

## ارزیابی و مقایسه مدل‌های ICSS و Rootcanal برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قوریچای)

حسام قدوسی<sup>۱\*</sup> و زهرا داداشی<sup>۲</sup>

### چکیده

پیش‌بینی دقیق رفتار جریان به دلیل پیچیدگی‌های هیدرولیکی در شبکه‌های آبیاری، بدون استفاده از مدل‌های ریاضی بسیار مشکل است. امروزه با توسعه روش‌های عددی و مدل‌های شبیه‌سازی امکانات بیشتری برای مدیریت بهینه شبکه‌های آبیاری در دسترس است. در این پژوهش ضمن معرفی دو مدل هیدرودینامیک Rootcanal و ICSS که برای شبیه‌سازی و مدیریت کانال‌های آبیاری توسعه یافته‌اند، کارایی این مدل‌ها با استفاده از داده‌های واقعی دو کانال درجه یک و دو از شبکه آبیاری قوریچای مقایسه شد. برای انجام این پژوهش ضمن بازدید و دریافت اطلاعات از شبکه آبیاری قوریچای، عمق آب در نقاط مشخصی از کانال‌های درجه یک و دو برداشت شد. سپس با استفاده از داده‌های موجود اقدام به شبیه‌سازی جریان در دو روز مختلف شد و برای مقایسه نتایج مدل‌ها، پارامترهای عمق و دبی محاسبه و اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (SSE) و انحراف از میانگین (MBE) محاسبه شد. نتایج نشان داد این دو پارامتر برای عمق و دبی برآوردی با مدل ICSS به ترتیب برابر ۵/۱۴ و ۴/۷۱ سانتی‌متر و برای مدل Rootcanal به ترتیب برابر ۲/۱۲ سانتی‌متر و ۱/۶۱ سانتی‌متر هستند. نتایج کارایی بهتر مدل Rootcanal در شبیه‌سازی و تخمین پارامترهای جریان را نسبت به مدل ICSS نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه آبیاری قوریچای، شبیه‌سازی جریان، مدل ICSS، مدل Rootcanal.

**ارجاع:** قدوسی ح. و داداشی ز. ۱۳۹۵ ارزیابی و مقایسه مدل‌های ICSS و Rootcanal برای شبیه‌سازی جریان در کانال‌های آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قوریچای). مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۱۰۷-۱۱۶.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

\* نویسنده مسئول: [Ghodousi\\_he@yahoo.com](mailto:Ghodousi_he@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۴

## مقدمه

آب در حال تبدیل شدن به یکی از منابع کمیاب در سراسر جهان است. امروزه آبیاری ۶۹ درصد از ۳۲۴۰ کیلومترمکعب آب مصرفی بشر و ۸۷ درصد از کل آب مصرفی را در تمام دنیا به خود اختصاص داده است (لی، ۲۰۱۱). واقعیت مشهود در سطح جهانی این است که بیشتر پروژه‌های آبیاری و زهکشی اجرا شده به اهداف مورد نظرشان نرسیده‌اند. همچنین بسیاری از پروژه‌های اجرا شده نه فقط توفیقی در بهره‌وری بهینه منابع آب و خاک نداشته‌اند بلکه با ضایعاتی که به منابع مذکور وارد کرده‌اند، سطح تولید را کاهش داده‌اند. در سال ۱۳۸۹ قدوسی و میرزایی با مدل هیدرودینامیک RootCanal به شبیه‌سازی هیدرولیک جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری پرداختند. بدین منظور عملکرد کانال EIR1 شبکه آبیاری دز را در شرایط ورود موج مثبت به دلیل افزایش نیاز آبیاری، بررسی کردند. شبیه‌سازی‌ها در چهار حالت عدم بهره‌برداری، یکبار، دوبار و سه بار بهره‌برداری انجام شد و نتایج نشان داد با افزایش تعداد بهره‌برداری حجم تلفات کمتر شده و راندمان کانال افزایش می‌یابد. احمدپناه و منعم (۱۳۹۱) در پژوهشی پس از توسعه مدل ریاضی سیستم کنترل CARDD در هماهنگی با مدل هیدرودینامیک ICSS، عملکرد این سیستم کنترل را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به نمودار تغییرات عمق جریان و شاخص‌های به دست آمده، مدل توسعه یافته برای تغییرات ملایم جریان عملکرد مطلوبی داشته است. برای تغییرات شدید جریان، حداکثر تغییرات عمق محدود بوده اما زمان عکس‌العمل به نسبت طولانی بوده است. عیسی‌پور و منتظر (۱۳۸۹) نیز با استفاده از مدل Sobek کارایی سیستم‌های کنترل در یکی از کانال‌های شبکه آبیاری دز را مورد ارزیابی قرار داده و دو روش کنترل را برای آن پیشنهاد کردند. همچنین در پژوهش دیگری که توسط قدوسی و همکاران (۱۳۸۷) انجام گرفت، میزان تنظیم بهینه سازه‌های کنترل و تنظیم در طول کانال L8 شبکه آبیاری قزوین مشخص شد. این پژوهش با تهیه مدل کامپیوتری بهینه‌سازی به روش SCE<sup>۱</sup> که یک روش بهینه‌سازی فراکوشی است انجام شد. برای ارزیابی مقدار تابع در فرآیند بهینه‌سازی از

مدل هیدرودینامیک ICSS<sup>۲</sup> استفاده شد. در این پژوهش گزینه‌ای از تغییرات نیاز آبیاری کانال در نظر گرفته شد و مقادیر تابع هدف و شاخص‌های بهره‌برداری در حالت وضع موجود و وضع بهینه برای تحویل ۲ ساعته آب به آبیاری محاسبه شد. نتایج نشان داد که انجام عملیات بهره‌برداری بهینه تأثیر زیادی در افزایش عملکرد کانال‌های آبیاری دارد. همچنین بررسی‌هایی برای شبیه‌سازی هیدرولیکی کانال باری دواب<sup>۳</sup>، با آبیاری از سمت چپ رودخانه راوی<sup>۴</sup> با استفاده از شبیه‌ساز هیدرودینامیکی SIC<sup>۵</sup> کانال‌های آبیاری انجام شد (حسین، ۲۰۱۱). این مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی، برای اصلاح عملکرد سیستم‌های آبیاری با بررسی روی رفتار جریان تحت طراحی‌ها و مدیریت‌های گوناگون استفاده می‌شود.

ایجاد جریان غیرماندگار در شبکه‌های آبیاری به دلیل تغییرات ناگهانی جریان ورودی به سیستم و یا باز و بسته کردن دریچه‌های آبیاری امری اجتناب‌ناپذیر است. وجود جریان‌های غیرماندگار بهره‌برداری بهینه از شبکه‌های آبیاری را با مشکل روبرو می‌کند. یکی از اساسی‌ترین موضوعات برای ارتقاء بهره‌وری آب، تعیین روش‌های بهره‌برداری بهینه در شبکه‌های آبیاری است که این امر بدون شناخت دقیق اثرات جریان‌های غیرماندگار در شبکه ممکن نیست از این رو هدف از انجام این پژوهش معرفی و مقایسه کارایی مدل‌های هیدرودینامیکی ICSS و Rootcanal است. در این مدل‌ها انواع جریان‌های غیرماندگار موجود شبکه‌های آبیاری قابل شبیه‌سازی و بررسی هستند، در این پژوهش ضمن بررسی کارایی مدل‌های یاد شده به مطالعه موردی شبکه آبیاری قوریچای از توابع شهرستان اردبیل پرداخته خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

## مشخصات سد و شبکه آبیاری قوریچای

سد مخزنی قوریچای به فاصله ۲۴ کیلومتری از شهرستان اردبیل است. این سد از نوع خاکی با هسته رسی است و حجم کل و مفید مخزن آن به ترتیب برابر ۱۸/۰۷ و ۱۷/۷۱ میلیون مترمکعب است. شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای در پایین‌دست سد به مساحت ۲۲۰۰ هکتار است

2- Irrigation Conveyance System Simulation

3- Bari Doab

4- Ravi

5- Simulation of Irrigation Canals

1- Shuffled Complex Evolution

$$\frac{\partial y}{\partial t} + D_h \frac{\partial v}{\partial x} + V \frac{\partial Y}{\partial X} = 0 \quad (1)$$

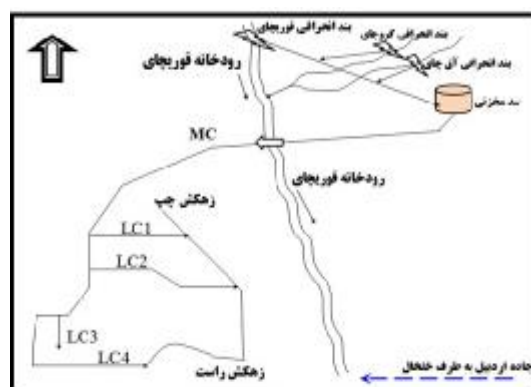
$$\frac{\partial v}{\partial t} + V \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \quad (2)$$

که در آن‌ها  $y$  عمق جریان،  $v$  سرعت جریان،  $t$  زمان،  $D_h$  عمق هیدرولیکی،  $x$  مشخصه مکان،  $g$  شتاب ثقل،  $S_0$  شیب کف کانال و  $S_f$  شیب اصطکاکی یا شیب خط انرژی است. در مدل امکان حل معادلات جبری با سه روش حذف گوس، گوس جردن و تجزیه به بردارهای LU وجود دارد که استفاده کننده می‌تواند یکی از روش‌ها را انتخاب نماید و یا با انتخاب حالت خودکار به مدل اجازه دهد که روش حل را انتخاب کند.

### معرفی مدل ICSS

هسته اصلی مدل ICSS که یک مدل هیدرودینامیک یک بعدی است در سال ۱۹۸۵ توسط (مانز، ۱۹۸۵) برای شبیه‌سازی هیدرولیک، هیدرولوژی و بهره‌برداری از سیستم‌های انتقال و توزیع آب آبیاری طراحی شده است. این مدل سپس از سوی پژوهشگران مختلف از جمله منعم (منعم و شورمانز، ۱۹۹۶) برای ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی روش‌های بهره‌برداری بهینه از آن‌ها توسعه یافت. مدل ICSS می‌تواند جریان ماندگار و غیرماندگار را برای شرایط مختلف بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با انواع شکل مقطع کانال، همراه با طیف قابل توجهی از سازه‌ها همراه با جریان‌های گسترده ورودی و خروجی شبیه‌سازی کند (هندرسون، ۱۹۶۶). معادلات سنت‌ونانت در این مدل با روش اختلافات محدود بر اساس سیستم چهار نقطه‌ای وزنی ارائه شده از سوی (آمین، ۱۹۶۸) که دارای دقت، همگرایی، پایداری و صحت بالایی است حل شده‌اند (منعم، ۱۳۷۵). برای ارزیابی دقت مدل ICSS، اطلاعات خروجی مدل از سوی کمیته کاری مدل‌های ریاضی جامعه مهندسين عمران کانادا در برنامه ارزیابی مدل‌های ریاضی- هیدرولیکی به طور دقیق بررسی شده و نتایج آن موفق ارزیابی شده است (ترسک، ۱۹۸۰). قبل از انجام شبیه‌سازی با مدل باید سه فایل اطلاعات ورودی تکمیل شوند که عبارتند از فایل‌های RCHN، ICSS4-CFG و ICSS4-REP. مهم‌ترین فایل ورودی RCHN است که در آن اطلاعات فیزیکی و هیدرولیکی مورد نیاز برای شبیه‌سازی کانال یا کانال‌های مورد نظر شامل تعداد کانال‌ها، تعداد بازه‌ها در هر کانال، گام زمانی برای

که آب مورد نیاز آن از طریق یک کانال از محل سد منتقل می‌شود (شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان، ۱۳۷۰). وظیفه اصلی این کانال انتقال و توزیع آب بین چهار کانال درجه دو با عناوین LC1، LC2، LC3 و LC4 است. این کانال که در مجموع ۶/۹۷ کیلومتر طول دارد، بعد از آبیگر کانال LC1 از کیلومتر ۱۳<sup>+۳۴۷</sup> تا کیلومتر ۱۵<sup>+۹۳</sup> با مقطع دوزنقه‌ای و شیب طولی ۰/۰۰۱ و ظرفیت ۲/۲۵ مترمکعب در ثانیه احداث شده است. عرض کف این مقطع از کانال اصلی ۱/۲ متر، ارتفاع آن ۱ متر و شیب دیواره‌های جانبی آن (V:H) ۱:۵ است. در شکل ۱ آرایش شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای و نام‌گذاری‌های عنوان شده به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای کلی از موقعیت رودخانه و کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای

### معرفی مدل Rootcanal

مدل Rootcanal یک مدل شبیه‌سازی هیدرودینامیکی یک بعدی جریان است که در سال ۲۰۰۸ میلادی در مرکز آزمایش‌های کشاورزی دانشگاه یوتا توسعه یافته است (مرکلی، ۲۰۰۸). این مدل دارای قابلیت گرافیکی بالا و همچنین گزینه‌های مختلفی برای شبیه‌سازی است. این مدل قادر به شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار در کانال‌های آبیاری با انواع شکل سطح مقطع کانال و طیف قابل توجهی از سازه‌ها است. هنگام شبیه‌سازی جریان ماندگار، معادلات مربوط به محاسبه پروفیل سطح آب جریان‌های متغیر تدریجی حل می‌شوند و در مواقع شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار معادلات پیوستگی و مومنتم معروف به معادلات سنت‌ونانت به صورت همزمان حل می‌شوند که به ترتیب در معادلات (۱) و (۲) ارائه شده‌اند.

مدل‌ها به دست آمده است، ستون‌های پنجم و ششم مقادیر دبی خروجی از دریچه با بازشدگی‌های مختلف پس از هر بار شبیه‌سازی می‌باشند و در نهایت ستون‌های هفتم و هشتم نیز ضریب‌های دبی تئوری و ضریب‌های دبی که بر اساس اندازه‌های واقعی به دست آمده‌اند را ارائه کرده‌اند. شکل ۲ نیز نشان دهنده اختلاف مقادیر دبی در برداشت‌های صحرائی و مقادیر به دست آمده از خروجی مدل پس از شبیه‌سازی شرایط مختلف بهره‌برداری، توسط مدل‌ها است. همچنین در شکل ۳ به مقایسه ضریب‌های دبی در شرایط واقعی و تئوری به ازاء مقادیر مختلف بازشدگی دریچه آنگیر پرداخته شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ و با مشاهده شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان ضریب دبی واقعی دریچه را معادل ۰/۶۶ در نظر گرفت.

#### کالیبراسیون ضریب مانینگ

پس از تعیین ضریب دبی دریچه، اقدام به واسنجی ضریب مانینگ کانال شد. بدین منظور در تاریخ ۹۱/۳/۲۰ که دبی آب در کانال ۶۰۰ لیتر در ثانیه بوده مقطعی از کانال در فاصله کمی پس از پارشال فلوم ۳ فوتی موجود در کانال انتخاب شد. سپس با توجه به عمق آب اندازه‌گیری شده در این مقطع، ضریب مانینگ تقریبی به مدل معرفی شد و عمق آب در کانال محاسبه شد. پس از آن ضریب مانینگ به گونه‌ای تغییر داده شد که عمق محاسباتی در کانال به عمق اندازه‌گیری شده نزدیک شود. نتایج شبیه‌سازی در کانال درجه دو در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، با افزایش ضریب مانینگ به ۰/۰۱۶، اختلاف عمق واقعی و شبیه‌سازی شده در هر دو مدل افزایش می‌یابد در حالیکه با در نظر گرفتن ضریب مانینگ ۰/۰۱۵، اختلاف عمق مشاهده شده در مدل‌ها به حداقل می‌رسد. در نتیجه ضریب مانینگ کانال معادل ۰/۰۱۵ مشخص گردید و در شبیه‌سازی استفاده شد.

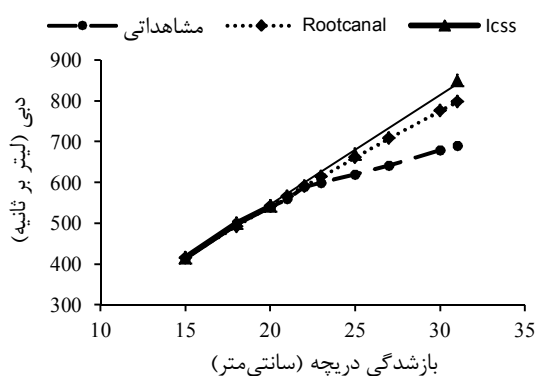
محاسبات هیدرولیکی، تعداد گره‌های بازه و ... وارد می‌شود.

#### کالیبراسیون ضریب دبی دریچه آنگیر

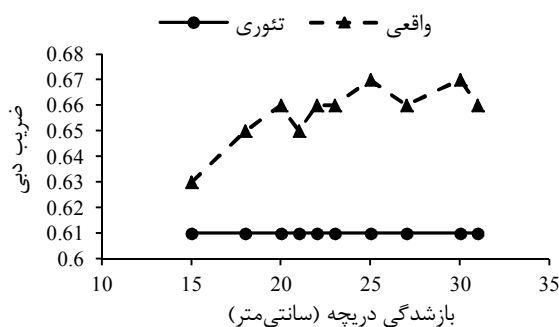
بخش عمده آبیاری ثقلی با کانال‌ها و سازه‌های وابسته که آب را به مزارع می‌رسانند انجام می‌شود. وظیفه اصلی این تأسیسات تأمین نیاز آبی پایین‌دست با حداقل تلفات آب است (کلمانز و همکاران، ۲۰۰۸). در شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای طرح اصلاح و بهسازی شبکه با امور آب شهرستان اردبیل اجرا شد و برخی از دریچه‌ها که از قبل به صورت کشویی بودند با سیفون‌ها جایگزین شده‌اند، اما به طور تقریبی همین تعداد از دریچه‌های موجود در شبکه به صورت دریچه‌های کشویی هستند که از لحاظ تنظیم و بهره‌برداری دقت کمی دارند. پس بررسی، ارزیابی و تدقیق این دریچه‌ها برای کاهش حجم تلفات و افزایش راندمان کانال و شبکه ضروری است. پس در این پژوهش قبل از اقدام به شبیه‌سازی به تدقیق ضریب دبی دریچه آنگیر پرداخته شد. بدین منظور کانال LC2 با طول حدود ۶ کیلومتر و تعداد ۲۰ دهانه آنگیر که بزرگ‌ترین کانال درجه دو در شبکه آبیاری و زهکشی قوریچای محسوب می‌شود، انتخاب شد و یکی از دریچه‌های کشویی آن با عرض ۱/۱۵ متر بررسی شد. بدین منظور ارتفاع آب در پشت سازه‌های تنظیم تا حد<sup>۱</sup> FSL یا عمق حداکثر مجاز رسیده و با انجام تنظیمات لازم و به موقع در طول مدت اندازه‌گیری به صورت ثابت نگهداری شد. سپس و با در نظر گرفتن همه این شرایط، اندازه‌گیری مقدار جریان در کانال LC2 انجام شد. پس از برداشت پارامترهای عمق آب و دبی در نقاط تعیین شده از کانال، در مرحله بعد با توجه به ابعاد کانال، سازه‌های آنگیر و کنترل، شرایط جریان با کمک مدل‌های هیدرودینامیکی Rootcanal و ICSS شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی با ۱۰ مقدار متفاوت بازشدگی‌های دریچه به دست آمد که در جدول ۱ ارائه شده است. ستون اول از سمت راست بازشدگی‌های دریچه به میزان ۱۵ تا ۳۱ سانتی متر است. ستون دوم ارتفاع آب پشت دریچه است که در شرایط واقعی قرائت شده‌اند، ستون‌های سوم و چهارم نیز ارتفاع آب پشت دریچه می‌باشند که پس از هر بار شبیه‌سازی جریان و اجرای

جدول ۱- نتایج واسنجی دریاچه با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرائی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها

باز شدگی دریاچه (cm)	ارتفاع واقعی آب پشت دریاچه (cm)	ارتفاع آب پشت دریاچه در Rootcanal (cm)	ارتفاع آب پشت دریاچه در ICSS (cm)	دبی واقعی (lit/s)	دبی محاسبه‌ای (lit/s)	ضریب دبی تئوری	ضریب دبی واقعی
۱۵	۷۳	۷۹/۹	۸۰/۴	۴۱۵	۴۱۶/۵	۰/۶۱	۰/۶۳
۱۸	۷۰/۵	۷۷/۷	۷۸/۵	۵۰۰	۴۹۲/۹	۰/۶۱	۰/۶۵
۲۰	۶۵	۷۶/۳	۷۷/۳	۵۴۰	۵۴۲/۷	۰/۶۱	۰/۶۶
۲۱	۶۴	۷۵/۵	۷۴/۸	۵۶۰	۵۶۶/۹	۰/۶۱	۰/۶۵
۲۲	۶۳	۷۴/۸	۷۵	۵۹۰	۵۹۱/۱	۰/۶۱	۰/۶۶
۲۳	۶۰	۷۴/۱	۷۳/۹	۶۰۰	۶۱۵/۱	۰/۶۱	۰/۶۶
۲۵	۵۳	۷۲/۷	۷۳/۱	۶۲۰	۶۶۲/۲	۰/۶۱	۰/۶۷
۲۷	۵۰	۷۱/۴	۷۱	۶۴۲	۷۰۸/۸	۰/۶۱	۰/۶۶
۳۰	۴۴	۶۹/۴	۶۹/۹	۶۸۰	۷۷۶/۴	۰/۶۱	۰/۶۷
۳۱	۴۳	۶۸/۷	۶۸/۸	۶۹۰	۷۹۸/۲	۰/۶۱	۰/۶۶
۵۸/۵	۷۴/۰/۵	۷۴/۳	۷۴/۳	۵۸۳/۷	۶۱۷/۰/۸	۰/۶۱	۰/۶۶



شکل ۲- تغییرات دبی مشاهداتی و محاسباتی به ازای بازشدگی‌های مختلف دریاچه



شکل ۳- تغییرات ضریب دبی مشاهداتی و محاسباتی به ازای بازشدگی‌های مختلف دریاچه

جدول ۲- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مرتبط با محاسبه ضریب مانینگ کانال

اختلاف عمق ICSS	اختلاف عمق Rootcanal	دبی واقعی (مترمکعب بر ثانیه)	عمق شبیه‌سازی شده ICSS (متر)	عمق شبیه‌سازی شده Rootcanal (متر)	عمق واقعی آب مانینگ (متر)	ضریب مانینگ
۰/۰۲۵	۰/۰۴۹	۰/۵۲	۰/۳۷۵	۰/۳۵۱	۰/۴	۰/۰۱۲
۰/۰۱۵	۰/۰۳۷	۰/۵۲	۰/۳۸۵	۰/۳۶۳	۰/۴	۰/۰۱۳
۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۵۳	۰/۳۹۵	۰/۳۷۴	۰/۴	۰/۰۱۴
-۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۵۴	۰/۴۰۲	۰/۳۹۴	۰/۴	۰/۰۱۵
-۰/۰۳۷	-۰/۰۳۲	۰/۵۵	۰/۴۳۷	۰/۴۳۲	۰/۴	۰/۰۱۶

## شبیه‌سازی جریان در کانال

طولی از کانال که برای شبیه‌سازی انتخاب شد ۲۸۵ متر است که در حد فاصل بین پریز P4 و آبگیر کانال LC2 قرار دارد (شکل ۴). مشخصات فیزیکی این محدوده از کانال و تأسیسات آن نیز در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۴- نمایی از محدوده مورد بررسی از کانال اصلی

جدول ۴- مقادیر دبی ورودی به کانال و برداشت از انشعابات (لیتر در ثانیه)

محل نقاط	روز ۲۰/۳/۹۱	روز ۲۱/۳/۹۱
ابتدای کانال انتقال	۱۶۵۰	۱۴۵۰
پریز ۱	۰	۰
کانال LC1	۵۰	۵۰
پریز ۲	۵۰	۱۰۰
پریز ۳	۱۰۰	۱۰۰
پریز ۴	۲۰۰	۲۰۰
کانال LC2	۶۰۰	۶۰۰
پریز ۵	۵۰	۵۰
کانال LC3	۵۰۰	۲۵۰
پریز ۶	۰	۰
پریز ۷	۰	۰
کانال LC4	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۳- مشخصات محدوده کانال اصلی

کانال اصلی	
۰/۰۰۱	شیب طولی (متر بر متر)
۲۸۵	طول (متر)
۱/۲	عرض کف (متر)
۱	عمق (متر)
۱/۵	شیب کناره‌ها
آبگیر کانال LC2	
۱/۱۵	عرض دریچه (متر)
۱	ارتفاع (متر)
آبند کانال اصلی	
۳	طول (متر)
۰/۵۵	ارتفاع (متر)

جدول ۵- پارامترهای هیدرولیکی جریان و دریچه شبیه‌سازی شده

پارامتر	روز ۲۰/۳/۹۱	روز ۲۱/۳/۹۱
جریان ورودی به کانال (مترمکعب بر ثانیه)	۰/۹۵	۰/۷۹
ماکزیمم عمق آب در کانال (عمق هدف) (متر)	۰/۹	۰/۹
میزان بازشدگی دریچه (متر)	۰/۲۴	۰/۲۴

همان‌طور که در قسمت معرفی مدل‌ها گفته شد، در مدل ICSS تعداد گره‌های بازه مورد شبیه‌سازی و اطلاعات مربوط به ثابت یا متغیر بودن  $\Delta x$  وارد مدل می‌شود و در مدل Rootcanal،  $\Delta x$  با توجه به تعداد گره‌های در نظر گرفته شده با فواصل ثابت از یکدیگر تنظیم می‌شود. پس لازم است خروجی‌های دو مدل مانند عمق و سرعت جریان را در نقاط مشابهی از کانال تهیه کرد تا بتوان به مقایسه نتایج پرداخت. برای هماهنگ کردن مدل‌ها ابتدا در مدل Rootcanal از طریق زبان Numerical Parameters در قسمت Reach nodes می‌توان تعداد گره‌ها را مشخص کرد که به صورت پیش‌فرض تعداد ۳۲ گره انتخاب شده است سپس هنگام اندازه‌گیری‌ها و در مدل ICSS از آنجا که در فایل RCHN بازه مورد بررسی به صورت دو بازه جداگانه یکی شامل آبگیر و یکی شامل آب‌بند معرفی شده است در بازه شامل آبگیر تعداد ۳۰ گره تعریف و در بازه شامل آب‌بند ۲ گره در نظر گرفته

مقادیر دبی‌های ورودی از سد قوریچای به ابتدای کانال انتقال و مقادیر برداشت آب در محل انشعابات و پریزهای مختلف در طول کانال که از طریق مصاحبه حضوری با مسئولین بهره‌برداری از شبکه تعیین شد در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به مقادیر برداشت‌ها در بالادست کانال LC2 و حبابه اراضی پایین‌دست این آبگیر که معادل ۶۰۰ لیتر در ثانیه است و همچنین با احتساب راندمان شبکه معادل ۸۰ درصد و مقداری معادل ۵۰ لیتر در ثانیه برای تبخیر و تلفات مسیر مقادیر دبی ورودی به کانال مشخص شد. این مقادیر و دیگر مشخصات ورودی به مدل‌ها برای انجام شبیه‌سازی در جدول ۵ ارائه شد.

اقدام به شبیه‌سازی جریان شد. برای مقایسه کمی نتایج شبیه‌سازی با شرایط واقعی از پارامترهای ریشه میانگین مربع انحرافات (SSE)، انحراف از میانگین (MBE) و خطای قدر مطلق میانگین (MAE) که با روابط زیر محاسبه می‌شوند استفاده شده است.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y_0 - Y)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum(Y_0 - Y)}{n} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum|Y_0 - Y|}{n} \quad (5)$$

که در آن  $Y_0$  عمق آب اندازه‌گیری شده،  $Y$  عمق آب شبیه‌سازی شده و  $n$  تعداد داده‌های مورد بررسی است.

### نتایج و بحث

پس از انجام یک ساعت شبیه‌سازی با مدل‌ها مقادیر دبی و عمق جریان در نقاط مختلف تعیین شد که نتایج آن در بالادست و پایین‌دست کانال در جدول ۶ ارائه شده است.

شده است که به فواصل مساوی از هم قرار دارند و به این ترتیب نقاطی که با هر دو مدل قابل گزارش‌گیری هستند بر هم منطبق شدند. پس از اجراهای زیاد مدل‌های مورد بررسی، مدت زمان مورد نیاز برای رسیدن به حالت پایداری جریان، معادل یک ساعت با گام‌های زمانی یک دقیقه در نظر گرفته شد. سپس باید مدت زمان شبیه‌سازی مشابه، برابر یک ساعت و گام‌های زمانی یک دقیقه در مدل ICSS نیز معرفی شود. برای بررسی و ارزیابی مدل‌های هیدرودینامیکی معرفی شده و تعیین هماهنگی نتایج هر مدل با شرایط مشاهده شده در زمان بهره‌برداری، دو مرحله اندازه‌گیری در دو روز مختلف بهره‌برداری انجام شد. اندازه‌گیری‌ها شامل مقادیر دبی ورودی در ابتدای کانال، عمق آب در نقاط مشخص شده از کانال بر اساس تعداد گره‌ها و در نزدیکی سازه‌های آبگیر و آب‌بند و همچنین مقدار بازشدگی در پیچه آبگیر ورودی است. سپس با استفاده از مدل‌های Rootcanal و ICSS

جدول ۶- مقایسه نتایج مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با مدل‌ها

پارامترها	مشاهداتی	ICSS	Rootcanal
دبی آب در بالادست کانال (۲۰/۳/۹۱)	۰/۹۵	۰/۹۵۱	۰/۹۵
دبی آب در پایین دست کانال (۲۰/۳/۹۱)	۰/۳۵	۰/۳۶۵	۰/۳۷۵
دبی آب در بالا دست کانال (۲۱/۳/۹۱)	۰/۷۹	۰/۷۹۱	۰/۷۹
دبی آب در پایین دست کانال (۲۱/۳/۹۱)	۰/۲	۰/۲۲۱	۰/۲۲۱

پارامترهای آماری محاسبه شده برای برآورد میزان خطا ارائه گردیده‌اند، در جدول‌های مذکور  $Y_0$ ،  $Y_I$  و  $Y_R$  به ترتیب عمق آب اندازه‌گیری شده و به دست آمده از مدل‌های ICSS و Rootcanal پس از گذشت یک ساعت از شبیه‌سازی هستند. نتایج ارائه شده در جدول‌های ۷ و ۸ بیانگر آن است که در هر دو روز شبیه‌سازی یعنی ۲۰/۳/۹۱ با مقدار جریان ورودی ۰/۹۵ مترمکعب بر ثانیه و روز ۲۱/۳/۹۱ با مقدار دبی ورودی جریان برابر ۰/۷۹ مترمکعب بر ثانیه، مقادیر خطای محاسباتی با مدل هیدرودینامیکی Rootcanal کمتر است و نتایج به دست آمده هماهنگی بیشتری با اندازه‌گیری‌های واقعی دارد.

برای ارزیابی مدل‌های هیدرودینامیکی معرفی شده، در این قسمت اقدام به مقایسه نتایج خروجی مدل‌ها با نتایج حاصل از اندازه‌گیری واقعی در طول بازه مورد بررسی شده است. این مقایسه‌ها شامل مقایسه عمق آب در محل آب‌بند و آبگیر و همچنین مقایسه عمق آب شبیه‌سازی شده در طول بازه بررسی است. مقایسه‌ها از طریق رسم نمودارها و همچنین محاسبات آماری برآورد خطا در نقاط مختلف انجام شده است و در نهایت از مقایسه نتایج، مدلی که بهترین هماهنگی با شرایط واقعی را دارد به عنوان مدل مناسب انتخاب شد.

در جدول‌های ۷ و ۸ مقادیر عمق آب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در روزهای مورد نظر و همچنین

جدول ۷- محاسبه شاخص‌های آماری در تاریخ ۹۱/۳/۲۰

$(y_0) - y_R)^2$	$(y_0) - y_R)^2$	عمق آب در محل گره‌ها (متر)			فاصله از ابتدای کانال (متر)	ردیف
		$y_0$	$y_1$	$y_R$		
۰/۰۰۰۳	۰	۰/۵۲	۰/۵۳۸	۰/۵۵۲	۰	۱
۰/۰۰۰۵	۰	۰/۵۲	۰/۵۴۲	۰/۵۲۵	۹	۲
۰/۰۰۰۶	۰	۰/۵۲	۰/۵۴۵	۰/۵۲۷	۱۸	۳
۰/۰۰۰۴	۰	۰/۵۳	۰/۵۴۹	۰/۵۳	۲۷	۴
۰/۰۰۰۵	۰	۰/۵۳	۰/۵۵۳	۰/۵۳۲	۳۶	۵
۰/۰۰۰۷	۰	۰/۵۳	۰/۵۵۷	۰/۵۳۵	۴۵	۶
۰/۰۰۰۴	۰	۰/۵۴	۰/۵۶۱	۰/۵۳۸	۵۳	۷
۰/۰۰۰۷	۰	۰/۵۴	۰/۵۶۶	۰/۵۴۱	۶۲	۸
۰/۰۰۰۴	۰	۰/۵۵	۰/۵۷۱	۰/۵۴۵	۷۱	۹
۰/۰۰۰۷	۰	۰/۵۵	۰/۵۷۶	۰/۵۴۸	۸۰	۱۰
۰۰/۱۰	۰	۰/۵۵	۰/۵۸۱	۰/۵۵۲	۸۹	۱۱
۰/۰۰۰۷	۰	۰/۵۶	۰/۵۸۶	۰/۵۵۶	۹۸	۱۲
۰/۰۰۰۱	۰	۰/۵۶	۰/۵۹۱	۰/۵۶	۱۰۷	۱۳
۰/۰۰۱۴	۰	۰/۵۶	۰/۵۹۷	۰/۵۶۴	۱۱۶	۱۴
۰/۰۰۱۱	۰	۰/۵۷	۰/۶۰۳	۰/۵۶۹	۱۲۵	۱۵
۰/۰۰۱۵	۰	۰/۵۷	۰/۶۰۹	۰/۵۷۳	۱۳۴	۱۶
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۵۷	۰/۶۱۵	۰/۵۷۸	۱۴۳	۱۷
۰/۰۰۱۷	۰	۰/۵۸	۰/۶۲۱	۰/۵۸۳	۱۵۱	۱۸
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۵۸	۰/۶۲۷	۰/۵۸۸	۱۶۰	۱۹
۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۲	۰/۵۸	۰/۶۳۴	۰/۵۹۳	۱۶۹	۲۰
۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۰۳	۰/۵۸	۰/۶۴۰	۰/۵۹۸	۱۷۸	۲۱
۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۰۶	۰/۵۸	۰/۶۴۷	۰/۶۰۴	۱۸۷	۲۲
۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۰۴	۰/۵۹	۰/۶۴۵	۰/۶۰۹	۱۹۶	۲۳
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۵۹	۰/۶۶۱	۰/۶۱۵	۲۰۵	۲۴
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۰۹	۰/۵۹	۰/۶۶۸	۰/۶۲۱	۲۱۴	۲۵
۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۱۳	۰/۵۹	۰/۶۷۶	۰/۶۲۷	۲۲۳	۲۶
۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۱۸	۰/۵۹	۰/۶۸۳	۰/۶۳۳	۲۳۲	۲۷
۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۱۵	۰/۶	۰/۶۹	۰/۶۳۹	۲۴۰	۲۸
۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۲۱	۰/۶	۰/۶۹۸	۰/۶۴۵	۲۴۹	۲۹
۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۱۸	۰/۶۱	۰/۷۰۶	۰/۶۵۲	۲۵۸	۳۰
۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۱۵	۰/۶۲	۰/۷۰۸	۰/۶۵۹	۲۶۷	۳۱
۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۸	۰/۶۵	۰/۷۱	۰/۷۰۳	۲۷۵ محل آبگیر	۳۲
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۷	۰/۷۱۵	۰/۷۱۱	۲۸۵ محل آببند	۳۳
ICSS	Rootcanal	پارامترهای آماری				
۰/۰۵۵	۰/۰۲۲	میانگین مربعات خطا (متر) SSE				
-۰/۰۴۸	-۰/۰۱۵	انحراف از میانگین (متر) MBE				
۰/۰۴۸	-۰/۰۱۵	خطای قدرمطلق میانگین (متر) MAE				



جدول ۸- محاسبه شاخص‌های آماری در تاریخ ۹۱/۳/۲۱

$(y_I - y_R)^2$	$(y_0 - y_R)^2$	عمق آب در محل گره‌ها (متر)			فاصله از ابتدای کانال (متر)	ردیف
		$y_0$	$y_R$	$y_I$		
۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۷	۰/۴۵	۰/۵۳۸	۰/۴۸۹	۰	۱
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۸	۰/۴۵	۰/۵۴۲	۰/۴۹۲	۹	۲
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۹	۰/۴۵	۰/۵۴۵	۰/۴۹۶	۱۸	۳
۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۴۷	۰/۵۴۹	۰/۵۰۰	۲۷	۴
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳	۰/۴۷	۰/۵۵۳	۰/۵۰۴	۳۶	۵
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۴	۰/۴۷	۰/۵۵۷	۰/۵۰۸	۴۵	۶
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵	۰/۴۷	۰/۵۶۱	۰/۵۱۲	۵۳	۷
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۷	۰/۴۷	۰/۵۶۶	۰/۵۱۷	۶۲	۸
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۴	۰/۴۸	۰/۵۷۱	۰/۵۲۲	۷۱	۹
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۲	۰/۴۹	۰/۵۷۶	۰/۵۲۷	۸۰	۱۰
۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۵۰۰	۰/۵۸۱	۰/۵۳۲	۸۹	۱۱
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱	۰/۵۰۰	۰/۵۸۶	۰/۵۳۷	۹۸	۱۲
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۲	۰/۵۰۰	۰/۵۹۱	۰/۵۴۳	۱۰۷	۱۳
۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۰۴	۰/۵۰۰	۰/۵۹۷	۰/۵۴۹	۱۱۶	۱۴
۰/۰۰۱۲	۰	۰/۵۲	۰/۶۰۳	۰/۵۵۴	۱۲۵	۱۵
۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۵۲	۰/۶۰۹	۰/۵۶۱	۱۳۴	۱۶
۰/۰۰۱۴	۰	۰/۵۳	۰/۶۱۵	۰/۵۶۷	۱۴۳	۱۷
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۵۳	۰/۶۲۱	۰/۵۷۳	۱۵۱	۱۸
۰/۰۰۱۶	۰	۰/۵۴	۰/۵۴۵	۰/۵۸۰	۱۶۰	۱۹
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱	۰/۵۴	۰/۵۵۱	۰/۵۸۶	۱۶۹	۲۰
۰/۰۰۱۸	۰	۰/۵۵	۰/۵۵۶	۰/۵۹۳	۱۷۸	۲۱
۰/۰۰۲۵	۰	۰/۵۵	۰/۵۶۲	۰/۶۰۰	۱۸۷	۲۲
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۵۶	۰/۵۶۸	۰/۶۰۷	۱۹۶	۲۳
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۵۶	۰/۵۷۴	۰/۶۱۵	۲۰۵	۲۴
۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۱	۰/۵۷	۰/۵۸۰	۰/۶۲۲	۲۱۴	۲۵
۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۳	۰/۵۷	۰/۵۸۷	۰/۶۲۹	۲۲۳	۲۶
۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۰۵	۰/۵۷	۰/۵۹۳	۰/۶۳۷	۲۳۲	۲۷
۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۰۹	۰/۵۷	۰/۶۰۰	۰/۶۴۴	۲۴۰	۲۸
۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۰۷	۰/۵۸	۰/۶۰۶	۰/۶۵۲	۲۴۹	۲۹
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۱۱	۰/۵۸	۰/۶۱۳	۰/۶۶۰	۲۵۸	۳۰
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۱۶	۰/۵۸	۰/۶۲۰	۰/۶۶۰	۲۶۷	۳۱
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۶	۰/۶۲	۰/۶۶۰	۰/۶۶۵	۲۷۵ محل آبگیر	۳۲
۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۶۵	۰/۶۶۹	۰/۶۷	۲۸۵ محل آببند	۳۳
ICSS	Rootcanal	پارامترهای آماری				
۰/۰۴۸	۰/۰۲۰	میانگین مربعات خطا (متر) SSE				
-۰/۰۴۶	-۰/۰۱۸	انحراف از میانگین (متر) MBE				
۰/۰۴۶	-۰/۰۱۸	خطای قدرمطلق میانگین (متر) MAE				

## نتیجه‌گیری

هستند و نتایج ارائه شده با این مدل‌ها نزدیک به واقعیت است. در مواردی که تفاوت‌هایی با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی وجود دارد، مدل Rootcanal نتایج بهتری نسبت به مدل ICSS ارائه می‌کند. در نتیجه می‌توان به طور کلی

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش مشاهده می‌شود که مدل‌های هیدرودینامیکی ICSS و Rootcanal به خوبی قادر به شبیه‌سازی جریان در شبکه‌های آبیاری

9. Henderson F. M. 1966. Open channel flow. Macmillan Publishing Co. New York. 832 p.
10. Hussain M. 2011. Hydraulics simulation of lower Bari Doab canal (LBDC) Panjab Pakistan, Pakistan Engineering Congress, 71st Annual Session Proceedings. 123-130.
11. Li Y. 2011. Stability and performance analysis of an irrigation channel with distributed control. Control Engineering Practice. 19(4): 1147-1156.
12. 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. 214 p.
13. Merkly G. 2008. Hydraulic simulation model. Rootcanal User Guide. Biological and Irrigation Engineering Department Utah State University. 345 p.
14. Monem M. J. and Schuramns W. 1996. Performance of canal Delivery strategies and control system. Cemagref international workshop on the application of Mathematical Modeling for the improvement of irrigation canal operation. Montepollior, France. 455-469.
15. Strelkoff T. 1969. One dimensional equation of open channel flow. J. Hydraulics Division. 7(5): 861-876.
16. Tresk A. 1980. Experimental Uperpristung numerischer Berechnung suertativen von Hochwasserwellen, in Blind: Report of Hydraulic Research station Tu Munchen. 44(2): 1-33.
- چنین گفت که مدل هیدرودینامیکی Rootcanal برای انجام شبیه‌سازی جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مناسب‌تر از مدل ICSS است.
- منابع
۱. احمدپناه س. پ. و منعم م. ج. ۱۳۹۱. توسعه مدل ریاضی سیستم کنترل CARDD برای کانال‌های آبیاری، تلفیق آن با مدل ریاضی ICSS و ارزیابی آن توسط آزمون‌های استاندارد پیشنهادی ASCE، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۶(۶): ۳۰-۱۵.
  ۲. بی‌نام. ۱۳۷۰. شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی مغان، گروه کارشناسی بهاب سیستم، شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل. ۱۴۵ ص.
  ۳. عیسی‌پور س. و منتظر ع. ا. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد سیستم کنترل خودکار سراسری پایین‌دست PI با منطق کنترل پس‌خورد در کانال اصلی غرب شبکه آبیاری دز. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۴-۱۷.
  ۴. قدوسی ح. منعم م. ج. و عمادی ع. ر. ۱۳۸۷. بهینه‌سازی بهره‌برداری از کانال‌های آبیاری با استفاده از روش بهینه‌سازی SCE، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز. ۴۵-۵۵.
  ۵. قدوسی ح. و میرزایی ز. ۱۳۸۹. تأثیر افزایش دفعات بهره‌برداری بر عملکرد شبکه‌های آبیاری، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۵-۲۳.
  ۶. منعم م. ج. ۱۳۷۵. معرفی مدل مشابه‌سازی شبکه‌های آبیاری و بهینه‌سازی بهره‌برداری از آن‌ها مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ۱-۲۳.
  7. Amein M. 1968. An implicit method for numerical flood routing. Journal Water Resources Research. 4(4): 719-726.
  8. Clemmens A. J. Allen R. G. and Burt C. M. 2008. Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems. Water Resource Research. 10(6): 16-44.