ارزیابی مدل نرم‌افزاری SEEP/W در برآورد میزان نشت آب از کانال‌های خاکی (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده‌رود)

رخساره رستمیان و جهانگیر عابدی کوپایی[1*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

به منظور بهره‌وری از آب در کشاورزی دانستن میزان نشت آب از کانال‌ها لازم است. اگرچه روابط تجربی متعددی برای تخمین میزان نشت از کانال‌ها به‌دست آمده، ولی تجربه نشان داده که ضرایب این معادلات با شرایط کشور ایران متفاوت است و از طرفی نوع روابط نیز به صورت منطقه‌ای تغییر می‌کنند. در مطالعه حاضر، توانایی مدل نرم‌افزاری SEEP برای تخمین میزان نشت آب تعدادی از کانال‌های خاکی زیردست سد زاینده رود بررسی شد. به همین منظور میزان نشت در هفت کانال خاکی درجه ۳ و ۴ منطقه توسط مدل SEEP شبیه‌سازی شد و با نتایج روش بیلان آبی مقایسه گردید. سپس میزان نشت با استفاده از چهار روش تجربی شامل دیویس و ویلسون، مولس ورث ینی دومیا، موریتز و اینگهام نیز محاسبه شدند. ضریب تبیین برای چهار روش تجربی و مدل SEEP به ترتیب ۹/۳، ۶/۷، ۳۷/۳، ۱۸/۳، ۸۷/۹ درصد به‌دست آمد که مبین توانایی بالای مدل SEEP در تخمین میزان نشت آب از کانال‌های خاکی درجه ۳ منطقه مورد مطالعه و ضعف معادلات تجربی بود. برای استفاده از معادلات تجربی باید این معادلات برای شرایط محلی واسنجی گردند.

واژه‌های کلیدی: نشت، کانال‌های خاکی، زاینده‌رود، نرم‌افزار SEEP، معادلات تجربی نشت

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: koupai@ cc.iut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

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 در اثر نشت، تنزل کیفیت اراضی و خاک اطراف کانال در اثر نشت و تهدید محیط زیست منطقه در اثر نشت اشاره نمود. به همین خاطر، کاهش تلفات آب به حداقل ممکن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک 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 (مطالعات بیلان آب و روش آب ایستی)، معادلات تجربی و محاسبات هیدرولیکی می‌باشد. اگرچه روابط تجربی زیادی به منظور تخمین میزان نشت از کانال‌ها وجود دارد، ولی تجربه نشان داده که ضرایب این معادلات با شرایط کشور ایران بسیار متفاوت است و باید برای شرایط محلی واسنجی گردد و از طرفی از منطقه‌ای به منطقه دیگر نیز نوع روابط تغییر می‌کند (۲و ۳).

حیدری‌زاده (۱) تلفات نشت آب از کانال‌های آبیاری را به وسیله یک مدل ریاضی بررسی کرد. در این مدل ریاضی، پدیده نشت به صورت جریان دو بعدی اشباع و ماندگار در محیط‌های متخلخل اطراف کانال فرض شده و معادله جریان با روش عددی تفاضل‌های محدود حل شده است. نتایج به‌دست آمده از مدل ریاضی برای دو کانال، با نتایج اندازه‌گیری نشت به روش حوضچه‌ای مقایسه گردید. مقدار نشت اندازه‌گیری شده برای دو کانال ۱/۱۷ و ۰/۴ مترمکعب در روز و نتیجه مدل ۱/۲۱ و ۰/۴۹ مترمکعب در روز به‌دست آمد. حیدری‌زاده چنین نتیجه گرفت که مدل ریاضی تهیه شده با تقریب نسبتاً خوبی، میزان نشت را از کانال پیش‌بینی می‌کند. سالمی و سپاسخواه (۳) مقادیر تلفات آب در تعدادی از کانال‌های خاکی منطقه رودشت اصفهان را اندازه‌گیری و با مقایسه با مقادیر به‌دست آمده از معادلات تجربی، معادلات را برای منطقه مورد مطالعه اصلاح کردند. آنها پس از اصلاح گزارش کردند که معادلات اینگهام و موریتز بالاترین ضریب تشخیص را برای منطقه داشته‌اند. حیدری‌زاده (۲) با مقایسه مقادیر نشت کانال‌های خاکی منطقه رودشت با معادله تجربی اینگهام و معادله تئوری نشت ودرنیکیف، به واسنجی ضرایب این دو معادله پرداخت. او گزارش کرد که معادلات تئوری واسنجی شده بهتر از معادلات تجربی اصلاح شده قادر به برآورد نشت آب از کانال‌ها است با این تفاوت که در تمام شرایط قابل توسعه هستند. سالمی و سپاسخواه (۱۱) معادلات تجربی برآورد نشت آب از کانال‌های خاکی را در شبکه آبیاری دشت برخوار استان اصفهان مورد بررسی قرار دادند. آنها از بین معادلات تجربی، معادله دیویس- ویلسون و سپس مولس ورث ینی دومیا را به عنوان مناسب‌ترین معادلات تخمین نشت آب از کانال‌های خاکی دشت شمال اصفهان معرفی نمودند. چاهر (۷) از یک روش تحلیلی دقیق برای ارزیابی میزان نشت از یک کانال ذوزنقه‌ای استفاده کرد. او گزارش کرد این روش برای تعیین میزان نشت و یا تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از کانال‌های چند ضلعی موثر است. کینزلی و همکاران (۹) با استفاده از داده‌های دستگاه ADCP به تخمین میزان نشت از کانال‌های آبیاری پرداختند و رابطه‌ای بر اساس سرعت جریان و مشخصات هندسی کانال برای تخمین میزان نشت از کانال ارائه کردند.

برای پیدا کردن روش مناسب محاسبه دبی نشت در کانال تاکنون تلاش‌های فراوانی به عمل آمده است ولی متاسفانه در این زمینه روش دقیقی ارائه نشده است. هدف از این تحقیق بررسی توانایی مدل نرم‌افزاری SEEP/W در برآورد میزان نشت آب از کانال‌های خاکی درجه ۳ و ۴ زیر دست سد زاینده‌رود و مقایسه آن با معادلات تجربی برآورد نشت آب است. ازمحاسن استفاده از نرم‌افزار در محاسبات می‌توان به پردازش حجم بالای داده‌ها در مدت زمان کوتاه و با حداقل هزینه اشاره کرد.

www.SID.ir

محاسبه هیدرولیکی اتلاف آب از بدنه کانال

دبی نشت از قانون دارسی پیروی می‌کند:

$$q = -kA\frac{\partial h}{\partial l} \qquad [۱]$$

که در آن q دبی نشت (مترمکعب بر ثانیه)، k ضریب نفوذپذیری (متر در ثانیه)، A سطح مقطع جریان آب و خاک (مترمربع) و $\frac{\partial h}{\partial l}$ شیب هیدرولیکی جریان است.

معادله حاکم بر جریان آب در محیط متخلخل معادله پوآسون است که شکل تعمیم یافته معادله معروف لاپلاس است:

$$k_x\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = q \qquad [۲]$$

که در آن k_x و k_y به ترتیب هدایت هیدرولیکی خاک در دو جهت افقی و قایم (متر در ثانیه)، h پتانسیل آب در خاک (متر) و q دبی جریان ورودی به توده خاک (مترمکعب بر ثانیه در واحد سطح) است. اگر دبی ورودی به توده خاک وجود داشته باشد علامت q مثبت و برعکس اگر دبی خروجی وجود داشته باشد، علامت q منفی خواهد بود.

رابطه فوق برای جریان در شرایط دایمی و خاک همگن صادق است و برای شرایط غیردایمی خواهیم داشت:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x\frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y\frac{\partial h}{\partial y}) = q + \frac{\partial \theta}{\partial t} \qquad [۳]$$

که در آن $\frac{\partial \theta}{\partial t}$، تغییرات حجمی رطوبت نسبت به زمان است.

حل معادله پوآسون یکی از مسایل پیچیده ریاضی است. روش‌های عددی، زمینه‌ای برای حل معادلات دیفرانسیل و تبدیل آنها به مجموعه‌ای از معادلات جبری است. با ورود کامپیوترها به عرصه و استفاده روز افزون از آنها، روش‌های عددی بسیار مورد توجه قرار گرفتند. با استفاده از کامپیوتر می‌توان مجموعه بزرگی از معادلات جبری را به وسیله تکنینک‌هایی تحت عنوان روش‌های تکراری و یا روش‌های ماتریسی حل نمود. از جمله نرم‌افزارهایی که برای حل معادله پواسون با استفاده از روش اجزا محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد، نرم‌افزار SEEP/W است.

مواد و روش‌ها

۱. محدوده انجام پژوهش

حوضه آبریز باتلاق گاوخونی در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژیکی ایران جز حوضه آبریز فلات مرکزی است. شاخه اصلی رودخانه زاینده‌رود با طول حدود ۳۵۰ کیلومتر از ارتفاعات کوهرنگ تا باتلاق گاوخونی امتداد دارد. رودخانه زاینده‌رود از زمان‌های قدیم با سود بردن از قواعد طومار شیخ‌بهایی تنها منبع تأمین آب سطحی در منطقه اصفهان بوده است.

عراق علوی (۴) با میزان نشت آب از ۱۸کانال خاکی درجه ۳ و ۴ مناطق جوزدان، گرگن لنجان و نجف‌آباد استان اصفهان به برآورد راندمان انتقال آب کانال‌های خاکی زیر دست زاینده‌رود پرداخت. در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی توانایی مدل SEEP در برآورد میزان نشت آب از کانال‌های خاکی زیر دست سد زاینده‌رود، تعداد ۷ کانال (با در نظر گرفتن تنوع بافت خاک) از کانال‌های خاکی مورد مطالعه توسط عراق علوی (۴)، انتخاب شدند. مشخصات کانال‌های انتخابی در جدول ۱ آورده شده است. شیب کانال‌های مورد مطالعه بسیار به هم نزدیک بوده است.

برای محاسبه تلفات در طول کانال، از روش اندازه‌گیری جریان ورودی وخروجی استفاده شده است. برای این منظور فاصله مشخصی در طول کانال انتخاب و سپس سرعت جریان در ابتدا و انتهای فاصله فوق با مولینه در مقاطع مختلف اندازه‌گیری شده است و نهایتاً با داشتن سطح مقطع جریان ورودی و خروجی، دبی آنها به‌دست آمده است. متوسط مشخصات هیدرولیکی کانال‌های انتخابی برای اردیبهشت، خرداد و تیر ماه در جدول ۲ آورده شده است. مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی شامل سطح مقطع (A)، عرض سطح آب (T)، محیط خیس شده (P) و سرعت جریان (V) می‌باشد. مبنای محاسبه تبخیر، تشتک تبخیر کلاس A است. تبخیر در مناطق جوزدان و گرکن لنجان بر اساس ایستگاه هواشناسی زفره و در منطقه نجف‌آباد بر اساس

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. مشخصات عمومی کانال‌های خاکی مورد مطالعه (۴)

شماره کانال	موقعیت	شن(٪)	رس(٪)	سیلت(٪)	بافت خاک	درجه کانال	هدایت هیدرولیکی (cm/h)
۱	جوزدان	۲۲/۶	۲۸	۴۹/۴	C. L	۴	۰/۵۴
۴	جوزدان	۲۲/۶	۲۸	۴۹/۴	C. L	۳	۰/۵۴
۶	جوزدان	۲۲/۶	۲۸	۴۹/۴	C. L	۳	۰/۵۴
۱۰	گرکن لنجان	۵۵	۱۸	۲۷	S. L	۳	۰/۹۵
۱۱	گرکن لنجان	۵۸	۲۰	۲۲	S. C. L	۳	۰/۷۳
۱۳	نجف‌آباد	۷۵	۲۰	۵	S. C. L	۴	۰/۶۷
۱۶	نجف‌آباد	۸۰	۱۶	۴	S. L	۳	۱/۱۴

جدول ۲. متوسط مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی مورد مطالعه (۴)

شماره کانال	A (m^2)	T (m)	P (m)	V (m/s)	پوشش گیاهی (٪)	تلفات ($m^3/m^2/day$)	تبخیر ($m^3/m^2/day$)
اردیبهشت ماه							
۱	۰/۱۵۹	۱	۱/۱۶۳	۰/۱۷	۱۰	۰/۴۶۴	۰/۰۰۹۲
۴	۰/۵۱۴	۲/۳۴	۲/۴۸۹	۰/۷۰	۱۰	۰/۴۸۶	۰/۰۰۹۲
۶	۰/۹۷۶	۲/۹۹	۲/۹۹	۰/۴۲	۶۵	۰/۴۵۶	۰/۰۰۸۴
۱۰	۰/۵۵۳	۲/۵۹۲	۲/۵۹۲	۰/۳۷	۱۵	۰/۵۵۲	۰/۰۰۹۰
۱۱	۰/۹۰۲	۲/۶۱۲	۲/۶۱۲	۰/۲۳	۳۵	۰/۵۹۰	۰/۰۰۹۰
۱۳	۰/۱۷۴	۱/۳۲۷	۱/۳۲۷	۰/۲۸	۱۰	۱/۱۲۱	۰/۰۰۷۱
۱۶	۰/۵۹۲	۲/۳۴	۲/۳۴	۰/۲۵	۱۰	۰/۹۵۴	۰/۰۰۷۱
خرداد ماه							
۱	۰/۱۲۱	۰/۹۸	۱/۰۷۸	۰/۲۹	۱۵	۰/۳۶۴	۰/۰۱۳
۴	۰/۷۰۷	۲/۹	۳/۰۵	۰/۵۴	۱۵	۰/۳۵۴	۰/۰۱۳
۶	۰/۸۰۷	۲/۷	۲/۸۵۳	۰/۵۰	۷۰	۰/۴۳۹	۰/۰۱۲
۱۰	۰/۸۸۸	۲/۶۶	۲/۹۱۵	۰/۱۹	۱۷	۰/۵۹۲	۰/۰۱۲۹
۱۱	۰/۸۵۰	۲/۱	۲/۵۲۴	۰/۲۷	۴۰	۰/۶۳۶	۰/۰۱۲۵
۱۳	۰/۱۶۶	۱/۱۷۵	۱/۲۴۴	۰/۳۵	۱۵	۱/۰۴۲	۰/۰۱۰۸
۱۶	۰/۲۹۳	۱/۵۵	۱/۷۱	۰/۲۶	۱۵	۱/۱۰۲	۰/۰۱۰۸
تیر ماه							
۱	۰/۱۲۶	۱	۱/۱۰۱	۰/۲۶	۲۰	۰/۳۹۲	۰/۰۱۴۸
۴	۰/۵۰۳	۲/۶	۲/۹۴۶	۰/۶۷	۲۰	۰/۳۹۱	۰/۰۱۴۸
۶	۰/۹۰۱	۲/۶	۲/۹۱	۰/۴۷	۷۵	۰/۵۳۲	۰/۰۱۳۶
۱۰	۱/۱۳۸	۲/۷۲۵	۳/۰۲۶	۰/۲۷	۲۰	۰/۶۷۵	۰/۰۱۴۸
۱۱	۱/۲۹۸	۲/۲۷۵	۲/۹۳۸	۰/۲۱	۴۵	۰/۶۸۱	۰/۰۱۴۲
۱۳	۰/۱۳۳	۱	۱/۱۱۴	۰/۳۹	۲۰	۱/۰۳۴	۰/۰۱۰۵
۱۶	۰/۵۴۱	۱/۹۵	۲/۱۸۷	۰/۲۳	۲۰	۱/۰۲۷	۰/۰۱۰۵

Archive of SID

www.SID.ir

ایستگاه هـواشناسی دانشـگاه صنعتی اصفهان محاسـبه گردیـده است. پس از محاسبه تبخیر، میزان نـشت از اخـتلاف بـین کـل تلفات و تبخیر به‌دست آمده است.

۲. معادلات تجربی برآورد نشت آب

معادلات و روش‌های تجربی بسیاری به منظـور تخمـین میـزان نشت آب از کانال‌ها درکشورهای مختلف ارائه شده که در ایـن قسمت به چهار مورد آن اشاره می‌شود. اولین معادله که در ایـن تحقیـق مـورد بررسـی قـرار گرفتـه معادلـه تجربـی دیـویس و ویلسون است که به شرح زیر می‌باشد (۱۰):

$$q = 0/45C\frac{P_w L}{4\times10^6 + 3650\sqrt{V}}H_w^{1/3} \qquad [۴]$$

که در آن q میزان نشت از کانال (مترمکعب بر ثانیـه در طـول کانال)، L طول کانال (متـر)، P_w محـیط خـیس شـده (متـر)، H_w عمق آب در کانال (متر)، V سرعت جریان آب در کانال (متر بر ثانیه) و C ضریبی است که بسته به جنس بستر بـین ۱ تا ۷۰ متغیر است.

دومین رابطه‌ای که در این گزارش برای محاسبه دبی نـشت از کانال‌های خاکی استفاده شده رابطه مـولس ورث ینـی دومیـا است که توسط اداره آبیاری مصر برای تخمین نشت در کانال‌ها به کار برده شده است (۱۰):

$$q = 86/4C\sqrt{R} \qquad [۵]$$

که در آن q میزان نشت آب (مترمکعب بر متـرمربـع در روز)، R شـعاع هیـدرولیکی (متـر) و C ضـریب ثابـت کـه بـرای خاک‌های رسی ۰/۰۰۱۵ و برای خاک‌های شـنی ۰/۰۰۳ اسـت. از دیگر روابط مورد استفاده در این تحقیق رابطه مـوریتز اسـت که بر اساس مطالعات اداره احیای اراضی آمریکا به‌دسـت آمـده است (۱۰):

$$q = 0/0186C(Q/V)^{0/5} \qquad [۶]$$

کـه در آن q میـزان نـشت از کانـالی بـه طـول یـک کیلـومتر (مترمکعب بر ثانیه)، Q مقدار جریان آب (مترمکعب بر ثانیـه)، V سرعت جریان آب در کانال (متـر بـر ثانیـه) و C ضـریب ثابت که برای جدار رس و رس لومی ۰/۴۱ و لـوم شـنی ۰/۶۶ می‌باشد. چهارمین معادله مورد اسـتفاده در ایـن تحقیـق معادلـه اینگهام می‌باشد که به شرح زیر است (۱۰):

$$q = 0/55CPL(10^{-6})H^{0/5} \qquad [۷]$$

که در آن q میزان نشت در طول کانال (مترمکعـب بـر ثانیـه)، P محیط خیس شده (متر)، L طول کانـال (متـر)، H عمـق آب در کانال (متر) و C ضریبی است که بسته بـه نـوع خـاک بین ۱/۵ تا ۵/۵ متغیر است.

۳. معرفی نرم‌افزار SEEP/W

نرم‌افزار SEEP/W یکی از نرم‌افزارهای بسته نرم‌افـزاری GEO-SLOPE است. اساس مدل‌سازی در این نرم‌افزار بر پایـه روش اجزای محدود بوده و کاربردهای آن در مدل‌سازی جریان آب و هم‌چنین توزیع فشار آب منفذی در محیط‌های متخلخل، ماننـد خاک است. این نرم‌افزار با فرمول‌بندی جامع خود قادر است تا مسایل سـاده و پیچیـده مربـوط بـه نـشت را حـل نمایـد (۸). ملک‌پور و همکاران (۵) با استفاده از مدل نرم‌افزاری SEEP بـه شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی به سمت کانال احداث شده در زیر سطح آب زیرزمینی پرداختنـد. نتـایج محاسـبات حـاکی از تجمع خطوط جریان عمدتاً در کف کانال بود و نشان می‌داد که افزایش شعاع تاثیر (R) موجب کاهش دبی نـشت و در مقابـل، افزایش ضخامت لایه آبدار (H) باعث افزایش دبی نشت شده و در نسبت معینی از R/H، مقدار عددی دبی نشت ثابت می‌شـود. هم‌چنین نتایج بررسی‌ها نشان داد کـه بـا بـه کـارگیری فیلتـر و زه‌کش در کف کانال می‌توان قسمت اعظم زه‌آب نشتی و نیروی زیر فشار را بدون نیاز به استفاده از زه‌کـش و فیلتـر بـرای کـل مقطع کانال کنترل کرد که این امر می‌توانـد صـرفه‌جـویی قابـل توجهی در عملیات اجرایی و هزینه‌ها ایجاد نماید.

۴. روش انجام پژوهش

برای استفاده از مـدل نـرم‌افـزاری SEEP ، پـس از جمـع‌آوری اطلاعات اولیه مسئله در مدل تعریف شد. بـرای ترسـیم شـبکه

Archive of SID

www.SID.ir

تفاضل محدود از روش شبکه‌بندی ۴ نقطه‌ای استفاده گردید. پس از تعریف شبکه‌بندی و مصالح بستر شرایط مرزی در مدل تعریف شد. شرایط مرزی اول مربوط به نقاط داخل کانال است که زیر بار آب قرار گرفته‌اند، به این نقاط مقادیری از بار کلی برابر ارتفاع سطح آب داخل کانال نسبت بهتراز سطح ایستابی تعلق گرفت. شرط مرزی دوم مربوط به نقاط همتراز سطح ایستابی می‌باشد که به این نقاط بار فشاری صفر تعلق گرفت. تراز سطح آب زیرزمینی بر اساس آمار نزدیک‌ترین چاه مشاهده‌ای و یا معمولی منطقه به کانال مربوطه به‌دست آمده است. پس از آن با استفاده از چهار معادله تجربی برآورد دبی نشت شامل دیویس و ویلسون، مولس ورث ینی دومیا، موریتز و اینگهام، میزان نشت از کانال‌های خاکی منطقه مورد مطالعه، مجدداً محاسبه و نتایج با مقادیر به‌دست آمده توسط مدل مقایسه گردید.

نتایج و بحث

میزان نشت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار SEEP برای کانال‌های خاکی مورد مطالعه در پایین دست سد زاینده‌رود برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد و تیر در جدول ۳ آورده شده است. میزان نشت از اختلاف بین کل تلفات و تبخیر به‌دست آمده است. به منظور مقایسه میزان نشت واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل مذکور برای هر ماه، از پارامتر آماری ضریب جرم باقی مانده (CRM) استفاده شده است.

$$CRM = (\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} P_i) / \sum_{i=1}^{n} O_i \qquad [۸]$$

که در آن P_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و n تعداد کل داده‌هاست.

با توجه به اعداد مندرج در جدول ۳ دامنه تغییرات پارامترآماری CRM از۵۱/۵۶- تا ۱۶/۷۸ درصد برای کانال‌های مورد مطالعه در طول سه ماه متغیر است. مقادیر منفی این پارامتر آماری نشان می‌دهد که مدل مقدار نشت را بیشتر از مقدار واقعی و مقادیر مثبت نشان می‌دهد که مدل مقدار نشت را کمتر از مقدار واقعی تخمین‌زده است. برای شبیه‌سازی کانال‌های مورد مطالعه از مقادیر متوسط مشخصات هیدرولیکی در مقطع ورودی و خروجی استفاده شده است درحالی که تغییرات نشت با تغییرات سطح مقطع و محیط خیس شده خطی نیست و این می‌تواند یکی از دلایل اختلاف باشد. عدم در نظر گرفتن میزان تعرق پوشش گیاهی در کانال‌های مورد مطالعه به عنوان تلفات و حرکت ریشه گیاهان و تخریب ساختمان خاک می‌تواند از دلایل دیگر این اختلاف باشند.

از آنجا که مدل‌ها برای شبیه‌سازی واقعیت از فرضیاتی استفاده می‌کنند بنابراین قبول حدود ۱۰ خطا در شبیه‌سازی، منطقی به نظر می‌رسد (۶). مدل مذکور میزان نشت را در اردیبهشت ماه برای کانال‌های شماره ۱، ۱۰، ۱۳ و ۱۶، در خرداد ماه برای کانال‌های شماره ۴، ۶، ۱۱ و ۱۶ و در تیر ماه برای کانال‌های شماره ۴، ۶ و ۱۱ با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کرده است (جدول ۳). اگرچه برای بعضی از کانال‌ها تفاوت خطای مدل با میزان خطای قابل قبول (۱۰ درصد) اندک است ولی همانطور که ملاحظه می‌گردد این مقدار برای کانال شماره ۱۱ در اردیبهشت ماه و کانال‌های شماره ۱ و ۱۳ در ماه‌های خرداد و تیر قابل توجه می‌باشد و نشان می‌دهد که مدل قادر به شبیه‌سازی نشت این کانال‌ها نبوده است. کانال‌های درجه ۴ برای تحویل آب به سر مزرعه استفاده می‌شوند و با توجه به محل آبگیری و قطعه زراعی ممکن است کشاورز مسیر انتقال را تغییر دهد و کانال جدید ایجاد کند. بنابراین کانال‌های درجه ۴ نسبت به کانال‌های درجه ۳ اصولاً طول عمر کمتری دارند و شرایط حاکم بر این نوع کانال‌ها از پایداری کمتری برخوردار است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که مدل مذکور در تخمین میزان نشت ازکانال‌های درجه۴ شماره ۱ و ۱۳ از توانایی پایین‌تری برخوردار باشد. از دلایل دیگر آن می‌توان به خطای انسانی در هنگام اندازه‌گیری نشت اشاره کرد. مقدار ضریب ثابت C استفاده شده در معادلات تجربی در جدول ۴ و نتایج تخمین میزان نشت از کانال‌های مورد مطالعه با استفاده از

www.SID.ir

جدول ۳. میزان نشت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل SEEP

شماره کانال	نشت اندازه‌گیری شده ($m^3/m^2/day$)	نشت شبیه‌سازی شده ($m^3/m^2/day$)	CRM (%)
اردیبهشت ماه			
۱	۰/۴۵۵	۰/۴۹۸	-۹/۴۵
۴	۰/۴۷۷	۰/۴۲۰	۱۱/۹۵
۶	۰/۴۴۸	۰/۳۹۰	۱۲/۹۵
۱۰	۰/۵۴۳	۰/۵۰۵	۶/۹۹
۱۱	۰/۵۸۱	۰/۴۸۷	۱۶/۱۸
۱۳	۱/۱۱۴	۱/۱۵۲	-۳/۴۱
۱۶	۰/۹۴۷	۱/۰۰۱	-۵/۷۰
خرداد ماه			
۱	۰/۳۵۱	۰/۵۳۲	-۵۱/۵۶
۴	۰/۳۴۱	۰/۳۷۴	-۹/۶۷
۶	۰/۴۲۷	۰/۳۹۷	۷/۰۲
۱۰	۰/۵۷۹	۰/۵۱۳	۱۱/۴۰
۱۱	۰/۶۲۳	۰/۶۳۳	-۱/۶۰
۱۳	۱/۰۳۱	۰/۸۵۸	۱۶/۷۸
۱۶	۱/۰۹۱	۱/۱۸۷	-۸/۸۰
تیر ماه			
۱	۰/۳۷۷	۰/۵۴۵	-۴۴/۶۷
۴	۰/۳۷۶	۰/۳۳۷	۱۰/۳۷
۶	۰/۵۱۸	۰/۵۳۱	-۲/۵۱
۱۰	۰/۶۶	۰/۵۷۵	۱۲/۸۸
۱۱	۰/۶۶۷	۰/۷۰	-۴/۹۵
۱۳	۱/۰۲۳	۰/۸۵۵	۱۶/۴۲
۱۶	۱/۰۱۶	۱/۱۴۲	-۱۲/۴۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۴. مقدار ضریب ثابت C در معادلات تجربی

شماره کانال	معادله تجربی			
	دیویس و ویلسون	مولس ورث ینی دومیا	موریتز	اینگهام
۱	۱۵	۰/۰۰۱۸۴	۰/۴۵	۴/۶
۴	۱۵	۰/۰۰۱۸۴	۰/۴۵	۴/۶
۶	۱۵	۰/۰۰۱۸۴	۰/۴۵	۴/۶
۱۰	۲۵	۰/۰۰۲۵	۰/۵۱	۳/۳۵
۱۱	۱۷/۵	۰/۰۰۲۲	۰/۴۷۲	۴/۳
۱۳	۱۷/۵	۰/۰۰۲۲	۰/۴۷۲	۴/۳
۱۶	۲۵	۰/۰۰۲۸	۰/۶	۳/۳۵

چهار معادله تجربی در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد نتایج با مقادیر واقعی بسیار متفاوت است و نشان می‌دهد که هر چهار معادله تجربی در برآورد میزان نشت بسیار ضعیف عمل کرده‌اند. از آنجا که دامنه ضرایب ثابت در معادلات تجربی وسیع است، انتخاب یک مقدارصحیح اصولاً بسیار مشکل است و باید ضرایب معادلات برای شرایط محلی واسنجی گردد.

به منظور مقایسه روش‌های متفاوت برآورد میزان نشت، از پارامترهای آماری خطای میانگین باقی مانده (MRE)، خطای میانگین مطلق باقی مانده (MAE)، میانگین مجذور باقی مانده (RMSE)، ضریب جرم (CRM) و ضریب تبیین (R^2) با توجه به معادلات زیر استفاده شده و نتایج مربوطه در جدول ۶ درج شده است.

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - O_i)}{n} \qquad [۹]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|P_i - O_i|}{n} \qquad [۱۰]$$

$$RMSE = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)/n)^{0.5}}{\overline{O}} \qquad [۱۱]$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2 \sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad [۱۲]$$

که در آنها P_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ و $\overline{O}$ به ترتیب متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و n تعداد کل داده‌ها است. پارامترهای آماری ارائه شده در جدول ۶ مبین توانایی بالای مدل نرم‌افزاری SEEP در برآورد میزان نشت از کانال‌های خاکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد در حالی که کوچک بودن ضریب تبیین و بزرگ بودن سایر پارامترهای آماری محاسبه شده، نشان می‌دهد معادلات تجربی قادر به شبیه‌سازی میزان نشت نبوده‌اند و برای منطقه بسیار ضعیف عمل کرده‌اند. بنابراین ضرایب معادلات تجربی باید برای منطقه مورد مطالعه واسنجی شوند در حالی که مدل SEEP بدون نیاز به واسنجی محلی توانایی خوبی در برآورد میزان نشت منطقه داشته است. از مزایای دیگر مدل SEEP می‌توان به توانایی بالای مدل در ترسیم گرافیکی جهت جریان، توزیع پتانسیل فشاری و مرز جریان نشت پیدا کرده در پروفیل خاک اشاره کرد (شکل ۱). با استفاده از این مدل می‌توان بدون صرف وقت زیاد، ابعاد مختلف کانال‌ها را با توجه وضعیت آب‌های زیرزمینی، بافت خاک و دبی جریان به منظور کاهش میزان نشت و حصول راندمان بالا بررسی کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده توانایی نرم‌افزار SEEP (ضریب تبیین ۸۷/۹ درصد) را برای محاسبه میزان نشت از کانال‌های خاکی نشان

www.SID.ir

جدول۵. میزان نشت به‌دست آمده با استفاده روابط تجربی متفاوت ($m^3/m^2/day$)

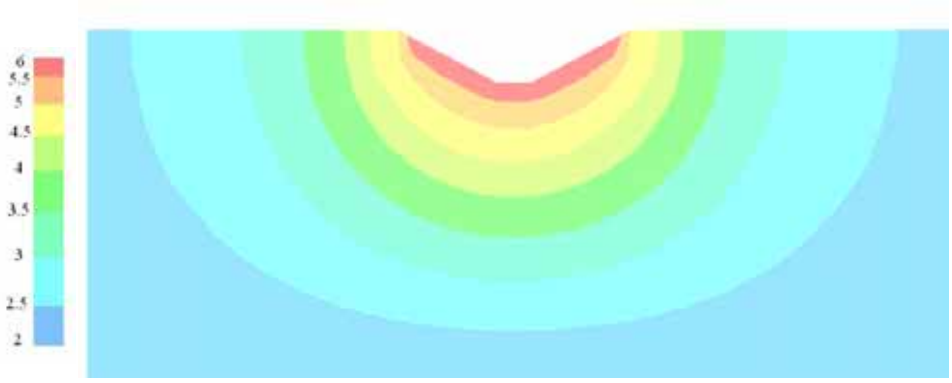
ماه	شماره کانال	نشت اندازه‌گیری شده ($m^3/m^2/day$)	دیویس و ویلسون	مولس ورث ینی دومیا	موریتز	اینگهام
	۱	۰/۴۵۵	۰/۰۸۵	۰/۰۵۹	۰/۲۴۸	۰/۰۹۸
	۴	۰/۴۷۷	۰/۱۰۷	۰/۰۷۲	۰/۲۰۸	۰/۱۳۸
	۶	۰/۴۴۸	۰/۱۲۳	۰/۰۹۱	۰/۲۳۹	۰/۱۶۹
اردیبهشت	۱۰	۰/۵۴۳	۰/۱۷۹	۰/۱۰۰	۰/۲۳۵	۰/۱۰۱
	۱۱	۰/۵۸۱	۰/۱۳۸	۰/۱۱۲	۰/۲۷۶	۰/۱۵۰
	۱۳	۱/۱۱۴	۰/۱۰۱	۰/۰۶۹	۰/۲۳۸	۰/۰۹۴
	۱۶	۰/۹۴۷	۰/۱۷۹	۰/۱۲۲	۰/۳۱۷	۰/۱۰۱
	۱	۰/۳۵۱	۰/۰۸۴	۰/۰۵۳	۰/۲۳۳	۰/۰۹۵
	۴	۰/۳۴۱	۰/۱۱۲	۰/۰۷۷	۰/۱۹۹	۰/۱۴۸
	۶	۰/۴۲۷	۰/۱۱	۰/۰۸۵	۰/۲۲۸	۰/۱۴۵
خرداد	۱۰	۰/۵۷۹	۰/۲۰۰	۰/۱۱۹	۰/۲۶۵	۰/۱۱۹
	۱۱	۰/۶۲۳	۰/۱۴۳	۰/۱۱۰	۰/۲۷۷	۰/۱۵۷
	۱۳	۱/۰۳۱	۰/۰۹۹	۰/۰۶۹	۰/۲۴۸	۰/۰۹۱
	۱۶	۱/۰۹۱	۰/۱۶۶	۰/۱۰۰	۰/۳۰۵	۰/۰۹۰
	۱	۰/۳۷۷	۰/۰۸۵	۰/۰۵۴	۰/۲۳۳	۰/۰۹۸
	۴	۰/۳۷۶	۰/۰۸۵	۰/۰۶۶	۰/۱۷۴	۰/۰۹۸
	۶	۰/۵۱۸	۰/۱۱۱	۰/۰۸۸	۰/۲۳۶	۰/۱۴۵
تیر	۱۰	۰/۶۶	۰/۲۰۴	۰/۱۳۲	۰/۲۸۹	۰/۱۲۲
	۱۱	۰/۶۶۷	۰/۱۵۵	۰/۱۲۶	۰/۲۹۴	۰/۱۷۸
	۱۳	۱/۰۲۳	۰/۰۹۶	۰/۰۶۶	۰/۲۴۸	۰/۰۸۷
	۱۶	۱/۰۱۶	۰/۱۸۲	۰/۱۲۰	۰/۳۲۴	۰/۱۰۳

جدول ۶. پارامترهای آماری حاصل از روش‌های مختلف برآورد میزان نشت از کانال‌های خاکی

روش	CRM (%)	MRE (%)	MAE (%)	RMSE (%)	R^2 (%)
دیویس و ویلسون	۷۹/۹	۵۱/۹	۵۱/۹	۵/۳	۹/۳
مولس ورث ینی دومیا	۸۶/۲	۵۶	۵۶	۵/۵	۶/۷
موریتز	۶۱/۰	۳۹/۷	۳۹/۷	۴/۶	۳۷/۳
اینگهام	۸۱/۵	۵۲/۹	۵۲/۹	۵/۳	۱۸/۳
مدلSEEP	۰/۱۰	۰/۰۶	۷/۶	۰/۱۸	۸۷/۹

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. توزیع پتانسیل فشاری کل (m) در اطراف کانال

داد. مدل SEEP در شبیه سازی میزان نشت از کانال‌های خاکی درجه ۴ در مقایسه با کانال‌های درجه ۳ از دقت پایین‌تری برخوردار بود. معادلات تجربی در برآورد میزان نشت از منطقه مطالعاتی بسیار ضعیف عمل کردند و باید برای شرایط محلی واسنجی گردند. با استفاده از مدل SEEP می‌توان در کوتاه‌ترین زمان بدون صرف وقت زیاد، میزان نشت از کانال خاکی را با تقریب خوبی تخمین زد. هم‌چنین با استفاده از این مدل می‌توان ابعاد مختلف کانال را با توجه وضعیت منطقه به منظور کاهش میزان نشت و حصول راندمان بالا بررسی کرد.

منابع مورد استفاده

۱. حیدری‌زاده، م. ۱۳۶۹.بررسی تلفات نشت از کانال‌های آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲. حیدری‌زاده، م. ۱۳۸۷. مقایسه نتایج کاربرد معادله تئوری با تجربی نشت آب از کانال‌های منطقه رودشت اصفهان. اولین همایش مدیریت جامع حوضه آبخیز زاینده‌رود، اصفهان.

۳. سالمی، ح. ر. و ع.سپاسخواه. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰: ۲۹-۴۲.

۴. عراق علوی، س. ۱۳۷۳. مدیریت توزیع آب زاینده‌رود بر اساس برآورد راندمان انتقال آب در کانال‌های زیر دست سد. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. ملک‌پور، ا.، ح. رحیمی و ح. احمدی. ۱۳۸۴. بررسی اثر سطح آب زیرزمینی و ضخامت لایه آبده بر میزان جریان نشت معکوس به کانال. همایش ملی شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

6. Bovwer, H. 1978. Groundwater Hydrology. McGraw-Hill Pub., USA.

7. Chahar, B.R. 2007. Seepage analysis from polygonal canals. J. Hyd. Div. ASCE 133(4): 451–460.

8. GEO-SLOPE International Ltd. 2002. SEEP/w for finite element seepage analysis, user guide, Vesion 5.Calagary, Alberta, Canada.

9. Kinzli, K.D., M. Martinez, R. Oad, A. prior and D. Gensler. 2010. Using an ADCP determine canal seepage loss in an irrigation district. Agric. Water Manage. 97: 801-810.

10. Kraatz, D.B. and V.I.K. Mahajan. 1975. Small Hydraulic Structures. Irrigation and Drainage. Paper No. 26, FAO. Rome.

11. Salemi, H. R. and A. R. Sepaskhah. 2000. Modification of empirical equation for seepage loss estimation in small earth canals. Iran. J. Sci. Technol. 25(B4): 661-668.

Archive of SID
www.SID.ir