

## الگوریتم های کنترل و کاربرد آن در کانال های شبکه آبیاری عقلی: (۲) ارزیابی عملکرد

علی اصغر منتظر<sup>۱\*</sup> و سعید عیسی پور<sup>۲</sup><sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران و <sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسین مشاور یکم (تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹)

## چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد الگوریتم های کنترل و تعیین کنترل گر مناسب کانال های شبکه آبیاری عقلی انجام گرفت. ارزیابی الگوریتم ها با استفاده از شاخص های ماکزیمم قدر مطلق خطا، انتگرال قدر مطلق بزرگی خطا و خطای برگشت به حالت ماندگار برای نتایج شبیه سازی گزینه بهره برداری واقعی کانال ها در طول یک دوره یک ماهه صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که هر سه الگوریتم کنترل طراحی شده از دقت و پتانسیل قابل توجهی در کنترل جریان و مستهلک نمودن اغتشاشات و اختلالات سازه ای - هیدرولیکی کانال های شبکه برخوردار بوده و امکان تحقق توزیع تقاضامندار و ارتقاء عملکرد سیستم توزیع شبکه آبیاری را فراهم می نمایند. یافته های تحقیق بیانگر آن است که از نظر میزان کارایی در بهبود فرآیند بهره برداری، رتبه مطلوبیت الگوریتم ها به ترتیب عبارت است از: کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار با تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد + پیش خورد و دی کوپلینگ (الگوریتم سه)، کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار با تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد و دی کوپلینگ (الگوریتم دو) و کنترل کننده موضعی بالادست با تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد در سازه بالادست (الگوریتم یک). از نظر سهولت طراحی و اجرا رتبه بندی الگوریتم ها به ترتیب عبارت است از: الگوریتم یک، دو و سه. اجرای تلفیقی الگوریتم کنترل سه به عنوان کنترل کننده اصلی و الگوریتم کنترل یک به عنوان سیستم کنترل پشتیبان در هریک از کانالهای شبکه آبیاری مورد مطالعه پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: ارزیابی عملکرد، کانال آبیاری، کنترل سراسری پایین دست، کنترل موضعی، مدل SOBEK

## مقدمه

تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد در سازه بالادست (الگوریتم یک)، (۲) کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار با تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد و دی کوپلینگ (الگوریتم دو) و (۳) کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار با تکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد + پیش خورد و دی کوپلینگ (الگوریتم سه) که در مقاله (۱) به طراحی آنها پرداخته شد مورد ارزیابی قرار می گیرند. به منظور ارزیابی کمی الگوریتم های کنترل در بهبود فرآیند مدیریت شبکه آبیاری و سیستم توزیع جریان در کانال های مورد مطالعه، از شاخص های ماکزیمم قدر مطلق خطا (Maximum Absolute Error-MAE)، انتگرال قدر مطلق بزرگی خطا (Integral of Absolute Magnitude of Error-IAE) و خطای برگشت به حالت ماندگار (Steady State Error-STE) استفاده گردید (Clemmens et al., 1998). رابطه

$$MAE = \frac{\max(|y_t - y_{t \text{ target}}|)}{y_{t \text{ target}}} \quad (1)$$

$$IAE = \frac{\Delta t / T \sum_{t=0}^T |y_t - y_{t \text{ target}}|}{y_{t \text{ target}}} \quad (2)$$

توزیع و تحویل مناسب جریان به بهره برداران و کشاورزان در قالب فراهم نمودن شرایط مناسب کنترل و تنظیم جریان در سطح شبکه های آبیاری قابل دستیابی است. بکارگیری سیستم های کنترل خودکار هر چند در اجرا با مشکل سرمایه گذاری های بالای اولیه مواجه است لکن بعنوان یک ابزار کارآی مدیریتی، امکان ارتقای عملکرد تحویل و بهره برداری بهینه از ظرفیت شبکه های آبیاری را میسر می نماید. در این مطالعه سه الگوریتم کنترل که برای هوشمندسازی بهره برداری و مدیریت کانال های شرقی و غربی شبکه آبیاری عقلی طراحی گردیده بود، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و کنترل گر مناسب آنها تعیین شد.

## مواد و روش ها

در این مطالعه ابتدا نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل سوپک در شبیه سازی کانالهای شبکه آبیاری عقلی ارائه شده و سپس سه الگوریتم کنترل (۱) کنترل کننده موضعی بالادست با

همچنین مقادیر پارامترهای آماری در دو حالت واسنجی و صحت سنجی از تطابق خوبی برخوردار هستند. بررسی نتایج نشان می دهد که مقدار کمی راندمان شبیه سازی در هر دو کانال شبکه بالا بوده لکن در کانال شرقی، عملکرد شبیه سازی ها مطلوب تر می نماید.

جدول ۱- پارامترهای آماری واسنجی و صحت سنجی مدل سوپک در کانالهای شرقی و غربی شبکه مورد مطالعه

پارامتر آماری	کانال شرقی		کانال غربی	
	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی
ME	۰/۰۳۰	۰/۰۲۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲۶
RMSE	۱/۱۱۷	۰/۹۹۶	۱/۱۱۲	۱/۰۸۶
EF	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷
CRM	۰/۰۱۱	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳

### مشخصه ها و پارامترهای کنترل بازه های کانال های شبکه آبیاری

مشخصه های کانال تعامل تنگاتنگی با مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی بازه های کانال دارند. مشخصه های هیدرولیکی کانال از عوامل تأثیرگذار در فرآیند طراحی و تنظیم کنترل کننده هاست. از آنجا که دبی بهره برداری از کانال های آبیاری در طول فصول کشت متغیر است بنابراین مشخصات هیدرولیکی آن نیز متغیر خواهد بود. از طرف دیگر کنترل کننده ها باید کارایی بالایی در تنظیم و کنترل سازه های تنظیم داشته باشند. در این مطالعه طیفی از دبی های کانال یعنی ۱۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ دبی طراحی در نظر گرفته شد تا علاوه بر تعیین مشخصه های کانال در بازه های از تغییرات دبی بهره برداری نسبت به تنظیم کنترل کننده و براساس این مشخصه ها اقدام گردد. در نتیجه پارامترهای کنترل کننده برای تمام دبی های بهره برداری پایداری و کارایی مناسبی خواهد داشت. مشخصه های مورد نیاز برای تنظیم و طراحی کنترل کننده ها عبارتند از: سطح ذخیره، زمان تأخیر، تناوب رزونانس و رزونانس که برای هر یک از بازه های کانال های شرقی و غربی شبکه عقیلی در ۱۰ و ۸۰ درصد دبی طراحی شبکه به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

نتایج جدول (۲) نشان می دهد که برای شرایط بهره برداری کانال های انتقال با دبی ۱۰ درصد ظرفیت طراحی، در کانال شرقی با توجه به مقادیر زمان های تأخیر، بازه شماره ۱۰ (طولانی ترین بازه) بیشترین زمان تأخیر (۷۸۰ ثانیه) را به خود اختصاص داده است. در کانال غربی شبکه مورد نظر، بیشترین زمان تأخیر مربوط به بازه شماره ۱۲ (۴۸۰ ثانیه) می باشد. سطح ذخیره برای تعیین پارامترهای کنترل به کار برده می شود. در غالب موارد مقدار سطح ذخیره برای دبی های کم بیشتر است،

$$STE = \frac{\Delta t}{(t_0 + \Delta t)} \frac{\sum_{t=T}^T |y_t - y_{t \text{ target}}|}{\sum_{t=T}^T |y_t - y_{t \text{ target}}|} \quad (3)$$

در روابط فوق  $y_t$  رقوم سطح آب محاسبه شده از نتایج شبیه سازی در زمان  $t$ ،  $y_{t \text{ target}}$  رقوم سطح آب هدف،  $\Delta t$  گام زمانی تنظیم،  $T$  بازه زمانی شبیه سازی و  $t_0$  برابر ۲ ساعت می باشد. هر یک از این شاخص ها برای هر کدام از الگوریتم ها محاسبه و برای ارزیابی عملکرد آنها با یکدیگر مقایسه شدند.

### واسنجی و صحت سنجی مدل سوپک

به منظور واسنجی و صحت سنجی مدل سوپک از چهار شاخص های آماری حداکثر خطا، ریشه میانگین مربعات خطا، راندمان شبیه سازی و ضریب خطای پس ماند استفاده گردید (Jabro et al., 1998). ارزیابی براساس شبیه سازی دوره یک ماهه داده های واقعی بهره برداری (فروردین ماه ۱۳۸۶) انجام شد. بدین صورت که داده های ۱۵ روز اول از این ماه برای واسنجی و داده های ۱۶ روز دوم ماه برای صحت سنجی استفاده شد. مقادیر میانگین شاخص های آماری برای واسنجی و صحت سنجی مدل (شدت جریان عبوری از سازه های تنظیم انتهای هر یک از بازه های کانال ها) در هر یک از کانال های شرقی و غربی شبکه آبیاری عقیلی در جدول (۱) آمده است. مقدار بهینه حداکثر خطا (ME) برابر صفر می باشد و به این معنی است که مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر مشاهداتی کاملاً برابر است. ریشه میانگین مربعات خطا، درصد مجموع اختلافات مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی نسبت به میانگین مقادیر مشاهداتی را نشان می دهد. مقدار بهینه این پارامتر نیز برابر صفر بوده که نشان دهنده انطباق مقادیر شبیه سازی مدل با مقادیر مشاهداتی است. دقت شبیه سازی مدل با راندمان شبیه سازی مدل (EF) قابل بررسی می باشد. مقدار بهینه این شاخص زمانی که مقادیر شبیه سازی با مقادیر مشاهداتی کاملاً منطبق است برابر یک خواهد بود. ضریب خطای پس ماند (CRM) شاخصی است که خطاهای ثابت توزیع شده در تمام مقادیر شبیه سازی را نشان می دهد. اگر مقدار (CRM) برابر صفر باشد نشان می دهد خطای توزیع شده بر روی مقادیر شبیه سازی در ارتباط با مقادیر مشاهداتی وجود ندارد. مقادیر بالای شاخص EF (بزرگتر از ۰/۹۹۷) و مقادیر کم شاخص های ME (کوچکتر از ۰/۳۳)، MAE (کوچکتر از ۰/۵۵۶)، CRM (کوچکتر از ۰/۰۱۴) و RMSE (کوچکتر از ۱/۱۱۷) نشان می دهد که مدل به خوبی واسنجی شده و از اینرو می تواند برای شبیه سازی سناریوهای مختلف بهره برداری و طراحی الگوریتم های کنترل مورد نظر در این تحقیق از دقت مطلوبی برخوردار باشد.

زیرا برای دبی‌های کم و با عمق ثابت هدف در بالادست سازه‌های تنظیم، طول منحنی برگشت آب بیشتر است. برای دبی‌های نزدیک به دبی طراحی (۰/۸۰) تراز آب به تراز نرمال نزدیک است و سطح آب با کف کانال تقریباً موازی است.

جدول ۲- مشخصه‌های تنظیم کنترل کننده بازه‌های کانال‌های شبکه آبیاری به ازای ۱۰ درصد دبی طراحی

شماره بازه	$(m^2)$ سطح ذخیره		زمان تأخیر (s)		تناوب رزونانس (rad/s)		Mp (-) رزونانس ماکزیمم	
	غربی	شرقی	غربی	شرقی	غربی	شرقی	غربی	شرقی
۱	۵۸۴۶	۵۹۹۵	۶۰	۶۰	۰/۰۲۴	۰/۲۴۲	۰/۰۴۰۶	۰/۲۶۳
۲	۱۱۸۲۶	۱۳۴۸	۲۴۰	۳۰۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۳۸	۰/۳۵۲
۳	۳۰۰۹	۵۸۹۵	۳۶۰	۳۰۰	۰/۰۰۸	.	.	۰/۲۵۶
۴	۲۱۶۱	۸۰۷۳	۳۶۰	۴۸۰	.	.	.	.
۵	۴۶۲۰	۴۴۲۵	۳۶۰	۳۶۰	.	.	.	.
۶	۵۴۱۳	۵۸۱۹	۳۰۰	۵۴۰	.	.	.	.
۷	۲۶۳۳	۴۵۲۸	۱۸۰	۴۸۰	.	.	.	.
۸	۱۳۱۱	۴۷۷۸	۱۸۰	۵۴۰	۰/۰۱۱	.	۰/۱۰۵	.
۹	۱۹۶۲	۲۸۶۵	۲۴۰	۳۰۰	.	۰/۰۱۰	۰/۱۵۳	.
۱۰	۲۰۳۱	۵۶۲۰	۳۰۰	۷۸۰	.	.	.	.
۱۱	۲۰۴۴	۲۶۵۰	۴۲۰	۳۰۰	.	.	.	.
۱۲	۱۴۵۵	۲۹۵۷	۴۸۰	۴۲۰	.	.	.	.
۱۳	-	۱۹۸۹	-	۴۲۰	.	.	-	.
۱۴	-	۱۶۵۷	-	۲۴۰	.	.	-	.

جدول ۳- مشخصه‌های تنظیم کنترل کننده بازه‌های کانال‌های شبکه آبیاری به ازای ۸۰ درصد دبی طراحی

شماره بازه	$(m^2)$ سطح ذخیره		زمان تأخیر (s)		تناوب رزونانس (rad/s)		Mp (-) رزونانس ماکزیمم	
	غربی	شرقی	غربی	شرقی	غربی	شرقی	غربی	شرقی
۱	۵۸۳۱	۵۵۸۴	۶۰	۶۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۲۱۴	۰/۰۴۳
۲	۱۲۶۸۴	۹۳۸۵	۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	.	۰/۰۴۳
۳	۳۴۸۶	۳۶۹۱	۱۸۰	۱۸۰	.	.	.	.
۴	۳۱۸۳	۶۶۰۱	۲۴۰	۳۰۰	.	.	.	.
۵	۶۹۰۹	۲۷۸۵	۳۰۰	۲۴۰	.	.	.	.
۶	۵۲۷۴	۲۹۶۱	۲۴۰	۳۶۰	.	.	.	.
۷	۲۷۱۹	۲۳۱۹	۱۸۰	۳۰۰	۰/۰۱۳	.	۰/۱۰۹	.
۸	۱۴۱۵	۲۸۵۹	۱۲۰	۳۶۰	.	.	.	.
۹	۳۳۲۴	۱۶۸۵	۱۸۰	۱۸۰	۰/۰۱۰	.	۰/۸۴۳	.
۱۰	۲۴۳۶	۲۸۸۹	۱۲۰	۴۸۰	۰/۰۱۱	.	۰/۲۱۲	.
۱۱	۲۲۸۷	۲۵۵۶	۱۲۰	۲۴۰	.	.	.	.
۱۲	۲۰۹۵	۲۴۰۰	۲۴۰	۳۶۰	.	.	.	.
۱۳	-	۸۷۵	-	۲۴۰	۰/۰۲۴	.	-	.
۱۴	-	۱۱۸۷	-	۳۰۰	۰/۰۰۹	.	-	.

نیز سیستم دارای رزونانس است. دیگر بازه‌های کوتاه و کم‌شیب ۱ و ۳ در این کانال نیز دارای رزونانس می‌باشد که در صورت در نظر نگرفتن رزونانس امکان ایجاد سیستم ناپایدار وجود دارد. در کانال غربی شبکه، به دلیل کوتاه بودن کانال و بازه‌های آن، این رزونانس و ناپایداری در تعداد بیشتری از بازه‌ها شامل بازه ۱

تناوب رزونانس و رزونانس ماکزیمم از مشخصه‌های دینامیکی سیستم می‌باشند (Ljung, 2007). با مقایسه مقادیر رزونانس و رزونانس ماکزیمم چنین بر می‌آید که کانال‌های شبکه در دبی‌های کم رفتار رزونانسی بالایی دارد. علاوه بر این برای بازه‌های کوتاه نظیر بازه شماره ۲ کانال شرقی برای دبی‌های زیاد

و پارامتر انتگرالی کنترل کننده ( $K_i$ ) طوری محاسبه شدند که الگوریتم های کنترل بتوانند در کمترین زمان ممکن و با دقت مناسب متغیر کنترل را به مقدار هدف برسانند. لازم به ذکر است که دامنه تغییرات مقدار این پارامترها بسیار متغیر بوده و از نظر کمی غالباً مقدار  $K_p$  بزرگتر از مقدار  $K_i$  می باشد. مقدار این پارامترها با اعمال کوچکترین تغییر در الگوریتم ها (عدم اعمال فیلتر، تغییر ضریب فیلتر، تغییر نوع فیلتر و...) تغییر خواهد کرد.

(بیشترین مقدار)، ۲، ۸ و ۹ خودنمایی می نماید.

مقادیر پارامترهای الگوریتم کنترل کننده سراسری پایین دست برای کانالهای شرقی و غربی شبکه آبیاری عقیلی در جدول (۴) ارائه شده است. این پارامترها بر اساس مشخصه های تنظیم کنترل کننده بازه های کانال ها تعیین شدند. مقادیر این پارامترها (در هر یک از بازه ها) برای کنترل کننده موضعی بالادست متفاوت خواهد بود. پارامتر تناسبی کنترل کننده ( $K_p$ )

جدول ۴- پارامترهای الگوریتم های کنترل کننده سراسری پایین دست برای کانال های شبکه آبیاری عقیلی

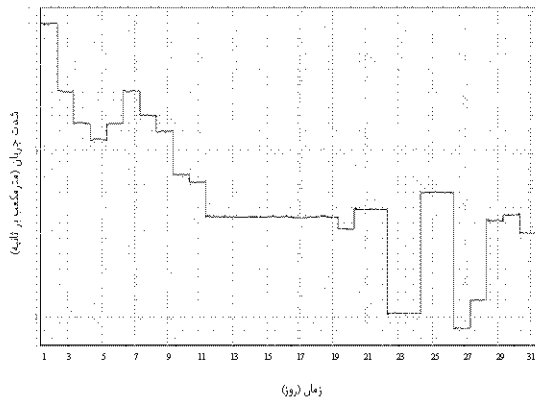
کانال غربی عقیلی				کانال شرقی عقیلی			
$K_iDS$	$K_pDS$	ضریب فیلتر KfPool	شماره بازه	$K_iDS$	$K_pDS$	ضریب فیلتر KfPool	شماره بازه
-۰/۱۱۰۱	-۱/۲۳۱۵		۱	-۰/۲۵۵۶	-۱/۹۰۰۴		۱
-۰/۱۶۱۸۵	-۴/۱۲۳۱		۲	-۰/۰۷۱۵	-۰/۴۷۶۶		۲
-۰/۰۹۳۰	-۱/۳۶۳۶		۳	-۰/۱۱۴۴	-۱/۶۷۷۷		۳
-۰/۰۵۴۵	-۰/۷۹۹۵		۴	-۰/۲۰۳۲	-۲/۹۸۰۰		۴
-۰/۱۳۹۲	-۲/۰۴۲۳		۵	-۰/۰۸۶۳	-۱/۲۶۵۹		۵
-۰/۱۶۲۶	-۲/۳۸۵۰	۰/۹۲۰۶	۶	-۰/۰۹۱۸	-۱/۳۴۵۹		۶
-۰/۰۸۱۶	-۱/۱۹۶۸		۷	-۰/۰۷۱۹	-۱/۰۵۴۱	۰/۹۰۹۱	۷
-۰/۰۴۰۶	-۰/۵۹۵۹		۸	-۰/۰۸۸۶	-۱/۲۹۹۵		۸
-۰/۰۴۴۸	-۰/۵۹۲۲		۹	-۰/۰۵۵۲	-۰/۷۶۵۹		۹
-۰/۱۲۹۲	-۰/۸۶۱۳		۱۰	-۰/۰۸۹۵	-۱/۳۱۳۲		۱۰
-۰/۰۶۳۳	-۰/۹۲۹۱		۱۱	-۰/۰۶۲۳	-۰/۹۱۳۶		۱۱
-۰/۰۴۴۷	-۰/۶۵۵۵		۱۲	-۰/۰۷۴۴	-۱/۰۹۰۹		۱۲
-	-	-	-	-۰/۰۲۷۱	-۰/۳۹۷۷		۱۳
-	-	-	-	-۰/۰۳۶۸	-۰/۵۳۹۵		۱۴

مذکور متغیر بوده است. همچنین تغییرات شدت جریان آبیگری روزانه سازه آبیگری AWT16 واقع در بازه دهم کانال غربی عقیلی در طول اردیبهشت ماه ۱۳۸۶ در شکل (۲) ارائه شده است. همانطور که قبلاً اشاره گردید، گزینه بهره برداری شبیه سازی شده واقعی براساس منحنی تغییرات شدت جریان هر یک از سازه های تنظیم و آبیگری در کانال های شبکه آبیاری در طول ماه مورد نظر انجام گرفت.

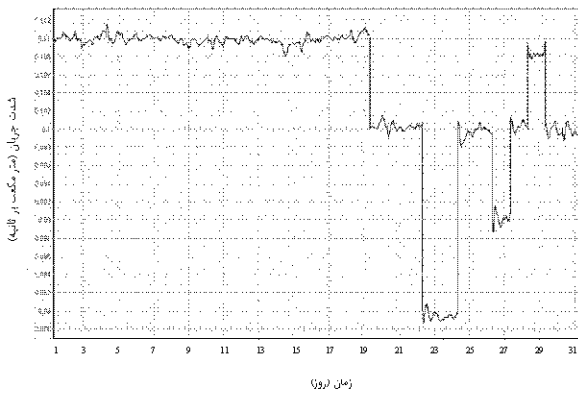
بررسی و مقایسه مقادیر کمی شاخص های ارزیابی الگوریتم کنترل نشان می دهد کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار باتکنیک تناسبی-انتگرالی پس خورد + پیش خورد و دی کوپلینگ (الگوریتم کنترل سه) در مقایسه با دو کنترل کننده دیگر دقت و کارایی بسیار بالایی در کنترل و از بین بردن اختلالات بهره برداری دارد که می توان دلیل این کارایی را در موارد زیر خلاصه نمود: (۱) تعداد متغیرهای اندازه گیری شده این الگوریتم بیشتر بوده در نتیجه متغیر کنترل محاسبه شده دقت بالایی دارد، (۲) متغیر محاسبه شده بطور مستقیم به بالادست منتقل می گردد تا مقدار متغیر اصلاحی آن محاسبه

### ارزیابی عملکرد الگوریتم های کنترل

میانگین این شاخص ها برای هر بازه در طول مدت زمان شبیه سازی (اردیبهشت ماه ۱۳۸۶) و برای هر سه الگوریتم کنترل محاسبه شدند. جداول (۵) و (۶) بترتیب مقادیر شاخص های ارزیابی عملکرد سیستم های کنترل ( $MAE$ ,  $IAE$  و  $STE$ ) را برای شبیه سازی دوره یک ماهه بهره برداری (اول تا ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۶) در کانال شرقی و غربی شبکه آبیاری عقیلی نشان می دهند. در این گزینه بهره برداری، مقدار و روند تغییرات زمانی و مکانی در دبی ورودی به کانالها و شدت جریان توزیعی در آبیگری های هر یک از کانالها مطابق با شرایط بهره برداری واقعی در طول این ماه در نظر گرفته شده و شرایط هیدرولیکی جریان با اعمال هر یک از کنترل گر ها شبیه سازی گردید. به عنوان مثال منحنی تغییرات شدت جریان آبیگری اصلی کانال شرقی عقیلی (سازه کنترل AEC) در طول ماه مورد نظر مطابق با شکل (۱) بوده است. بر این اساس شدت جریان ورودی به این کانال بین حداکثر ۳/۷ متر مکعب بر ثانیه در روزهای اول و دوم اردیبهشت تا ۱/۹ متر مکعب بر ثانیه در روزهای ۲۶ و ۲۷ ماه



شکل ۱- تغییرات شدت جریان آبیگر اصلی کانال شرقی عقیلی در طول اردیبهشت ماه ۱۳۸۶



شکل ۲- تغییرات شدت جریان آبیگری سازه آبیگر AWT16 واقع در بازه دهم کانال غربی عقیلی در طول اردیبهشت ماه ۱۳۸۶

گردد، (۳) کنترل پیش‌خورد به عنوان ابزاری کارا به پیش‌بینی و اعمال عملگر کنترل متناسب با اختلالات ناشی از برنامه‌ریزی آبیاری می‌پردازد. تأثیر کاربرد کنترل پیش‌خورد را می‌توان از مقایسه شاخص MAE برای کنترل‌کننده‌ها مورد ارزیابی قرار داد. در کانال شرقی شبکه مورد مطالعه، مقدار این شاخص در بازه ششم که بزرگترین اختلال در آن وجود دارد برای کنترل‌کننده سراسری پایین‌دست فاصله‌دار پس‌خورد + پیش‌خورد و دی‌کوپلینگ و کنترل‌کننده موضعی بالادست که در سازه بالادست کانال از منطق کنترل پیش‌خورد استفاده گردیده‌است به ترتیب برابر  $0/1204$  و  $0/327$  می‌باشد. در حالیکه برای کنترل‌کننده پایین‌دست فاصله‌دار پس‌خورد و دی‌کوپلینگ که فاقد این منطق است برابر  $0/1775$  می‌باشد. برای این کنترل‌کننده که فاقد منطق کنترل پیش‌خورد در منطق پس‌خورد بکار برده شده در ساختار آن، بعد از وقوع اختلالات شروع به محاسبه و ارسال عملگر اصلاحی کنترل می‌پردازد. با توجه به اینکه منطق کنترل پیش‌خورد با مقداری تأخیر همراه است در نتیجه در این مدت زمان تأخیر، تراز آب از عمق هدف فاصله می‌گیرد. در حالیکه در دو کنترل‌کننده دیگر موج کاهش دبی در کانال اصلی همزمان با کاهش دبی آبیگر به بالادست سازه تنظیم رسیده است و کنترل پس‌خورد فقط به اصلاح اختلالات ریز ناشی از عدم تطبیق کامل این دو موج می‌پردازد.

جدول ۵- مقادیر شاخص ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های کنترل کانال شرقی شبکه آبیاری

شماره بازه	الگوریتم کنترل سه			الگوریتم کنترل دو			الگوریتم کنترل یک		
	STE	IAE	MAE	STE	IAE	MAE	STE	IAE	MAE
۱	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۱	۰/۰۱۷۱	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۰۶	۰/۰۵۱۷
۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۲۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۶۶۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۳	۰/۰۲۱۱
۳	۰/۰۱۰۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۸۶	۰/۰۵۴۵	۰/۰۱۲۳	۰/۰۱۲۰	۰/۱۰۱۹
۴	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۸	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۱	۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۵	۰/۰۶۵۲
۵	۰/۰۱۲۰	۰/۰۰۹۵	۰/۰۷۶۱	۰/۰۱۸۳	۰/۰۱۱۹	۰/۱۰۱۳	۰/۰۱۵۲	۰/۰۲۰۰	۰/۱۲۱۲
۶	۰/۰۰۲۰	۰/۰۱۰۰	۰/۱۲۰۴	۰/۰۱۱۳	۰/۰۱۲۴	۰/۱۴۹۸	۰/۰۱۰۶	۰/۰۲۰۵	۰/۱۳۵۸
۷	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۲۸	۰/۱۰۵۳	۰/۰۰۴۹	۰/۰۱۷۸	۰/۱۵۳۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۲۴۵	۰/۱۶۲۵
۸	۰/۰۲۲۹	۰/۰۱۵۰	۰/۰۹۰۱	۰/۰۲۷۶	۰/۰۱۷۲	۰/۱۷۷۵	۰/۰۱۴۲	۰/۰۲۴۷	۰/۱۴۸۳
۹	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۵۳	۰/۱۰۷۴	۰/۰۲۳۰	۰/۰۱۷۶	۰/۱۵۲۱	۰/۰۱۲۲	۰/۰۳۲۵	۰/۱۹۹۰
۱۰	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۰۸	۰/۰۸۴۱	۰/۰۱۳۱	۰/۰۱۶۱	۰/۱۱۵۷	۰/۰۲۴۸	۰/۰۱۸۸	۰/۱۳۶۴
۱۱	۰/۰۲۲۶	۰/۰۱۹۳	۰/۰۵۴۸	۰/۰۲۸۱	۰/۰۲۲۴	۰/۱۰۸۸	۰/۰۰۷۹	۰/۰۳۷۲	۰/۲۱۱۳
۱۲	۰/۰۰۷۷	۰/۰۱۰۱	۰/۰۷۷۳	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۴۹	۰/۱۳۷۳	۰/۰۴۵۰	۰/۰۲۲۵	۰/۱۷۵۸
۱۳	۰/۰۲۱۲	۰/۰۲۵۰	۰/۰۸۰۱	۰/۰۲۴۰	۰/۰۴۷۵	۰/۰۹۰۹	۰/۰۳۹۳	۰/۰۵۴۸	۰/۲۶۵۲
۱۴	۰/۰۰۵۹	۰/۰۴۳۰	۰/۰۷۱۲	۰/۰۲۳۶	۰/۰۵۱۶	۰/۱۰۶۵	۰/۰۲۴۶	۰/۰۴۲۰	۰/۳۲۷۰
میانگین	۰/۰۰۹۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۶۶۹	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۷۷	۰/۱۰۳۲	۰/۰۱۵۵	۰/۰۲۳۵	۰/۱۵۱۶

جدول ۶- مقادیر شاخص های ارزیابی عملکرد الگوریتم های کنترل کانال غربی شبکه آبیاری

شماره بازه	الگوریتم کنترل یک			الگوریتم کنترل دو			الگوریتم کنترل سه		
	MAE	IAE	STE	MAE	IAE	STE	MAE	IAE	STE
۱	۰/۰۸۰۹	۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۳
۲	۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۵۸۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۵
۳	۰/۰۸۸۱	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۱۱	۰/۰۱۷۸	۰/۰۱۷۸	۰/۱۴۳۷	۰/۰۱۹۰	۰/۰۰۲۳
۴	۰/۰۹۶۷	۰/۰۱۴۸	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۷۱	۰/۱۳۵۰	۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۳۴۵
۵	۰/۰۷۹۷	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۷۲	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۹	۰/۱۵۰۱	۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۷۰
۶	۰/۰۹۰۲	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۹	۰/۰۶۰۳	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۵۱
۷	۰/۱۳۶۸	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۶۸۱	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۴۲
۸	۰/۲۰۷۵	۰/۰۲۸۳	۰/۰۳۳۲	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۷۸	۰/۱۰۲۰	۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۲۳۴
۹	۰/۱۹۵۵	۰/۰۲۶۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۶۶	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۶۸	۰/۰۹۹۰	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۲۲
۱۰	۰/۱۵۷۳	۰/۰۱۴۹	۰/۰۱۴۴	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۲۸	۰/۰۷۱۷	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۱۵
۱۱	۰/۲۳۱۰	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۵۰	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۱۶۸	۰/۱۶۰۰	۰/۰۱۴۱	۰/۰۰۵۴
۱۲	۰/۳۱۶۷	۰/۰۳۳۴	۰/۰۱۱۳	۰/۰۱۹۹	۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۴۴	۰/۲۰۹۰	۰/۰۲۵۴	۰/۰۱۱۰
میانگین	۰/۱۴۱۷	۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۲۹	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۵۵۳	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۷۸

پارامترهای تناسبی-انتگرالی کنترل کننده را نشان می دهد. باتوجه به تنظیم مناسب این پارامترها در نتیجه کاربرد رویکرد نوین تعیین مشخصه های سیستم برای تنظیم کنترل کننده ها، هر سه کنترل کننده قابلیت و کارایی بالایی دارند. شاخص برگشت به حالت ماندگار STE توانایی و سرعت کنترل کننده در برگشت تراز آب به عمق هدف را نشان می دهد. این شاخص نشان می دهد کنترل کننده های طراحی شده توان و سرعت بالایی در تحلیل اختلالات ناشی از بهره برداری را دارد. مقدار این شاخص برای هر سه کنترل کننده قابل قبول و کارایی کنترل کننده ها را به اثبات می رساند. هر چند کلیه بازه ها از دقت کنترلی بسیار مناسبی برخوردار می باشند، لکن با توجه به مقادیر شاخص های ارزیابی، وضعیت کنترل جریان در بازه های شماره ۱ الی ۴ کانال شرقی و بازه های شماره ۱ الی ۷ (و همچنین ۹ و ۱۰) کانال غربی از وضعیت مناسبتری نسبت به سایر بازه ها برخوردار می باشند.

در شکل (۳) نتایج شبیه سازی شدت جریان عبوری از ۵ سازه تنظیم (شکل ۳-الف) و رقوم سطح آب دربالادست این سازه ها (شکل ۳-ب) در حالت اجرای الگوریتم کنترل یک برای مدت ۴۸ (ساعت ۸ صبح روز چهارم اردیبهشت ۱۳۸۶ الی ساعت ۸ صبح دو روز بعد) ساعت ارائه گردید است. سازه های تنظیم AEC، AECCH\_2780، AECCH\_6270، AECCH\_10465، AECCH\_16215 بترتیب در انتهای بازه های شماره ۲، ۴، ۶، ۹ و ۱۳ کانال شرقی عقیلی قرار گرفته اند. هر یک از این بازه ها به ترتیب دارای ۳، ۲، ۲، ۱ و ۲ سازه آبرگیر می باشند.

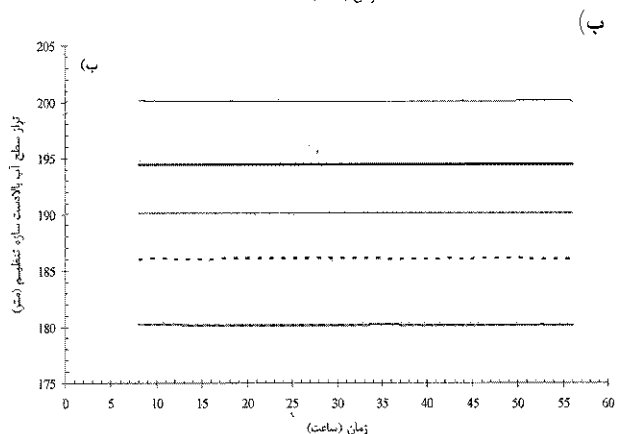
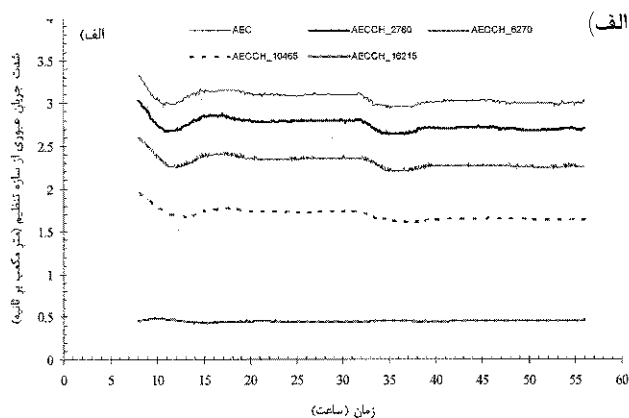
برای کانال شرقی شبکه، متوسط شاخص ماکزیمم قدر مطلق خطا (MAE) بترتیب برای کنترل کننده های ۱، ۲ و ۳ برابر است ۰/۱۵۱۶، ۰/۱۰۳۲ و ۰/۰۶۶۹، متوسط شاخص انتگرال قدر مطلق بزرگی خطا (IAE) برای این سه کنترل کننده بترتیب برابر ۰/۰۲۳۵، ۰/۰۱۷۷ و ۰/۰۱۳۳ و متوسط شاخص STE برای سه کنترل کننده بترتیب برابر ۰/۰۱۵۵، ۰/۰۱۳۸ و ۰/۰۰۹۳ می باشد. همچنین، مقدار متوسط شاخص MAE در کانال غربی برای الگوریتم کنترل ۱ الی ۳ به ترتیب ۰/۱۴۱۷، ۰/۱۰۵۷ و ۰/۰۵۵۳، متوسط شاخص IAE برای این سه کنترلر بترتیب برابر ۰/۰۱۷۶، ۰/۰۱۲۹ و ۰/۰۱۰۹ و متوسط شاخص STE بترتیب برابر ۰/۰۰۹۸، ۰/۰۰۸۲ و ۰/۰۰۷۸. نتایج بیانگر آن است که کنترلر های طراحی شده برای کلیه اجزای شبکه آبیاری مورد مطالعه از دقت نسبتا یکسانی برخوردار بوده لکن برای بازه های کانال غربی دقت مطلوب تر می باشد.

شاخص ماکزیمم قدر مطلق خطا معیار مناسبی برای نشان دادن کارایی کنترل کننده در کنترل تراز آب در بازه مجاز نوسان است. بررسی مقادیر این شاخص نشان می دهد متوسط ماکزیمم انحراف تراز آب از عمق هدف برای کنترل کننده سراسری پایین دست فاصله دار پس خورد و پیش خورد و دی کوپلینگ برابر ۶/۶ درصد برای کانال شرقی و ۵/۵ درصد برای کانال غربی است. نتایج بیانگر آن است که این کنترل کننده کارایی بسیار بالایی در تحلیل انحرافات ناشی از بهره برداری را دارد که می تواند ناشی از کاربرد دو ابزار مناسب کنترل پیش خورد و دی کوپلینگ در ساختار الگوریتم کنترل آن باشد. شاخص انتگرال قدر مطلق بزرگی خطا، پایداری کنترل کننده در طول مدت بهره برداری و نحوه تنظیم

## Archive of SID

بازه‌های شماره ۲، ۴، ۶، ۹ و ۱۳، در شکل‌های (۴) و (۵) آمده است. در این شکلها، نتایج شبیه سازی برای یک دوره دو روزه (۸ صبح روز دوم اردیبهشت ۱۳۸۶ لغایت ۸ صبح دو روز بعد) ارائه شده است. بررسی شکلها نشان می دهد که این دو کنترل کننده نیز به خوبی از روند تغییرات دبی آبگیرهای بازه‌های کانال تبعیت می کنند و از اینرو قابلیت تنظیم و تأمین دبی تعیین شده آبگیرها را با دقت مطلوبی دارا هستند. وضعیت تغییرات رقوم سطح آب و دبی سازه های تنظیم بیانگر آن است که مقادیر هدف هر یک از این دو پارامتر در هر یک از بازه های دو کانال بر اثر اعمال هر گونه اختلال، با اجرای سیستم کنترل طراحی شده و با تغییر بازشدگی سازه‌های تنظیم توسط کنترل کننده‌ها با دقت و سرعت بالایی قابل دستیابی است.

باتوجه به فرآیند اجرایی کنترل کننده پایین دست فاصله‌دار با تکنیک پس‌خورد و دی‌کوپلینگ، وقوع هر اختلال ناشی از بهره‌برداری و برداشت دبی توسط آبگیرها و اختلالات مضاعف وارد شده برای افزایش کارایی کنترل کننده که موجب انحراف تراز آب از عمق هدف در هر یک از بازه‌های کانال‌ها شود، توسط حسگرهای کنترل کننده تشخیص داده شده و کنترل کننده بر اساس منطق پس‌خورد با محاسبه و ارسال مقدار اصلاحی در تراز سطح آب، عملیات تنظیم سطح آب را انجام می‌دهد. از آنجا که در این کنترل کننده، منطق الگوریتم کنترل پس‌خورد است اعمال عملگر اصلاحی تا زمان برگشت تراز آب به محدوده مجاز ادامه دارد. یکی از توانمندی‌های این کنترل کننده استفاده از تکنیک دی‌کوپلینگ در ساختار الگوریتم و تبدیل آن به کنترل کننده سراسری می‌باشد. در هرگونه انحراف تراز آب که توسط حسگرها تشخیص داده شود بعد از ورود به ساختار الگوریتم کنترل و محاسبه عملگر کنترل متناسب با آن برای انحلال این انحراف، عملگر کنترل محاسبه شده بطور مستقیم به بازه بالادست فرستاده می‌شود. بنابراین تمام انحرافات به سمت منبع تأمین آب جمع‌آوری می‌گردد. بدین ترتیب اثر یک اختلال در این کنترل کننده بطور مستقیم در نظر گرفته می‌شود نه در اثر حرکت اثر این اختلال در تراز آب و اندازه‌گیری آن توسط حسگرهای کنترل کننده. این کنترل کننده در مقایسه با کنترل کننده بالادست دقت بالایی دارد که ضمن استهلاک اغتشاشات ناشی از بهره‌برداری، کارایی قابل توجهی نیز در تحویل تقاضامدار آب به بهره‌برداران را دارا می‌باشد.



شکل ۳- تغییرات شدت جریان عبوری و تراز سطح آب بالادست سازه های تنظیم با اعمال کنترل گز شماره یک

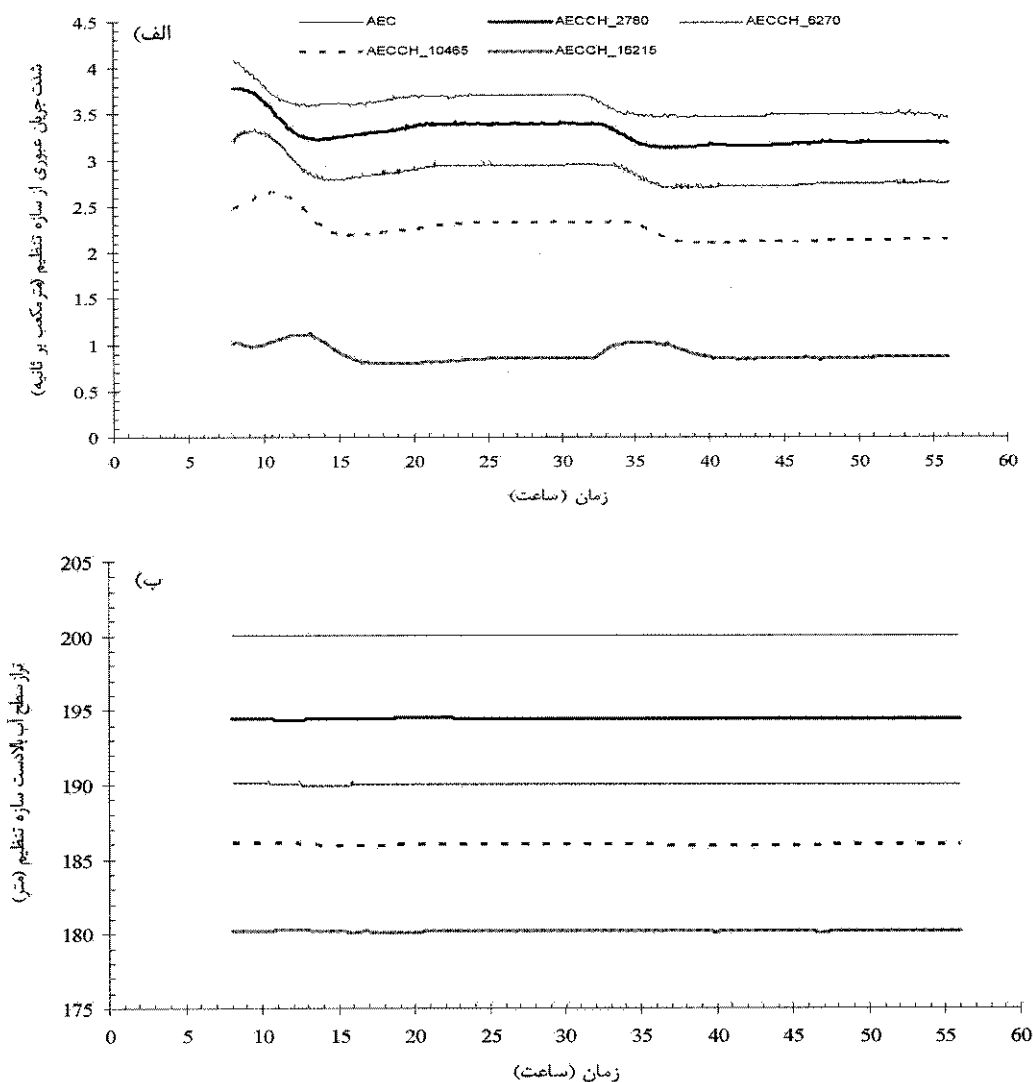
نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات شدت جریان عبوری از سازه‌های تنظیم از روند تغییرات دبی آبگیرهای بازه‌های کانال تبعیت می‌کند و از اینرو این کنترل کننده قابلیت تأمین دبی آبگیرها را با دقت مطلوبی دارا می‌باشند. تغییرات دبی تحویلی به آبگیرها و کانال‌های فرعی برای تأمین نیاز بهره‌برداران، موجب تغییر دبی سازه‌های تنظیم و در نتیجه تراز آب در بالادست این سازه‌ها می‌گردد. در این کنترل گر، وقتی تغییری در تراز سطح آب در اثر تغییرات برداشت دبی بوقوع می‌پیوندد، این تغییر بعنوان یک انحراف وارد فرآیند کنترل گردیده و کنترل کننده سعی در انحلال و برگشت تراز آب به مقدار هدف را دارد. وقوع این انحراف بعنوان یک اختلال وارد بخش پیش‌خورد شده و باتوجه به عملکرد مناسب تعیین زمان تأخیر توسط فرآیند تعیین مشخصه‌های سیستم، بخش پیش‌خورد کنترل کننده به تعیین و اعمال تنظیم بازشدگی سازه بالادست می‌پردازد. تغییرات ناچیز تراز آب بالادست سازه‌های تنظیم مورد نظر در شکل ۳-ب (با توجه به تغییرات دبی سازه‌های آبگیر و تنظیم) حاکی از عملکرد مناسب بخش پیش‌خورد و تعیین مناسب زمان تأخیر بازه‌های کانال است.

نتایج شبیه سازی اعمال کنترل گرهای دو و سه بر روی

سازه ای از کانال شرقی شبکه که در بالا به آنها اشاره گردید

می‌گردد. رفتار بهره‌برداری از کانال‌های شبکه با تأثیر از ترکیب الگوی کشت و وسعت اراضی تحت پوشش که اکثراً خرده مالکی هستند دچار تغییرات شدید روزانه در غالب ماههای بهره‌برداری می‌شوند. برای کنترل و تنظیم بهینه تراز آب، استفاده از برنامه آبیاری برای پیش‌بینی و اقدام بموقع ضروری است. کنترل‌کننده پیش‌خورد با دریافت برنامه آبیاری و با پیش‌بینی رفتار کانال در تعامل با کنترل‌کننده و برنامه آبیاری اقدام به محاسبه و ارسال عملگر اصلاحی باتوجه به زمان تأخیر هریک از بازه‌ها می‌پردازد.

منطق کنترل پیش‌خورد برای افزایش دقت و تنظیم دقیق تراز آب در عمق هدف کارایی مناسبی دارد زیرا کنترل پیش‌خورد بصورت یک حلقه بسته تا زمانی که مقدار انحراف به محدوده مجاز نرسد به محاسبه و ارسال عملگر کنترل می‌پردازد. برای بازه‌های طویل با زمان تأخیر بلند مدت این منطق کنترل به تنهایی مناسب نیست. باتوجه به ماهیت بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری شبکه مورد مطالعه و لزوم افزایش انعطاف‌پذیری آنها، کاربرد و تلفیق منطق کنترل پیش‌خورد با کنترل پیش‌خورد موجب تأمین بهینه اهداف مدیریت شبکه



شکل ۷- تغییرات شدت جریان عبوری و تراز سطح آب بالادست سازه های تنظیم با اعمال کنترل گر شماره دو

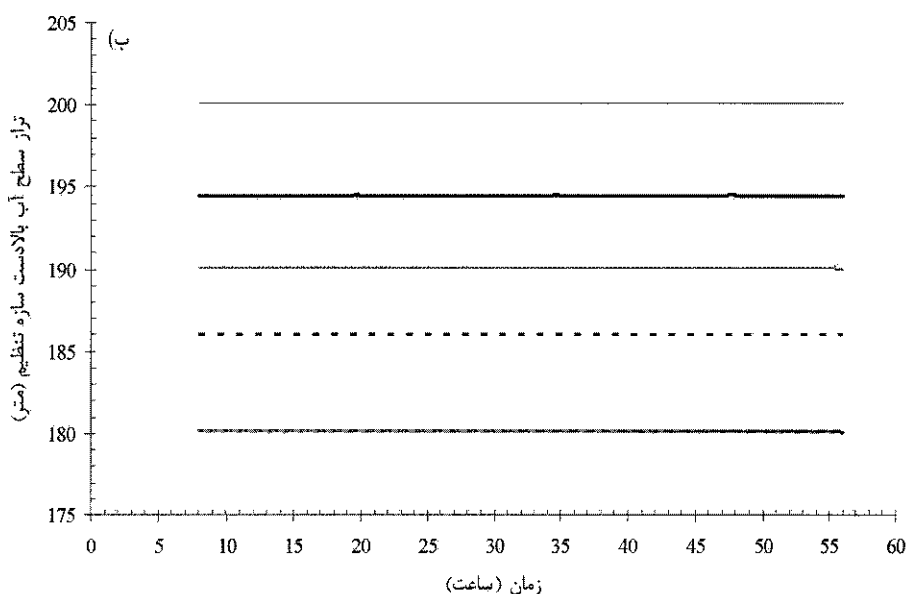
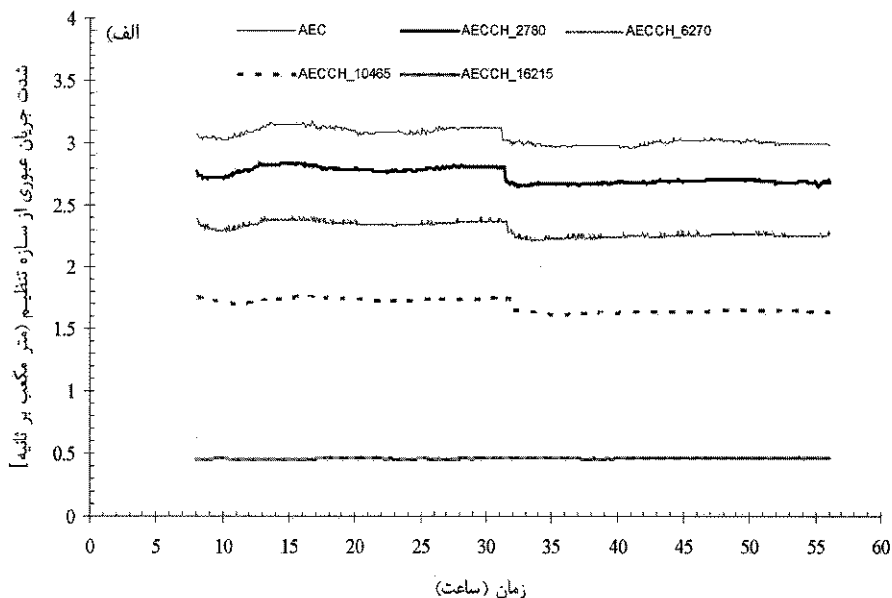
دارد چرا که در مقابل تغییرات ناگهانی دبی این آنگیر، تراز آب در بالادست سازه های تنظیم پایین دست آنها کمترین انحراف را در مقایسه با دو کنترل‌کننده دیگر (الگوریتم های کنترل ۱ و ۲) داشته‌است. کنترل‌کننده پیش‌خورد با اعمال عملگر کنترل به سازه‌های تنظیم از مدتی قبل برابر با زمان تأخیر بازه‌های بالادست به تنظیم تراز آب می‌پردازد. تأثیر سایر مشخصه‌های

مقایسه نتایج دو الگوریتم کنترل ۲ و ۳، تأثیر اضافه نمودن کنترل پیش‌خورد در ساختار الگوریتم را بخوبی مشخص می‌نماید. باتوجه به روند تغییرات دبی آنگیرها و بخصوص بزرگترین آنگیرهای کانال مورد نظر که در بازه های شماره ۲، ۴ و ۶ واقع شده اند، مشخص است که کنترل‌کننده پایین‌دست پیش‌خورد و آنگیرهای کانال مورد نظر را بخوبی مشخص می‌نماید. باتوجه به روند تغییرات دبی آنگیرها و بخصوص بزرگترین آنگیرهای کانال مورد نظر که در بازه های شماره ۲، ۴ و ۶ واقع شده اند، مشخص است که کنترل‌کننده پایین‌دست پیش‌خورد و آنگیرهای کانال مورد نظر را بخوبی مشخص می‌نماید.



توسط کنترل‌کننده پس‌خورد تحلیل می‌رود. از طرفی سطح ذخیره هر بازه از کانال به عنوان سویاپ اطمینانی برای انحلال اختلالات کوچک ناشی از بهره‌برداری است.

فیزیکی کانال نظیر سطح ذخیره و اصطکاک دیواره کانال موجب می‌شود که مقداری از اختلال ناشی از کنترل‌پیش‌خورد در تراز آب موجب انحراف جزئی آن از عمق هدف شوند ولی کنترل‌پس‌خورد با اندازه‌گیری این انحراف به اصلاح آن می‌پردازد. از آنجایی که مقدار انحراف ناچیز است براحتی و سریع



شکل ۸- تغییرات شدت جریان عبوری و تراز سطح آب بالادست سازه‌های تنظیم با اعمال کنترل گر شماره سه

شبکه مورد مطالعه، در صورت عدم تمایل کشاورزان و بهره‌برداران به آبیاری شبانه (که در این مدت آب از انتهای کانال وارد زهکش‌ها شده از دسترس خارج می‌گردد)، این کنترل‌کننده قابلیت تنظیم و ذخیره آب در بخش بالادست آبیگر و جلوگیری از افزایش تلفات آب را در کانال‌های مورد مطالعه شبکه با دقت مطلوبی دارا بوده و شرایط تقاضا محور نمودن شبکه و ارتقای عملکرد تحویل آب را فراهم می‌نماید.

بررسی نتایج مربوط به کنترل‌کننده پایین‌دست پس‌خورد + پیش‌خورد با دی‌کوپلینگ و روند کنترل سریع اختلالات وسیع ناشی از بهره‌برداری نشان می‌دهد با وجود رفتار رزونانسی بازه‌های کانال شرقی شبکه در تعامل با کنترل‌کننده پارامترهای تناسبی-انتگرالی؛ قابلیت مناسبی در تنظیم و تحویل مناسب آب را دارد و در نتیجه فرآیند تنظیم پارامترهای کنترل نیز کارایی بسیار مطلوبی داشته است. با توجه به روند بهره‌برداری از

## نتیجه گیری کلی

که با مقایسه دو کنترل کننده بالادست موضعی و کنترل پایین دست سراسری بخوبی قابل تشخیص است.

۳- نتایج ارزیابی و مقایسه الگوریتم های کنترل طراحی شده نشان داد که سه الگوریتم کنترل دقت و پتانسیل کافی در کنترل جریان شبکه آبیاری عقیلی را دارا می باشند. لکن کنترل کننده های سراسری پایین دست از دقت و پتانسیل بالاتری در کنترل جریان برخوردار بوده و امکان تحقق توزیع تقاضا مدار و ارتقای راندمان سیستم تنظیم و توزیع کانال را فراهم می نمایند. از نظر میزان کارایی در بهبود فرآیند بهره برداری، رتبه مطلوبیت الگوریتم ها به ترتیب: الگوریتم سه، الگوریتم دو و الگوریتم یک بوده و از نظر سهولت طراحی و اجرا، رتبه مطلوبیت به ترتیب: الگوریتم یک، الگوریتم دو و الگوریتم سه می باشد.

۴- اجرای تلفیقی الگوریتم کنترل سه به عنوان کنترل کننده اصلی و الگوریتم کنترل یک به عنوان سیستم کنترل پشتیبان در هریک از کانالهای شبکه مورد مطالعه پیشنهاد می گردد.

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت های مالی سازمان آب و برق خوزستان در قالب طرح تحقیقاتی شماره KUI86023 انجام گرفته است که بدین وسیله از دفتر تحقیقات شبکه های آبیاری و زهکشی این سازمان تشکر و قدردانی می گردد. همچنین از موسسه WL/Delft Hydraulic که در طول مدت انجام تحقیق مدل سوپک را در اختیار قرار داد، سپاسگزاری به عمل می آید.

## REFERENCES

- Clemmens, A. J., Kacerek, T., Grawitz, B., and Schuurmans, W. (1998). Test cases for canal control algorithms. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 24 (1), 23-30.
- Jabro, J. D., Toth, J. D., and Fox, R. H. (1998). Evaluation and comparison of five simulation models for estimating water drainage fluxes under corn. *Journal of Environmental Quality*, 27, 1376-1381.
- Ljung, L. (2007). System identification tool box 7. The Math Works Inc., Natick, MA, USA.

تحویل مناسب جریان به بهره برداران و کشاورزان در قالب فراهم نمودن شرایط مناسب کنترل و تنظیم جریان در سطح شبکه های آبیاری قابل دستیابی است. بکارگیری سیستم های کنترل خودکار هر چند در اجرا با مشکل سرمایه گذاری های بالای اولیه مواجه هستند لکن بعنوان یک ابزار کارآی مدیریتی، امکان ارتقای راندمان تحویل و بهره برداری بهینه از ظرفیت شبکه های آبیاری را فراهم می نمایند. در این تحقیق سه الگوریتم کنترل کارا برای هوشمندسازی بهره برداری و مدیریت شبکه آبیاری عقیلی طراحی شد. مهمترین یافته های تحقیق به قرار ذیل می باشند:

۱- الگوریتم کنترل شماره یک، کنترل کننده موضعی بالادست که فقط در سازه بالادست آن کنترل پیش خورده اعمال گردیده است، شکل خودکار سیستم بهره برداری فعلی از کانال های شبکه مورد مطالعه است. بررسی رفتار این کنترل کننده و رقوم تغییرات تراز آب در بالادست سازه های تنظیم و تغییرات دبی سازه های تنظیم نشان می دهد کنترل کننده کارایی مناسبی در انحلال اختلالات ناشی از بهره برداری دارد. با توجه به اینکه کنترل کننده با دقت مناسبی طراحی و تنظیم گردیده است، قابلیت جایگزینی با سیستم سنتی بهره برداری شبکه عقیلی را دارا می باشد.

اجرای این کنترل کننده می تواند شرایط کاهش تلفات و افزایش راندمان تحویل و توزیع آب شبکه را فراهم نماید.

۲- کاربرد تکنیک دی کوپلینگ برای کاهش اثرات بین بازه ای و افزایش دقت و کارایی کنترل کننده ابزار مناسبی است