

## بررسی عملکرد و پیشنهاد مناسب‌ترین سازه‌های کنترل در کانال‌های آبیاری با مدل هیدرودینامیک CanalMan

محسن صفوی<sup>۱</sup>، ابراهیم امیری تکلدانی<sup>۲\*</sup>، محمد جواد منعم<sup>۳</sup> و عاطفه پرورش ریزی<sup>۴</sup>

### چکیده

از بین سازه‌های هیدرولیکی، سازه‌های کنترلی با تنظیم سطح آب تأثیر زیادی در بالابردن راندمان و کاهش مصرف آب دارند. به دلیل تنوع سازه‌های هیدرولیکی و روش‌های مختلف بهره‌برداری، مدل‌های مختلفی برای کنترل و تعیین رفتار جریان هنگام به کارگیری سازه‌های مختلف توسعه یافته‌اند. در این مطالعه مدل هیدرولیکی CanalMan، برای شبیه‌سازی عملکرد سازه‌های کنترل در شبکه آبیاری فومنات در غرب استان گیلان به کار برده شده‌است. برای انجام شبیه‌سازی، کانال BP۱۹ در واحد عمرانی F۲ شبکه فومنات انتخاب شده و برای بررسی وضعیت کانال، بازدیدهایی قبل از شروع فصل آبیاری انجام شد. همچنین بازدیدهایی پس از شروع آبیاری برای مشاهده نحوه بهره‌برداری از کانال و سازه‌های موجود در آن و نیز انجام اندازه‌گیری‌های لازم برای کسب اطلاعات مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی به عمل آمد. در ادامه عملکرد سازه‌های کنترلی آمیل، دریچه قطاعی و سرریز نوکاردکی در مدل شبیه‌سازی شدند تا مناسب‌ترین سازه از نظر هیدرولیکی برای کنترل سطح آب در کانال مورد نظر انتخاب شود. با استفاده از شاخص‌های مولدن و گیتس مشاهده شد که سازه آمیل با کسب مقادیر متوسط ۱۰۰، ۸۲ و ۲۷ درصد به ترتیب برای شاخص‌های راندمان، کفایت و عدالت تحویل، بهترین سازه تنظیم برای کنترل و تنظیم جریان در کانال مورد نظر است.

**واژه‌های کلیدی:** سازه‌های تنظیم، شبکه آبیاری، شبکه فومنات، مدل هیدرولیکی CanalMan.

**ارجاع:** صفوی م. امیری تکلدانی ا. منعم م. ج. و پرورش ریزی ع. ۱۳۹۳. بررسی عملکرد و پیشنهاد مناسب‌ترین سازه‌های کنترل در کانال‌های آبیاری با مدل هیدرودینامیک CanalMan. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴):۱۴۷-۱۵۴.

۱- دانش‌آموخته رشته سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده مهندسی کشاورزی و فن‌آوری، دانشگاه تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی کشاورزی و فن‌آوری، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۴- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی کشاورزی و فن‌آوری، دانشگاه تهران.

\*نویسنده مسئول: [amiri@ut.ac.ir](mailto:amiri@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۵

## مقدمه

بیشترین سهم از مصرف منابع آب مربوط به بخش کشاورزی است به طوری که در ایران ۸۵ تا ۹۰ درصد از منابع آبی در این بخش به مصرف می‌رسد. از طرف دیگر با وجود مدرن‌سازی شبکه‌های آبیاری در ایران راندمان کل آبیاری پایین بوده و در حدود ۳۵٪ است. مدیریت ضعیف شبکه‌های آبیاری باعث پایین آمدن راندمان‌های انتقال و توزیع و در نتیجه هدر رفتن آب می‌شود. در این میان سازه‌های کنترلی به دلیل نقش مهمی که در تنظیم سطح آب و در نتیجه دبی آبیگرها دارند می‌توانند تأثیر زیادی در بالابردن راندمان داشته باشند. از طرف دیگر با توجه به گستردگی شبکه‌ها و پیچیدگی رفتار هیدرولیکی جریان، استفاده از مدل‌های هیدرولیکی برای کنترل و پیش‌بینی رفتار سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در ابتدا همیلتون و دورایس (۱۹۸۶) یک مدل هیدرولیکی برای یک کانال بدون انشعاب متشکل از چند بازه که با سازه‌های کنترل از یکدیگر جدا شده‌اند، توسعه دادند. در ادامه و در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی از جمله SOBEK، ICSS، HEC-RAS، MIKE، ISIS و CanalMan برای شبیه‌سازی جریان توسعه داده شدند. از این مدل‌ها در بهینه‌سازی برنامه توزیع آب در شبکه‌های آبیاری (کسب‌دوز و همکاران، ۱۳۷۷)، ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری (محسنی‌موحد و منعم، ۱۳۸۲) و (شاهرخ‌نیا و جوان، ۲۰۰۵)، آنالیز سیستم‌های آبیاری (رحیمی و نیکبخت‌جهرمی، ۱۳۷۹) و (طارق و لطیف، ۲۰۱۱)، بهبود بهره‌برداری و مدیریت شبکه آبیاری (میشرا و همکاران، ۲۰۰۱) و (منعم و همکاران، ۱۳۷۹)، بررسی وضعیت شبکه‌های آبیاری (کومار و همکاران، ۲۰۰۲) شبیه‌سازی گزینه شب‌خاموشی (گومان و همکاران، ۲۰۰۹) استفاده شده است.

هدف از این مطالعه واسنجی مدل هیدرودینامیکی CanalMan برای شبکه آبیاری فومنت و بررسی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های کنترلی با مدل واسنجی‌شده و انتخاب سازه مناسب در این شبکه است. در شبکه آبیاری فومنت که در غرب استان گیلان با مساحتی بالغ بر ۵۷ هزار هکتار است، به دلیل قدیمی بودن ساختمان و از کارافتادگی برخی از سازه‌های موجود از جمله سازه آمیل و نیز تغییر در روش بهره‌برداری از حالت دایمی به تناوبی، بهره‌برداری از شبکه مذکور دچار تغییراتی نسبت به

طراحی اولیه شده است. در حال حاضر نه فقط به مساحت تحت کشت آن افزوده شده و نیاز آبی آن نسبت به زمان طراحی بیشتر شده، بلکه با کاهش منابع آب در دسترس وضعیت این شبکه با مشکلات جدی روبرو شده است. از طرف دیگر حجم تنظیمی سد سفیدرود که منبع اصلی تأمین‌کننده شبکه فوق است در ابتدای طراحی بالغ بر ۲/۲ میلیارد مترمکعب در سال بود اما به دلیل رسوب‌گذاری در مخزن و نیز برنامه‌ریزی برای احداث چند سد در بالادست، حجم آب ورودی ممکن است در سال‌های نه‌چندان دور به کم‌تر از یک میلیارد مترمکعب در سال برسد. در این راستا ضروری است استفاده بهینه از حجم آب در دسترس در دستور کار قرار گیرد. استفاده بهینه از منابع آبی موجود نیاز به تخصیص مناسب و دقیق آب با استفاده از سازه‌های مختلف آبیاری از جمله سازه‌های کنترل سطح آب در شبکه داشته و بدین منظور در این شبکه به بررسی عملکرد سازه‌های کنترل و تنظیم موجود در آن و انتخاب سازه مناسب پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

## مشخصات شبکه و کانال مورد مطالعه

ناحیه عمرانی فومنت یکی از سه قسمت اصلی شبکه بزرگ سفیدرود است که در غرب استان گیلان قرار دارد و کشت اصلی آن برنج است. این ناحیه دارای ۵ واحد عمرانی به نام‌های F۱ تا F۵ است. هم‌اکنون واحدهای F۱ تا F۳ به صورت مدرن و واحدهای F۴ و F۵ به صورت سنتی آبیاری می‌شوند.

شکل ۱ آرایش شماتیک واحد عمرانی و کانال اصلی فومنت را نشان می‌دهد. محدوده انتخاب‌شده جهت انجام شبیه‌سازی، در کانال BP۱۹ واقع در واحد عمرانی F۲ است. این کانال پس از انجام بررسی‌های میدانی و به دلیل نزدیکی به اداره آبیاری صومعه‌سرا و امور آب فومنت و همچنین داشتن شرایط میانگین از نظر بهره‌برداری در بین واحدهای عمرانی منطقه انتخاب شد. برای بررسی وضعیت مقطع کانال و اندازه‌گیری ابعاد سازه‌های کانال چند دوره بازدید قبل از شروع فصل آبیاری (تا اواخر فروردین ۱۳۹۰) انجام شد. همچنین بازدیدهایی پس از شروع آبیاری برای مشاهده نحوه بهره‌برداری از کانال و سازه‌های موجود در آن و نیز اندازه‌گیری اطلاعات لازم برای اجرای شبیه‌سازی انجام شد.



شکل ۱- آرایش شماتیک کانال اصلی فومنتات

در این محدوده سه عدد بوده که همگی از نوع آمیل هستند. تعداد ۵ آبگیر نیز در این محدوده وجود دارد که از نوع نیرپیک هستند. جدول ۱ بازه‌ها و مشخصات هیدرولیکی و سازه‌های آبگیری محدوده را نشان می‌دهد.

حداکثر دبی کانال BP19 برابر ۶۲۰۰ لیتر بر ثانیه است. طول محدوده مورد مطالعه برابر ۵ کیلومتر با مقطع دوزنقه‌ای و بتنی است. عرض کف کانال نیز از ۳/۵ متر در ابتدا تا ۱/۵ متر در انتها متغیر بوده و شیب طولی آن نیز حداقل ۰/۰۰۲۷ است. تعداد دریاچه‌های تنظیم سطح آب

جدول ۱- مشخصات کانال BP19

سازه آبگیری	سازه	مشخصات هیدرولیکی					کیلومتر بازه کانال				
		نوع	کیلومتر	پایین دست	$S_{(m/km)}$	$h_{(m)}$	$B_{(m)}$	$V_{(m/s)}$	طول (m)	پایین دست	بالادست
T1= C1-1200	آمیل D400	۰/۱	۰/۲۷	۱/۲۵	۳/۵	۱	۷۰	۰/۱	۰/۰۳	۱	۱
T2= L1-400	شیب شکن	۳/۹۲۶	۰/۷۲	۱/۰۵	۲/۵	۱/۵	۶۰	۰/۱۶	۰/۱	۲	۲
T3= XX2-120	تبدیل مقطع	۳/۹۲۶	۰/۵	۱/۰۵	۲/۵	۱/۵	۵۴	۰/۲۱۴	۰/۱۶	۳	۳
T4= L1-350	تبدیل مقطع	۴/۹۶۹	۱۰	۰/۵۹	۱/۵	۳/۷	۱۸۶۱	۲/۰۷۵	۰/۲۱۴	۴	۴
T5= XX2-300	تبدیل مقطع	۴/۹۶۹	۰/۸	۱/۰۵	۲	۱/۵	۲۱۸	۲/۲۹۳	۲/۰۷۵	۵	۵
	تبدیل مقطع		۱۰	۰/۵۹	۱/۵	۳/۷	۴۳۰	۲/۷۲۳	۲/۲۹۳	۶	۶
	تبدیل مقطع		۰/۸	۱/۰۵	۲	۱/۵	۲۵۰	۲/۹۷۳	۲/۷۲۳	۷	۷
	تبدیل مقطع		۱۰	۰/۵۹	۱/۵	۳/۷	۴۸۷	۳/۴۶۰	۲/۹۷۳	۸	۸
	آمیل D400	۴/۹۶۹	۰/۳	۱/۲۵	۲/۵	۱	۴۶۶	۳/۹۲۶	۳/۴۶۰	۹	۹
	تبدیل مقطع		۰/۸	۱/۰۵	۲	۱/۵	۵۰	۳/۹۷۶	۳/۹۲۶	۱۰	۱۰
	تبدیل مقطع		۱۰	۰/۵۹	۱/۵	۳/۷	۶۲۵	۴/۶۰۱	۳/۹۷۶	۱۱	۱۱
	آمیل D400		۰/۳	۱/۲۵	۲/۵	۱	۳۶۸	۴/۹۶۹	۴/۶۰۱	۱۲	۱۲

\*مشخصات و مقادیر موجود در جدول از مطالعات انجام شده توسط مهندسين مشاور پندام گردآوری شده است.

مشاهده می‌شود. از جمله مزایای مدل محاسبه مقدار نشت، مشاهده نحوه تغییرات سطح آب در طول کانال، سادگی ورود اطلاعات، تنوع خروجی و تنوع سازه‌های قابل شبیه‌سازی در مدل است.

#### واسنجی مدل

اطلاعات لازم برای واسنجی مدل CanalMan شامل اطلاعات هندسی و پارامترهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شده کانال است. اطلاعات هندسی از قبیل عرض، طول، شیب طولی، و شکل مقاطع از آرشیو کتابخانه شرکت آب

#### مدل هیدرولیکی شبیه‌ساز جریان غیرماندگار CanalMan

این مدل شکل انتگرالی معادلات پیوستگی و حرکت (سنت و نانت) را برای تحلیل جریان‌های غیرماندگار یک‌بعدی، به صورت ضمنی در مجاری روباز حل می‌کند (مارکلی، ۲۰۰۰). شروع شبیه‌سازی می‌تواند با پرشدن یک کانال خالی یا ادامه شبیه‌سازی قبلی باشد. نتایج این مدل شامل عمق و دبی در کانال‌های مختلف و میزان بازشدگی هریک از سازه‌های کنترل موجود در شبکه است که با مدل محاسبه شده و تغییرات آن‌ها در طول زمان

جدول ۲- مقایسه آماری اعماق شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده

ردیف	عمق اندازه‌گیری شده (m)	عمق شبیه‌سازی شده (m)	RE
۱	۱/۱۳	۱/۱۲	۰/۰۱
۲	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۰۶
۳	۱/۰۶	۱/۱۴	۰/۰۸
۴	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۰۴
۵	۱/۳۳	۱/۳۲	۰/۰۱

جدول ۳- ضریب‌های مانینگ بعد از واسنجی

بازه	۱	۲	۳	۴	۵
مقدار n بعد از واسنجی	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۱۷	۰/۰۲۳

گزینه‌های بهره‌برداری

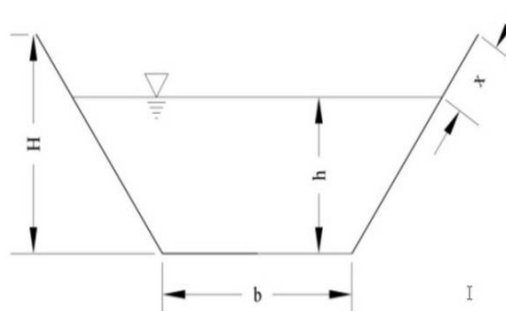
برای بررسی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های تنظیم به تعریف سناریوهای مختلف با تغییر در نوع سازه‌ها و همچنین تغییرات دبی پرداخته شد. برای تغییرات در نوع سازه‌ها و دبی ورودی به کانال اصلی، هرکدام سه حالت به شرح جدول ۴ مدنظر قرار گرفت:

جدول ۴- مقادیر دبی‌های ثابت ورودی به کانال اصلی برای انواع سازه‌های تنظیم

نوع سازه‌ها	دبی‌های ثابت ورودی (m <sup>3</sup> /s)
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع دریچه قطاعی	۳
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع دریچه سازه آمیل	۴
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع سرریز نوکاردکی	۵

در خصوص دلیل انتخاب دبی‌های فوق شایان ذکر است که دبی معمول بهره‌برداری در کانال BP۱۹ چهار مترمکعب در ثانیه است. در شرایط کم‌آبی شدید دبی کانال به سه مترمکعب در ثانیه کاهش یافته و در این حالت نیز کارایی سازه‌ها در کنترل دبی ورودی به آبگیرها تحت شرایط کم‌آبی بررسی می‌شود. دبی پنج مترمکعب در ثانیه در کانال به ندرت اعمال شده و با فرض حصول منابع آبی جدید در شبکه درنظر گرفته شده است. سازه تنظیم موجود در بازه مورد مطالعه آمیل است که با وجود

منطقه‌ای گیلان گردآوری شد. اطلاعات هیدرولیکی نیز با بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری عمق آب به همراه میزان بازشدگی دریچه‌ها و آبگیرها به دست آمد. عمق آب (h) در کانال به روشی ساده و با کمک یک متر نواری و دیواره جانبی کانال مطابق شکل ۲ اندازه‌گیری شد. در این روش عمق آب با اندازه‌گیری فاصله بین سطح آب و لبه بالایی جداره کانال به صورت مورب و با داشتن ابعاد کانال و شیب جانبی که برابر ۱/۵ است، اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است خطای این روش از خطای اشل‌گذاری عمودی کم‌تر است (زیرا به ازای تغییرات عمق در امتداد h، سطح آب در طول بیشتری از امتداد x جابجا می‌شود).



شکل ۲- نحوه اندازه‌گیری عمق آب

با اندازه‌گیری مقدار پارامتر x عمق جریان آب از معادله ۱ قابل محاسبه است.

$$h = H - \frac{x}{1.5} \tag{1}$$

در این طرح از پارامترهای ضریب مانینگ به‌عنوان پارامتر واسنجی استفاده شد. در ابتدا ضریب مانینگ ثابتی برای کلیه بازه‌ها در نظر گرفته شد و براساس آن مدل اجرا شد. پس از اجرای برنامه و مشاهده خروجی، ضریب‌های مانینگ بازه‌ها به‌صورت دستی و به نحوی در مدل تغییر داده شدند تا داده‌های مشاهداتی با داده‌های اندازه‌گیری شده حداکثر نزدیکی را داشته باشند. بعد از اجرای مدل با ضریب‌های مانینگ اعماق شبیه‌سازی شده به شرح جدول ۲ هستند. میزان خطای محاسبه شده برابر ۰/۰۵ است، بنابراین مدل بعد از واسنجی دقت ۹۵٪ دارد. جدول ۳ نیز مقادیر ضریب مانینگ واسنجی شده را برای بازه‌هایی که در مدل شبیه‌سازی شدند نشان می‌دهد. براساس مقادیر خطای نسبی در ستون آخر جدول ۳، مقدار متوسط خطای نسبی حدود ۰/۰۵ است.

به ترتیب بیان کننده متوسط مکانی و زمانی هستند.

۲- راندمان توزیع ( $MP_F$ ): این شاخص برای ارزیابی میزان مازاد آب تحویلی نسبت به نیاز در اثر عملکرد نامتناسب روش بهره‌برداری به کار می‌رود و به صورت معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$MP_F = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N P_F \quad (3)$$

$$\begin{cases} \text{if } Q_D > Q_R \\ P_F = \frac{Q_R}{Q_D} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{if } Q_D \leq Q_R \\ P_F = 1 \end{cases}$$

۳- عدالت توزیع ( $MP_E$ ): این شاخص میزان تناسب موجود را بین مقادیر تحویلی و لازم آب در انشعابات و دوره‌های زمانی مختلف ارزیابی می‌کند و از طریق معادله ۴ محاسبه می‌شود:

$$MP_E = \frac{1}{T} \sum_T CV_N \left( \frac{Q_D}{Q_R} \right) \quad (4)$$

۴- پایداری توزیع ( $MP_D$ ): برای یک انشعاب منفرد شاخص پایداری را می‌توان یکنواختی زمانی در تحویل آب تعریف کرد که از معادله زیر برای یک سیستم محاسبه می‌شود:

$$MP_D = \frac{1}{N} \sum_N CV_T \left( \frac{Q_D}{Q_R} \right) \quad (5)$$

در معادله‌های ۴ و ۵،  $CV_N$  و  $CV_T$  به ترتیب نشان‌دهنده ضریب تغییرات مکانی و زمانی هستند. مقدار ایده‌آل برای شاخص‌های راندمان و کفایت ۱۰۰٪ و برای شاخص‌های عدالت و پایداری برابر صفر است.

### نتایج و بحث

نتایج این پژوهش شامل دبی شبیه‌سازی شده ورودی به آبیگرها و شاخص‌های مولدن و گیتس محاسبه شده برای سناریوهای مختلف است. شکل ۳ دبی ورودی به آبیگرها را در دبی‌های ۳، ۴ و ۵ مترمکعب بر ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طوری که در شکل ۳- الف قابل مشاهده است، برای دبی  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  در کانال، سازه آمیل بیشترین دبی را نسبت به دیگر سازه‌های تنظیم به تمامی آبیگرها وارد کرده است که دلیل اصلی آن عدم افت سطح آب در بالادست این سازه به سبب عملکرد خودکار آن است. در شکل ۳- ب تفاوت

ویژگی خودکار بودن آن، به دلیل ملاحظات بهره‌برداری به صورت دستی تنظیم می‌شود. بدین جهت برای شبیه‌سازی این سازه در نرم‌افزار، دریچه قطاعی با ابعادی به طور تقریبی مشابه آمیل در نظر گرفته شد و در این حالت مدل واسنجی و برای سناریوهای مختلف اجرا شد. میزان بازشدگی دریچه قطاعی نیز براساس مقادیر بازشدگی اندازه‌گیری شده به مدل معرفی شده و در مدت زمان انجام شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شد. ابعاد سرریزهای نوکاردکی نیز براساس حداکثر دبی کانال، طراحی و وارد مدل شد. دریچه‌های نیریپیک نیز با توجه به عدم تغییر در میزان بازشدگی به مدل معرفی شدند. با توجه به مطالب بیان شده ۹ گزینه مختلف برای اجرای برنامه در نظر گرفته شد.

جدول ۵ علایم اختصاری گزینه‌های مختلف بهره‌برداری را نشان می‌دهد.

جدول ۵- علایم اختصاری گزینه‌های بهره‌برداری

نوع سازه	دبی ثابت		
	$5 \text{ m}^3/\text{s}$	$4 \text{ m}^3/\text{s}$	$3 \text{ m}^3/\text{s}$
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع دریچه قطاعی	R۳	R۲	R۱
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع سازه آمیل	A۳	A۲	A۱
تمام سازه‌های تنظیم‌کننده از نوع سرریز نوکاردکی	D۳	D۲	D۱

### شاخص‌های مورد استفاده

در این پژوهش از شاخص‌های ارائه‌شده توسط مولدن و گیتس (۱۹۹۰) برای ارزیابی عملکرد گزینه‌های مختلف بهره‌برداری پیشنهادی استفاده شده است. این شاخص‌ها عبارتند از:

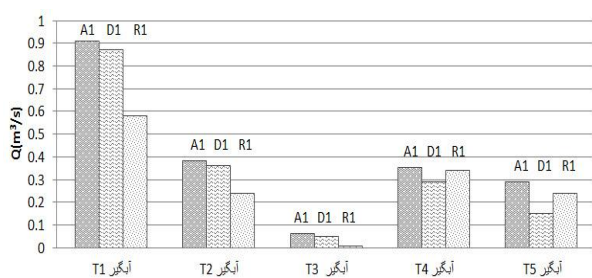
۱- کفایت توزیع ( $MP_A$ ): این شاخص برای بیان میزان توانایی روش بهره‌برداری در تحویل آب به قدر تأمین نیاز به کار می‌رود و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$MP_A = \frac{1}{T} \sum_T \frac{1}{N} \sum_N P_A \quad (2)$$

$$\begin{cases} \text{if } Q_D < Q_R \\ P_A = \frac{Q_D}{Q_R} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{if } Q_D \geq Q_R \\ P_A = 1 \end{cases}$$

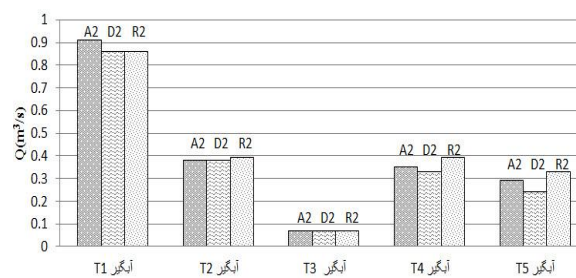
در معادله ۲،  $Q_D$  و  $Q_R$  به ترتیب معرف مقدار آب تحویل داده شده در عمل و مقدار آب لازم و نمادهای  $\frac{1}{N} \sum_N$

نمی‌کند. همچنین هنگامی که سازه تنظیم سرریز نوکارذکی است دبی ورودی به آبگیرها با افزایش دبی در کانال اصلی افزایش می‌یابد. اما این مسئله در مورد دریچه قطاعی مشهودتر است به طوری که این سازه در دبی  $3\text{m}^3/\text{s}$  کمترین دبی و در دبی  $5\text{m}^3/\text{s}$  بیشترین دبی را وارد آبگیرها کرده است. این امر به دلیل حساسیت زیاد دریچه قطاعی نسبت به تغییرات دبی در کانال است. سرریز نوکارذکی با توجه به عرض به نسبت زیادی که نسبت به دریچه قطاعی دارد حساسیت کمتری نسبت به تغییرات دبی در کانال اصلی دارد.



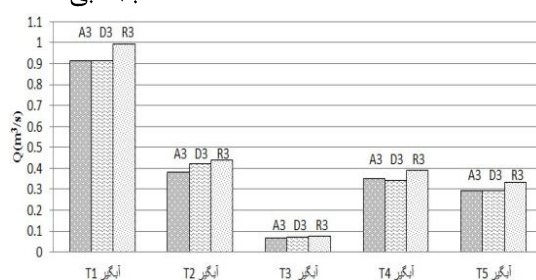
عمده‌ای بین دبی ورودی به آبگیرها برای سازه‌های مختلف مشاهده نمی‌شود و همه سازه‌ها به طور تقریبی دبی ثابتی را وارد آبگیرها کرده‌اند. بیشترین تفاوت در دو آبگیر انتهایی مشاهده می‌شود که در آن دریچه قطاعی بیشترین آب را وارد آبگیرهای T۴ و T۵ کرده است.

در شکل ۳- ج نیز که دبی ورودی به آبگیرها را در شرایطی که دبی پنج مترمکعب در کانال جریان دارد نشان می‌دهد، هنگامی که سازه تنظیم دریچه قطاعی است بیشترین دبی وارد آبگیرها شده است. این نمودارها نشان می‌دهد هنگامی که سازه تنظیم آمیل است، با افزایش دبی در کانال اصلی دبی ورودی به آبگیرها تغییر چندانی



ب) دبی  $4\text{m}^3/\text{s}$

الف) دبی  $3\text{m}^3/\text{s}$



ج) دبی  $5\text{m}^3/\text{s}$

شکل ۳- دبی ورودی به آبگیرها در دبی‌های مختلف

افت سطح آب در دبی‌های پایین با وجود سازه آمیل است. در این شکل پس از سازه آمیل، سرریز نوکارذکی بهترین شرایط هیدرولیکی را از نظر شاخص‌های مولدن و گیتس ایجاد کرده است.

شکل - ب نیز شاخص‌های عملکرد را هنگامی که دبی  $4\text{m}^3/\text{s}$  در کانال جریان دارد نشان می‌دهد. در این نمودار شاخص‌های عملکرد برای سازه‌های مختلف تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد ولی سازه آمیل شرایط نسبی بهتری را داراست. در شکل ۴- ج نیز دریچه قطاعی، در شاخص‌های کفایت و عدالت شرایط بهتری را دارد، اما شاخص راندمان در این حالت پایین است. این نکته مبین این مطلب است که در این حالت برخی از آبگیرها بیشتر از مقدار مورد

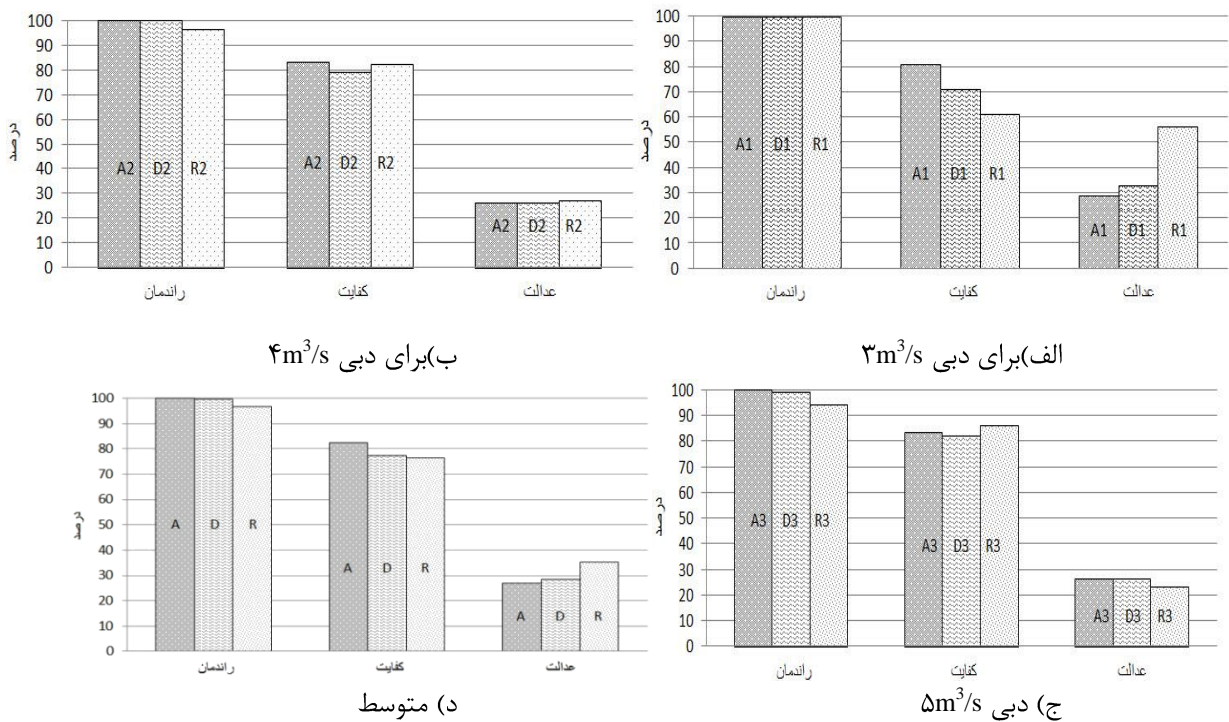
شکل ۴ نیز شاخص‌های راندمان، کفایت و عدالت تحویل محاسبه شده را برای دبی‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اجرای مدل در حالت جریان ماندگار بوده است شاخص پایداری برای تمامی حالت‌ها برابر صفر است. شایان ذکر است که به دلیل توسعه اراضی زراعی تحت پوشش، برخی از آبگیرها و کانال‌های جانبی توانایی انتقال دبی مورد نیاز کنونی را ندارند و در نتیجه همواره آب تحویلی به این آبگیرها کمتر از مقدار لازم است. در نتیجه مقدار شاخص کفایت توزیع حتی در شرایط استفاده از سازه آمیل کمتر از ۱۰٪ است. همان‌طوری که در شکل - الف قابل مشاهده است شاخص‌های عملکرد با وجود سازه آمیل بهترین مقادیر را دارد. دلیل این امر عدم

نیاز خود آب دریافت کرده‌اند. نیازها بیشتر از مقدار موردنیاز، دبی وارد می‌شود و در نتیجه شاخص راندمان تحویل کم می‌شود.

با توجه به مطالب بیان شده و براساس شکل ۴ شاخص‌های عملکرد برای سازه آمیل بهترین است. بنابراین سازه‌ای که بهترین شرایط هیدرولیکی را از نظر شاخص‌های مولدن و گیتس تحت شرایط دایمی برای فراهم می‌کند، سازه آمیل است. در BP کانال ۱۹

جدول ۶ مقادیر دبی شبیه‌سازی شده و شاخص‌های عملکرد محاسبه شده برای حالت‌های مختلف به صورت خلاصه آورده شده است.

به طور کلی با افزایش دبی در کانال شاخص‌های راندمان، کفایت و عدالت تحویل بهبود یافته‌اند. با افزایش دبی شاخص‌های عملکرد سازه آمیل تغییری نکرده است. این امر به دلیل عدم تغییر در دبی ورودی به آبگیرها است. همچنین برای سرریز نوکاردکی همگی شاخص‌ها بهبود یافته‌اند. در حالت دریچه قطاعی نیز به جز شاخص راندمان، بقیه شاخص‌ها با افزایش دبی در کانال اصلی بهبود یافته‌اند. این امر بدین دلیل می‌باشد که با توجه به حساسیت دریچه قطاعی، با افزایش دبی در کانال اصلی، سطح آب در کانال به شدت افزایش می‌یابد و به برخی



شکل ۴- شاخص‌های راندمان، کفایت و عدالت تحویل برای دبی‌های مختلف

جدول ۶- مقادیر دبی شبیه‌سازی شده و شاخص‌های محاسبه شده

شاخص‌های عملکرد (%)			دبی ورودی به آبگیرها (m³/s)					گزینه بهره‌برداری
عدالت	کفایت	راندمان	آبگیر T5	آبگیر T4	آبگیر T3	آبگیر T2	آبگیر T1	
۲۹	۸۱	۱۰۰	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۹۱	A1
۳۳	۷۱	۱۰۰	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۰۴۶	۰/۳۶	۰/۸۷	D1
۵۶	۶۱	۱۰۰	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۰۰۶	۰/۲۴	۰/۵۸	R1
۲۶	۸۳	۱۰۰	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۰۶۸	۰/۳۸	۰/۹۱	A2
۲۶	۷۹	۱۰۰	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۰۶۸	۰/۳۸	۰/۸۶	D2
۲۷	۸۲	۹۶	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۰۶۸	۰/۳۹	۰/۸۶	R2
۲۶	۸۳	۱۰۰	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۰۶۸	۰/۳۸	۰/۹۱	A3
۲۶	۸۲	۹۹	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۰۶۹	۰/۴۲	۰/۹۱	D3
۲۳	۸۶	۹۴	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۰۷۷	۰/۴۴	۰/۹۹	R3
۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۴	۱/۲۸	مقدار مورد نیاز (ایده‌آل)

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بررسی عملکرد سازه‌های کنترل از نوع آمیل، دریچه قطاعی، و سرریز نوکاردکی در یکی از کانال‌های شبکه آبیاری فومنات در غرب استان گیلان، از مدل هیدرولیکی CanalMan برای شبیه‌سازی عملکرد این سازه‌ها استفاده شد. بدین منظور سازه‌ها در مدل شبیه‌سازی شده و عملکرد آن‌ها بررسی شد. مقایسه عملکرد با استفاده از شاخص‌های مولدن و گیتس نشان داد که سازه آمیل با کسب مقادیر متوسط ۱۰۰، ۸۲ و ۲۷ درصد به ترتیب برای شاخص‌های راندمان، کفایت و عدالت تحویل، بهترین سازه تنظیم برای کنترل و تنظیم جریان در کانال مورد نظر است.

## سپاس‌گزاری

بدینوسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان که تأمین هزینه‌های مالی این پژوهش را در قالب طرح به شماره ۳۴۲۹۰/۱۱۱ تحت عنوان "بررسی وضعیت و عملکرد سازه‌های کنترل و تنظیم در کانال‌های اصلی شبکه آبیاری و ارائه راهکارهای بهبود و سازه‌های مناسب" بر عهده داشته‌اند، قدردانی می‌شود.

## منابع

۱. رحیمی م. و نیکبخت ن. ۱۳۷۹. کاربرد مدل OPDM در مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دهمین همایش ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۹۵-۱۰۹.
۲. کسب‌دوز ش. منعم م. ج. و کوچک‌زاده ص. ۱۳۷۷. کاربرد مدل هیدرودینامیک ICSS-POM در تعیین مناسب‌ترین گزینه توزیع آب در شبکه آبیاری، مطالعه موردی شبکه آبیاری قوری‌چای. نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۱۳-۲۱.
۳. منعم م. ج. قاهری ع. بادزهر ع. غروی ح. برهان ن. ذوالفقاری ع. ثابتی ع. و احسانی م. ۱۳۷۹. ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری قزوین با استفاده از مدل PAIS. دهمین همایش ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۱۵۵-۱۶۷.
۴. محسنی موحد س. ا. و منعم م. ج. ۱۳۸۲. معرفی مدل ICSSDOM برای ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی بهره‌برداری کانال‌های آبیاری. یازدهمین همایش
۵. Ghumman A. R., Khan Z. and Turrall H. 2009. Study of feasibility of night-closure of irrigation canals for water saving. *Agricultural Water Management*. 96:457-464.
۶. Hamilton D. L. and DeVries j. j. 1986. Microcomputer simulation of irrigation canal operation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 119(4):703-713
۷. Tariq J. A. and Lattif M. 2011. Flexibility analysis of irrigation outlet structures using simulation of irrigation canal hydrodynamic model. *Irrigation Science*. 29: 127-134.
۸. Kumar A. Mishra A. Raghuvanshi S. and Singh R. 2002. Application of unsteady flow hydraulic model to a large and complex irrigation system: *Agricultural Water Management*. 54:49-66.
۹. Markley G. P. 2000. User's Guide of a Hydraulic Simulation Model for Unsteady Flow in Branching Canal Networks (CanalMan). Utah State University.
۱۰. Mishra A. Anand A. Singh R. and Raghuvanshi S. 2001. Hydraulic modeling of Kangsabati main channel for performance assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 127(1): 27-34.
۱۱. Molden D. J. and Gates T. K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. ASCE. 116(6):804-822.
۱۲. Shahrokhian M. A. and Javan M. 2005. Performance assessment of Doroodzan irrigation network by steady state hydraulic modeling. *Irrigation and Drainage Systems*. Springer. 19:189-206.