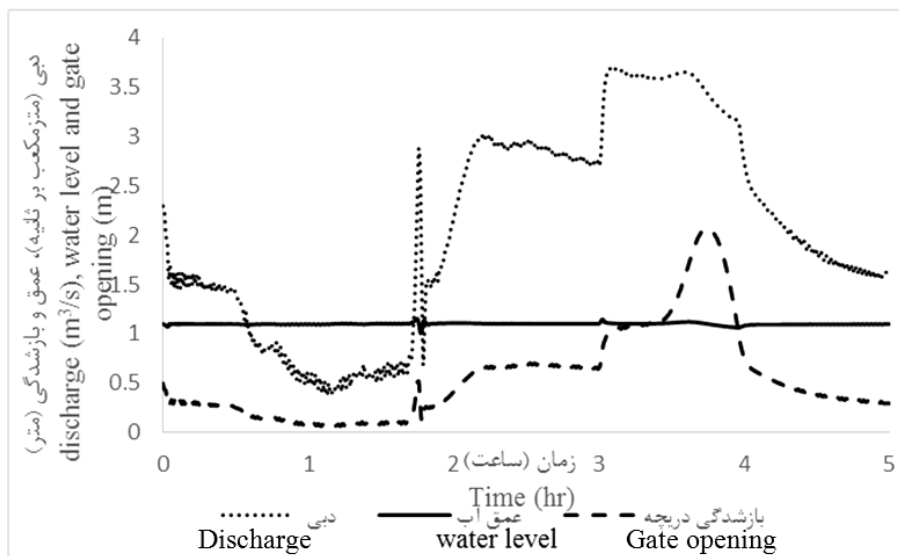


شکل ۳- عمق آب بالادست سازه‌های تنظیم در کنترل‌گر کنترل از بالادست.

Figure 3. Upstream water level in controller of upstream control.

ساعت ایجاد شده است به دلیل رسیدن امواج مثبت و منفی به سازه می‌باشد که در صورت عدم وجود کنترل‌گر این مقادیر بسیار بیش‌تر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات بازشدگی سازه تنظیم از روند تغییرات دبی عبوری از آن تبعیت می‌کند.

در شکل ۴ تغییرات عمق، دبی و بازشدگی در سازه C3 نشان داده شده است. با توجه به شکل، کنترل‌گر علی‌رغم تغییرات افزایشی و کاهش دبی به خوبی توانسته است با محاسبه و ارسال مقادیر اصلاحی در تراز سطح آب، عملیات تنظیم سطح آب را با تغییرات تدریجی در بازشدگی سازه انجام دهد. نوسانات مختصری که در زمان‌های ۱/۷، ۳ و ۴

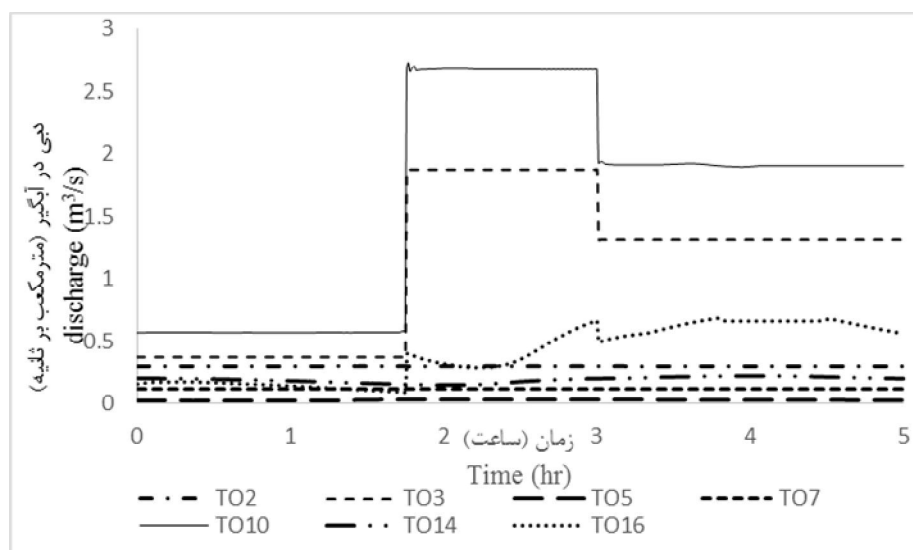


شکل ۴- تغییرات عمق و دبی بالادست سازه تنظیم C3 و بازشدگی آن در کنترل‌گر کنترل از بالادست.

Figure 4. Upstream water level and discharge C3 structure and gate opening.

به دلیل ثابت نگه‌داشته شدن عمق جریان در کانال اصلی توسط کنترل‌گر می‌باشد. در کنترل‌گر کنترل از بالادست تامین نیاز آبیگر TO14 و TO16 به علت قرار گرفتن در پایین‌دست سازه C3، دچار اختلالاتی شده است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که سازه‌های تنظیم کشویی با کنترل‌گر به خوبی توانسته‌اند نیاز آبیگرهای بالادست خود را تامین نمایند. سازه‌های TO2، TO3، TO5، TO7 و TO10 در مدت زمان بهره‌برداری تحت تأثیر امواج مثبت و منفی قرار نگرفته و دبی ثابتی دریافت می‌کنند. این مسأله



شکل ۵- تغییرات دبی آبیگری سازه‌های آبیگر در کنترل‌گر کنترل از بالادست.

Figure 5. Structure discharge in upstream control.

قرار می‌گیرند. نامناسب بودن کفایت تحویل در این دو سازه آبیگر به دلیل قرارگیری آن‌ها در پایین‌دست سازه C3 می‌باشد که کنترل‌گر کنترل از بالادست قادر به تنظیم سطح آب در پایین‌دست خود نمی‌باشد. با این حال مقادیر شاخص‌های فوق برای سازه TO14 به دلیل نزدیک‌تر بودن فاصله به سازه C3 بهتر از سازه TO16 می‌باشد. راندمان تحویل در این کنترل‌گر در تمامی سازه‌ها در محدوده خوب قرار دارند.

شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل در سازه‌های بهره‌برداری در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر شاخص کفایت تحویل با توجه به استانداردهای ارائه شده توسط مولدن و گیتس (۱۹۹۰) برای سازه‌های آبیگر TO2، TO3، TO5، TO7 و TO10 در محدوده خوب قرار می‌گیرند که به دلیل تنظیم مناسب سطح آب بالادست سازه‌های C1، C2 و C3 می‌باشد. سازه آبیگر TO14 در محدوده متوسط و سازه TO16 در محدوده ضعیف

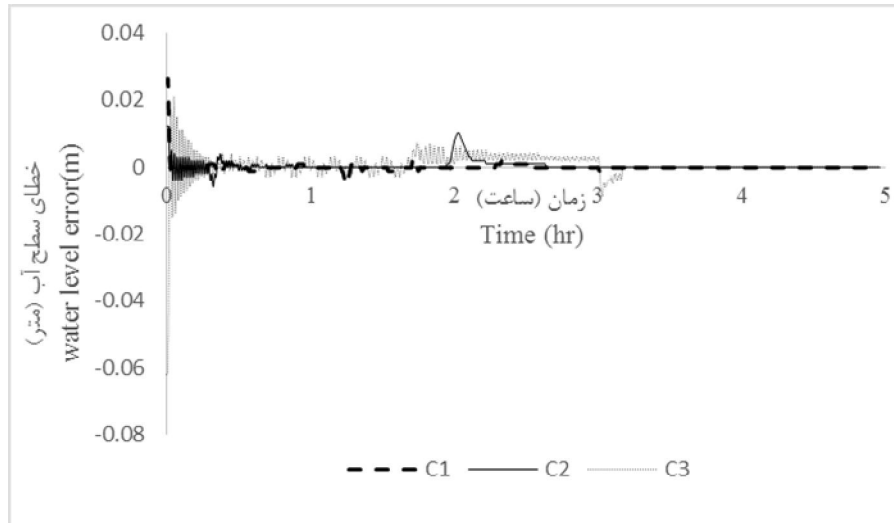
جدول ۵- شاخص‌های کفایت و راندمان تحویل در کنترل‌گر کنترل از بالادست.

Table 5. MPA and MPF indexes in upstream control.

TO16	TO14	TO10	TO7	TO5	TO3	TO2	سازه Name
0.60	0.89	0.95	1	0.99	0.94	0.99	کفایت تحویل MPA
1	0.98	1	0.99	0.94	1	0.99	راندمان تحویل MPF

کنترل از پایین دست به خوبی توانسته است خطای سطح آب را در طول زمان بهره برداری کاهش دهد و عمق آب را به مقدار هدف در هر یک از سازه های تنظیم برساند.

در شکل ۶ خطای سطح آب در پایین دست سازه های تنظیم در کنترل گر کنترل از پایین دست نشان داده شده است. بیشترین مقدار خطا، ۰/۰۶ متر برای سازه تنظیم C3 می باشد. با توجه به شکل، کنترل گر



شکل ۶- خطای سطح آب پایین دست سازه های تنظیم در کنترل گر کنترل از پایین دست.

Figure 6. Water level error in downstream control.

کنترل از بالادست بهبود یافته است. مقادیر راندمان تحویل در این کنترل گر همانند کنترل گر کنترل از بالادست در تمامی آبگیرها در محدوده خوب قرار دارند.

در جدول ۶ مقادیر شاخص های کفایت و راندمان تحویل برای کنترل گر کنترل از پایین دست ارائه شده است. مقادیر کفایت تحویل در این کنترل گر در سازه های آبگیر TO14 و TO16 نسبت به کنترل گر

جدول ۶- شاخص های کفایت و راندمان تحویل در کنترل گر کنترل از پایین دست.

Table 6. MPA and MPF indexes in downstream control.

TO16	TO14	TO10	TO7	TO5	TO3	TO2	سازه Name
0.70	0.95	0.90	0.97	0.98	0.94	0.99	کفایت تحویل MPA
1	1	0.99	1	1	1	0.91	راندمان تحویل MPF

کنترل گر در محدوده عملکرد خوب، عدالت در تحویل نیز در هر کنترل گر در محدوده متوسط قرار دارند.

مقادیر شاخص های مولدن و گیتس برای کل کانال در جدول ۷ ارائه شده است. شاخص های کفایت، راندمان، پایداری در تحویل در هر دو

جدول ۷- شاخص‌های مولدن و گیتس.

Table 7. Molden and Gates indexes.

شاخص Index	کفایت تحویل MPA	راندمان تحویل MPF	پایداری در تحویل MPD	عدالت در تحویل MPE
کنترل از بالادست Upstream control	0.91	0.98	0.05	0.11
کنترل از پایین دست Downstream control	0.92	0.98	0.04	0.11

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش کنترل‌گر PID برای سازه تنظیم کشویی در محیط فرترن و در تلفیق با مدل هیدرودینامیک ICSS توسعه یافت. با توجه به طولانی بودن روند تعیین ضرایب کنترل‌گر و حساسیت عملکرد مدل توسعه داده شده به ضرایب، از روش بهینه‌سازی SCE برای تعیین ضرایب بهینه استفاده شد. برای آزمون مدل توسعه داده شده، گزینه

بهره‌برداری افزایش و کاهش در دبی ورودی از سرآب و نیاز آبیگرها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد با استفاده از ضرایب بهینه به دست آمده، شاخص‌های کفایت، راندمان، پایداری در تحویل در هر دو کنترل‌گر در محدوده عملکرد خوب، عدالت در تحویل نیز در هر کنترل‌گر در محدوده متوسط قرار دارند.

### منابع

1. Amein, M. 1968. An implicit method for numerical flood routing. J. Water Resour. Res. 4: 3. 719-726.
2. Bayalski, C.P., Ehler, D.G., Falvey, H.T., Rogers, D.C., and Serfozo, E.A. 1991. Canal Systems Automation Manual. United State Bureau of Reclamation. 1.
3. Baume, J.P., Malaterre, P.O., and Sau, J. 1999. Tuning of PI controllers for an irrigation canal using optimization tools. USCID Workshop. Pp: 483-500.
4. Clemmense, A.J., Kacerek, T.F., Grawitz, B., and Schuurmans, W. 1998. Test Cases for Canal Control Algorithms. J. Irrig. Drain. Engin. 124: 1. 23-29.
5. Chu, W., Gao, X., and Sorooshian, S. 2010. Improving the shuffled complex evolution scheme for optimization of complex nonlinear hydrological systems: Application to the calibration of the Sacramento soil-moisture accounting model. J. Resour. Res. 46: 1-12.
6. Duan, Q., Sorooshian, S., and Gupta, V.K. 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual Rainfall-Runoff models. J. Water Resour. Res. 28: 4. 2493-2508.
7. Emadi, A. 2007. Mathematical Models Development of Optimal Operation in Irrigation Canals Considering Conjunctive Use of Surface and Ground Water. Ph.D. Thesis of Agricultural Department. Tarbiat Modaress University, 171p. (In Persian)
8. Emadi, A.R., and Kakouei, S. 2014. Determination of Optimal Parameters of Empirical Area Reduction Method in Karaj Reservoir Dam using SCE. J. Water Soil Cons. 21: 3. 179-195. (In Persian)
9. Henderson, F.M. 1966. Open channel flow. Macmillan Publishing Co. New York, 273p.
10. Hosseinzadeh, Z. 2010. Design and preparation of mathematical and physical models of automatic overshoot gate and its automatin system test. M.Sc. Thesis of Agricultural Department. Tarbiat Modaress University, 162p. (In Persian)

11. Isapour, S. 2008. Modelling and Assessment of control algorithm in development of management operation irrigation network (Case study: dez irrigation network). M.Sc. Thesis of Tehran University, 128p. (In Persian)
12. Isapour, S., and Montazer, A.A. 2010. Assessment of global automatic downstream control system PI in Dez irrigation network. P 1-8, 3<sup>th</sup> National Conference on irrigation and drainage network management, Ahwaz. (In Persian)
13. Jamali, S. 2011. Development of Optimization Model for PID Automatic Control Parameters in ICSS Model Using GA. M.Sc. Thesis of Agricultural Department. Tarbiat Modares University, 145p. (In Persian)
14. Jeon, J.H., Park, C.G., and Engel, B.A. 2014. Comparison of Performance between Genetic Algorithm and SCE-UA for Calibration of SCS-CN Surface Runoff Simulation. J. Water. 6: 3433-3456.
15. Joes, V.A., Pedro, L., Joes, R., Lorenzo, L., and Keloudia, H. 2016. Predictive control of irrigation canals – robust design and real-time implementation. J. Water Resour. Manage. 30: 3829-3843.
16. Litrico, X., Malatterre, J.P., Voin, P.Y., and Ribot– Bruno, J. 2007. Automatic Tuning of PI controllers for Irrigation Canal Pool. J. Irrig. Drain. Engin. 133: 1. 27-37.
17. Mahab Ghods (Consulting Engineers). 2009. Instruction for operation and maintenance of MC canal, 121p. (In Persian)
18. Malaterre, P.O., Roggers, D.C., and Schuurmans, J. 1998. Classification of canal control algorithm. J. Irrig. Drain. Engin. 124: 1. 3-10.
19. Manz, D.H. 1985. System analysis of irrigation conveyance system. Thesis as a Part of the Requirements of Doctor of Philosophy in Civil Engineering. University of Alberta. Edmonton. Alberta, Canada, 435p.
20. Merkley, G.P. 1997. Canalman User's Guide. Dept. of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University.
21. Molden, D.J., and Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. J. Irrig. Drain. Engin. 116: 6. 804-822.
22. Monem, M.J., and Mamizadeh, J. 2005. Development of Mathmatical model of BIVAL Downstream Control System in Irrigation Canals. 5<sup>th</sup> Iranian Hydroulic Conference. Kerman, Pp: 1-10. (In Persian)
23. Onyari, E., Taigbenu, A., and Ndiritu, J. 2016. Groundwater Pollution Source Identification by Optimization and the Green Element Method. World Environmental and Water Resources Congress, Pp: 1-10.
24. Qaderi, K., Samani, J.M.V., Eslami, H.R., and Saghafian, B. 2006. Auto calibration of a rainfall- runoff model based on sce method. J. Iarn- Water Resour. Res. 2: 2. 39-52. (In Persian)
25. Sadeghi Tebs, S., and Pourreza Bilandi, M. 2015. Comparison of optimization and uncertainty analysis methods in hydrological modeling. J. Range Water. Manage. 68: 3. 533-552. (In Persian)
26. Schuurmans, J. 1997. Control of Water Levels in Open-Channels. Desertation (TUDelft), 235p.
27. Seyedmousavi, S.M., Parvareh Rizi, A., and Isapour, S. 2015. Improving the Coefficients of Proportional-Integral Controller Based On System Identification Process on Doosti Irrigation Network. J. Water Soil. 29: 4. 850-860. (In Persian)
28. Slambolchzadeh, H. 2006. Assessment and improvement of the reservoir management in operation irrigation network (case study: Moghan irrigation network). M.Sc. Thesis of Agricultural Department. Tarbiat Modares University, 105p. (In Persian)
29. Sorooshian, S., Duan, Q., and Gupta, V.K. 1993. Calibration of Rainfall-Runoff models: application of global optimization to the Sacramento soil moisture accounting model. Water Resources Research. 29: 4. 1185-1194.

30. Strekloff, T. 1969. One dimensional equation of open channel flow. J. Hydr. Divi. ASCE. 7: 4. 861-876.
31. Van Overloop, P.J., Schuurmans, J., Brouwer, R., and Burt, CM. 2005. Multiple model optimization of proportional integral controllers on canals. Irrigation and Drainage Engineering. 131: 190-196.
32. Zhou, B., Clough, D.E., and Fuentes, Y.O. 1995. A PID Controller with Adaptive Error Dispersion for Interacting Gates on Main Irrigation Canals. American Control Conference, Pp: 1-5.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(2), 2017*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## Application of SCE algorithm to determination of PID controller coefficients

S. Kakouei<sup>1</sup>, \*A.R. Emadi<sup>2</sup> and M.A. Gholami Sefidkahi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Water Structure, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 07/30/2016; Accepted: 07/02/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Due to water resources shortage in our country, improvement of water distribution management is unavoidable matter for increase irrigation network performance. Control systems have an important role in water distribution irrigation network and network successful depends on performance. Successful modeling and running depends on tuning of control coefficients. Aim of this study is determination of optimal control coefficients using SCE method.

**Materials and Methods:** In this study, PID controller (upstream control and downstream control) is developed for slide gate on the ICSS model. For tuning coefficients, SCE algorithm is used for increment and decrement operation scenario in Mc canal of Alborz irrigation network with 12.6 km length at 5 hr time operation. The objective function consists of three performance indexes of MAE (Maximum Absolute Error), IAE (Integral of Absolute Error) and dimensionless form of SRT (System Response Time). Also Molden and gates indexes is used for performance assessment canal.

**Results:** Optimal coefficients controller are gained in operation scenario. Using gained coefficients, model will be able to tune water level in target level in increment and decrement process at short time. Maximum errors are related to C1 structure with 10 cm in upstream controller and C3 structure with 6 cm in downstream controller. Upstream controller are not able to tuning water level in downstream, so water supply in TO14 and TO16 is disturbed and MPA index is fair and poor performance classes Respectively for TO14 and TO16. The MPA index have been improved in downstream controller Compared to upstream controller. MPA, MPF, MPD indexes are good performance classes in both controller and MPE index is fair.

**Conclusion:** Results show gained optimal coefficients of the developed model to the upstream and downstream controllers is Responsive to changes in operation in a short time.

**Keywords:** PID control system, ICSS model, MC canal of Alborz irrigation network, Assessment index

---

\* Corresponding Author; Email: emadia355@yahoo.com

