

بررسی روابط رگرسیونی بر آورد تلفات نفوذ آب از انهار خاکی

سعید جلیلی^{*۱}

چکیده

کمبود منابع آبی یکی از مباحث مهم در جوامع مختلف است. تلفات نفوذ و نشت از بدنه انهار، مهم‌ترین بخش تلفات در حین انتقال آب کشاورزی است. با توجه به سهم کشاورزی در مصرف منابع آب، برآورد تلفات نفوذ آب از بدنه انهار خاکی یکی از مسائل عمده در طراحی و مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات مربوط به مطالعه انجام‌شده در شرق حوضه زاینده‌رود، رابطه رگرسیون غیرخطی بین دبی نشت (S) با دبی ورودی به نهر (Q)، محیط خیس‌شده (P)، شعاع هیدرولیکی (R)، و عمق هیدرولیکی (D) بررسی شد. برای استخراج روابط رگرسیونی، از ۷۰ درصد داده‌ها که مربوط به دو سری اندازه‌گیری در ۹ نهر منتخب منطقه مورد مطالعه است، استفاده شد. صحت‌سنجی روابط رگرسیونی با استفاده از ۳۰ درصد داده‌ها که مربوط به اندازه‌گیری در نوبت سوم و مربوط به همان انهار است، انجام شد. داده‌های مطالعه مذکور، از اندازه‌گیری مستقیم دبی ورودی و خروجی و مشخصات هندسی و هیدرولیکی انهار خاکی، همچون شکل و ابعاد مقطع نهر و عمق آب به‌دست آمده است. در تحقیق حاضر، برای ارزیابی دقت روابط استخراج‌شده از شاخص‌های، مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا (RRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای میانگین (MBE) استفاده شد. نتایج نشان داد که هر سه رابطه رگرسیونی دقت بهتری نسبت به بهترین رابطه تجربی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه، یعنی رابطه اینگهام داشته‌اند. مقادیر شاخص‌های مذکور مربوط به رابطه رگرسیونی بین میزان نشت و دبی ورودی به نهر، به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱۹۵۴، ۰/۰۰۸۲ و ۰/۰۰۵۸ و در رابطه رگرسیونی بین میزان نشت و محیط خیس‌شده به‌ترتیب برابر با ۰/۲۱۱۳، ۰/۰۰۹۱، ۰/۰۰۵۸ به‌دست آمد. روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده برای انهاری با محدوده دبی بین ۳۰ تا ۳۹۰ لیتر در ثانیه معتبر است و در استفاده از این روابط در این منطقه برای دبی‌های خارج از این محدوده باید احتیاط کرد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، بازده انتقال، معادلات تجربی، منابع آب.

ارجاع: جلیلی س. ۱۴۰۲. بررسی روابط رگرسیونی برآورد تلفات نفوذ آب از انهار خاکی. مجله پژوهش آب ایران. ۵۰: ۶۹-۷۴.
<https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14281.2503>

۱- استادیار گروه مهندسی علوم آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

* نویسنده مسئول: sjalily@asnrukh.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴

مقدمه

انهار آبیاری بیشترین سهم را در انتقال و تنظیم مصارف آب کشاورزی دارند. باتوجه به روند افزایشی مصرف و محدودیت منابع آب، کاهش تلفات از انهار انتقال آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت فراوانی برخوردار است (اوی و نارجو، ۲۰۰۳). تلفات نفوذ و نشت از بدنه انهار، مهم‌ترین بخش تلفات در حین انتقال آب کشاورزی است (وانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ سن و همکاران، ۲۰۱۸). معمولاً تلفات تبخیر نسبت به تلفات نشت ناچیز بوده و از اهمیت کم‌تری برخوردار است (عسگر و اریک، ۲۰۰۹). برای جلوگیری از تلفات آب در انهار آبیاری، باید مواردی از قبیل رشد علف‌های هرز درون نهر، تجمع رسوب و زباله درون نهر، ترک‌خوردگی پوشش نهر، تخریب ناشی از کیفیت نامناسب مصالح استفاده‌شده، تخریب ناشی از مسائل اجرایی، تخریب ناشی از مسائل فرهنگی و اجتماعی و مسائل ناشی از بهره‌برداری و نگهداری، بررسی شود. نشت و نفوذ آب از بدنه نهرهای انتقال و توزیع آب، نه تنها باعث اتلاف منبع آب شیرین می‌شود، بلکه تهدیدی مهم برای مدیریت منابع آب است (اقبال، ۲۰۰۲). براساس تحقیقات انجام‌شده، انهار فاقد پوشش، ۵۰ درصد از میزان آب انتقالی خود را از طریق نشت از دست می‌دهند. علاوه بر تلفات آب در اثر نشت، از دلایل عمده اهمیت بررسی میزان نشت؛ می‌توان به کاهش کیفیت اراضی و خاک اطراف انهار انتقال و توزیع آب و تهدید محیط‌زیستی منطقه اشاره کرد. باتوجه به برخی مطالعات انجام‌شده در ایران، بازده انتقال و توزیع آب به‌طور متوسط در حدود ۶۰ درصد (مؤمن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷) و در گزارشی دیگر حدود ۶۸ درصد است (سپاسخواه و سالمی، ۲۰۰۴)؛ البته مطالعات نشان می‌دهد که اغلب تلفات در این بخش ناشی از تلفات نشت آب است (سپاسخواه و سالمی، ۲۰۰۴).

بازده انتقال آب در نهرهای توزیع آب در سطح دنیا به‌طور متوسط حدود ۷۰ درصد است (شهید و همکاران، ۱۹۹۶). رد و همکاران (۱۹۸۶) در تحقیقی مقدار تلفات انتقال آب از شبکه آبیاری لاسکاپ آفریقای جنوبی را ۳۳ درصد گزارش کردند. در تحقیق مؤمن‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) میزان تلفات نشت آب از انهار در سه نهر واقع در دشت کازرون به‌روش اندازه‌گیری ورودی-خروجی صورت گرفت که میزان تلفات در این سه نهر به‌ترتیب برابر با ۰/۱۷،

۰/۲۲۶ و ۰/۳۰۸ مترمکعب بر مترمربع در روز برآورد شد. پس از پوشش این انهار، میزان تلفات تا مقدار متوسط ۰/۰۳ مترمکعب بر مترمربع در روز کاهش یافت. همچنین، تلفات نشت از انهار در تحقیقات مختلف در حدود ۵۰ درصد در جنوب پاکستان (کاهلوون و کمپر، ۲۰۰۴)، بیش از ۴۰ درصد در منطقه‌ای در مکزیک (کینزلی و همکاران، ۲۰۱۰) و نزدیک به ۴۵ درصد در مرکز هند برآورد شده است (مارتین و گیتس، ۲۰۱۴) (به‌نقل از آذرگش و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعه‌ای دیگر توسط اشتو و الامیرو (۲۰۱۸) در انهار خاکی میزان تلفات آب از انهار در کانال‌های خاکی درجه یک برابر با ۰/۱۸ لیتر در ثانیه در متر مربع برآورد شد.

اروجلو و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که فعالیت‌های عملیاتی غیرقابل‌اعتماد و کم‌دقت منجر به عملکرد نامناسب انتقال و توزیع در انهار آبیاری شده است. بازده انتقال انهار در پاکستان، هند، ترکیه و مصر به‌ترتیب ۵۶، ۸۹، ۹۰ و ۸۷ درصد گزارش شده است (سلطان و همکاران، ۲۰۱۴) (به‌نقل از محمدی و همکاران، ۲۰۱۹). روش‌های برآورد تلفات نفوذ از بدنه انهار شامل روش صحرایی، روابط تجربی و روش‌های تئوری است. روابط تجربی زیادی در این زمینه وجود دارد، ولی تجربه نشان داده که ضرایب این روابط، با توجه به شرایط هر منطقه متفاوت است و باید برای شرایط محلی واسنجی شود (رستمیان و عابدی‌کوپایی، ۱۳۹۰).

محسن و محمد (۲۰۱۶) تلفات نشت را به روش ورودی-خروجی در بخشی از نهر اصلی و سه نهر توزیع آب پوشش‌شده در عراق اندازه‌گیری و با مقادیر برآوردشده حاصل از دو روش تجربی موریتس و دیویس-ویلسون مقایسه کردند و مقدار بازده انتقال در آن‌ها را به‌دست آوردند. نوری محمدیه و همکاران (۱۳۸۹) دقت معادلات تجربی اینگهام، موریتس، دیویس-ویلسون، مولس‌ورس، ینی‌دومیا و میسرا را نسبت به روش میدانی در سه نهر منتخب در دشت قزوین بررسی کردند. این پژوهشگران گزارش کردند که روش‌های میسرا و موریتس، دقت قابل‌قبولی در تخمین نشت در منطقه داشته و به‌عنوان روش‌های قابل‌اعتماد توصیه می‌شوند.

سالمی و سپاسخواه (۲۰۰۰) معادلات تجربی برآورد تلفات نفوذ آب از بدنه انهار خاکی را در یکی از شبکه‌های آبیاری اصفهان ارزیابی کردند. آن‌ها از بین روابط

(P)، شعاع هیدرولیکی (R) و عمق هیدرولیکی (D) بررسی شد. برای استخراج روابط رگرسیونی، از ۷۰ درصد داده‌ها که مربوط به دو سری اندازه‌گیری در ۹ نهر منتخب منطقه مورد مطالعه است، استفاده شد. صحت‌سنجی روابط رگرسیونی با استفاده از ۳۰ درصد داده‌ها که مربوط به اندازه‌گیری در نوبت سوم و مربوط به همان انهار است، صورت گرفت و با رابطه تجربی اینگهام (معادله (۱)) که بهترین رابطه تجربی منتخب حیدری‌زاده و سالمی (۱۳۹۳) در منطقه مورد مطالعه است، مقایسه شد.

$$q = 0.55 C P L (10^{-6}) H^{0.5} \quad (1)$$

در این معادله، q میزان نشت در طول نهر (m^3/s)، H عمق جریان آب در نهر (m)، P محیط خیس‌شده (m) و L طول نهر (m) است. C ضریبی است که بسته به نوع خاک بین ۱/۵ تا ۵/۵ متغیر است.

برای ارزیابی دقت روابط استخراج‌شده از شاخص‌های مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا (RRMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای میانگین (MBE) استفاده شد (حیدری‌زاده و سالمی، ۱۳۹۳).

مقدار RRMSE بیانگر میزان خطای برآورد متغیرها نسبت به مقدار مشاهداتی است که براساس جذر مربعات خطا محاسبه می‌شود و معادله آن به شرح زیر است:

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \left(\frac{S_p - S_o}{S_o} \right)^2} \quad (2)$$

S_p مقدار تلفات نشت محاسبه‌شده، S_o مقدار نشت اندازه‌گیری‌شده و n تعداد نهرهای اندازه‌گیری‌شده است. آماره MAE نیز از معادله (۳) محاسبه شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |S_p - S_o| \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum (S_o - S_p) \quad (4)$$

تفاوت مقدار محاسبه‌شده در مرحله صحت‌سنجی که با هریک از روابط رگرسیونی به‌دست آمده است، با مقادیر اندازه‌گیری‌شده، با استفاده از شاخص‌های آماری RRMSE و MAE نمایان می‌شود. هرچه مقادیر این دو آماره کوچک‌تر باشد، رابطه رگرسیونی در برآورد نشت از انهار مورد مطالعه دقت بالاتری خواهد داشت. همچنین، شاخص MBE مقداری مثبت یا منفی خواهد بود که به‌ترتیب نشانگر کم‌برآوردی یا بیش‌برآوردی مقدار تلفات نشت است. پارامترهای به‌کاررفته در معادلات (۲) تا (۴) در پاراگراف قبل معرفی شده است.

تجربی، رابطه دیویس-ویلسون را به‌عنوان مناسب‌ترین رابطه معرفی کردند. همچنین این دو محقق در تحقیقی دیگر، مقادیر تلفات آب در تعدادی از انهار خاکی منطقه رودشت اصفهان را اندازه‌گیری و رابطه اینگهام را برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد دادند. نیوتن و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی، مقدار تلفات آب را برای یک نهر خاکی به طول ۸/۲ کیلومتر، ۲۵ درصد اندازه‌گیری کرد.

بکری و اواد (۱۹۹۷) میزان تلفات نفوذ آب را در انهار منتخب با دبی بین ۲ تا ۲۰ متر مکعب بر ثانیه در کشور مصر بررسی و رابطه رگرسیونی بین میزان تلفات نفوذ از بدنه این انهار با دبی، محیط خیس‌شده و عمق هیدرولیکی ارائه کردند. در تحقیقی دیگر، کینزلی و همکاران (۲۰۱۰) میزان تلفات نفوذ آب از انهار آبیاری را اندازه‌گیری کرده و رابطه‌ای رگرسیونی براساس سرعت جریان و مشخصات هندسی نهر ارائه کردند. همچنین موتما و ژاوو (۲۰۲۲) در تحقیقی بیان داشتند که مشخصات مقطع نهر، همراه با ویژگی‌های مشتق‌شده از آن مانند محیط خیس‌شده و سطح خیس‌شده، تأثیر قابل‌توجهی بر تلفات آب دارد. هدف این تحقیق بررسی رابطه رگرسیونی موجود بین دبی نشت از انهار خاکی با مشخصات هیدرولیکی و جریان است.

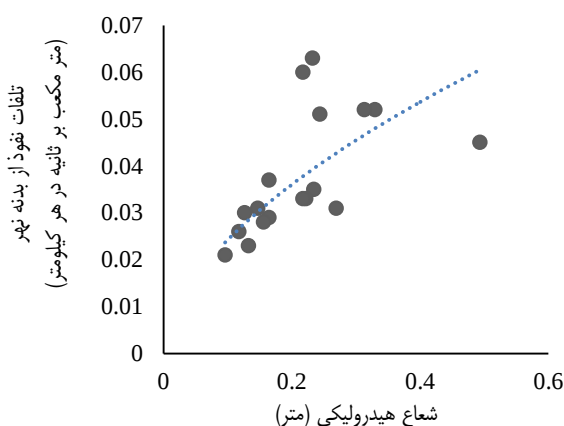
مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی توانایی روابط رگرسیونی در برآورد میزان تلفات نفوذ آب از انهار خاکی، اطلاعات مربوط به انهار مورد مطالعه توسط سالمی و سپاسخواه (۱۳۸۵) استفاده شد. این داده‌ها مربوط به منطقه‌ای واقع در شرق حوضه زاینده‌رود است. داده‌های مطالعه مذکور، از اندازه‌گیری مستقیم دبی ورودی و خروجی و مشخصات هندسی و هیدرولیکی انهار خاکی، همچون شکل و ابعاد مقطع نهر و عمق آب به‌دست آمده است. ۹ نهر خاکی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شده و برای برآورد نشت آب، دبی جریان در ابتدا و انتهای بازه موردنظر اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری دبی با استفاده از روش اندازه‌گیری سرعت جریان آب با میکرومولینه صورت گرفت و درنهایت با دردست‌داشتن سطح مقطع جریان، دبی محاسبه شده است.

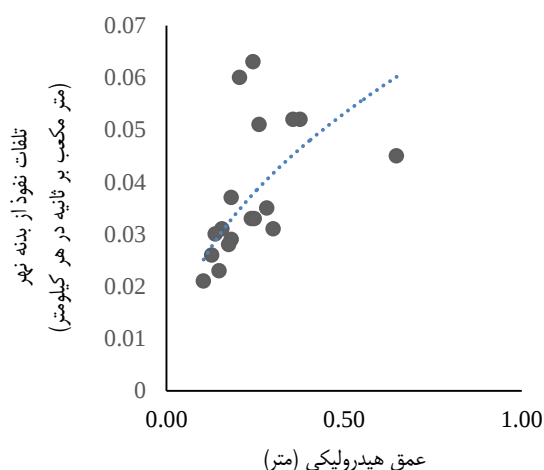
در تحقیق حاضر، رابطه رگرسیون غیرخطی بین دبی نشت (S)، با دبی ورودی به نهر (Q)، محیط خیس‌شده

نتایج و بحث

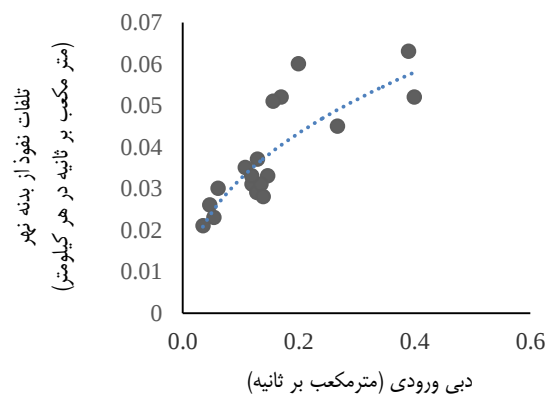
مطالعه حاضر در تکمیل مطالعات سالمی و سپاسخواه (۱۳۸۵) و حیدری زاده و سالمی (۱۳۹۳) که در آن، مقدار تلفات نفوذ آب از بدنه انهار خاکی واقع در شرق حوضه زاینده رود با استفاده از روابط تجربی و تئوری برآورد شده، است. در این تحقیق برای پیش‌بینی نشت آب، معادلات عملی ساده‌تری که مناسب شرایط منطقه موردنظر است، ارائه شده است. بدین ترتیب، چهار معادله رگرسیونی باتوجه به اطلاعات موجود استخراج شد. در شکل‌های ۱ تا ۴ نمودارهای مربوط به رابطه تلفات نفوذ آب از بدنه انهار خاکی به ترتیب با دبی ورودی به نهر، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی، نشان داده شده است.



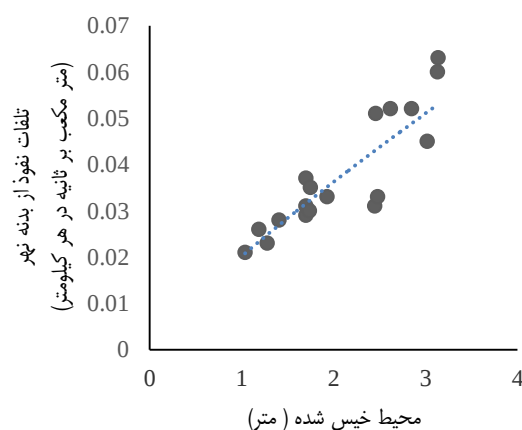
شکل ۳- رابطه بین تلفات نفوذ آب از بدنه نهر و شعاع هیدرولیکی



شکل ۴- رابطه بین تلفات نفوذ آب از بدنه نهر و عمق هیدرولیکی



شکل ۱- رابطه بین تلفات نفوذ آب از بدنه نهر و دبی ورودی



شکل ۲- رابطه بین تلفات نفوذ آب از بدنه نهر و محیط خیس شده

در جدول ۱ روابط رگرسیونی استخراج شده نشان داده شده است. روابط فوق برای انهار با محدوده دبی‌های بین ۳۰ تا ۳۹۰ لیتر در ثانیه (مقادیر اندازه‌گیری شده در تحقیق سالمی و سپاسخواه، ۱۳۸۵) معتبر است و در استفاده از این روابط برای دبی‌های خارج از این محدوده در این منطقه باید احتیاط کرد.

جدول ۱- روابط رگرسیونی بین مقادیر تلفات نفوذ از بدنه انهار خاکی و مشخصات هیدرولیکی جریان

مشخصه معادله	معادله	(R ²)
دبی	$S = 0.0853 Q^{0.421}$	۰/۶۹
محیط خیس شده	$S = 0.0202 P^{0.8453}$	۰/۷۸
شعاع هیدرولیکی	$S = 0.0908 R^{0.5736}$	۰/۳۸
عمق هیدرولیکی	$S = 0.074 D^{0.477}$	۰/۲۹

نتیجه‌گیری

بحران آب و مدیریت و برنامه‌ریزی آن مستلزم طراحی دقیق همه اجزای سامانه‌های توزیع و مصرف آب است. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات اندازه‌گیری تلفات نفوذ و نشت انهار خاکی در منطقه شرق حوضه زاینده‌رود، روابط رگرسیونی برای برآورد این تلفات استخراج شد. نتایج تحقیق حاضر نشان‌دهنده دقت مناسب این روابط نسبت به سایر روابط تجربی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه است؛ بنابراین توصیه می‌شود که در این منطقه برای برآورد میزان تلفات نشت آب، از روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده استفاده شود؛ البته در استفاده از این روابط، بهتر است محدوده دبی ورودی به انهار کنترل و سپس از این روابط استفاده شود.

منابع

۱. حیدری‌زاده مو، سالمی ج. ر. ۱۳۹۳. بررسی کاربرد معادله تجربی اینگهام و معادله تئوری ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال‌های منطقه رودشت اصفهان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸(۴): ۷۰۳-۷۱۲.
۲. رستمیان ر. و عابدی کوپایی ج. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل نرم‌افزاری SEEP/W در برآورد میزان نشت آب از کانال‌های خاکی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود). علوم آب و خاک. ۱۵(۵۸): ۱۳-۲۲.
۳. سالمی ج. و سپاسخواه ع. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱: ۲۹-۴۲.
۴. نوری محمدیه م. سهرابی ت. و رحیمی ج. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های تجربی تعیین نشت در کانال‌های خاکی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله پژوهش آب ایران. ۴(۷): ۱۲۵-۱۲۸.
5. Askar K. and Eric L. 2009. Evaluation canal lining projects in the lower Rio Grande Valley of Texas. Texas Water Resources Institute. Technical Report. 33 p.
6. Azargashb S. Mehdy Hashemy Shahdany M. and Abbas Roozbahani A. 2021. Minimization of Operational and Seepage Losses in Agricultural Water Distribution Systems Using the Ant Colony Optimization. Water Resources Management. 35: 827-846.
7. Bakry M. and Awad A. A. E. M. 1997.

در جدول ۲ مقادیر دو شاخص ارزیابی RRMSE و MAE مربوط به چهار رابطه رگرسیونی استخراج‌شده برای برآورد میزان تلفات نفوذ آب از بدنه انهار خاکی، آمده است. نتایج نشان داد که مقادیر مشخصه‌های RRMSE و MAE برای رابطه رگرسیونی با متغیر مستقل دبی، کم‌ترین میزان را داشته است؛ بنابراین استفاده از این رابطه بهترین برآورد را نتیجه خواهد داد. همچنین با توجه به مقادیر مثبت آماره MBE می‌توان نتیجه گرفت که در همه معادلات استخراج‌شده، میانگین داده‌های برآوردشده، برآورد کم‌تری نسبت به مقادیر مشاهده‌ای نشان داده است.

جدول ۲- صحت‌سنجی روابط رگرسیونی استخراج‌شده از اطلاعات تلفات نفوذ از بدنه انهار خاکی

متغیر مستقل رابطه	RRMSE	MAE	MBE
دبی	۰/۱۹۵۴	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۵۸
محیط خیس‌شده	۰/۲۱۱۳	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۵۸
شعاع هیدرولیکی	۰/۲۱۸۴	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۰۷
عمق هیدرولیکی	۰/۲۳۳۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۸

مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعه حیدری‌زاده و سالمی (۱۳۹۳) نشان می‌دهد که به‌جز رابطه رگرسیونی مربوط به عمق هیدرولیکی (رابطه چهارم) هر سه رابطه رگرسیونی دقت بهتری نسبت به بهترین رابطه تجربی مورد مطالعه آن‌ها، یعنی رابطه اینگهام داشته است. همچنین اگرچه در مقایسه با روش تئوری ودرنیکو، دقت برآورد سه رابطه مذکور، پایین‌تر است، اما تفاوت شاخص‌های آماری قابل‌ملاحظه نیست؛ بنابراین با توجه به مطالعات انجام‌شده قبلی و مقایسه آن با روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده در این تحقیق، توصیه می‌شود که در صورت کاربرد روابط تجربی برای برآورد مقدار تلفات نفوذ و نشت از انهار خاکی در این منطقه، از این روابط، به‌جای روابط تجربی مرسوم استفاده شد. در همین خصوص سلماسی و آبراهام (۲۰۲۰) نیز در تحقیقی به پیش‌بینی نشت از انهار خاکی با استفاده از روش اجزای محدود و نیز رگرسیون غیرخطی چندمتغیره پرداختند که نتایج آن‌ها نیز نشان از دقت بالای روابط رگرسیونی حاصل داشته است.

- distribution systems within fuzzy decision-making approaches. *Sci. Total Environ.* 627: 1363-1376
20. Reid P. Davidson D. and Koize T. 1986. A note on practical methods of improving the conveyance efficiency on a government irrigation scheme. *Water-SA.* 12(2): 8991.
 21. Salemi H. R. and Sepaskhah A. R. 2000. Modification of empirical equation for seepage loss estimation in small earth canals. *Iran. J. Sci. Technol.* 25(B4): 61-66
 22. Salmasi F. and Abraham J. 2020. Predicting seepage from unlined earthen channels using the finite element method and multi variable nonlinear regression. *Agricultural Water Management*, 234, 106148. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106148>
 23. Sen R. Fahmida M. and Milufarzana A. I. 2018 Determination of conveyance loss through earthen channel by cutthroat flume. *International Journal of Hydraulic Engineering.* 7(1): 11–14.
 24. Sepaskhah A. R. and Salemi H. R. 2004. An empirical model for prediction of conveyance efficiency for small earth canals. *Iranian J. Sci. Tech.* 28: 623-628.
 25. Shahid B. A. Shakir A. S. and Bodla M. A. 1996. Review of seepage losses of unlined and lined canals inside and outside Pakistan, *IWASRI.* 167: 20-26.
 26. Sultan T. Latif A. Shakir A. S. Kheder K. and Rashid M. U. 2014. Comparison of water conveyance losses in unlined and lined watercourses in developing countries. *University of Engineering and Technology Taxila. Tech. J.* 19 (2): 23-27.
 27. Wang H. Liu C. and Zhang L. 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. *Advances in Agronomy.* 75: 135-171.
 - Practical estimation of seepage losses along earthen canals in Egypt. *Water Resources Management.* 11(3): 197-206.
 8. Eshetu B. D. and Alamirew T. 2018. Estimation of Seepage Loss in Irrigation Canals of Tendaho Sugar Estate, Ethiopia. *Irrigat Drainage Sys Eng* 7: 220. doi: 10.4172/2168-9768.1000220
 9. Iqbal Z. Maclean B. D. Talor F. J. Hecker and Bennett D.R. 2002. Seepage Losses from Irrigation Canals in southern Alberta. pp. 121-127.
 10. Ivy D. and Narejo D. 2003. Canal lining with HDPE. *GFR.* 21(5):1-4.
 11. Kahlow N. M. A. and Kemper W.D. 2004. Seepage losses as affected by condition and composition of channel banks. *Agric Water Manag.* 65(2): 145-153
 12. Kinzli K. D. Martinez M. Oad R. Prior A. and Gensler D. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district. *Agric. Water Manage.* 97(6): 801–810.
 13. Martin C. A. and Gates T. K. 2014. Uncertainty of canal seepage losses estimated using flowing water balance with acoustic Doppler devices. *J Hydrol.* 517: 746-761.
 14. Mohammadi A. Rizi A. P. and Abbasi N. 2019. Field measurement and analysis of water losses at the main and tertiary levels of irrigation canals: Varamin Irrigation Scheme, Iran. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00646
 15. Mohsen M. H. and Mohammed O. I. 2016. Compared between the measured seepage losses and estimation and evaluated the conveyance efficiency for part of the Hilla main canal and three distributary canals (HC 4R, HC 5R and HC 6R) of Hilla-Kifil irrigation project. *Civil and Environmental Research.* 8(2): ISSN 2224–5790.
 16. Momenzadeh M. Shahrokhnia M.A. and Bayat M.E. 2017. The Evaluation of Water Leakage in the Irrigation Channels of Kazeroon Plain Using the Input Method of Discharge and Experimental Formulas. *Irrigat Drainage Sys Eng.* 6: 198. doi: 10.4172/2168-9768.1000198
 17. Mutema M. and Dhavu K. 2022. Review of factors affecting canal water losses based on a meta-analysis of worldwide data. *Irrigation and Drainage.* 71(3): 559-573.
 18. Newton D. and Perle M. 2006. Irrigation district water efficiency cost analysis and prioritization. DWA final report. USBR.
 19. Orojloo M. Hashemy Shahdany S. M. Roozbahani A. 2018. Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and