

Seepage Rate Estimation in Irrigation Canals Using Infiltration Equations and Ponding Test Method

MOHAMMAD BIJANKHAN^{1*}, HOSSEIN RABBANIHA²

1. Water Sciences and Engineering Department Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Nov. 4, 2019- Revised: Jan. 15, 2020- Accepted: Jan. 18, 2020)

ABSTRACT

Estimating infiltration amount is very important in irrigation canals. In this regard, there are different methods to obtain the infiltration amount. The studies done to estimate the seepage rates in Iran's irrigation networks are based on the mass balance method. Ponding test is a benchmark method to determine the canal seepage rate. In this method, a specific distance of the canal is isolated and the seepage rate is obtained by measuring the water level reduction in the pond. In this study, the feasibility of using conventional infiltration models; Kostiakov-Luis, Philip, Green-Ampt, and S.C.S has been investigated to estimate the seepage rate based on the ponding test data. Employing the field data of some ponding tests carried out in irrigation network of Australia, it was found that Kostiakov-Luis, with mean absolute relative errors between 2.3% to 7.4%, is the best model to estimate the infiltration rate in the canal. Although the current methods give a constant seepage rate irrespective of the canal flow depth, the outcome of this study indicates that the seepage rate is not a constant value. It depends significantly on the elapsed time, water level, and soil moisture. Also, it was found that the proposed method is less sensitive to the data gathering duration compared to the current methods.

Keywords: Green-Ampt, Kostiakov-Luis, Philip, SCS, Irrigation network, Mass balance method.

برآورد سرعت نشت در کانال‌های آبیاری با استفاده از معادلات نفوذ و روش غرقابی

محمد بی‌جن خان*، حسین ربانی‌ها^۲

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸)

چکیده

برآورد میزان نشت آب در کانال‌های آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار است. روش‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد. مطالعات انجام شده در سطح شبکه‌های آبیاری کشور به منظور تخمین میزان نشت در کانال‌های آبیاری عمدتاً بر مبنای اندازه‌گیری با استفاده از بیلان آب است. روش غرقابی یک روش استاندارد برای محاسبه سرعت نشت در کانال مطرح می‌باشد. در این روش با انسداد محدوده مشخصی از کانال و اندازه‌گیری افت سطح آب می‌توان سرعت نشت را به دست آورد. در این تحقیق، امکان استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف-لوئیس، فیلیپ، گرین-امپت و S.C.S برای تخمین میزان نشت بر مبنای آزمایش غرقابی مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از داده‌های موجود برای بخشی از کانال‌های آبیاری شبکه‌ای در کشور استرالیا، مشخص شد که معادله کوستیاکف-لوئیس با میانگین قدر مطلق خطای نسبی بین ۲/۳٪ تا ۷/۴٪ بهترین مدل برای تخمین نشت آب از کانال است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سرعت نشت به دست آمده از معادلات نفوذ برخلاف روابط موجود که سرعت نشت را همواره مقداری ثابت برآورد می‌کنند، مقداری ثابت نیست و با گذشت زمان، اشباع شدن خاک و کاهش سطح آب تغییر می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که روش ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با روش‌های موجود حساسیت کمتری نسبت به مدت زمان داده‌برداری دارد.

واژه‌های کلیدی: تخمین سرعت نشت، روش بیلان آب، کوستیاکف-لوئیس، شبکه آبیاری.

مقدمه

مدیریت بهینه مصرف آب کشاورزی و کاهش تلفات آب در طرح‌های آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. از دلایل عمده اهمیت بررسی میزان نشت می‌توان به تلفات آب و تنزل کیفیت اراضی و خاک اطراف کانال در اثر نشت اشاره نمود. به همین دلیل، کاهش تلفات آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت حیاتی پیدا نموده و باعث جلب نظر کارشناسان به بررسی کمی و کیفی جریان نشت آب از کانال‌ها و مسایل مربوط به آن شده است.

روش‌های تخمین دبی نشت شامل مطالعات صحرایی، معادلات تجربی و محاسبات هیدرولیکی می‌باشد. اگرچه روابط تجربی زیادی به منظور تخمین میزان نشت وجود دارد، ولی تجربه نشان داده که ضرایب این معادلات باید برای شرایط محلی واسنجی گردد و از طرفی از منطقه‌ای به منطقه دیگر نیز نوع روابط تغییر می‌کند (Heydarizade, 2008; Salemi and Sepaskhah, 2006).

Mailapalli et al., (2008) روشی ساده و سریع برای برآورد میزان نفوذ آب در جویچه‌های آبیاری ارائه کردند. در این روش برای محاسبه مقدار آب نفوذ یافته کافی است تنها از یک نقطه

استفاده شود. آن‌ها با استفاده از معادله کوستیاکف اقدام به برآورد میزان نفوذ برای هفت جویچه آبیاری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که می‌توان با استفاده از یک روش نقطه‌ای با دقت مناسبی به برآورد ضرائب معادله نفوذ پرداخت. (Vatankhah et al., 2010) بر مبنای روابط رگرسیونی شکل جدیدی را برای محاسبه ضرائب روش یک نقطه‌ای ارائه کردند. آنها نشان دادند که روش پیشنهادی می‌تواند مقادیر نفوذ را کمی بهتر از روش (Mailapalli et al., 2008) محاسبه کند.

از نقطه نظر هیدرولوژیکی معادلات نفوذ برای تخمین مقدار آب نفوذ یافته و تعیین میزان رواناب ناشی از بارندگی بسیار حائز اهمیت می‌باشند. (Almedejz and Esen, 2014) یک مدل اصلاح شده از روابط نفوذ گرین-امپت را ارائه کردند. مدل ارائه شده قابلیت کاربرد برای مقادیر وسیعی از سرعت بارندگی و میزان نفوذپذیری خاک را دارد. (Brown and Borst, 2014) به بررسی سرعت نشت از آسفالت، بتن و سطوحی با پوشش مصنوعی پرداختند. هدف از آن مطالعه تعیین محل‌های مناسب برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ و تخمین زمان مناسب برای بازسازی سطوح یادشده می‌باشد. آن‌ها روشی را ارائه کردند که بر مبنای آن امکان تعیین محدوده‌هایی از سطوح یاد شده که دچار گرفتگی

(2014) Salemi, با اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی در مناطق مختلف از کانال‌های رودشت اصفهان به بررسی میزان تلفات انتقال آب پرداختند.

عمده مطالعاتی که روی شبکه‌های آبیاری ایران صورت گرفته است، بر مبنای اندازه‌گیری نشت با استفاده از روش بیلان می‌باشد. آزمایش غرقابی (Pondage Test)، روشی مستقیم و دقیق است که به‌واسطه آن می‌توان مقدار نشت آب از کانال را برآورد نمود (Brinkley et al., 2000). در این روش ابتدا و انتهای یک محدوده مشخص از کانال بسته شده و سپس میزان افت سطح آب با گذشت زمان اندازه‌گیری می‌شود. در روش پیشنهادی (Moavenshahidi et al., 2014) با استفاده از داده‌های مربوط به روش غرقابی، سرعت نشت برابر با شیب خط برازش داده شده به منحنی افت سطح آب در مقابل زمان است. لازم به ذکر است که در این روش سرعت نشت برای یک آزمایش مشخص همواره عدد ثابتی می‌باشد.

در این پژوهش در نظر است تا برآورد میزان نشت با استفاده از روش غرقابی را مورد بازنگری مجدد قرار داد. برای این منظور، به بررسی امکان استفاده از روابط کلاسیک نفوذ برای تخمین سرعت نشت آب از کانال پرداخته شده است. از این رو، با استفاده از نتایج آزمایش غرقابی به برآورد نشت آب بوسیله معادلات نفوذ کوستیاکف لوئیس، فیلیپ، گرین امیت و S.C.S پرداخته شد و نتایج با تحقیق (Moavenshahidi et al., 2014) مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر از داده‌های مربوط به شبکه آبیاری منطقه کولیمبالی، Coleambally، واقع در جنوب شرقی استرالیا استفاده شده است. کانال‌های آبیاری که از آن‌ها برای انجام استفاده شده است خاکی بوده و تمام دریچه‌ها در این شبکه به صورت خودکار تنظیم شده و کنترل شبکه با استفاده از مفاهیم کنترل و اتوماسیون انجام می‌شود. مشخصات کانال‌های مورد مطالعه، زمان داده‌برداری و سطح آب در کانال در زمان شروع آزمایش در جدول (۱) آورده شده است (Moavenshahidi et al., 2014).

تغییرات سطح آب درون کانال‌هایی که ابتدا و انتهای آن‌ها کاملاً بسته شده باشد می‌تواند به‌دلیل نشت، تبخیر و بارش باشد. مقادیر رقوم سطح آب در کانال‌های نامبرده به‌صورت خودکار ثبت شده است. لذا مقادیر بارش (در صورت وجود) و تبخیر در دوره‌ی داده‌برداری حذف شده و تغییرات سطح آب صرفاً به‌دلیل نشت برآورد گردیده است (Moavenshahidi et al., 2014).

برای محاسبه مقدار نفوذ تجمعی روش‌های مختلفی وجود دارد. با توجه به سابقه مطالعات می‌توان دریافت که علی‌رغم شباهت

و کاهش سرعت نفوذ شده باشند قابل شناسایی باشد. (Heeren et al., 2014) در نظر گرفتن یک قطعه از زمین و محصور کردن آن روش جدیدی را برای برآورد سرعت نفوذ ارائه کردند. روش آن‌ها بر مبنای در نظر گرفتن یک ارتفاع آب ثابت روی زمین استوار می‌باشد. روش مذکور می‌تواند جایگزین استفاده از استوانه‌های مضاعف باشد. مزیت آن در بزرگ‌مقیاس بودن نسبت به روش استوانه‌های مضاعف می‌باشد.

اخیراً (DelVecchio et al., 2020) با استفاده از مفاهیم نفوذ و تبخیر و تعرق اقدام به بررسی عملکرد باغ‌ها و مزارع در کاهش رواناب ناشی از سیلاب‌ها پرداختند. نتایج این محققین که بر مبنای آزمایش روی ۵ نوع خاک مختلف بود نشان داد که این امکان وجود دارد تا به‌واسطه نفوذ آب در باغستان‌ها به شکل موثری رواناب ناشی بارندگی‌ها کنترل شود.

علی‌رغم وجود مطالعات زیاد روی نفوذ و نشت آب، تحقیق - های اندکی روی برآورد مقدار نشت آب از کانال صورت گرفته است. (Ehteshami et al., 2018) به بررسی راندمان انتقال آب بخش‌هایی از غرب و شرق شبکه آبیاری قزوین پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق که با بررسی میدانی مقدار دبی ورودی و خروجی در بازه‌هایی به طول یک کیلومتر از شبکه انجام شد، نشان داد که راندمان انتقال در شرق شبکه از ۶۰ تا ۹۰ درصد و در غرب شبکه حدود ۴۵ درصد بوده است. همچنین بازده کل شبکه در غرب و شرق به ترتیب مقادیری حدود ۴۰ و ۵۵ درصد گزارش شد.

(Keramati Toroghi et al., 2009) به بررسی عوامل مرتبط با هدررفت آب در سطح شبکه دشت مغان پرداختند. این شبکه بر خلاف شبکه دشت قزوین که بسته است یک شبکه با انتهای باز می‌باشد که آب در انتهای شبکه به رودخانه ارس انتقال می‌یابد. (Keramati Toroghi, et al., 2009) پدیده نشت را به عنوان یکی از عوامل مهم افزایش آب خروجی از زهکش‌های شبکه دشت مغان معرفی کردند. (Mokari Saei et al., 2013) به بررسی راندمان انتقال آب در کانال‌های بتنی شبکه آبیاری دشت گرمسار پرداختند. آن‌ها با انتخاب بازه‌های مختلف از شبکه و با اندازه‌گیری دبی ورودی و خروجی به وسیله سرعت‌سنج تلفات ناشی از انتقال آب را در طول کانال برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تلفات نشت و تبخیر در ۱۰۰ متر از کانال در مناطقی تا ۱۹ لیتر بر ثانیه نیز می‌باشد که عدد بسیار قابل توجهی است.

(Ababaei et al., 2014) با استفاده از مفهوم رگرسیون - گیری ناپارامتری به بررسی راندمان انتقال آب در محدوده کانال - های L1 و L2 شبکه آبیاری قزوین پرداختند. آن‌ها راندمان انتقال آب را معادل ۶۶ درصد گزارش کردند. Heydarizade and

به صورت زیر است (Philip, 1957):

$$I = St^{-\Delta} + K_s t \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه $S =$ ضریب مکش ماتریک خاک بر حسب میلی‌متر بر جذر ساعت و $K_s =$ ضریب ثقلی بر حسب میلی‌متر بر ساعت می‌باشد.

رابطه گرین امپت بر اساس خصوصیات خاک ارائه شده و دارای مبنای فیزیکی می‌باشد (Green and Ampt, 1911):

$$i = \frac{A}{I} + B \quad (\text{رابطه ۴})$$

در رابطه گرین امپت سرعت نفوذ (i) بر حسب میلی‌متر بر ساعت با استفاده از نفوذ تجمعی بدست می‌آید. ضرائب A و B برای سهولت در حل معادله ارائه شده‌اند و با استفاده از برازش به دست می‌آیند.

با استفاده از روابط مربوط به تخمین نفوذ تجمعی می‌توان اقدام به برآورد مقدار نشت آب از کانال نمود. سرعت نشت عبارت از نرخ تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان می‌باشد که برای محاسبه سرعت نشت، i می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$i = \frac{dI}{dt} \quad (\text{رابطه ۵})$$

برآورد درست مقدار سرعت نشت با استفاده از رابطه (۵) نیازمند در اختیار داشتن یک مدل مناسب برای تخمین نفوذ تجمعی می‌باشد.

هیدرولیکی پدیده نشت آب از کانال‌های آبیاری با مکانیزم نفوذ آب در خاک، تا کنون برای برآورد سرعت نشت در کانال‌های آبیاری از این معادلات استفاده نشده است. معادله کوستیاکف-لوئیس از سری معادلات تجربی است که برای برآورد میزان نفوذ تجمعی به کار می‌رود (Mezencev, 1948). این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$I = at^b + f_0 t \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن، I نفوذ تجمعی بر حسب میلی‌متر، f_0 سرعت نهایی نفوذ بر حسب میلی‌متر بر ساعت، t زمان بر حسب ساعت و a و b ضرایب تجربی می‌باشند. شایان ذکر است که با مشتق‌گیری از رابطه فوق نسبت به زمان در مدت زمان‌های طولانی سرعت نفوذ به f_0 میل می‌کند.

رابطه دیگری که برای برآورد نفوذ تجمعی می‌توان به کار برد معادله S.C.S است:

$$I = k.t^a + C \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن، a و k ضرائب تجربی هستند که با استفاده از داده‌های مشاهداتی محاسبه می‌شوند. ضریب c در معادله S.C.S مربوط به درز و شکاف خاک است و در سیستم متریک $6/985$ میلی‌متر می‌باشد (USDA-SCS 1984). سایر پارامترها پیشتر تشریح شدند.

معادله فیلیپ بر اساس نیروهای مکش و ثقل بیان شده و

جدول ۱- مشخصات کانال و زمان داده‌برداری

ردیف	نام کانال	زمان داده برداری	
		شروع	پایان
الف	Bundure 3	۸/۰۶/۲۰۱۰	۲۸/۰۶/۲۰۱۰
ب	BundureE 7	۲۸/۰۵/۲۰۱۰	۲۸/۰۶/۲۰۱۰
ج	TUBBO 1	۲۷/۰۵/۲۰۱۰	۲۸/۰۶/۲۰۱۰
د	TUBBO 2	۱۸/۰۳/۲۰۱۲	۱۴/۰۴/۲۰۱۲

در این مطالعه، برای به دست آوردن ضرائب معادلات ابتدا قدر مطلق خطای نسبی (رابطه ۶) محاسبه و سپس با استفاده از ابزار Solver مجموع قدر مطلق خطاهای نسبی با تغییر ضرائب ثابت معادلات کمینه شد:

(رابطه ۶)

$$100 \times \left| \frac{\text{نتیجه آزمایش} - \text{مقدار واقعی}}{\text{مقدار واقعی}} \right| = \text{قدر مطلق خطای نسبی}$$

بررسی (جدول ۱)، معادلات برآورد نفوذ تجمعی به همراه میانگین قدر مطلق خطاهای نسبی در جدول (۲) آورده شد است. مقادیر نفوذ تجمعی محاسبه شده با استفاده از روابط مختلف و داده‌های مشاهداتی در مقابل زمان در شکل (۱) رسم شده است. با توجه به این شکل و مقادیر خطای جدول (۲) ملاحظه می‌شود که در تمام موارد معادله کوستیاکف-لوئیس بهترین برازش را نسبت به

در این مطالعه، برای به دست آوردن ضرائب معادلات ابتدا قدر مطلق خطای نسبی (رابطه ۶) محاسبه و سپس با استفاده از ابزار Solver مجموع قدر مطلق خطاهای نسبی با تغییر ضرائب ثابت معادلات کمینه شد:

(رابطه ۶)

$$100 \times \left| \frac{\text{نتیجه آزمایش} - \text{مقدار واقعی}}{\text{مقدار واقعی}} \right| = \text{قدر مطلق خطای نسبی}$$

نتایج و بحث

برآورد ضرائب معادلات نفوذ

با استفاده از معادلات نفوذ کوستیاکف-لوئیس، S.C.S، فیلیپ و گرین امپت (روابط ۱ تا ۴) می‌توان مقادیر نفوذ تجمعی را

داده‌های آزمایشگاهی دارد.

جدول ۲- ضرایب محاسبه‌شده معادلات نفوذ

نام کانال	نام معادله	رابطه استخراج شده	میانگین قدر مطلق خطای نسبی (%)
Bundure 3	کوستیاکف - لوئیس	$I=1.029t^{0.979}+0.079t$	۲/۳٪
	S.C.S	$I=1.01t^{0.99}+6.985$	۴/۸٪
	گرین آمپت	$I=\left(\frac{1.24}{I}+0.99\right)t$	۲/۱٪
	فیلیپ	$I=0.43t^{0.5}+0.97t$	۳/۴٪
Bundure 7	کوستیاکف - لوئیس	$I=9.089t^{0.616}+0.072t$	۷/۴٪
	S.C.S	$I=5.44t^{0.72}+6.985$	۷/۵٪
	گرین آمپت	$I=\left(\frac{100.84}{I}+0.91\right)t$	۱۲/۹٪
	فیلیپ	$I=10.54t^{0.5}+0.51t$	۸/۶٪
TUBBO 1	کوستیاکف - لوئیس	$I=0.406t^{0.940}+0.009t$	۵/۶٪
	S.C.S	$I=0.31t^{0.98}+6.985$	۱۳/۷٪
	گرین آمپت	$I=\left(\frac{0.2}{I}+0.3\right)t$	۷٪
	فیلیپ	$I=0.26t^{0.5}+0.28t$	۶/۴٪
TUBBO 2	کوستیاکف - لوئیس	$I=1.355t^{0.813}+0.005t$	۲٪
	S.C.S	$I=0.91t^{0.87}+6.985$	۳/۶٪
	گرین آمپت	$I=\left(\frac{8.52}{I}+0.4\right)t$	۶/۲٪
	فیلیپ	$I=2.71t^{0.5}+0.31t$	۳/۴٪

کوستیاکف-لوئیس برای این منظور مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. در نتیجه با توجه به رابطه (۱) و (۵) سرعت نشت به شکل زیر خواهد شد:

$$i = abt^{b-1} + f_0 \quad (\text{رابطه ۷})$$

ضرائب a ، b و f_0 در جدول (۲) آورده شده است.

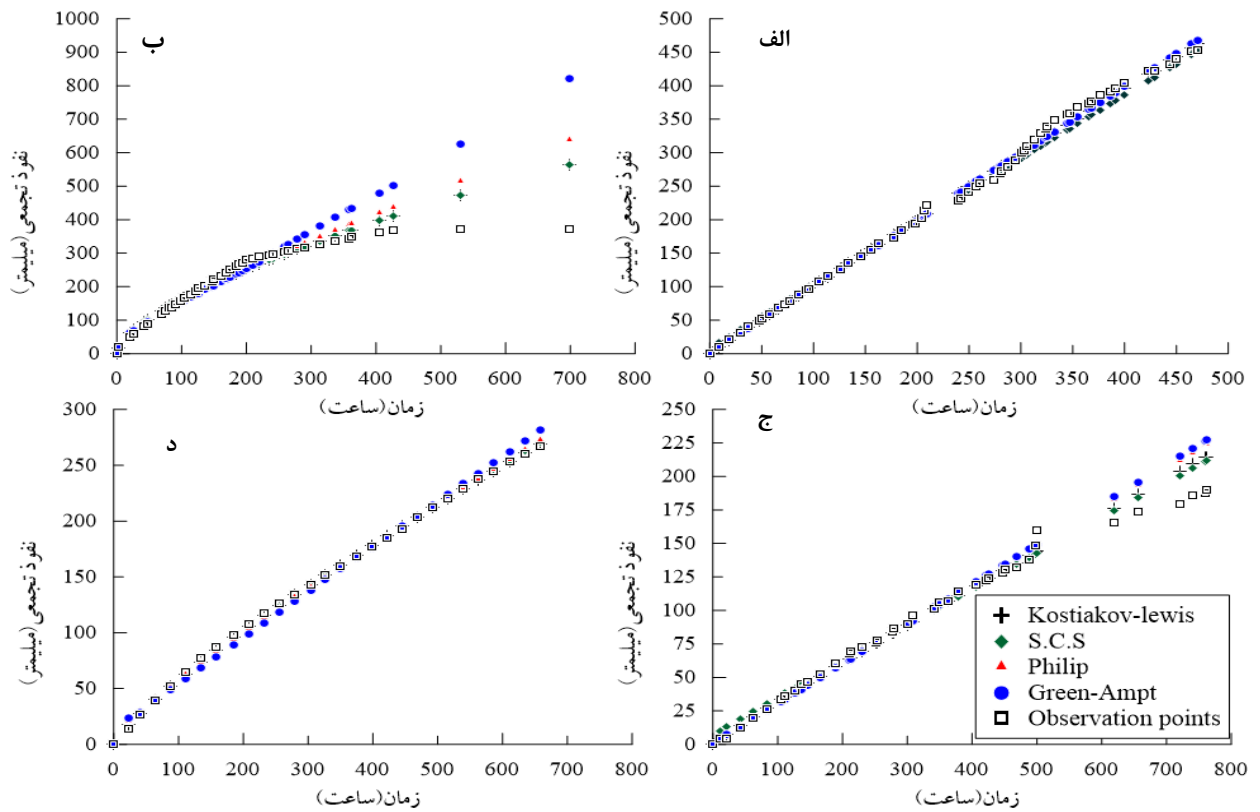
با توجه به رابطه (۷) ملاحظه می‌شود که استفاده از معادلات نفوذ برای تخمین مقدار نشت، باعث می‌شود که سرعت نفوذ به دست آمده با زمان تغییر کند. به عبارت دیگر با گذشت زمان و کمتر شدن رقوم سطح آب در کانال انتظار می‌رود که سرعت نشت نیز کاهش یابد. از این رو بررسی مقدار سرعت نشت با تغییرات سطح آب در کانال می‌تواند حائز اهمیت باشد. برای این منظور، نتایج به دست آمده با استفاده از روش‌های پیشنهادی (Moavenshahidi et al., 2014) و رابطه (۷)، در شکل (۳) و برای کانال‌های مختلف رسم شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از رابطه (۷)، ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار سرعت نشت در ابتدای انجام آزمایش یعنی زمانی که ارتفاع آب در کانال حداکثر است رخ می‌دهد. با گذشت زمان و کم شدن ارتفاع آب در کانال به تدریج از سرعت نشت کاسته می‌شود. این درحالیست که مدل ارائه شده توسط (Moavenshahidi et al., 2014) همواره یک مقدار ثابت برای سرعت نشت ارائه می‌دهد.

مقادیر درصد خطای نسبی متناظر با هر روش در مقابل زمان برای کانال‌های جدول (۱) محاسبه و در شکل (۲) رسم شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که در کانال‌های Bundure 3 و Bundure 7 بیشترین درصد خطا در تخمین میزان نفوذ تجمعی مربوط به زمان‌های صفر تا ۵۰ ساعت می‌باشد. اما به صورت کلی در تمام حالت‌ها استفاده از معادله کوستیاکف-لوئیس بهترین تخمین را نسبت به داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد، به طوری که برای کانال TUBBO 2 با استفاده از این رابطه می‌توان نفوذ تجمعی را با خطای نسبی $\pm 5\%$ تخمین زد.

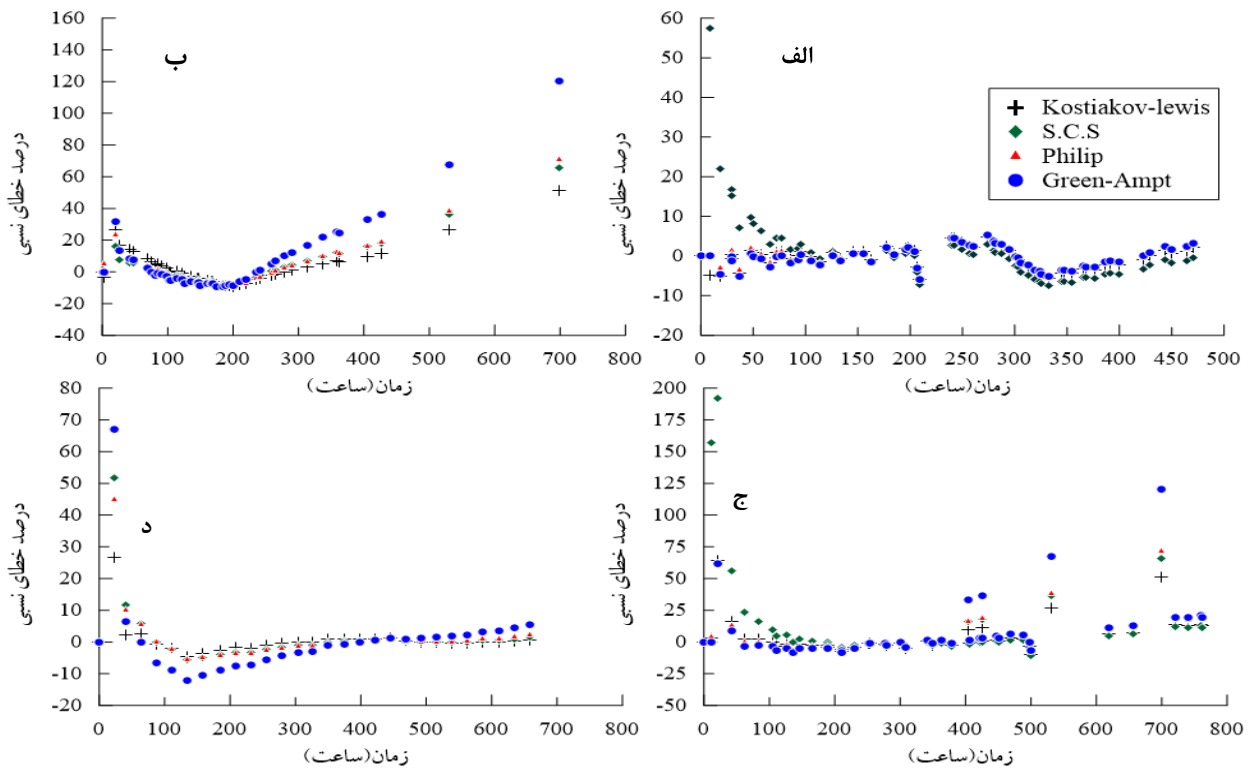
- برآورد سرعت نشت

با استفاده از نتایج آزمایش غرقابی، (Moavenshahidi et al., 2014) پیشنهاد کردند که سرعت نشت معادل شیب خط برازش داده شده بین رقوم آب و زمان سپری شده از آغاز آزمایش، در نظر گرفته شود. لذا از آنجایی که از برازش خطی استفاده شده است سرعت نشت همواره یک مقدار ثابت به دست می‌آید. این موضوع با ماهیت فیزیکی پدیده نشت آب از کانال در تناقض است چرا که هر اندازه ارتفاع آب در کانال بیشتر باشد طبیعتاً انتظار می‌رود که سرعت نشت نیز بیشتر باشد.

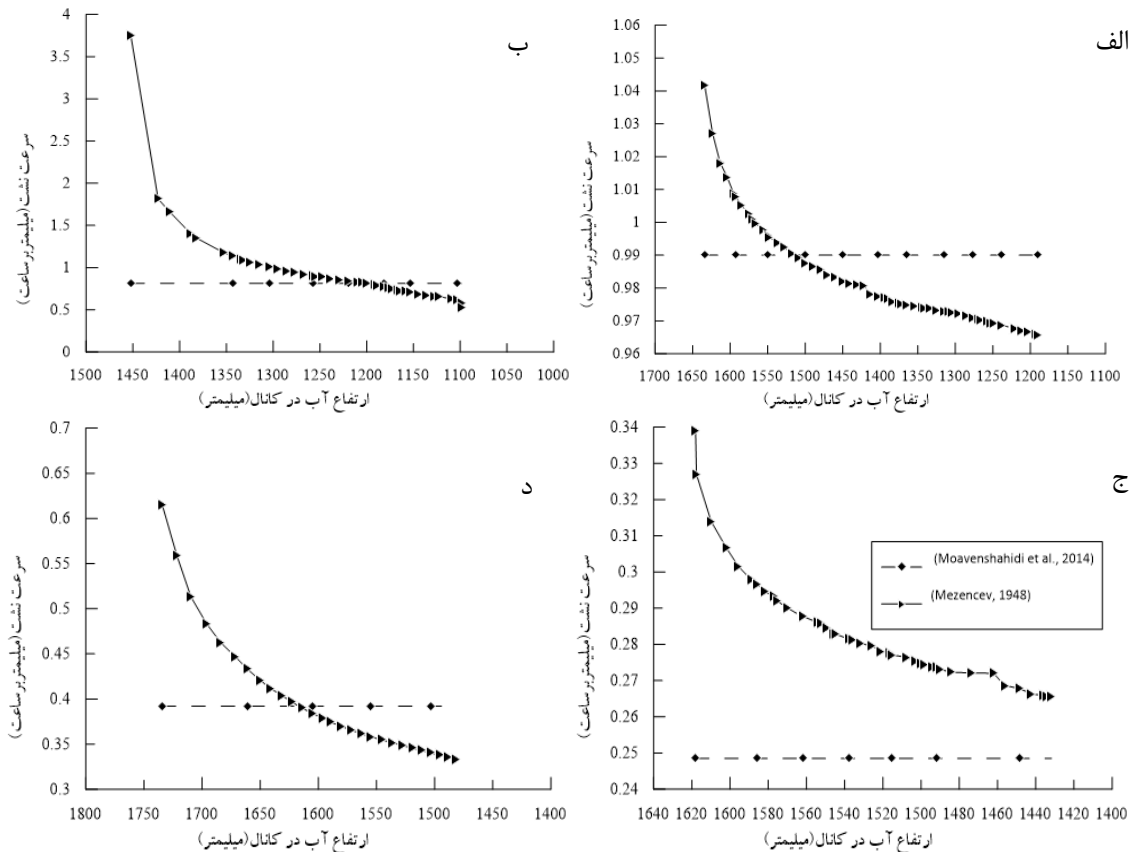
با توجه به نتایج تحقیق حاضر مدلی بر مبنای فرم معادله



شکل ۱- نفوذ تجمعی محاسبه شده با استفاده از معادلات نفوذ الف) Bundure 3، ب) Bundure 7، ج) Tubbo 1، د) Tubbo 2



شکل ۲- تغییرات خطای نسبی در مقابل زمان برای روابط مختلف محاسبه نفوذ تجمعی الف) Bundure 3، ب) Bundure 7، ج) Tubbo 1، د) Tubbo 2



شکل ۳- مقایسه سرعت نشت با استفاده از روش (Moavenshahidi et al., 2014) و روش ارائه شده در تحقیق حاضر (رابطه ۷، الف) Bundure 3. (ب) Bundure 7، (ج) TUBBO 1، (د) TUBBO 2

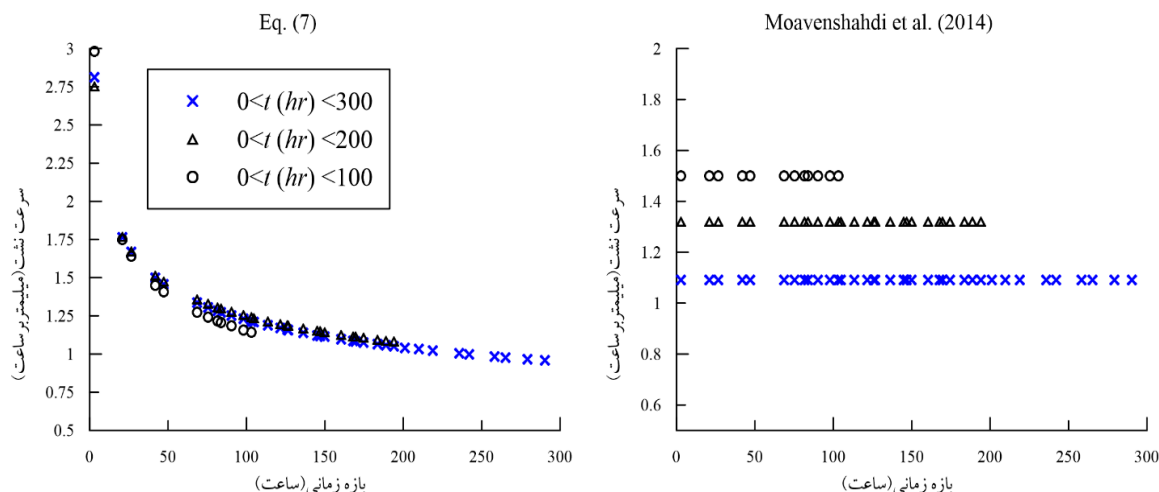
مختلف از زمان داده‌برداری به روش آب ایستی در شکل (۴) رسم شده است. ملاحظه می‌شود که با استفاده از رابطه (۷) تقریباً زمان داده‌برداری اثری روی مقادیر محاسبه شده از سرعت نشت ندارد. حال آنکه در روش (Moavenshahidi et al., 2014) که برای بازه زمانی تا ۱۰۰ ساعت برابر ۱/۵ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد، برای بازه زمانی تا ۳۰۰ ساعت به ۱/۱ میلی‌متر بر ساعت می‌رسد. این امر نشان می‌دهد که رابطه (۷) که بر اساس مدل کوستیاکوف-لوئیس می‌باشد حساسیت بسیار کمتری نسبت به مدت زمان انجام آزمایش آب ایستی دارد.

جدول ۳- ضرائب رابطه ۷ بازای بازه‌های زمانی مختلف برای کانال

Bundure 7			
بازه زمانی (ساعت)	a (بدون واحد)	b (تجربی)	f ₀ (میلی‌متر بر ساعت)
۳۰۰-۰	۴/۷۶۳	۰/۷۵۱	۰/۰۸۴
۲۰۰-۰	۴/۵۲۰	۰/۷۶۰	۰/۱۱۲
۱۰۰-۰	۵/۵۲۲	۰/۷۱۵	۰/۰۸۹

تأثیر مدت زمان داده‌برداری بر دقت محاسبه سرعت نشت - شروع آزمایش غرقابی زمانی است که ابتدا و انتهای قسمتی از کانال بسته شده باشد. پس از این لحظه سطح آب به دلیل نشت شروع به افت خواهد کرد. مدت زمانیکه برای انجام آزمایش مدنظر قرار خواهد گرفت می‌تواند متفاوت باشد، اما هر اندازه که زمان آزمایش کوتاه‌تر باشد به لحاظ عملیاتی انجام آزمایش را ساده‌تر خواهد کرد. برای ارزیابی روش‌های مختلف برآورد میزان سرعت نشت، ۳۰۰ ساعت از نتایج آزمایش روی کانال Bundure 7 مدنظر قرار گرفت. رابطه (۷) و روش (Moavenshahidi et al., 2014) برای بازه‌های زمانی صفر تا ۳۰۰ ساعت، صفر تا ۲۰۰ ساعت و صفر تا ۱۰۰ ساعت، به کار گرفته شدند. توجه شود که ضرائب رابطه (۷) برای بازه‌های زمانی مختلف به شرح جدول (۳) خواهد بود.

مقادیر سرعت نشت با استفاده از رابطه (۷) و روش پیشنهادی (Moavenshahidi et al., 2014) به‌ازای بازه‌های



شکل ۴- تاثیر مدت زمان انجام آزمایش غرقابی روی مقادیر سرعت نشت با استفاده از رابطه (۷) و روش پیشنهادی (Moavenshahdi et al., 2014)

است. همچنین، استفاده از معادلات نفوذ برای تخمین مقدار و سرعت نشت در کانال‌های خاکی با در نظر گرفتن فیزیک مسئله نشت اعداد قابل اعتمادتری را منتج می‌شود، به‌طوریکه سرعت نشت در زمان‌های متفاوت و سطوح مختلف آب در کانال مقادیر متفاوتی می‌باشند. این درحالیست که سرعت نشت تخمین زده شده با استفاده از روش پیشنهادی در سابقه مطالعات همواره عدد ثابتی است. در پایان نشان داده شد که روش ارائه شده در این تحقیق برای محاسبه سرعت نشت، حساسیت بسیار کمتری نسبت به مدت زمان انجام آزمایش غرقابی دارد.

نتیجه‌گیری

استفاده از روش غرقابی برای محاسبه سرعت نشت در سابقه مطالعات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد که بر مبنای داده‌های به‌دست آمده از روش غرقابی، معادله کوستیاکف-لوئیس می‌تواند برای محاسبه نفوذ تجمعی در کانال‌ها با دقت مناسبی مورد استفاده قرار گیرد. با استفاده از داده‌های موجود برای بخشی از کانال‌های آبیاری شبکه‌ای در کشور استرالیا، مشخص شد که معادله کوستیاکف-لوئیس با میانگین قدر مطلق خطای نسبی بین $2/3$ تا $7/4$ درصد بهترین مدل برای تخمین نشت آب از کانال

REFERENCES

- Ababaei, B., Ramezani Etedali, H, and Rezaverdinejad, V. (2014) "Estimation of the transporting and distribution efficiencies in a part of the Qazvin irrigation and drainage network using non-parametric regression method. 2th national conference on agricultural water and soil management, Ord 30-31, University of Tehran, Karaj, Iran (in Farsi).
- Almedej, J., and Esen, I. I. (2014). "Modified Green-Ampt Infiltration Model for Steady Rainfall." *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(9).
- Brinkley, A., Jackson, P., Thompson, P., and Aseervatham, E. (2000). "Measurement, remediation and management of seepage from open channels." Proc., ANCID Conf., Goulburn-Murray Water, 2000, Australian National Committee on Irrigation and Drainage (ANCID), Tatura, VIC, Australia.
- Brown, R. A., and Borst, M. (2014). "Evaluation of surface infiltration testing procedures in permeable pavement systems." *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 140(3), 1-12.
- DelVecchio, T., Welker, A., and Wadzuk, B. M. (2020). "Exploration of Volume Reduction via Infiltration and Evapotranspiration for Different Soil Types in Rain Garden Lysimeters." *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 6(1), 04019008.
- Ehteshami, M., Ali kenari, Sh. and Abbasi, N. (2018) "Evaluation of water transfer and distribution efficiency as well as causes of increased roughness in Qazvin irrigation canals", *10th National Conference of Irrigation and Drainage Committee, Iran, Tehran*, pp. 83-93. (in Farsi).
- Green, W. H., and Ampt, G. (1911). Studies on Soil Physics. *The Journal of Agricultural Science* 4, 1-24.
- Heeren, D. M., Fox, G. A., and Storm, D. E. (2014). "Berm method for quantification of infiltration at the plot scale in high conductivity soils." *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(2), 457-461.
- Heydarizade, M. (2008). "Comparison of Results of Application of Theoretical Equation with Experimental Water Seepage from Isfahan Rodasht Canals". *First comprehensive management conference of Zayandeh Rud watershed*. Isfahan. (in Farsi).
- Heydarizade, M. and Salemi, H, R. (2014). "Investigation of the Application of Experimental Ingeham Equation and The Theory of VeDernico Equation in Estimation of Water Seepage from Canals of Rodasht Isfahan". *Journal of Water*

- Research in Agriculture. 28 (4): 703-712. (in Farsi).
- Keramat toroghi, M., Pasban eisa lu, Ain. and Ghanbari, Ain. (2009). "Investigating the Factors Affecting the Amount of Water Outflow from Moghan Irrigation and Drainage Network Drains and the Effects of Operation Methods on it". 12th National Conference of Irrigation and Drainage Committee, 5-6 Esf., Iran, Tehran, pp. 335-350. (in Farsi).
- Mokari saei, J., Azhdari, Kh., Imamgholi zade, S. and Nazeri, A. (2013). "Evaluation of water transfer efficiency in concrete channels of Garmsar plain irrigation network and its improvement conditions". First National Conference on Water Resources and Agriculture Challenges. 24 Bah, Islamic Azad University of Khorasgan Branch. Esfahan. (in Farsi).
- Mezencev, V. (1948). Theory of formation of the surface runoff. *Meteorologiae Hidrologia* **3**, 33-40.
- Moavenshahidi, A., Smith, R., and Gillies, M. (2014). Factors affecting the estimation of seepage rates from channel automation data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **141**, 04014075.
- Philip, J. (1957). The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil science* **83**, 345-358.
- Salemi. H. R. and Sepaskhah. Ain. (2006). "Modification of Experimental Equations of Channel seepage in Isfahan Rodasht Area". *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 10: 29-42. (in Farsi).
- USDA-SCS (US Department of Agriculture, Soil Conservation Service). 1984. *National Engineering Handbook*. Section 15. *Furrow Irrigation*. National Technical Information Service, Washington, DC, Chapter 5.
- Vatankhah, A. R., Ebrahimian, H., and Bijankhan, M. (2010). "Discussion of 'Quick Method for Estimating Furrow Infiltration' by Damodhara R. Mailapalli, W. W. Wallender, N. S. Raghuwanshi, and R. Singh." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1).