

بررسی تأثیر شیب جانبی در دبی نشت از کانال‌های خاکی با استفاده از مدل آزمایشگاهی و برنامه‌ریزی بیان ژن

آیدا فرضی مرادی^{۱*}، داوود فرسادی‌زاده^۲ و اکرم عباسپور^۳

چکیده

نشت از کانال‌های خاکی، بخش عمده اتلاف آب در طرح‌های آبیاری را شامل می‌شود. در این پژوهش، تأثیر شیب جانبی در دبی نشت از کانال‌های خاکی با سطح مقطع دوزنقه با مدل آزمایشگاهی و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) بررسی شد. شیب جانبی کانال (z)، عمق آب (y) و ضریب هدایت هیدرولیکی خاک (k) به عنوان پارامترهای متغیر در نظر گرفته شد. برای این منظور آزمایش‌هایی بر روی مدل آزمایشگاهی کانال خاکی انجام گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری دبی نشت در آزمایشگاه نشان داد که دبی نشت رابطه مستقیمی با شیب جانبی کانال ندارد. در کانال‌های خاکی کوچک و کم‌عرض با افزایش شیب جانبی ابتدا دبی نشت کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه نشت دارای ویژگی‌های محلی منحصر به فرد است، مقطع دوزنقه با شیب $z=2$ در محدوده $1/5 < z < 2/5$ حداقل دبی نشت را دارد. همچنین مدل GEP عملکرد خوبی در شبیه‌سازی دبی نشت بر اساس همه پارامترها داشته است. معادله‌ای که با GEP حاصل شد، تابعی صریح و دقیق است که با کاربرد آن می‌توان تلفات نشت از کانال‌های خاکی را در شرایط مشابه محاسبه کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بیان ژن، دبی نشت، شیب جانبی، کانال خاکی.

ارجاع: فرضی مرادی آ. فرسادی‌زاده د. و عباسپور ا. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر شیب جانبی در دبی نشت از کانال‌های خاکی با استفاده از مدل آزمایشگاهی و برنامه‌ریزی بیان ژن. مجله پژوهش آب ایران. ۳۰: ۸-۱.

1- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

2- استاد گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

3- دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

*نویسنده مسئول: aydafarzimoradi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: 1394/12/01

تاریخ دریافت: 1392/09/12

مقدمه

در محدوده $0 < z < 5$ کانال‌های دوزنقه‌ای را بررسی کرد و نتایج بررسی به صورت نموداری نشان می‌دهد هنگامی که کانال باریک و کم‌عرض باشد، در شیب جانبی $z=0$ (کانال مستطیلی) دبی نشت بیشترین مقدار را دارد. از شیب $z=0/598$ تا $z=1/244$ دبی نشت روند کاهشی دارد و با افزایش شیب از $z=1/5$ تا $z=5$ دبی نشت دوباره افزایش می‌یابد. چاهار (۲۰۰۷)، از روش تحلیلی دقیقی برای ارزیابی میزان نشت از یک کانال دوزنقه‌ای استفاده کرد. او بیان کرد که این روش برای تعیین میزان نشت و یا تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از کانال‌های چندضلعی مؤثر است. سوامی و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از هیدوگراف معکوس^۱ و نگاشت همدیس^۲ راه‌حل تحلیلی برای محاسبه نشت در یک کانال مستطیلی هنگامی که لایه زهکش در عمق محدودی قرار دارد، ارائه دادند. آن‌ها با استفاده از راه‌حل به دست آمده برای کانال مستطیلی و راه‌حل‌های تحلیلی موجود برای کانال‌های مثلثی و دوزنقه‌ای، معادلات جبری ساده شده‌ای را برای محاسبه تلفات نشت از این کانال‌ها با یک لایه زهکش واقع در عمق کم، به دست آوردند که جایگزینی مناسب برای انتگرال‌های پیچیده و دشوار است. همچنین با استفاده از معادلات اتلاف نشت و معادله عمومی جریان یکنواخت، معادلات صریح و ساده شده‌ای برای طراحی مقطع با حداقل تلفات نشت با به کار بردن روش‌های بهینه‌سازی غیرخطی، برای هر سه شکل کانال به دست آوردند. با توجه به اینکه در بیشتر مطالعات تحقیقاتی و روابط تجربی حاصل تأثیر پارامترهایی مانند هدایت هیدرولیکی، فاصله تا سطح ایستابی، سرعت جریان آب در کانال و عمق آب کانال بررسی شده است و با در نظر گرفتن اینکه شیب جانبی، از مهم‌ترین پارامترهای هندسی کانال‌های دوزنقه‌ای است، هدف در این پژوهش، بررسی اثر تغییرات شیب جانبی کانال روی دبی نشت است. کینزلی و همکاران (۲۰۱۰)، مراحل اندازه‌گیری تلفات نشت کانال‌های آبیاری حوضه پهناور Rio Grande را با استفاده از سرعت‌سنج اکوستیک داپلر (ADCP) بررسی کرده و معادلات پیش‌بینی شده‌ای را برای تعیین نشت از این کانال‌ها بر اساس سرعت جریان و هندسه کانال ارائه دادند. محمود (۲۰۱۱)، با استفاده از روش توابع نامعین لاگرانژ و برنامه کامپیوتری، ابعاد بهینه

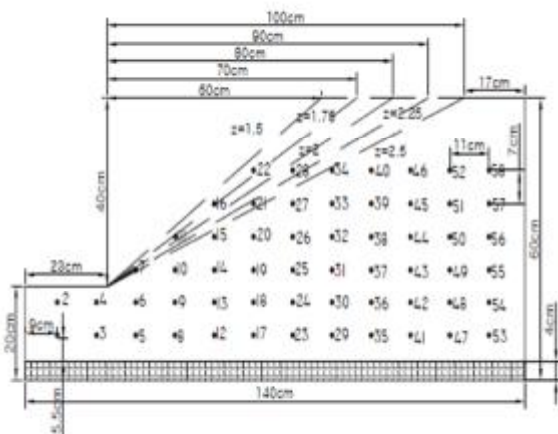
از مهم‌ترین مسائلی که کانال‌های خاکی با آن مواجه هستند، اتلاف یا نشت آب از بدنه کانال است که باید از لحاظ طراحی مورد توجه قرار گیرد. بنابر مشاهدات به عمل آمده و گزارش‌های موجود، درصد نشت در کانال‌های کوچک و نه‌رهای مزرعه در شرایط عادی بیشتر از مقدار آن در کانال‌های بزرگ انتقال آب است. به عنوان نمونه در کانال‌هایی که دبی کانال بین ۳۰ تا ۴۰ لیتر بر ثانیه است، هدر رفتن آب از طریق نشت و مصرف آن توسط گیاهان آب‌دوست، حدود ۲۰ درصد در ۱/۶ کیلومتر گزارش شده است (کراتز، ۱۹۷۷). کانال‌های آبیاری خاکی که در خاک‌های نفوذپذیر احداث شده‌اند، مقادیر قابل توجهی آب را از طریق بستر و دیواره‌های کانال هدر می‌دهند که کاهش بازده انتقال آب را در پی خواهد داشت. تحقیقات نشان می‌دهد این تلفات سهم قابل توجهی از کل حجم آب قابل استفاده را شامل می‌شود (شهید و همکاران، ۱۹۹۶). وندرلین و همکاران (۱۹۹۰)، طی تحقیقاتی که انجام دادند، دریافتند اتلاف آب به دلیل نشت در کانال‌های پوشش نشده، حدود ۱۵ تا ۴۵ درصد از کل حجم آب موجود در کانال را شامل می‌شود. بهراملو (۱۳۹۰)، میزان نشت آب در کانال‌های آبیاری با پوشش سنگی در مناطق سردسیر، در استان همدان را بررسی کرد. مقدار نشت آب به روش ورودی- خروجی اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج تحقیقات مقدار نشت آب از کانال‌های انتخابی، به طور متوسط $0/34$ مترمکعب در متر مربع در روز، معادل ۲۰ درصد تلفات از پوشش بتنی منطقه تعیین شد. با کاربرد پوشش سنگی به جای بتن سالانه $6/4$ میلیون مترمکعب در استان همدان از تلفات آب کاسته می‌شود. برای پیدا کردن روش مناسب محاسبه دبی نشت در کانال تلاش‌های فراوانی به عمل آمده است؛ ولیکن متأسفانه در این زمینه روش کاملاً دقیقی ارائه نشده است. سوبرامانیا (۱۹۹۰) مطالعاتی را روی دبی نشت در کانال خاکی دوزنقه‌ای در حالتی که دیواره‌های جانبی بدون پوشش و کف کانال دارای پوشش باشد، انجام داد. نمودار تغییرات بی‌بعد دبی نشت نسبت به β (زاویه دیواره جانبی کانال نسبت به خط افق) نشان داد که شیب جانبی در دبی نشت تأثیر فراوان دارد؛ به طوری که هر قدر β کمتر باشد دبی نشت بیشتر می‌شود. سوامی (۱۹۹۴) تغییرات دبی نشت نسبت به عرض بستر در محدوده $0 < b < 40$ ، و شیب جانبی

1- Inverse hodograph

2- Conformal mapping

- شیب جانبی کانال (z)
- عمق آب در کانال (y)
- هدایت هیدرولیکی (k)

جدول ۱ مشخصات پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱- طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی و محل قرارگیری پیزومترها

جدول ۱- مشخصات پارامترهای مورد بررسی

y(m)	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
z	۱/۵	۱/۷۵	۲	۲/۲۵	۲/۵
K(cm/s)	$9/8 \times 10^{-3}$	$5/1 \times 10^{-3}$	$4/31 \times 10^{-4}$		

مشخصه‌های خاک

تاکنون هیچ استاندارد برای جنس بستر کانال‌های خاکی تعریف نشده است و تنها معیاری که در نظر گرفته می‌شود GC (شن رسی - مخلوط شن و ماسه و رس) است؛ یعنی خاکی که بیش از ۵۰ درصد بخش درشت‌دانه آن از الک شماره ۴ ($4/75$ میلی‌متر)، درشت‌تر است و بیش از ۱۲ درصد ذرات خاک از الک شماره ۲۰۰ عبور می‌کند. چون شن مقاومت برشی بالایی دارد و در برابر نیروهای وارده به بدنه کانال پایدارتر است و رس نیز همان‌طور که قبلاً گفته شد نفوذپذیری کمی دارد و از اتلاف آب در کانال‌های خاکی جلوگیری می‌کند. در این تحقیق با در نظر گرفتن ابعاد و مقاومت بدنه مدل و با توجه به اینکه آزمایش‌ها در مقیاس کوچک صورت می‌گیرد، به جای شن از ماسه درشت که بیش از ۵۰ درصد ذرات آن از الک شماره ۴ عبور می‌کند، استفاده شده است. برای شناسایی بهتر خاک مورد مطالعه و بالا رفتن دقت در تحقیق،

کانال با کمترین تلفات نشت را طراحی کرد و تابع غیرخطی اتلاف آب را برای کانال که شامل تلفات ناشی از نشت و تبخیر- تعرق است، به دست آورد. رستمیان و عابدی کویایی (۱۳۹۰)، توانایی مدل نرم‌افزاری SEEP-W، برای تخمین میزان نشت آب در تعدادی از کانال‌های خاکی پایین‌دست سد زاینده‌رود را بررسی و با روش‌های تجربی مقایسه کردند. نتایج به دست آمده مبین توانایی بالای مدل SEEP-W در تخمین میزان نشت آب از کانال‌های خاکی منطقه مورد مطالعه و ضعف معادلات تجربی بود.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

برای اندازه‌گیری نشت در کانال خاکی، از مدل فیزیکی مخزن نشت و زهکش^۱ استفاده شد که شامل محفظه خاک از جنس پلکسی‌گلس به طول ۱۴۰، ارتفاع ۷۰ و عرض ۲۰ سانتی‌متر است. آب مورد نیاز از مخزنی در پایین، توسط پمپی با دبی ۵ تا ۳۵ لیتر بر دقیقه، که کنار همان مخزن قرار دارد، تأمین می‌شود. دو مخزن آب در ابتدا و انتهای مدل قرار دارد که به وسیله لوله تعبیه شده در وسط آن‌ها تنظیمات عمق آب درون کانال انجام می‌پذیرد. دو صفحه مشبک به همراه توری ریز و فیلتر چسبانده شده روی آن‌ها، در ابتدا و انتهای مدل قرار می‌گرفت تا آب به آرامی وارد کانال شده و از اغتشاش جریان ورودی و تخریب بدنه کانال جلوگیری به عمل آید. تعداد ۵۸ پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار آب منفذی درون خاک، روی بدنه مدل قرار دارد. فاصله افقی و عمودی پیزومترها به ترتیب ۱۱ و ۷ سانتی‌متر است. همچنین برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون پیزومترها و مسدود شدن آن‌ها، در دهانه ورودی هر یک از پیزومترها فیلتر نصب شد. شکل ۱ طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی و محل نصب پیزومترها را نشان می‌دهد.

پارامترهای مؤثر روی دبی نشت

دبی نشت از کانال خاکی به ازای مقادیر مختلف پارامترهای هیدرولیکی اندازه‌گیری شد. این پارامترها عبارتند از:

تقریباً به حالت ماندگار رسید. سپس دبی نشت با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری گردید و این عمل تا ثابت شدن دبی نسبت به زمان و برقراری جریان ماندگار ادامه می‌یابد. با اتمام آزمایش و محاسبه دبی نشت در اولین عمق، سطح آب در کانال از طریق لوله ورودی در سایر عمق‌ها تنظیم شد و تمام مراحل به همان روشی که برای عمق ۳۰ سانتی‌متر شرح داده شد، برای عمق‌های دیگر نیز صورت گرفت. با پایان یافتن آزمایش برای اولین شیب جداره، آب محتوی کانال را تخلیه کرده و دومین شیب تنظیم شد. آزمایش‌ها برای هر نمونه خاک در پنج شیب جانبی و در پنج عمق آب در کانال صورت گرفته است که مجموعاً ۷۵ آزمایش را شامل می‌شود.

روش اندازه‌گیری دبی نشت

دبی خروجی از بدنه کانال که با لوله به داخل مخزن تخلیه می‌شود، به وسیله استوانه مدرج و کرنومتر به روش حجمی اندازه‌گیری می‌شود. با تغییر ارتفاع آب در کانال، آب خروجی به داخل مخزن دچار نوسان می‌شود. به‌منظور اطمینان از رسیدن جریان به حالت ماندگار چند دبی در زمان‌های گوناگون برداشت که با ثابت شدن دبی نسبت به زمان از برقراری جریان ماندگار اطمینان حاصل می‌شود.

روش تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی نمونه‌های خاک کانال

هدایت هیدرولیکی هر یک از سه نمونه خاک کانال، از معادله داری محاسبه شد. به این ترتیب که در هر نمونه پس از اندازه‌گیری و برآورد دبی نشت به روش حجمی و قرائت ارتفاع آب در پیژومترها، مسیر تقریبی خط نشت مشخص و هدایت هیدرولیکی متوسط از این طریق محاسبه شد:

$$Q = K_m I_m A_m = K A_m \frac{\Delta H_m}{L_m} \quad (1)$$

در این معادله، Q دبی نشت که به روش حجمی محاسبه شده است؛ I_m گرادیان هیدرولیکی متوسط بین پیژومترها در هر نمونه خاک؛ L_m فاصله افقی متوسط بین پیژومترها؛ K_m هدایت هیدرولیکی متوسط نمونه خاک؛ A_m سطح مقطع متوسط خاک که جریان نشت از آن عبور می‌کند؛ ΔH_m میانگین افت انرژی بین پیژومترها در مسیر جریان نشت است. با اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی برای سه نمونه خاک تهیه شده، مشخص می‌شود که نمونه‌ها از

آزمایش‌هایی روی خاک انجام شد که شامل آزمایش دانه‌بندی و آزمایش پروکتور استاندارد است. طبق تعریف رده‌بندی خاک در سیستم یونیفاید، خاک مورد مطالعه از نوع SP (ماسه با دانه‌بندی بد- ماسه شنی بدون یا با مقدار کم ذرات ریز) است که به علت داشتن مواد ریزدانه بسیار کم، جزو خاک‌های نفوذپذیر محسوب می‌شود. به همین دلیل با اضافه کردن نسبت‌های مختلف رس برای کاهش نفوذپذیری خاک، سه نمونه از مخلوط خاک ماسه‌ای و رس با ضریب هدایت هیدرولیکی متفاوت برای بررسی پدیده نشت و اندازه‌گیری آن تهیه شد.

اجرای کانال و روش انجام آزمایش‌ها

قبل از آن که خاک در مدل نشت و زهکش ریخته شود، کف مدل با لایه‌ای از رس به ارتفاع چهار سانتی‌متر برای ایجاد بستری طبیعی و نفوذناپذیر برای کانال، پوشانده می‌شود. سپس نمونه خاک بعد از ترکیب با رس به‌صورت لایه‌های ۱۰ سانتی‌متری در مدل ریخته شده و با توجه به درصد رطوبت بهینه و با استفاده از صفحه تخت و چکش ۵/۵ پوندی متراکم می‌شود. پس از متراکم شدن خاک بدنه کانال و حفر کانال با اولین شیب جانبی در مدل نشت و زهکش، جریان آب توسط پمپی با دبی ۵ تا ۳۵ لیتر بر دقیقه برقرار می‌شود و آب را به وسیله لوله ورودی از مخزن اصلی ذخیره آب به مخزن واقع در ابتدای مدل منتقل می‌کند. تراز آب کانال از طریق لوله ورودی تنظیم می‌شود و در اولین عمق (۳۰ سانتی‌متر از بستر کانال) قرار می‌گیرد. لوله خروجی واقع در مخزن انتهایی کانال که به‌منظور تخلیه آب خروجی از بدنه کانال تعبیه شده است نیز در همان عمق قرار می‌گیرد. با توجه به این که جریان در بدنه کانال‌های خاکی در شرایط واقعی بعد از مدتی به حالت اشباع می‌رسد، جریان آب پمپ شده به داخل کانال به طور مداوم تا ۲۴ ساعت برقرار شد. در این زمان خاک بدنه کانال فرصت کافی برای اشباع شدن را دارد. سپس سطح تراز آب در مخزن انتهایی کانال با لوله خروجی به صفر می‌رسد؛ چون در آزمایش‌های سطح آب زیرزمینی در نظر گرفته نشده است. این عمل بسیار آهسته و با فاصله زمانی، طی چند مرحله انجام می‌شود تا از تخریب و گسیختگی احتمالی بدنه کانال جلوگیری شود. بلافاصله پس از آن که تراز آب به صفر رسید، دبی نشت اندازه‌گیری شد. پس از گذشتن مدت زمانی، دبی نشت

نوع خاک لای و ماسه هستند.

Matlab و VHDL را دارد. مشخصات برنامه‌ریزی بیان ژن در این تحقیق مطابق جدول ۲ است.

برنامه‌ریزی بیان ژن پس از برازش داده‌های ورودی، نتایج خروجی را به صورت کد ریاضی که به زبان‌های مختلف برنامه‌نویسی مانند C، Java، C++، Matlab، Fortran و برخی زبان‌های دیگر قابل ترجمه است، بیان می‌کند در این تحقیق از زبان برنامه‌نویسی Matlab استفاده شده است. مجموعه توابع مورد استفاده در مدل مربوطه شامل $(\times, \div, \sqrt{\quad})$ می‌باشد. علت انتخاب این توابع، بر اساس سادگی معادله به دست آمده و روابط تجربی پیشین در این زمینه می‌باشد.

کاربرد برنامه‌ریزی بیان ژن در مورد نشت از کانال

در تحقیق حاضر از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های نشت از کانال استفاده شد. برنامه یاد شده بر اساس برنامه‌ریزی صریح ژنتیک (GEP) استوار و ابزاری بسیار منعطف برای پیش‌بینی است. این نرم‌افزار برای به دست آوردن توابع مختلف، کلاس‌بندی کردن و پیش‌بینی سری‌های زمانی و سنتز منطقی طراحی شده است و توانایی ترجمه مدل به دست آمده به شازده زبان برنامه‌نویسی مختلف از جمله جاوا، C و زبان‌های تخصصی

جدول ۲- مشخصات برنامه‌ریزی بیان ژن در این تحقیق

مقدار عددی	معیار مورد نظر
۸	اندازه سر (Head Size)
۳۰	کروموزوم‌ها (Chromosome)
۳	تعداد ژن‌ها در هر کروموزوم (Number of Genes)
۰/۰۴۴	نرخ جهش (Mutation Rate)
۰/۱	نرخ وارون‌سازی (Inversion Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب تک نقطه‌ای (One-Point Recombination Rate)
۰/۳	نرخ ترکیب دو نقطه‌ای (Two-Point Recombination Rate)
۰/۱	نرخ ترکیب ژن (Recombination Rate Gene)
۰/۱	نرخ ترانزپوزیشن درج متوالی (IS Transposition Rate)
۰/۱	نرخ ترانزپوزیشن ریشه درج متوالی (Transposition Rate) RIS
Multiplication	تابع پیوند (linking Function)
RMSE	معیار خطای تابع برازش (Function Error Type Fitness)

نتایج و بحث

با توجه به آنالیز ابعادی پارامترها، تأثیر تغییرات شیب جانبی بر دبی نشت به صورت نمودارهای بی‌بعد در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

$$f\left(z, \frac{q}{ky}\right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{q}{ky} = f(z) \quad (3)$$

نتایج آنالیز ابعادی وابسته بودن دبی نشت به پارامترهای z ، k و y را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشهود است، پارامتر بدون بعد $\frac{q}{kh}$ تابعی از شیب جانبی کانال است.

خروجی GEP، به صورت بیان درختی به ازای همه داده‌های ورودی در شکل ۷ نشان داده شده است. هر کدام

از زیر درخت‌ها (Sub-ET)^۱ نشان‌دهنده ژن‌های ۱ و ۲ و ۳ است که با پیوند این سه ژن از طریق عملگر ضرب به یکدیگر، کروموزوم یا همان نتیجه نهایی حاصل می‌گردد. در هر زیردرخت، ضرایب d_0 تا d_2 و c_0 تا c_1 بیان‌کننده متغیرهای ورودی به مدل است.

معمولاً انتظار می‌رود با زیاد شدن شیب، چون محیط خیس شده کانال افزایش پیدا می‌کند، دبی نشت نیز به تدریج افزایش یابد؛ اما با توجه به نتایج سوامی (۱۹۹۴) و نتایج حاصل از این تحقیق چنین استنباط می‌شود که در کانال‌های خاکی کوچک و کم عرض، با در نظر گرفتن ابعاد، مساحت، عمق آب، محیط خیس شده و هدایت

نتایج برنامه‌ریزی بیان ژن در مورد نشت

در این تحقیق برنامه‌ریزی بیان ژن به دلیل توانایی‌های که در شبیه‌سازی فرآیندهای مختلف دارد، جهت به دست آوردن رابطه‌ای برای تعیین دبی نشت از کانال‌های خاکی دوزنقه‌ای انتخاب شد و نتایج آن در این بخش ارائه می‌شود. پارامترهای ورودی به مدل شامل هدایت هیدرولیکی خاک، شیب جانبی، عمق آب و پارامتر پیش‌بینی شده توسط مدل، دبی نشت است. معمولاً برای مرحله آموزش ۷۰ درصد و برای مرحله آزمون مدل، ۳۰ درصد از کل داده‌های ورودی انتخاب می‌شود که در این تحقیق به ترتیب تعداد ۵۲ و ۲۳ داده از کل ۷۵ داده ورودی را برای سه نمونه خاک در شیب‌ها و عمق‌های آب مختلف شامل می‌شود.

در جدول ۳ مقادیر R^2 ، RMSE و Best fitness (تابع تابع) در مراحل آموزش و آزمون برای همه داده‌های ورودی و در حالت کلی نشان داده شده است. مقایسه مقادیر محاسبه شده با برنامه‌ریزی بیان ژن و مقادیر اندازه‌گیری شده دبی نشت در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

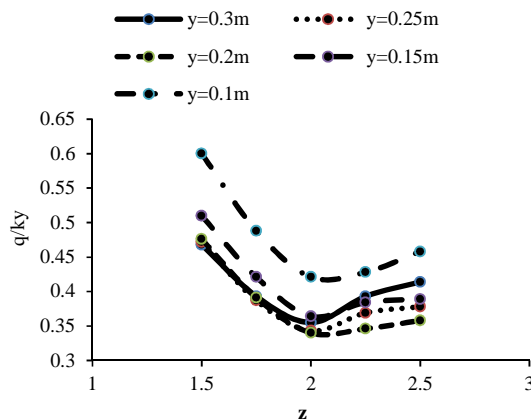
جدول ۳- پارامترهای ورودی و معیارهای ارزیابی در دو مرحله آموزش و آزمون

$K(\frac{m}{s})$	Z	y(m)	$q_s(\frac{l}{s.m})$	پارامترهای ورودی مدل
				RMSE (مرحله آموزش)
				RMSE (مرحله آزمون)
				R^2 (مرحله آموزش)
				R^2 (مرحله آزمون)
				Best fitness (بهترین تابع برازش مرحله آموزش)
				Best fitness (بهترین تابع برازش مرحله آزمون)

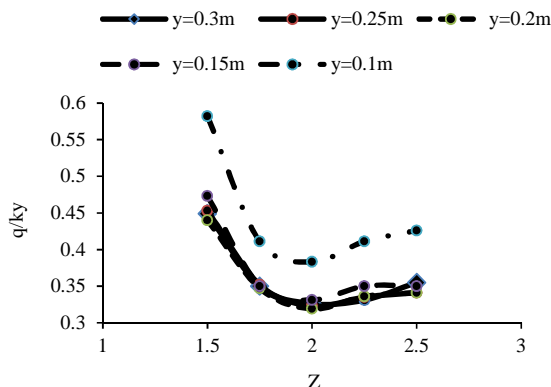
مقایسه مقادیر نشت در مرحله آزمون برای داده‌ها مشاهداتی و نتایج به دست آمده از مدل نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر معیارهای ارزیابی (RMSE) شبیه‌سازی با دقت خوبی انجام شده است. پس از ساده‌سازی نتایج خروجی مدل، معادله زیر حاصل شد:

$$q_s = 1739.381 \frac{ky}{z} \sqrt{\frac{z}{9.973}} \quad (۴)$$

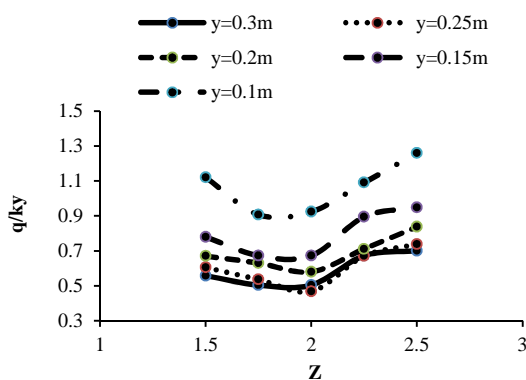
هیدرولیکی کانال، ابتدا با افزایش تدریجی شیب جانبی تا یک مقدار معین، دبی نشت کاهش و سپس مجدداً افزایش می‌یابد.



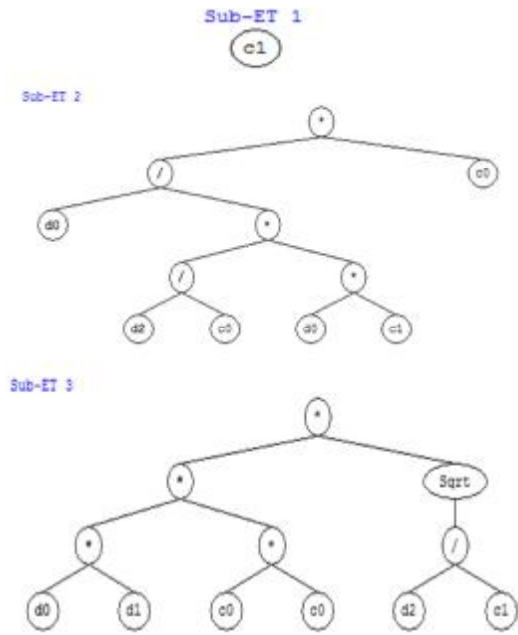
شکل ۲- تغییرات $\frac{q}{ky}$ نسبت به z و y به ازای $k=9/8 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$



شکل ۳- تغییرات $\frac{q}{ky}$ نسبت به z و y به ازای $k=5/1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$



شکل ۴- تغییرات $\frac{q}{ky}$ نسبت به z و y به ازای 10^{-2} cm/s
 $k=4/3 \times$



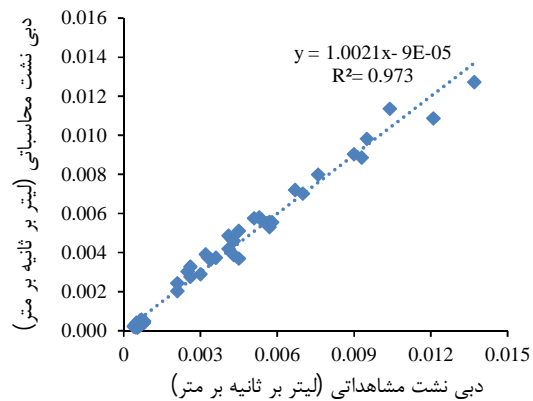
شکل ۷- بیان درختی مدل GEP، در معادله (۴)

نتیجه‌گیری

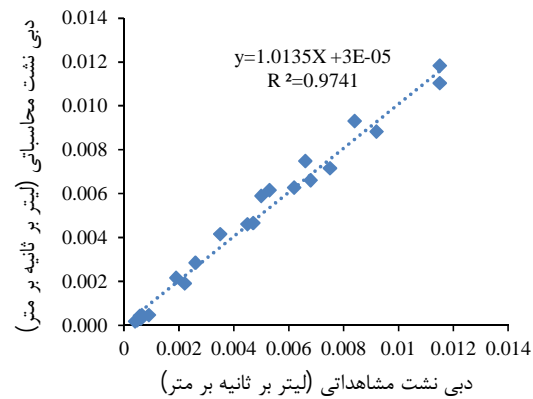
- در این تحقیق نشت از کانال خاکی در شرایط آزمایشگاهی برای شیب‌های جانبی مختلف بررسی و دبی نشت با استفاده از مدل GEP شبیه‌سازی شد. عملکرد مدل با معیارهای R^2 و RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. دبی نشت رابطه مستقیم با شیب جانبی کانال ندارد. در کانال‌های خاکی کوچک و کم عرض با افزایش شیب جانبی ابتدا دبی نشت کاهش و سپس افزایش می‌یابد. با توجه به این که نشت دارای ویژگی‌های محلی و منحصر به فرد می‌باشد، برای محدوده $z=2 < z < 2/5$ ، مقطع دوزنقه با شیب $z=2$ کمترین دبی نشت را نشان می‌دهد.
- به ازای $k=9/8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ و $k=5/1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ بیشترین نشت مربوط به $y=0/3 \text{ m}$ و $z=1/5$ و کمترین نشت مربوط به $y=0/1 \text{ m}$ و $z=2$ است. در صورتی که به ازای $k=4/31 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ بیشترین نشت در $y=0/3 \text{ m}$ و $z=2/5$ و کمترین نشت در $y=0/1 \text{ m}$ و $z=2$ است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که در $k=4/31 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ با افزایش شیب پس از $z=2$ ، تأثیر تغییر شیب روی افزایش دبی نشت بیشتر خواهد بود؛ در حالیکه در نمونه‌های دیگر روند افزایش دبی نشت پس از $z=2$ کند است.

که در آن، q_s دبی نشت در واحد طول کانال؛ $k \left(\frac{m^2}{s} \right)$ هدایت هیدرولیکی؛ $Z(m/s)$ شیب جانبی کانال؛ y عمق آب در کانال (m).

بدین ترتیب مدلی بر پایه پارامترهای هندسی و هدایت هیدرولیکی، برای برآورد دبی نشت از کانال‌های خاکی دوزنقه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن به‌دست آمد.



شکل ۵- مقایسه مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده دبی نشت در مرحله آموزش



شکل ۶- مقایسه مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده دبی نشت در مرحله آزمون

خروجی GEP، به‌صورت بیان درختی به ازای همه داده‌های ورودی در شکل ۷ نشان داده شده است. هر کدام از زیر درخت‌ها (Sub-ET) نشان‌دهنده ژن‌های ۱ و ۲ و ۳ است که با پیوند این سه ژن از طریق عملگر ضرب به یکدیگر، کروموزوم یا همان نتیجه نهایی حاصل می‌گردد. در هر زیردرخت، ضرایب d_0 تا d_2 و c_0 تا c_1 بیان‌کننده متغیرهای ورودی به مدل است.

- مدل GEP در شبیه‌سازی دبی نشت با تأثیر همه پارامترها و در شرایط مختلف از عملکرد مطلوبی برخوردار بوده و رابطه کلی حاصل از آن رابطه‌ای خلاصه و دقیق است که نشان می‌دهد دبی نشت در کانال‌های خاکی کوچک ارتباط مستقیمی با شیب جانبی ندارد.

منابع

۱. بهراملو ر. ۱۳۹۰. ارزیابی تلفات نشت در کانال‌های آبیاری با پوشش سنگی در مناطق سردسیر و تأثیر آن بر ذخایر منابع آب (مطالعه موردی در استان همدان). مجله پژوهش آب ایران. ۵(۹): ۱۴۱-۱۵۰.
۲. رستمیان ر. و عابدی کوپایی ج. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل نرم‌افزاری Seep/W در برآورد میزان نشت از کانال‌های خاکی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود). مجله علوم و فنون کشاورزی (علوم آب و خاک). ۵۸: ۱۳-۲۲.
3. Chahar B. R. 2007. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section. *Journal of Hydrology. ASCE*. 133(5): 571-576.
4. Kinzli K. D. Matthew M. Ramchand O. Adam P. and David G. 2010. Using an ADCP to determine canal seepage loss in an irrigation district, *Agricultural Water Management*. 97: 801-810.
5. Kraatz D. B. 1977. *Irrigation Canal Lining*. FAO Land and Water Development, Rome, Italy. 219 p.
6. Mahmoud Y. 2011. Design and analysis of a canal section for minimum water loss. *Alexandria Engineering Journal*. 50: 337-344.
7. 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.
8. Subramanya K. 1990. *Flow in Open Channels*. New Delhi: Tata McGraw- Hill. 380 p.
9. Swamee P. K. 1994. Normal depth equation for irrigation canals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE*. 120(5): 942-948.
10. Swamee P. K. Mishra G. C. and Chahar B. R. 2001. Design of minimum seepage loss canal section with drainage layer at shallow depth. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE*. 127(5): 287-294.
11. Van der leen F. Troise F. L. and Todd D. K. 1990. *The Water Encyclopedia*. Lewis. Chelsea. Mich. 87 p.