بررسی کاربرد معادله تجربی اینگهام و معادله تئوری ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال های منطقه رودشت اصفهان

مجید حیدری زاده[۱] *و حمیدرضا سالمی

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

heydarizadeh1@gmail.com

استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.

hr_salemiuk@yahoo.com

چکیده

برای سنجش بهره وری آب دربخش کشاورزی از طریق تاثیر کانال های گسترشی پخش سیلاب و یا تغذیه سفره های آب زیرزمینی از طریق بستر رودخانه ها و یا کانال های مصنوعی تغذیه، دانستن میزان نشت آب از کانال‌های خاکی مهم است و برای آن روابط تجربی زیادی در دنیا توسعه داده شده است. پژوهش‌های انجام شده در ایران نشان می دهد ضرایب این معادلات تجربی با توجه به شرایط کشور بسیار متفاوت است و حتی از منطقه ای نسبت به منطقه دیگر در یک دشت، نوع روابط تغییر می کند. به نظر می‌رسد روابط تئوری واسنجی شده که حالت جامعی از شرایط هیدرولیکی جریان را در بر می گیرد، بتواند در مناطق وسیعی بکار رود. به همین منظور، در این پژوهش از داده های اندازه‌گیری شده نشت و بهترین معادله تجربی اصلاح شده (واسنجی شده) کانال‌های خاکی منطقه رودشت اصفهان، معادله اینگهام برای مقایسه با نتایج معادله تئوری ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال استفاده شد. اندازه‌گیری کلیه خصوصیات هندسی و هیدرولیکی مورد نیاز از نه کانال خاکی منطقه در ماههای خرداد، تیر و مرداد انجام شد. در مرحله واسنجی از داده های ماه خرداد ضریب C معادله تجربی اینگهام و مقدار ضریب نفوذپذیری K معادله تئوری ودرنیکوف بدست آمد و این معادلات واسنجی شده در مرحله اعتبار سنجی برای برآورد مقدار نشت آب از کانال در ماه های تیر و مرداد ماه استفاده شد. اختلاف مقادیر اندازه گیری و برآورد شده نشت در ماههای تیر و مرداد نشان می دهد متوسط آماره RRMSE و MAE برای روش اینگهام برابر ۰/۲۷۵ و ۰/۰۱ ولی برای روش تئوری ودرنیکو برابر ۰/۱۴۵ و ۰/۰۰۵ و تقریبا نصف می باشد. بنابر این استفاده از معادله ودرنیکو واسنجی شده بهتر از معادلات تجربی اصلاح شده قادر به برآورد نشت آب از کانال های منطقه رودشت می‌باشد. مزیت دیگر معادله ریاضی ودرنیکو، قابل توسعه بودن در مناطق مختلف است.

واژه های کلیدی : کانال خاکی، تغذیه مصنوعی.

۱- نویسنده مسئول، آدرس: تهران، کیلومتر ۱۰ جاده مخصوص کرج، خیابان شهید عاشری، خیابان شهید شفیعی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

* - دریافت: مهر ۱۳۹۲و پذیرش: آبان ۱۳۹۳

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

برای استفاده از مدل های تجربی و ریاضی نشت آب از کانال می بایستی به هدف و مقیاس کار توجه شود. اگر هدف بدست آوردن مقدار نشت در مقیاس یک دشت باشد در این صورت مدل‌های تجربی و مدل‌های هیدرولوژی مانند MODFLOW مناسب می‌باشند. بطور مثال آنالیز تبادل جریان از رودخانه‌ها با سفره آب زیرزمینی در یک دشت بزرگ کلرادو بر رودخانه ثوث پلت، با اندازه گیری جریان های ورودی و خروجی در کانال ها و استفاده از مدل بیلان در دوره ده ساله داده ها اجرا شد. در این تحقیق مشخص گردید که مقدار جریان تبادلی در زمان جریان های حداکثر پنج برابر زمانهای با جریان کم در رودخانه است (آرنه و همکاران، ۲۰۰۱) .

لانگ کنگ و چون هنگ (۲۰۰۳) برای فهم بهتر تاثیر جریان نفوذ نشت و یا برعکس نقش زهکشی بین رودخانه پلات در ایالت نبرسکا آمریکا و سفره آب زیرزمینی با ۱۰۰۰ چاه پمپاژ از مدل MODFLOW استفاده نمودند.

در این تشابه سازی مشخص گردید که اضافه برداشت آب توسط موتور پمپ ها بیشتر از نشت و نفوذ آب رودخانه تاثیرگذار است و حجم کاهش آب زیرزمینی سال به سال افزایش می یابد. در این تحقیق مشخص شد که جریان نشت از رودخانه با تغییرات مکانی تغییر می‌کند بطوریکه رودخانه در غرب دشت نقش نشت و در شرق دشت نقش زهکش را به عهده دارد. شبیه همین تحقیق توسط کریمی و همکاران (۱۳۸۸) در ماهیدشت استان کرمانشاه با تعداد ۹۸۰ چاه پمپاژ انجام شد و همان نتیجه نیز برای این دشت حاصل شد.

اگر هدف بدست آوردن جزئیات مقدار نشت در نقاط مختلف یک مقطع از کانال باشد آنگاه مقیاس کار در حد یک مقطع کانال خواهد بود. در این صورت روش‌های ریاضی حل‌های عددی مانند نرم افزار SEEP/W پاسخگو خواهند بود. در مقیاس نشت از یک مقطع کانال می توان به تحقیق پایدار (۱۳۷۰) و ملک پور و همکاران (۱۳۸۵) اشاره نمود. در این پژوهش ها از معادلات ریاضی حل عددی استفاده شده و یا با استفاده از نرم افزار SEEP/W به بررسی شبیه سازی جریان از کف و دیواره کانال با آب های زیرزمینی پرداخته شده است.در این تحقیقات به این نتیجه رسیده شده است که تجمع خطوط جریان نشت معکوس (زهکش) در کف کانال است. لذا فقط با بکارگیری زهکش و فیلتر در کف کانال می توان نیروی فشار استاتیکی را کنترل کرد.

در مقیاس فی‌مابین یعنی مقیاس طول یک کانال یا یک نوار باریک و بدست آوردن مقدار نشت در طول آن، هم از روش های تجربی و هم از ساده سازی مدل های ریاضی با مقیاس مقطع یک کانال مانند SEEP/W استفاده می شود. در این مقاله نیز هدف بدست آوردن مقدار نشت در طول یک کانال است و به همین منظور از معادلات تجربی و تئوری نشت در این مقیاس استفاده شده است.

برای مورد اخیر می‌توان به تحقیق سالمی و همکاران (۱۳۸۵) برای بدست آوردن و برآورد نشت از کانال ها در منطقه رودشت اصفهان اشاره نمود. مقدار متوسط نشت از کانالهای خاکی منطقه رودشت را ۳۷ الی ٤۷ لیتر در ثانیه در هر کیلومتر طول کانال با متوسط راندمان انتقال ۸۳ درصد بدست آوردند. در این پژوهش روابط تجربی اینگهام[۲]، مولس ورث ینی دومیا[۳]، میسرا[٤]، آفنگندن[۵]، دیویس و ویلسون[٦]، موریتس[۷] و پنجاب هند[۸] مورد استفاده قرار گرفت و ضرایب آن ها برای منطقه اصلاح (واسنجی) شد. از بین تمام روش‌های فوق معادله اینگهام و بعد از آن معادله تجربی موریتس در برآورد نشت در منطقه رودشت مناسب‌ترین روش ها بوده‌اند. در

[2] Ingham
[3] Molesworth-Yennidumia
[4] Misra
[5] Offengendon
[6] Davis-Wilson
[7] Moritz
[8] Indian

Archive of SID

www.SID.ir

این مقاله نیز به همین منظور از رابطه تجربی اینگهام برای مقایسه نتایج استفاده شده است.

در پژوهش دیگری علوی (۱۳۷۳) معادلات تجربی مناسب برآورد نشت از کانال های خاکی در اراضی شمال استان اصفهان (شبکه آبیاری دشت برخوار)، دیویس وویلسون و سپس مولس ورث ینی دومیا بوده است، در حالی که برای ارزیابی روش های تجربی برآورد نشت از کانال های خاکی زیردست سد زاینده رود، روش مناسب و نزدیک به نتایج اندازه گیری ها، روش میسرا و سپس موریتس توسط سالمی وسپاسخواه (۲۰۰۰) تعیین شد.

شمسائی و محمودی (۱۳۸٤) برای تطبیق روش تجربی موریتس با روش تئوری نشت آب از کانال با مدل Seep3D مقدار ضریب C را برای ۱۹۲ حالت در قالب شش جدول، برای سه میزان ارتفاع آب درون آن ارائه دادند. ملاحظه شد که روش تجربی موریتس به بسیاری از پارامترهای موثر در نشت حساسیت لازم ندارد. به نظر می‌رسد چنانچه مستقیما روش تئوری با واسنجی ضریب نفوذپذیری K مورد استفاده قرار گیرد، این روش می تواند دقت بیشتری نسبت به روش های تجربی ارائه کند.

نوری محمدیه و همکاران (۱۳۸۹) معادلات تجربی نشت از سه کانال دشت قزوین را با مقادیر اندازه-گیری نشت مقایسه کردند. در بین روش‌های تجربی روش‌های میسرا و موریتس دقت قابل قبولی در تخمین نشت در منطقه داشتند. در این راستا، رستمیان و عابدی (۱۳۹۰) در یک پژوهش در برآورد میزان نشت به بررسی توانایی مدل نرم افزاری SEEP/W در مقایسه با معادلات تجربی در کانال های خاکی درجه سه و چهار زیر دست سد زاینده رود پرداختند. نتایج این پژوهش نشان دهنده برآورد بهتر مقدار نشت از کانال با استفاده از حل عددی با استفاده از نرم افزار SEEP/W بوده است.

پژوهش‌های فوق برای نشت از رودخانه ها و یا کانال ها در مقیاس سطح دشت و یا در مقیاس سطح مقطع یک کانال، نشان دهنده برتری روش‌های تئوری برتجربی است. اما برای مقیاس طول یک کانال و برای یک آبراهه لازم است این دو روش نیز مورد مقایسه قرارگیرند. روش های تئوری به داده های هیدرولیکی ضریب نفوذپذیری لایه های زیر بستر و شکل هندسی کانال نیاز دارند و چون داده‌های آن معمولا وجود ندارد، فرض بر همگنی لایه های خاک و یکسان بودن ضریب نفوذپذیری و فرض بر یک شکل هندسی ذوزنقه‌ای برای کانال می‌شود. در این راستا معادله ریاضی ودرنیکو[9] (هار، ۱۹٦۲) با این فرضیات وجود دارد که می توان مستقیما بدون نیاز به روابط و مدل‌های پیچیده و نرم افزار خاص مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در پژوهش حاضر مستقیما به توانائی مدل ریاضی ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال های خاکی منطقه رودشت اصفهان پرداخته شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه رودشت در شرق شهر اصفهان و در شرقی ترین قسمت حوضه زاینده رود واقع است. داده های بدست آمده نشت از اندازه‌گیری مستقیم دبی ورودی و خروجی و ابعاد هیدرولیکی کانال های خاکی انتقال آب منطقه بدست آمد. در شکل (۱) موقعیت و کانال های مورد مطالعه منطقه رودشت اصفهان ارائه شده است.

معادلات تئوری نشت از کانال

با توجه به اینکه سطح آب زیرزمینی در منطقه در عمق بیشتر از سه برابر عرض آب کانال است (باور، ۱۹٦۵)، از معادلات نشت آب از کانال زمانی که عمق آب زیر زمینی در اعماق قرار دارد استفاده می شود شکل (۲).در این ارتباط رابطه ودرنیکو پیشنهاد شده است (هار، ۱۹٦۲). رابطه تئوری بصورت معادله (۱) ارایه شده

[9] Wedernikow

Archive of SID

www.SID.ir

است.لازم به توضیح است کـه اگـر سـطح آب زیرزمینـی نزدیک به کانال و در عمق کمتر از سه برابر عرض کانـال باشد، باعث تاثیر گذاری سـطح آب زیرزمینـی بـر نشـت خواهد شد و مقدار نشت را کاهش می‌دهد (باور، ۱۹٦۵).

$$q = \frac{\pi s y}{\cos^{-1} k^*} = K(B + 2y\frac{I}{I'}) \qquad (۱)$$

که در آن:

Q- تلفات آب در واحد طول نهر (m^3/day)، y- ارتفـاع سطح آب در داخل (m)، B- عـرض نهـر در ارتفـاع آب (m)، b- عـرض کـف، s- شـیب جـداره، K- هـدایت هیدرولیکی. I و I' انتگرال الپتیک نوع اول اسـت. مـدول آنها بترتیب k و $(1-k^{*2})^{0.5}$ می باشد. مقدار k برابر معادله (۲) می باشد.

$$k = \cos\frac{\pi z y}{q} \qquad (۲)$$

در این خصوص برنامـه فـورترن و یـا دیـاگرام شکل(۳) برای آسانی دراستفاده از ایـن روش ارائـه شـده اسـت (حیـدری‌زاده، ۱۹٦۵. هـار، ۱۹٦۲. انسـیتو احیـای اراضی هلند، ۱۹۷۳). زمانی که سطح آب زیرزمینی نزدیک به کانال باشد و اثر سطح ایستابی بر نشـت آب از کانـال تاثیر داشته باشد در این صورت معروف ترین معادله های مناسـب ارنسـت[10] و مـیلس[11] مـی باشـد (حیـدری زاده، ۱۹٦۵).

معادلات تجربی

تعداد معادلات تجربی زیاد هستند. معادلاتی که در منطقه رودشت اصفهان با نتایج واقعـی مـورد مقایسـه قرار گرفتند عبارتند از: اینگهام، دیلن[12] ، مولس ورث ینی دومیا، کراتز [13]، میسرا، آفنگندن، دیویس و ویلسون،کراتزو ماهاجان[14]، مـوریتس و پنجـاب هنـد (کرتـز و همکـاران ۱۹۷۵ و کرتز ۱۹۷۷).

از میان تمام این معادلات تجربی، معادله اینگهام در این منطقه در برآورد نشت مناسـب تـرین روش بـوده است (سالمی و سپاسخواه، ۱۳۸۵). در تحقیق فـوق ابتـدا ضرایب فرمول های تجربی آورده شده اصلاح شدند.نحوه اصلاح ضرایب به این شکل بود که مقـادیر نشـت انـدازه گیری شده خرداد ماه در معادلات تجربـی جـای گـذاری شده و ضرایب آن‌ها محاسبه شد. سپس مقـادیر نشـت دو ماه دیگر از طریق انـدازه گیـری و از طریـق محاسـبه بـا معادلات تجربی و بـا ضـریب واسـنجی و اصـلاح شـده بدست آمد.

نهایتا مشاهده گردید، تمام روش ها مقدار نشت را کمتر از مقدار اندازه گیری شده تخمین مـی زننـد. امـا روش اینگهام و مـورتیس بـالاترین ضـریب تشـخیص را داشتند (۹٦٪) و برای منطقـه مـورد مطالعـه پیشـنهاد شـد (سـالمی و سپاسـخواه، ۲۰۰۰). امـا نتـایج ایـن معـادلات تجربی با نتایج یک مدل و شـبیه سـازی تئـوری مقایسـه نشد. در پژوهش حاضر، نتایج معادلـه تئـوری بـا بهتـرین معادله تجربی این منطقه یعنی اینگهام مورد مقایسـه قـرار می‌گیرد. اگر نتایج برآورد نشت از معادله تئوری بر نتـایج بهترین معادله تجربی رجحان داشت بر بقیـه هـم برتـری خواهد داشت. معادله اینگهام بصـورت معادلـه (۳) ارائـه شده است (هیلون، ۱۹٦۸).

$$q = 0.55CPL\,(10^{-6})\,(H^{0.5}) \qquad (۳)$$

که در آن:

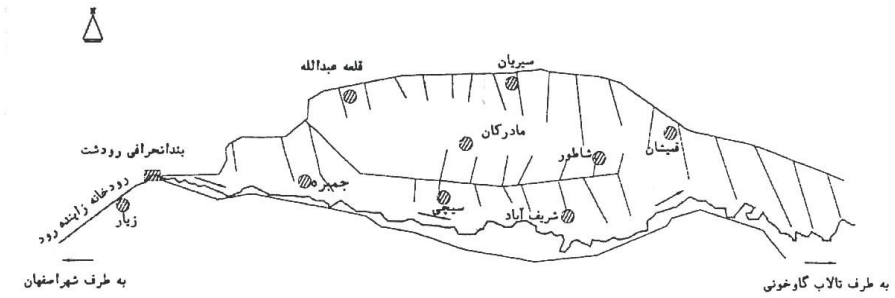
q = میزان نشت در طول کانال (m^3/s)، H عمـق جریـان آب در کانال (m)، P محیط خـیس شـده (m) و L طـول کانال (m) می باشد. ضریب C ضریبی است که بسـته بـه نوع خاک بین ۱/۵ تـا ۵/۵ متغیـر اسـت. در ایـن تحقیـق مقادیر اندازه گیری شـده مـاه خـرداد بـرای واسـنجی یـا اصلاح ضریب معادله تجربی و همچنـین ضـریب معادلـه تئوری استفاده می شود و سپس معـادلات واسـنجی شـده برای محاسبه مقادیر نشت در ماه های خرداد و تیـر بکـار برده می شود و سپس با مقادیر اندازه گیـری شـده مـورد مقایسه و به عبارت دیگر صحت سنجی می شـود. رابطـه

[10] Ernst
[11] Mils
[12] Dhillon
[13] Karatz
[14] Karatz and Mahajan

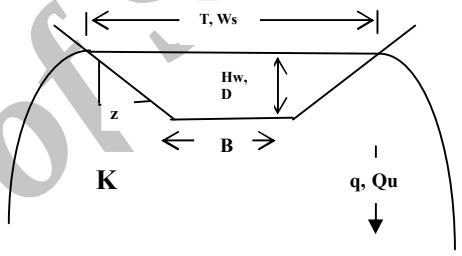
Archive of SID

www.SID.ir

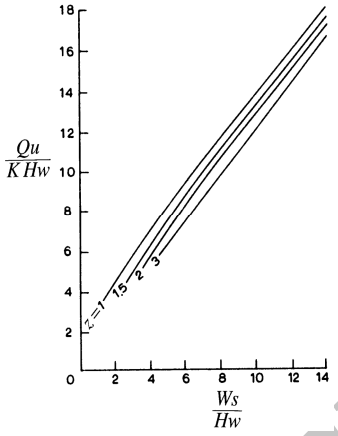
تجربی و یا تئوری که مقادیر محاسباتی آن با مقادیر اندازه گیری شده نزدیک باشد به عنوان بهتـرین رابطـه انتخـاب می‌شود.



شکل ۱- موقعیت و کانال های مورد مطالعه منطقه رودشت اصفهان



شکل ۲- شماتیک نشت و نفوذ آب از کانال خاکی حالت سطح ایستابی عمیق



شکل ۳- دیاگرام ودرنیکو برای تعیین نشت آب از کانال خاکی با ایستابی عمیق (هار، ۱۹۶۲)

اندازه گیری میزان نشت از نه کانال خاکی منطقه در سه تکرار هر یک در ماه های خرداد، تیر و مرداد انجام گرفت. اندازه گیری ماه خرداد برای کالیبره یا واسنجی ضریب C معادله تجربی و ضریب K معادله تئوری بکار برده شد.

سپس این دو معادله واسنجی شده برای برآورد نشت در دو تکرار خرداد و تیر استفاده شد. مقادیر نشت اندازه گیری شده با مقادیر نشت محاسبه شده مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این مقایسه از سه آماره RRMSE[15]، MAE[16] و MBE[17] استفاده گردید. آماره RRMSE یا مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا، بیانگر میزان خطای برآورد متغیرها نسبت به مقدار مشاهداتی است که بر اساس ریشه مربعات خطا مورد محاسبه قرار می گیرد و فرمول آن به شرح معادله (٤) است.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{X_e - X_o}{X_o}\right]^2} \qquad (٤)$$

در اینجا X_e مقدار نشت و تغذیه محاسبه شـده با استفاده از روش اینگهام تجربی و ودرنیکو تئوری است و X_0 مقدار نشت و تغذیه اندازه گیـری شـده اسـت و n تعداد کانال های اندازه گیری شده می باشد. آماره MAE

[15]- Relative Root Mean Square Error
[16]- Mean Absolute Error
[17]- Mean Bias Error

Archive of SID

www.SID.ir

یا میانگین خطای مطلق نیز از معادله (۵) قابل محاسبه است.

$$MAE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|X_e - X_o\right|\right] \qquad (۵)$$

انحراف و فاصله گرفتن هر روش تجربی و یا تئوری از مقادیر اندازه گیری شده که در مقدار دو آماره RRMSE و MAE نمایان می شود، چنانچه کوچکتر از بقیه مدل ها باشد، بهترین روش و مدل برآورد نشت و تغذیه از کانال خواهد بود. خطای میانگین MBE دارای علامت مثبت و منفی است و بترتیب نشاندهنده تخمین دست پائین و یا تخمین دست بالای مدل مورد استفاده نسبت به مشاهدات است. معادله (٦) نحوه محاسبه این آماره را مشخص می سازد.

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(X_O - Xe\right) \qquad (٦)$$

نتایج

مقادیر نشت و ابعاد هیدرولیکی برای ماه های خرداد در جدول (۱) و برای ماه های تیر و مرداد در جدول (۲) داده شده است. در ستون آخر این جدول میزان نشت اندازه گیری شده برای یک کیلومتر طول کانال محاسبه و درج شده است.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی کانال های خاکی در ماه خرداد

نام کانال	L(m) طول	A(m^2) سطح	W(m) عرض	P(m) محیط خیس	D(m) عمق	Q(m^3/s) جریان اندازه گیری شده	(m3/s/km) اندازه گیری
ورودی در خرداد ماه (برای واسنجی روش تجربی اینگهام و روش تئوری ودرنیکو)							
قلعه							
عبدالله	۳۲۵	۰/۶۶	۲/۲	۲/۴۵	۰/۳	۰/۱۲	۰/۰۳۱
قمیشان	۴۵۵	۰/۲۸	۱/۵۴	۱/۷	۰/۱۸	۰/۱۲۸	۰/۰۲۹
شاطور	۲۱۳	۰/۱۷	۱/۱۵	۱/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۵۴	۰/۰۲۳
جمبزه	۱۵۰۰	۱/۴۹	۱/۳	۳/۰۲	۰/۶۵	۰/۲۶۷	۰/۰۴۵
مادرکان	۷۸۵	۰/۲۸	۱/۵۴	۱/۷	۰/۱۸	۰/۱۲۹	۰/۰۳۷
زیار	۳۷۰	۰/۴۹	۱/۴۵	۱/۷۵	۰/۲۸	۰/۱۰۸	۰/۰۳۵
شریف آباد	۹۷	۰/۹۴	۲/۵	۲/۸۵	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۵۲
سیریان	۴۰۰	۰/۷۳	۳	۳/۱۴	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۰۶۳
سیچی	۹۴	۰/۱	۰/۹۶	۱/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۱
خروجی در خرداد ماه							
قلعه							
عبدالله		۰/۴۲	۱/۵	۱/۷۵	۰/۲۷	۰/۱۱	-
قمیشان		۰/۴۲۵	۱/۷	۱/۹۲	۱/۲۵	۰/۱۱۵	-
شاطور		۰/۴۶	۱/۵	۱/۸۶	۰/۳۱	۰/۰۴۹	-
جمبزه		۰/۵	۲/۱	۲/۲۸	۰/۲۴	۰/۲	-
مادرکان		۰/۵	۲/۳	۲/۴۲	۰/۲۲	۰/۱	-
زیار		۰/۳۱	۲/۲	۲/۳	۰/۱۴	۰/۰۹۵	-
شریف آباد		۰/۸	۲/۳	۲/۲	۰/۳۵	۰/۱۶۵	-
سیریان		۰/۵۷	۲/۷	۳	۰/۲۱	۰/۳۶۵	-
سیچی		۰/۹۲	۰/۹۶	۱	۰/۰۹۶	۰/۰۳۳	-

در جداول (۱) و (۲) مقدار نشت اندازه گیری شده مستقیم در ماه های خرداد، تیر و مرداد درج شده است. لازم به توضیح است که محل و طول کانال اندازه گیری دبی در ماه های مختلف اندازه گیری طبق جداول فوق متغیر بوده است. در روش مستقیم چون دبی ورودی و خروجی اندازه گیری می شود، لذا با دو مقطع یک عدد متوسط نشت بدست می آید. ولی برای روش های تجربی و تئوری برای هر مقطع یک عدد نشت بدست می‌آید. در

Archive of SID

www.SID.ir

نهایت میزان نشت کانال برابر متوسط نشت مقطع ورودی و نشت مقطع خروجی است. متوسط داده ها و همچنین متوسط ضرایب اصلاح شده در جدول (۳) آمده است.ضریب K در معادله ودرنیکو همان ضریب آبگذری قانون دارسی در محیط اشباع و برحسب متر در روز است. برای مقایسه روش ها داده های ماه خرداد به عنوان واسنجی روش ها و دو ماه دیگر به عنوان صحت سنجی و مقایسه روش ها بهره گرفته شده است. در شکل (٤) و شکل (٥) مقادیر نشت محاسبه شده از کانالها با روش های واسنجی شده تئوری و تجربی در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده ترسیم شده است.

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی کانال های خاکی در ماه های تیر و مرداد

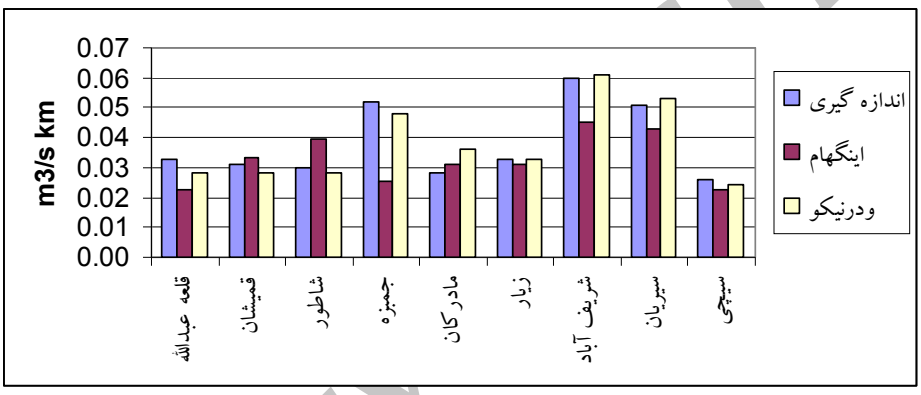
نام کانال	L(m) طول	A(m^2) سطح	W(m) عرض	P(m) محیط خیس	D(m) عمق	Q(m^3/s) جریان اندازه گیری شده	(m3/s/km) اندازه گیری
ورودی در تیر ماه (برای صحت سنجی روش تجربی اینگهام و روش تئوری ودرنیکو)							
قلعه							
عبدالله	۶۷۵	۰/۵۵	۲/۳	۲/۴۸	۰/۲۶	۰/۱۴۷	۰/۰۳۳
قمیشان	۶۴۰	۰/۲۵	۱/۶	۱/۷	۰/۱۶	۰/۱۳۵	۰/۰۳۱
شاطور	۳۰۰	۰/۲۲	۱/۶	۱/۷۴	۰/۱۸	۰/۰۶۱	۰/۰۳۰
جمبزه	۱۳۵۰	۰/۸۲	۲/۳	۲/۶۲	۰/۳۶	۰/۴	۰/۰۵۲
مادرکان	۱۳۲۰	۰/۲۲	۱/۲۶	۱/۴۱	۰/۱۷۳	۰/۱۳۹	۰/۰۲۸
زیار	۵۷۰	۰/۴۲	۱/۷	۱/۹۳	۰/۲۵	۰/۱۱۹	۰/۰۳۳
شریف آباد	۵۰۰	۰/۶۸	۳/۳	۳/۱۳	۰/۲۳	۰/۲	۰/۰۶۰
سیریان	۱۱۰۰	۰/۶	۲/۳	۲/۴۶	۰/۲۶	۰/۱۵۶	۰/۰۵۱
سیچی	۱۹۰	۰/۱۴	۱/۱	۱/۱۹	۰/۱۲۴	۰/۰۴۷	۰/۰۲۶
خروجی در تیر ماه							
قلعه							
عبدالله		۰/۳	۱/۵۵	۱/۷	۰/۱۸	۰/۱۲۵	-
قمیشان		۰/۴۲	۱/۷	۱/۹۳	۰/۲۵	۰/۱۱۵	-
شاطور		۰/۱۷	۱/۶	۱/۹۶	۰/۱۹	۰/۰۵۲	-
جمبزه		۰/۴۷	۲/۹	۳	۰/۱۶۲	۰/۳۳	-
مادرکان		۰/۱۹	۱/۴	۱/۵۱	۰/۲۰۱	۰/۱۰۲	-
زیار		۰/۱۸	۱/۴	۱/۵	۰/۲	۰/۱	-
شریف آباد		۰/۹۴	۲/۵	۲/۸۵	۰/۳۷	۰/۱۷	-
سیریان		۰/۳۰۹	۲/۲	۲/۲۷	۰/۱۴	۰/۱	-
سیچی		۰/۱۰۶	۱/۱	۱/۱۵	۰/۰۹۶	۰/۰۴۲	-
ورودی درمرداد ماه (برای صحت سنجی روش تجربی اینگهام و روش تئوری ودرنیکو)							
قلعه							
عبدالله	۷۰۰	۰/۶	۲/۲۸	۲/۴۶	۰/۲۶	۰/۱۵۷	۰/۰۳۷
قمیشان	۶۱۰	۰/۵۸	۲/۲	۲/۴	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۴۱
شاطور	۸۵۰	۰/۲۹	۱/۶	۱/۷۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۲۵
جمبزه	۱۰۲۰	۰/۷۷	۲/۷	۲/۹	۰/۲۸	۰/۴۰۵	۰/۰۵۴
مادرکان	۱۱۶۰	۰/۸۲	۲/۳	۲/۶۱	۰/۳۶	۰/۴	۰/۰۶۹
زیار	۷۰۰	۰/۲۸	۱/۵۴	۱/۶۹	۰/۱۸	۰/۱۲۸	۰/۰۴۰
شریف آباد	۶۲۵	۰/۵۴	۲/۲۵	۲/۳۶	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۰۵۸
سیریان	۷۵۰	۰/۹۴	۲/۵۲	۲/۸۵	۰/۳۷	۰/۱۷۴	۰/۰۵۹
سیچی	۳۶۵	۰/۴۶	۱/۸	۲/۰۱	۰/۲۵	۰/۰۶۷	۰/۰۴۱
خروجی در مردادماه							
قلعه							
عبدالله		۰/۲۸	۱/۵۴	۱/۷	۰/۱۸	۰/۱۳۱	-
قمیشان		۰/۶۶	۲/۲	۲/۴۴	۰/۳	۰/۱۲۵	-
شاطور		۰/۱۲۵	۱/۱	۱/۱۸	۰/۱۱۴	۰/۰۵۹	-
جمبزه		۰/۴۲	۲/۲۴	۲/۳۵	۰/۱۸	۰/۳۵	-
مادرکان		۰/۴۷	۲/۹	۲/۹۹	۰/۱۶۲	۰/۳۲	-
زیار		۰/۳۱	۲/۲	۲/۳	۰/۱۴	۰/۱	-
شریف آباد		۰/۸۳	۲/۸	۲/۹۷	۰/۲۹۹	۰/۱۷۴	-
سیریان		۰/۲۸	۱/۵۴	۱/۶۹	۰/۱۸	۰/۱۳	-
سیچی		۰/۱۴۲	۱/۱	۱/۲۵	۰/۱۳	۰/۰۵۲	-

Archive of SID

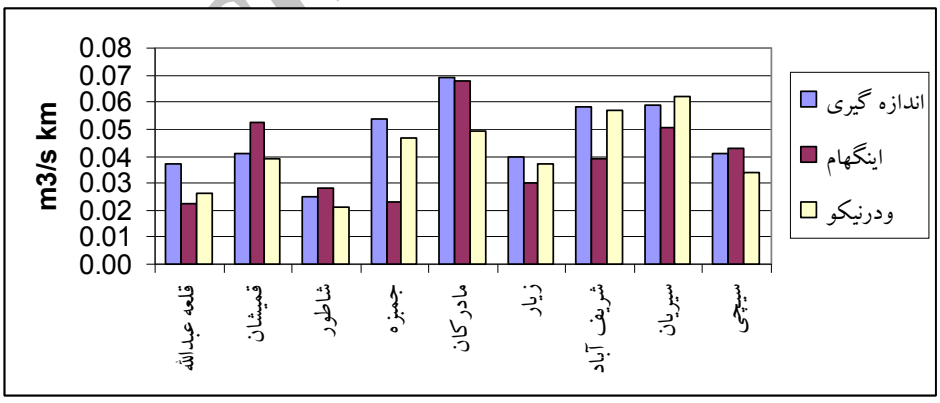
www.SID.ir

جدول ۳- مقدار نشت اندازه گیری، تجربی و تئوری کانال های منطقه رودشت اصفهان($m^3/s/km$)

نام کانال	نشت در خرداد ماه (واسنجی)			ضریب K واسنجی ودرنیکو m/day	ضریب C واسنجی اینگهام	نشت در تیر ماه (صحت سنجی)			نشت در مرداد ماه (صحت سنجی)		
	اندازه گیری	اینگهام	ودرنیکو			اندازه گیری	اینگهام	ودرنیکو	اندازه گیری	اینگهام	ودرنیکو
قلعه عبدالله	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۰	۱/۱۰	۴۱/۰	۰/۰۳۳	۰/۰۲۲	۰/۰۲۸	۰/۰۳۷	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶
قمیشان	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۱/۲۵	۷۴/۱	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۱	۰/۰۵۲	۰/۰۳۹
شاطور	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۱/۲۰	۹۰/۹	۰/۰۳۰	۰/۰۴۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱
جمبزه	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۱/۴۰	۳۳/۳	۰/۰۵۲	۰/۰۲۵	۰/۰۴۸	۰/۰۵۴	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷
مادرکان	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵	۱/۴۵	۸۹/۲	۰/۰۲۸	۰/۰۳۱	۰/۰۳۶	۰/۰۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۴۹
زیار	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۱/۳۵	۶۹/۱	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۳	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰	۰/۰۳۷
شریف آباد	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۰/۰۴۹	۱/۳۶	۵۰/۶	۰/۰۶۰	۰/۰۴۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۷
سیریان	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۱/۶۳	۷۴/۶	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۹	۰/۰۵۰	۰/۰۶۲
سیچی	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۱/۶۰	۱۰۷/۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۳	۰/۰۳۴



شکل ۴- صحت سنجی و مقایسه مقادیر تخمین زده شده نشت در ماه تیر با مقادیر اندازه گیری شده



شکل ۵- صحت سنجی و مقایسه مقادیر تخمین زده شده نشت در ماه مرداد با مقادیر اندازه گیری شده

www.SID.ir

بحث و نتیجه گیری

دقت برآورد

در جدول (٤) مقادیر دو آماره RRMSE و MAE برای روش تجربی و تئوری در تخمین میزان نشت در ماههای تیر و مرداد آمده است. در مقایسه مشخص می گردد که میزان خطای آماره های RRMSE و MAE برای روش تئوری ودرنیکو نصف مقادیر آن برای روش تجربی اینگهام است. بنابراین روش تئوری بر روش تجربی در تخمین میزان نشت و تغذیه از کانالها در این آزمایش ارجح می باشد. با توجه به علامت مثبت آماره MBE ملاحظه می شود که مدل تجربی اینگهام و تئوری ودرنیکو، هر دو تخمین دست پائین نسبت به مقادیر مشاهده‌ای نشان می دهند.

جدول ۴- ارزیابی روش تجربی اینگهام و تئوری ودرنیکو

آماره	اینگهام (تجربی)		ودرنیکو (تئوری)	
	صحت سنجی در تیر ماه	صحت سنجی در مرداد ماه	صحت سنجی در تیر ماه	صحت سنجی در مرداد ماه
RRMSE	۰/۲۵۶۸	۰/۲۹۲۹	۰/۱۲۱۱	۰/۱۶۸۳
MAE	۰/۰۰۸۹	۰/۰۱۱۲	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۶۴
MBE	+۰/۰۰۵۵	+۰/۰۰۷۷	+۰/۰۰۰۶	+۰/۰۰۵۸

حساسیت مدل به ضرایب

اگر متغیرهای یک روش بخوبی وزن دهی و در رابطه ارائه شوند می توان ضریب ثابت آن رابطه را در چند آزمایش بدست آورد و یا بخوبی تخمین زد. در غیر اینصورت ضرایب ثابت نبوده و به متغیر در نظر نگرفته شده وابستگی پیدا خواهد نمود. اگر ضرایب اینگهام (تجربی) و ودرنیکو (تئوری) در جدول (۳) مورد مقایسه قرار گیرند ملاحظه می شود با اینکه روش تئوری با دقت میزان نشت را برآورد می سازد با اینحال نسبت بیشترین مقدار ضریب K بر مقدار کمترین آن ۱/٤٥برابر است. در حالی که نسبت حداکثر و حداقل ضریب C در روش تجربی جدول (۳) به میزان ۳/۲۲ برابر است و در ضمن نسبت به روش تئوری با دقت کمتری نشت را برآورد می‌سازد. لذا در این تحقیق مشاهده می شود که روش تجربی به ضریب C بیشتر از روش تئوری بدلیل در نظر نگرفتن متغیر های مورد نیاز حساس می‌باشد.

نتیجه گیری

اگر نتایج رابطه تجربی اینگهام با معادله ودرنیکو که منتج از تئوری شبیه سازی نشت از کانال است طبق نمودارهای شکل (٤) و (٥) و آماره های خطا مقایسه شود ملاحظه می شود که رابطه تئوری بر رابطه تجربی رجحان دارد و میزان نشت و تغذیه از کانال را دقیق تر برآورد می سازد. دیگر از مزایای مهم رابطه تئوری امکان بکارگیری و بسط آن در شکل های مختلف کانال و در تمام مناطق است در حالی که روابط تجربی از کانالی به کانال دیگر و از منطقه ای به منطقه دیگر تغییر می‌نمایند.

فهرست منابع

۱. پایدار، ز. ۱۳۷۰. مدل ریاضی تلفات نشت از کانال های آبیاری. مجله آب ۱۰: ۱۵-۲۲.

۲. حیدری زاده، م. ۱۳٦۸. بررسی تلفات نشت از کانال های آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ۱٤٦ ص.

۳. سالمی، ح.ر. و سپاسخواه، ع. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال دهم. شماره اول بهار ۱۳۸۵: ۲۹- ٤۲.

Archive of SID

www.SID.ir

٤. شمسائی، ا. و محمودی، ا.ع. (١٣٨٤). "تحلیل سه بعدی تراوش در کانالهای انتقال آب". مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ١٧ لغایت ١٩ آبان ماه ١٣٨٤.

٥. رستمیان، ر. و عابدی کوپائی، ج. ١٣٩٠. ارزیابی مدل SEEP/W در برآورد نشت آب از کانال های خاکی، (مطالعه موردی شبکه آبیاری زاینده رود). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم. شماره پنجاه و هشتم. زمستان ١٣٩٠. صفحات ١٣ – ٢٢.

٦. عراق علوی، س. ١٣٧٣. مدیریت توزیع آب رودخانه زاینده رود بر اساس برآورد راندمان انتقال آب در کانال های زیردست. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ٢٠٢ ص.

٧. کریمی، ز. ١٣٨٨. بهره برداری تلفیقی آب های سطحی و زیرزمینی ماهیدشت با استفاده از MODFLOW. دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی.

٨. ملک پور، ا. رحیمی، ح. و احمدی، ح. ١٣٨٥. بررسی اثر آب زیرزمینی و ضخامت لایه آبدار بر میزان جریان نشت معکوس به کانال. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز دانشکده مهندسی علوم آب. ١٢ الی ١٤ اردیبهشت ١٣٨٥.

٩. نوری محمدیه، م. سهرابی، ت. و رحیمی، ح. ١٣٨٩. ارزیابی روش های تجربی تعیین نشت در کانال های خاکی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله پژوهش آب ایران، سال چهارم. شماره هفتم. پائیز ١٣٨٩:١٢٥ – ١٢٨.

10. Arne Sjodin, William M. Lewis Jr. and James F. Saunders III. 2001. Analysis of groundwater exchange for a large plains river in Colorado (USA). Hydrological Processes. 15. 609-620. 2001. DOI: 10. 1002/hyp.173.
11. Bouwer, H. 1965. Theoretical aspects of Seepage from open channels. Journal of the Hydraulics Divition. 33: 37-59.
12. Dhillon, G. S. 1968. Estimation of Seepage Losses from unlined channels. Indian J. Power River Valley Development. 2: 23-28.
13. Harr, M.H. 1962. Groundwater and Seepage. New Yourk, Mc Graw Hill Company, 1962.
14. Heydarizadeh M. (1965). Modélisation synthétiques des régimes hydrauliques, Thèse de doctorat : Géophysique, géochimie, géomécanique : Grenoble 1 : 199.
15. ILRI, 1973. Drainage Principles and Applications II- Theories of field drainage and watershed runoff. International Institute for Land Reclamation and Improvement.
16. Kraatz, D.B. and Mahajan, V.I.K. 1975. Small Hydraulic Structures. Irrigation and Drainage. Paper No. 26, FAO.
17. Karatz D.B. 1977. Irrigation Canal Lining, FAO Land and Water Development Divition Rome, 1977.
18. Long-cang, S. and Xun-hong, C. 2002. Simulation of water quantity exchange between groundwater and the Platte River water, central Nebraska, Journal of Central South University of Technology. 9 (3): 212-215.
19. 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): 661-668.

Archive of SID

www.SID.ir