

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

مجید حیدری زاده<sup>۱\*</sup> 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 در بخش 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 کانال های خاکی مهم است و برای آن روابط تجربی زیادی در دنیا توسعه داده شده است. پژوهش های 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 می رسد 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 اندازه گیری شده نشت و بهترین معادله تجربی اصلاح شده ( واسنجی شده) کانال های خاکی منطقه رودشت اصفهان، معادله اینگهام برای مقایسه با نتایج معادله تئوری ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال استفاده شد. اندازه گیری 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 تقریباً 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 می باشد. 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 ۱۳۹۲ و پذیرش: آبان ۱۳۹۳

## 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 مدل های تجربی و مدل های هیدرولوژی مانند MODFLOW مناسب می باشند. بطور مثال آنالیز تبادل جریان از رودخانه ها 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 تبدیلی 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 می کند 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 روش های ریاضی حل های 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 فی مابین 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 می توان 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 ۴۷ لیتر در ثانیه در هر کیلومتر طول کانال با متوسط راندمان انتقال ۸۳ درصد بدست آوردند. در این پژوهش روابط تجربی اینگهام<sup>۲</sup>، مولس ورث<sup>۳</sup>، مینو<sup>۴</sup>، میسرا<sup>۵</sup>، آفنگندن<sup>۶</sup>، دیویس و ویلسون<sup>۷</sup>، موریتس<sup>۸</sup> و پنجاب هند<sup>۸</sup> مورد استفاده قرار گرفت و ضرایب آن ها برای منطقه اصلاح (واسنجی) شد. از بین تمام روش های فوق معادله اینگهام و بعد از آن معادله تجربی موریتس در برآورد نشت در منطقه رودشت مناسب ترین روش ها بوده اند. در

<sup>2</sup> Ingham

<sup>3</sup> Molesworth-Yennidumia

<sup>4</sup> Misra

<sup>5</sup> Offengendon

<sup>6</sup> Davis-Wilson

<sup>7</sup> Moritz

<sup>8</sup> Indian

بر تجربی 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 داده های آن معمولاً وجود ندارد، فرض بر همگنی لایه های خاک و یکسان بودن ضریب نفوذپذیری و فرض بر یک شکل هندسی دوزنقه ای برای کانال می شود. در این راستا معادله ریاضی ودرنیکو<sup>۹</sup> (هار، ۱۹۶۲) با این فرضیات وجود دارد که می توان مستقیماً بدون نیاز به روابط و مدل های پیچیده و نرم افزار خاص مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در پژوهش حاضر مستقیماً 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 اندازه گیری 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، ۱۹۶۵)، 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، ۱۹۶۲). رابطه تئوری بصورت معادله (۱) ارایه شده

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 و سپاسخواه (۲۰۰۰) تعیین شد.

شمسائی و محمودی (۱۳۸۴) 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 می رسد چنانچه مستقیماً 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 روش های تجربی روش های 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.

پژوهش های 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 روش های تئوری

<sup>9</sup> Wedernikow

از میان تمام این معادلات تجربی، معادله اینگهام در این منطقه در برآورد نشت مناسب ترین روش بوده است (سالمی و سپاسخواه، ۱۳۸۵). در تحقیق فوق ابتدا ضرایب فرمول های تجربی آورده شده اصلاح شدند. نحوه اصلاح ضرایب به این شکل بود که مقادیر نشت اندازه گیری شده خرداد ماه در معادلات تجربی جای گذاری شده و ضرایب آنها محاسبه شد. سپس مقادیر نشت دو ماه دیگر از طریق اندازه گیری و از طریق محاسبه با معادلات تجربی و با ضریب واسنجی و اصلاح شده بدست آمد.

نهایتا مشاهده گردید، تمام روش ها مقدار نشت را کمتر از مقدار اندازه گیری شده تخمین می زنند. اما روش اینگهام و مورتیس بالاترین ضریب تشخیص را داشتند (۹۶٪) و برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد (سالمی و سپاسخواه، ۲۰۰۰). اما نتایج این معادلات تجربی با نتایج یک مدل و شبیه سازی تئوری مقایسه نشد. در پژوهش حاضر، نتایج معادله تئوری با بهترین معادله تجربی این منطقه یعنی اینگهام مورد مقایسه قرار می گیرد. اگر نتایج برآورد نشت از معادله تئوری بر نتایج بهترین معادله تجربی رجحان داشت بر بقیه هم برتری خواهد داشت. معادله اینگهام بصورت معادله (۳) ارائه شده است (هیلون، ۱۹۶۸).

$$q = 0.55CPL (10^{-6}) (H^{0.5}) \quad (3)$$

که در آن:

$q$  = میزان نشت در طول کانال  $(m^3/s)$ ،  $H$  عمق جریان آب در کانال  $(m)$ ،  $P$  محیط خیس شده  $(m)$  و  $L$  طول کانال  $(m)$  می باشد. ضریب  $C$  ضریبی است که بسته به نوع خاک بین  $1/5$  تا  $5/5$  متغیر است. در این تحقیق مقادیر اندازه گیری شده ماه خرداد برای واسنجی یا اصلاح ضریب معادله تجربی و همچنین ضریب معادله تئوری استفاده می شود و سپس معادلات واسنجی شده برای محاسبه مقادیر نشت در ماه های خرداد و تیر بکار برده می شود و سپس با مقادیر اندازه گیری شده مورد مقایسه و به عبارت دیگر صحت سنجی می شود. رابطه

است. لازم به توضیح است که اگر سطح آب زیرزمینی نزدیک به کانال و در عمق کمتر از سه برابر عرض کانال باشد، باعث تاثیر گذاری سطح آب زیرزمینی بر نشت خواهد شد و مقدار نشت را کاهش می دهد (باور، ۱۹۶۵).

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

که در آن:

$Q$  - تلفات آب در واحد طول نهر  $(m^3/day)$ ،  $y$  - ارتفاع سطح آب در داخل  $(m)$ ،  $B$  - عرض نهر در ارتفاع آب  $(m)$ ،  $b$  - عرض کف،  $s$  - شیب جداره،  $K$  - هدایت هیدرولیکی.  $I$  و  $I'$  انتگرال الپتیک نوع اول است. مدول آنها برتریب  $k$  و  $(1-k^2)^{0.5}$  می باشد. مقدار  $k$  برابر معادله (۲) می باشد.

$$k = \cos \frac{\pi z y}{q} \quad (2)$$

در این خصوص برنامه فورترن و یا دیباگرام شکل (۳) برای آسانی دراستفاده از این روش ارائه شده است (حیدری زاده، ۱۹۶۵. هار، ۱۹۶۲. انسیتو احیای اراضی هلند، ۱۹۷۳). زمانی که سطح آب زیرزمینی نزدیک به کانال باشد و اثر سطح ایستابی بر نشت آب از کانال تاثیر داشته باشد در این صورت معروف ترین معادله های مناسب ارنست<sup>۱۰</sup> و میلز<sup>۱۱</sup> می باشد (حیدری زاده، ۱۹۶۵).

## معادلات تجربی

تعداد معادلات تجربی زیاد هستند. معادلاتی که در منطقه رودشت اصفهان با نتایج واقعی مورد مقایسه قرار گرفتند عبارتند از: اینگهام، دیلن<sup>۱۲</sup>، مولس ورت ینی<sup>۱۳</sup>، دومیا، کراتز<sup>۱۴</sup>، میسرا، آفنگندن، دیویس و ویلسون، کراتزو<sup>۱۴</sup>، ماهاجان<sup>۱۴</sup>، موریس و پنجاب هند (کراتز و همکاران ۱۹۷۵ و کراتز ۱۹۷۷).

<sup>10</sup> Ernst

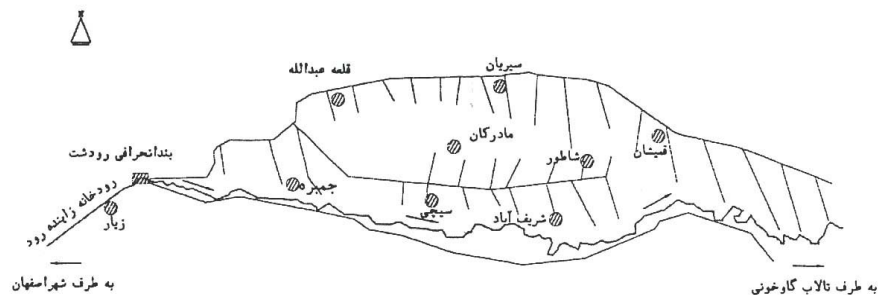
<sup>11</sup> Mills

<sup>12</sup> Dhillon

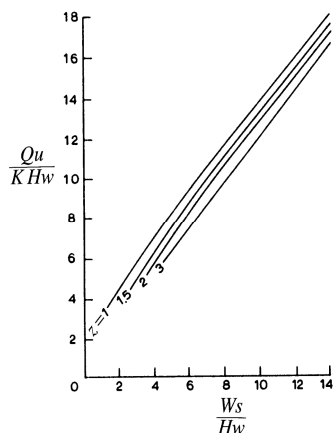
<sup>13</sup> Karatz

<sup>14</sup> Karatz and Mahajan

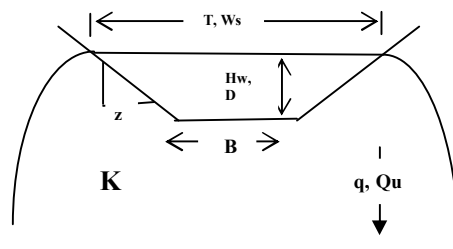
تجربی و یا تئوری که مقادیر محاسباتی آن با مقادیر اندازه گیری شده نزدیک باشد به عنوان بهترین رابطه انتخاب می شود.



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



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



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

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 (۴) است.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{X_e - X_o}{X_o} \right]^2} \quad (4)$$

در اینجا  $X_e$  مقدار نشست و تغذیه محاسبه شده با استفاده از روش اینگهام تجربی و ودرنیکو تئوری است و  $X_o$  مقدار نشست و تغذیه اندازه گیری شده است و  $n$  تعداد کانال های اندازه گیری شده می باشد. آماره MAE

اندازه گیری میزان نشست 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 نشست در دو تکرار خرداد و تیر استفاده شد. مقادیر نشست اندازه گیری شده با مقادیر نشست محاسبه شده مورد مقایسه قرار گرفتند. برای این مقایسه از سه آماره RRMSE<sup>۱۵</sup>، MAE<sup>۱۶</sup> و MBE<sup>۱۷</sup> استفاده گردید. آماره

<sup>15</sup>- Relative Root Mean Square Error

<sup>16</sup>- Mean Absolute Error

<sup>17</sup>- Mean Bias Error

نسبت به مشاهدات است. معادله (۶) نحوه محاسبه این آماره را مشخص می سازد.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_o - X_e) \quad (6)$$

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

$$MAE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_e - X_o| \right] \quad (5)$$

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

### 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

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

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 می آید. در

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

واسنجی روش ها و دو ماه دیگر به عنوان صحت سنجی و مقایسه روش ها بهره گرفته شده است. در شکل (۴) و شکل (۵) مقادیر نشت محاسبه شده از کانالها با روش های واسنجی شده تئوری و تجربی در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده ترسیم شده است.

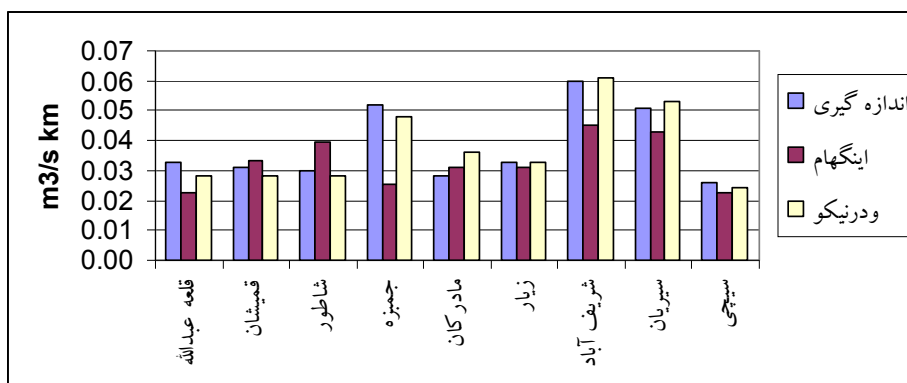
نهایت میزان نشت کانال برابر متوسط نشت مقطع ورودی و نشت مقطع خروجی است. متوسط داده ها و همچنین متوسط ضرایب اصلاح شده در جدول (۳) آمده است. ضریب K در معادله ودرنیکو همان ضریب آبگذری قانون دارسی در محیط اشباع و برحسب متر در روز است. برای مقایسه روش ها داده های ماه خرداد به عنوان

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

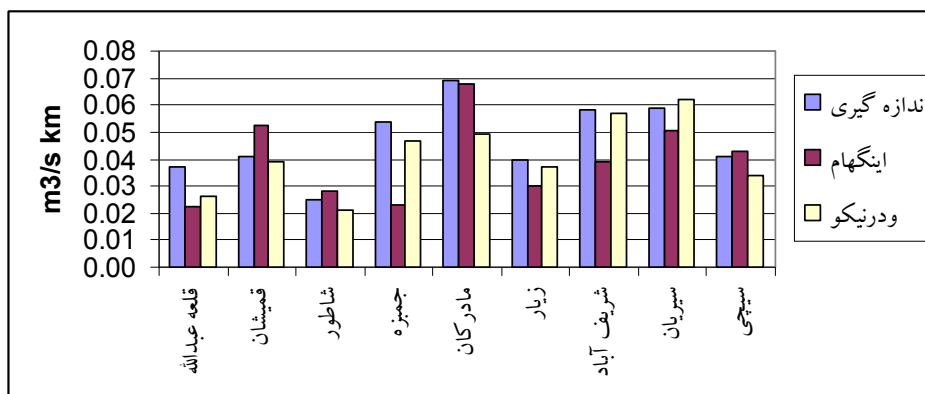
نام کانال	L(m) طول	A(m <sup>2</sup> ) سطح	W(m) عرض	P(m) محیط خیس	D(m) عمق	Q(m <sup>3</sup> /s) جریان اندازه گیری شده	(m <sup>3</sup> /s/km) اندازه گیری
ورودی در تیر ماه (برای صحت سنجی روش تجربی اینگهام و روش تئوری ودرنیکو)							
قلعه	۶۷۵	۰/۵۵	۲/۳	۲/۴۸	۰/۲۶	۰/۱۴۷	۰/۰۳۳
عبدالله	۶۴۰	۰/۲۵	۱/۶	۱/۷	۰/۱۶	۰/۱۳۵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

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)			نشت در تیر ماه (صحت سنجی)			ضریب C واسنجی اینگهام	ضریب K واسنجی ودرنیکو m/day	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	۰/۰۲۸	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶	۴۱/۰	۱/۱۰	۰/۰۳۱	۰/۰۲۲	۰/۰۲۶
قمیشان	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۳۴	۰/۰۳۹	۷۴/۱	۱/۲۵	۰/۰۲۹	۰/۰۵۲	۰/۰۳۹
شاطور	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۰	۰/۰۲۱	۹۰/۹	۱/۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۸	۰/۰۲۱
جمیزه	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۲۵	۰/۰۴۷	۳۳/۳	۱/۴۰	۰/۰۴۵	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷
مادرکان	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰/۰۴۹	۸۹/۲	۱/۴۵	۰/۰۳۷	۰/۰۶۸	۰/۰۴۹
زیار	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۷	۶۹/۱	۱/۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۳۷
شریف آباد	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۰/۰۴۹	۰/۰۶۱	۰/۰۴۵	۰/۰۵۷	۵۰/۶	۱/۳۶	۰/۰۴۹	۰/۰۳۹	۰/۰۵۷
سیریان	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۵۳	۰/۰۴۳	۰/۰۶۲	۷۴/۶	۱/۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۵۰	۰/۰۶۲
سپچی	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۳۴	۱۰۷/۲	۱/۶۰	۰/۰۲۱	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



## بحث و نتیجه گیری

### دقت برآورد

در جدول (۴) 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 و درنیکو 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 و درنیکو، هر دو تخمین دست پائین نسبت به مقادیر مشاهده ای نشان می دهند.

جدول ۴- ارزیابی روش تجربی اینگهام و تئوری و درنیکو

آماره	اینگهام (تجربی)	اینگهام (تئوری)	و درنیکو (تئوری)
RRMSE	صحت سنجی در تیر ماه -۰/۲۵۶۸	صحت سنجی در مرداد ماه -۰/۲۹۲۹	صحت سنجی در تیر ماه -۰/۱۲۱۱
MAE	صحت سنجی در تیر ماه -۰/۰۰۸۹	صحت سنجی در مرداد ماه -۰/۰۱۱۲	صحت سنجی در مرداد ماه -۰/۰۰۶۴
MBE	صحت سنجی در تیر ماه +۰/۰۰۵۵	صحت سنجی در مرداد ماه +۰/۰۰۷۷	صحت سنجی در مرداد ماه +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 این صورت ضرایب ثابت نبوده و به متغیر در نظر نگرفته شده وابستگی پیدا خواهد نمود. اگر ضرایب اینگهام (تجربی) و و درنیکو (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 ۱/۴۵ برابر 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 می سازد. لذا در این تحقیق مشاهده می شود که روش

تجربی به ضریب C بیشتر از روش تئوری بدلیل در نظر نگرفتن متغیرهای مورد نیاز حساس می باشد.

## نتیجه گیری

اگر نتایج رابطه تجربی اینگهام با معادله و درنیکو که منتج از تئوری شبیه سازی نشت از کانال است طبق نمودارهای شکل (۴) و (۵) 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 می نمایند.

## فهرست منابع

۱. پایدار، ز. ۱۳۷۰. مدل ریاضی تلفات نشت از کانال های آبیاری. مجله آب ۱۰: ۱۵-۲۲.
۲. حیدری زاده، م. ۱۳۶۸. بررسی تلفات نشت از کانال های آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ۱۴۶ 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: ۲۹-۴۲.

۴. شمسانی، ا. و محمودی، ا.ع. (۱۳۸۴). "تحلیل سه بعدی تراوش در کانالهای انتقال آب". مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه شهید باهنر کرمان. ۱۷ لغایت ۱۹ آبان ماه ۱۳۸۴.
۵. رستمیان، ر. و عابدی کوپائی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل SEEP/W در برآورد نشست 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 ۱۳۹۰. صفحات ۱۳ - ۲۲.
۶. عراق علوی، س. ۱۳۷۳. 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، ۲۰۲ ص.
۷. کریمی، ز. ۱۳۸۸. 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.
۸. ملک پور، ا. رحیمی، ح. و احمدی، ح. ۱۳۸۵. بررسی اثر آب زیرزمینی و ضخامت لایه آبدار بر میزان جریان نشست معکوس به کانال. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز دانشکده مهندسی علوم آب. ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۵.
۹. نوری محمدیه، م. سهرابی، ت. و رحیمی، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی روش های تجربی تعیین نشست در کانال های خاکی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله پژوهش آب ایران، سال چهارم. شماره هفتم. پائیز ۱۳۸۹: ۱۲۵ - ۱۲۸.
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 Division*. 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 Division 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.