

اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان

حمیدرضا سالمی^۱ و علیرضا سپاسخواه^۲

چکیده

به منظور توجیه فنی پوشش انهار خاکی، باید میزان نشت مورد بررسی قرار گیرد. این مهم تاکنون در بعضی از شبکه‌های آبیاری مختلف کشور با استفاده از روابط تجربی که در دیگر کشورهای دنیا استخراج گردیده انجام گرفته است. (در صورت انجام مطالعات). در حال حاضر طراحان و دست‌اندرکاران ساخت و ساز شبکه‌های مدرن آبیاری در کشور با استفاده از این معادلات و روابط اقدام به محاسبه نشت آب از کانال می‌نمایند. این معادلات برای مناطق مشخصی به دست آمده‌اند که واسنجی و صحت یابی کاربرد این معادلات تجربی برای تخمین مقدار نشت آب از کانال‌های مناطق مختلف به عنوان هدف این پژوهش باید مشخص گردد. بنابراین در این تحقیق مقادیر تلفات آب در تعدادی از کانال‌های خاکی منطقه رودشت اصفهان اندازه‌گیری شد و سپس مقدار نشت آب با آنچه که از طریق معادلات تجربی تخمین زده می‌شود مقایسه گردید. به منظور اندازه‌گیری تلفات آب، تعدادی کانال خاکی در مناطق جمبزه، شریف‌آباد، زیار، شاطور، قلعه عبدالله، مادرکان، سیریان، قمیشان و سیچی (با سه بافت خاک سبک، متوسط و سنگین) انتخاب گردید. در هر یک از مناطق فوق سه نوع پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری تلفات آب به روش جریان ورودی - خروجی صورت پذیرفته و برای اندازه‌گیری سرعت جریان آب از میکرو - مولینه استفاده شد. برای تخمین مقدار نشت آب از کانال‌ها معادلات تجربی اینگهام (Ingham)، دیویس و ویلسون (Davis and Wilson)، آفنگندن (Affengendon)، موریتس (Moritz)، مولس ورث و بنی دومیا (Mols Worth & Yennidumia)، پنجاب هند و روش میسرا (Misra) به کار گرفته شد. معادلات رگرسیون خطی بین مقادیر نشت آب اندازه‌گیری شده و نشت آب محاسبه شده از معادلات تجربی اولیه و پس از اصلاح، به دست آمده و مشاهده گردید که این روش‌ها مقدار نشت را کمتر از واقعیت تخمین می‌زنند. بعد از اصلاح معادلات ملاحظه گردید که معادلات اینگهام و موریتس بالاترین ضریب تشخیص را داشته (۹۶٪) و شیب خط نزدیک به واحد است ضمن این که مقدار عرض از مبدأ نیز ناچیز می‌باشد. همچنین روشی که در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده است روش میسرا با ضریب تشخیص (۸۳٪) و شیب خط نزدیک به واحد می‌باشد. بدین ترتیب ضرایب معادلات تجربی نشت برای شرایط منطقه مورد مطالعه اصلاح شده و مناسب‌ترین معادله تجربی نشت نیز تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: معادلات نشت آب، کانال‌های خاکی، شبکه کانال‌های آبیاری، اصفهان

۱. مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

۲. استاد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی در ایران به ویژه برای منطقه مرکزی کشور از جمله استان اصفهان، آب است. ولی متأسفانه با همه اهمیتی که آب از نظر کشاورزی در ایران دارد از این نعمت خدادادی استفاده بهینه نشده و براساس بررسی‌های انجام شده به طور متوسط بازده انتقال آب در ایران حدود ۶۸٪ و بازده توزیع آب در مزرعه حدود ۴۸٪ برآورد شده است که بازده کل حدود ۳۲٪ نتیجه می‌گردد (۵). معمولاً قسمت اعظم تلفات به صورت پدیده نشت به وقوع می‌پیوندد (۷) که در اجرای طرح‌های کاهش نفوذ آب در کانال‌ها ابتدا باید مقدار نشت تعیین گردد. مقدار نشت آب از طریق اندازه‌گیری مستقیم و یا با استفاده از معادلات تجربی تخمین زده می‌شود (۱۰). از آنجا که لزوم صحت کاربرد معادلات تجربی برای تخمین مقدار نشت آب از کانال‌ها ضروری است، در این تحقیق مقادیر تلفات آب در تعدادی از انهار خاکی منطقه رودشت اصفهان که دارای شبکه آبیاری سنتی می‌باشد، اندازه‌گیری شد. سپس مقدار نشت آب با آنچه که از طریق معادلات تجربی تخمین زده شد مقایسه گردید.

یکی از تحقیقات انجام شده در خصوص مقایسه روش‌های اندازه‌گیری نشت، پژوهش کشکولی (۱۳۶۶) است که اقدام به اندازه‌گیری افت دبی به دو روش دبی ورودی - خروجی و حوضچه ای در نمونه‌هایی از کانال‌های خاکی منطقه شاوور و اهواز در خوزستان نمود. با توجه به نتایج به دست آمده و شرایط کانال‌ها ضریب فرمول نهائی افت استخراج گردید و معلوم شد که میزان افت اندازه‌گیری شده به دو روش فوق به هم نزدیک است. برای منطقه اهواز میزان نشت به دست آمده در حدود ۳/۲ و در منطقه شاوور ۲/۴ لیتر بر ثانیه در هر ۱۰۰ متر طول کانال می‌باشد (۴).

پایدار (۱۳۷۰) تلفات نشت از کانال‌های آبیاری را به وسیله یک مدل ریاضی بررسی کرد. مدل ریاضی تهیه شده پدیده نشت را به صورت یک جریان دو بعدی اشباع و ماندگار (Steady saturated) در محیط متخلخل اطراف کانال فرض

کرده و معادله جریان را با روش عددی تفاضل‌های محدود (Finite difference) حل نموده است. نتایج به دست آمده از مدل ریاضی برای دو کانال، با نتایج اندازه‌گیری نشت بروش حوضچه‌ای مقایسه گردید. مقدار نشت اندازه‌گیری شده برای دو کانال ۱/۱۷ و ۰/۴ و نتیجه مدل ۱/۲۱ و ۰/۴۹ مترمکعب برمتر در روز به دست آمد. پایدار چنین نتیجه گرفت که مدل ریاضی تهیه شده با تقریب نسبتاً خوبی، میزان نشت را از کانال پیش‌بینی می‌کند (۱).

عراق علوی (۳) در تحقیقاتی روی کانال‌های خاکی زیردست سد زاینده رود ضمن ارزیابی روش‌های تجربی برآورد نشت، میزان نشت از کل تلفات را ۹۸/۵ درصد و سهم تبخیر و تعرق را ۱/۵ درصد برآورد نمود. متوسط تلفات در کانال‌های درجه سه، ۰/۶۹۶ و درجه چهار، ۰/۶۶۲ مترمکعب برمترمربع در روز گزارش شده است. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که میزان تلفات آب در طول فصل زراعی (خرداد، تیر و مرداد) دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد. در این پژوهش مشخص شد از بین روش‌های تجربی بهترین روش نزدیک به نتایج اندازه‌گیری‌ها، روش میسرا (Misra) می‌باشد. ضریب هم‌بستگی در این روش محاسبه نشت ۹۲ درصد به دست آمده است. بعد از این روش، معادله موریتس (Moritz) تعیین گردید. هم‌چنین در پایان مطالعات مربوط به راندمان‌های انتقال آب در شبکه کانال‌های خاکی زاینده رود معلوم شد که بسیاری از کانال‌های خاکی نیاز به پوشش ندارند و اگر قرار شود کانالی بتونی شود باید قبلاً کار کارشناسی انجام شود چرا که در بعضی از مناطق مورد مطالعه به دلیل عوامل خاص منطقه‌ای کانال‌های خاکی راندمان انتقال بالاتری نسبت به کانال‌های پوشش دار داشته‌اند.

سالمی و سپاسخواه (۱۱) در تحقیقی معادلات تجربی برآورد نشت آب از کانال‌های خاکی را در اراضی شمال استان اصفهان (شبکه آبیاری دشت برخوار) مورد بررسی قرار دادند. آنها از بین معادلات تجربی، معادله دیویس - ویلسون و سپس مولس ورث - ینی دومیا را به عنوان مناسب‌ترین معادلات

می‌باشند. نتایج تجزیه مکانیکی خاک‌های مناطق نه گانه در جدول ۱ ارائه شده است.

معادلات تجربی برآورد نشت آب

معادلات و روش‌های تجربی متعددی به منظور تخمین میزان نشت آب از کانال‌ها در نقاط مختلف دنیا ارائه شده (۹)، که در این قسمت از مقاله به ۷ مورد آنها اشاره می‌شود:

- معادله اینگهام (Ingham)

$$q = 0.55 \text{CPL} (10^{-6}) (H^{1/5}) \quad [1]$$

در این معادله 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) می‌باشد. C ضریبی است که بسته به نوع خاک بین ۱/۵ تا ۵/۵ متغیر است.

- معادله مولس ورث - ینی دومیا (Molesworth-Yennidumia)

$$q = (86/4) C (R)^{1/5} \quad [2]$$

در این معادله q نشت آب ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$)، R شعاع هیدرولیکی (m) و C عدد ثابت که برای خاک‌های رسی ۰/۰۱۵ و برای خاک‌های شنی ۰/۰۰۳ می‌باشد.

- روش میسرا (Misra)

بر اساس این روش با در نظر گرفتن جنس بستر کانال مقدار تلفات نشت آب ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$) برای بستر لوم شنی ۰/۳-۰/۵، خاک شنی سست ۰/۵-۰/۷ و خاک گراولی ۱-۲ برآورد گردیده است.

- معادله آفنگندن (Affengendon)

$$q = SQL / 100 \quad [3]$$

$$S = Aq^{-m} \quad [4]$$

در این معادله S نشت آب از کانالی به طول یک کیلومتر، L طول کانال (Km)، Q بده جریان (m^3/S) و q نشت آب از کانال برحسب (m^3/S) می‌باشد. A و m ضرایبی هستند که به ضریب آبگذری آب در خاک بستگی دارند و به ترتیب بین ۰/۳-۰/۵ و ۰/۷-۳/۴ در نوسان است.

تخمین نشت آب برای کانال‌های خاکی دشت شمال اصفهان معرفی نمودند. بررسی حاضر با هدف مطابقت مقادیر نشت برآورد شده از معادلات تجربی نشت در کانال‌های خاکی دارای بافت‌ها و تراکم‌های مختلف گیاهی با مقادیر نشت اندازه‌گیری شده (واقعی) و تعیین مناسب‌ترین معادلات برای کانال‌های خاکی در مناطق شرق استان اصفهان (شبکه آبیاری رودشت) انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

مشخصات عمومی منطقه

منطقه رودشت بین طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه تا ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. رودشت با وسعت تقریبی ۴۶ هزار هکتار یکی از دشت‌های چهارگانه اصفهان به شمار می‌آید (۶). این منطقه که در شرق شهر اصفهان و در شرقی‌ترین قسمت حوضه زاینده رود واقع شده است، دارای آب و هوای گرم و خشک (بویژه در بهار و تابستان) و اقلیم نیمه بیابانی شدید می‌باشد. بر اساس گزارش هواشناسی و آمار ۱۰ ساله منطقه، میانگین بارندگی در محدوده مورد مطالعه ۸۸ میلی‌متر در سال گزارش شده است. مقدار تبخیر و تعرق (ET_0) در ایستگاه ورزنه ۱۵۳۷ میلی‌متر در سال گزارش شده است (۲).

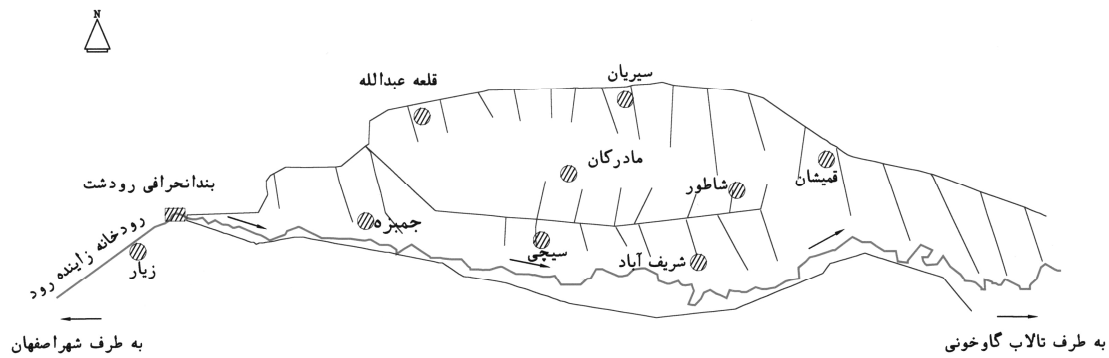
محل اجرای طرح

تعداد نه کانال در مناطق جمبزه، شریف‌آباد، زیار، شاطور، قلعه عبدالله، سیریان، مادرکان، قمیشان و سیچی واقع در شرق شهرستان اصفهان در طرح شبکه آبیاری جدید رودشت انتخاب ردیده است (شکل ۱).

هر کدام از این مناطق بر اساس نقشه تفصیلی خاک استان و اندازه‌گیری‌های انجام شده دارای بافت‌های سنگین، متوسط و سبک بوده و همچنین هر کدام از گروه‌های خاکی دارای پوشش گیاهی کم (۲۰-۱۰٪) متوسط (۵۰-۳۵٪) و زیاد (۹۵-۶۰٪)

جدول ۱. مشخصات بافت خاک، پوشش گیاهی و اندازه کانال‌ها به تفکیک محل

نام محل کانال	Sand %	Clay %	Silt %	بافت خاک	درجه کانال	درجه بندی بافت خاک	درجه بندی پوشش گیاهی
قلعه عبدالله	۱۳/۷	۵۰/۹	۳۵/۴	Clay	۴	سنگین	زیاد
قمیشان	۳۶	۴۷	۱۷	Clay	۴	سنگین	زیاد
شاطور	۱۸	۴۹	۳۳	Silty Clay	۳	سنگین	کم
چمبره	۳۰	۲۸	۴۲	Loam	۴	متوسط	کم
مادرکان	۲۲	۲۰	۵۸	Silt loam	۴	متوسط	متوسط
زیار	۴۰	۲۵	۳۵	Loam	۳	متوسط	متوسط
شریف آباد	۷۰	۱۵	۱۵	Loamy sand	۴	سبک	متوسط
سیریان	۵۵	۱۵	۳۰	Sandy loam	۴	سبک	کم
سیچی	۶۰	۲۰	۲۰	Sandy loam	۳	سبک	زیاد



شکل ۱. موقعیت مناطق مورد بررسی (شبکه آبیاری رودشت)

روش‌ها

در این تحقیق از روش اندازه‌گیری جریان ورودی - خروجی به منظور محاسبه میزان نشت آب استفاده شده است. در این روش مقدار آب ورودی و خروجی و طول بازه‌ها (جدول ۲، ۳ و ۴) اندازه‌گیری می‌شود. به منظور اندازه‌گیری سرعت جریان از میکرو مولینه Aott-c20 از نوع مغناطیسی استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در سه مقطع عرضی و در دو تکرار برای اعماق کمتر از ۵۰ سانتی متر در ۰/۶y و در دو تکرار برای اعماق عمق‌های بیشتر از ۵۰ سانتی متر در ۰/۲y و ۰/۸y از سطح آب انجام شد. عملیات اندازه‌گیری سرعت در کانال‌های با درصد پوشش گیاهی بالا با مشکلاتی همراه بود بنابراین مقاطعی از کانال انتخاب گردید که امکان قرائت مولینه با حداقل خطای شخصی و دستگاه (کمتر از ۱/۵) وجود داشته باشد. در این پژوهش بده ورودی و خروجی از حاصل ضرب سرعت جریان در مقطع جریان ورودی و خروجی به دست آمده است. مقادیر تلفات با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$q_a = \frac{86400(Q_1 - Q_2)}{P \times L} \quad [9]$$

که Q_1 ، Q_2 ، L ، P و q_a به ترتیب بده ورودی، بده خروجی، طول بازه، محیط خیس شده کانال و نشت اندازه‌گیری شده می‌باشد. تفاوت بین میزان بده در قسمت ورودی و خروجی از کانال، تلفات آب تلقی می‌شود.

- معادله دیویس و ویلسون (Davis-Wilson)

$$q = 0.45 \times C \times \frac{P_w \times L}{G} \times H^{1/3} \quad [5]$$

$$G = \left(\frac{4 \times 1.6 + 265.7 \times 0.5}{4 \times 1.6 + 265.0} \right) \quad [6]$$

در این معادله q نشت آب از کانالی به طول L (m^3/S)، H عمق جریان آب در کانال (m)، P_w محیط خیس شده (m)، L طول کانال (m)، V سرعت جریان آب (m/s) و C ضریب ثابت که برای بسترهای لومی رسی ۱۵، لومی ۱۷/۵ و لومی شنی ۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

- معادله موریتس (Moritz)

$$q = 0.186C(Q/V)^{0.5} \quad [7]$$

q نشت آب از کانالی به طول یک کیلومتر (m^3/S)، Q مقدار جریان آب (m^3/S)، V سرعت جریان (m/S) و C ضریب ثابت که برای جدار رس و رسی لومی ۰/۴۱، لوم ۰/۵۳۵ و لوم شنی ۰/۶۶ می‌باشد.

- معادله پنجاب هند (Indian)

$$q = (C)(a)(d) \quad [8]$$

در این معادله a مساحت خیس شده کانال (میلیون فوت مربع)، d عمق آب (ft)، q نشت کل از کانال (cfs) و C ضریب ثابت بین ۱/۸-۱/۱.

جدول ۲. مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی در خرداد ماه

نام محل	فاصله بین دو مقطع (m)	مشخصات مقطع ورودی در زمان اندازه‌گیری										مشخصات مقطع خروجی در زمان اندازه‌گیری									
		Q ₂ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)	Q ₁ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)						
کانال		۱۷۰	۰/۲۷	۰/۲۴	۱/۷۵	۵/۱	۲/۲۲	۴۲/۰	۱۷۰	۰/۲۷	۰/۲۴	۱/۷۵	۵/۱	۲/۲۲	۴۲/۰						
قلعه عبدالله	۳۲۵	۱۱۷/۰	۰/۲۵	۰/۲۲	۱/۹۲	۷/۱	۴۵/۰	۲۷۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
قمیشان	۴۵۵	۱۱۷/۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۱/۸۱	۷/۱	۴۵/۰	۲۷۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
شاطور	۲۱۳	۴۹۰/۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۱/۸۱	۵/۱	۴۵/۰	۲۷۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
جمزبه	۱۵۰۰	۲۰/۰	۰/۲۴	۰/۲۲	۲/۲۸	۲/۱	۵/۰	۲۶۷/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۳/۰۲	۲/۳	۰/۱۸	۱/۴۹							
مادرکان	۷۸۵	۱/۰	۰/۲۲	۰/۲	۲/۴۲	۲/۳	۵/۰	۱۲۱/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷	۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۲۸							
زیار	۳۷۰	۹۵۰/۰	۰/۳۰	۰/۲۴	۲/۳	۲/۲	۳۰/۰	۱۷۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۵	۱/۴۵	۰/۲۶	۰/۴۱							
شریف آباد	۹۷	۱۶۵/۰	۰/۳۵	۰/۳۶	۲/۲	۲/۳	۷/۰	۱۷۰	۰/۳۸	۰/۳۳	۲/۷۵	۲/۵	۰/۱۸	۰/۹۴							
سیریان	۴۰۰	۳۳۵/۰	۰/۳۰	۰/۲۹	۳/۰۰	۲/۷	۵/۰	۳۹/۰	۰/۲۴	۰/۲۳	۳/۱۴	۳	۰/۵۳	۰/۷۳							
سیچی	۹۴	۳۳۳/۰	۰/۲۶	۰/۲۹	۱/۰۰	۰/۹۵	۹۲/۰	۳۵/۰	۰/۲۷	۰/۲۶	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۳۳	۰/۱							

جدول ۳. مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی در تیر ماه

نام محل کانال	فاصله بین دو مقطع (m)	مشخصات مقطع ورودی در زمان اندازه‌گیری										مشخصات مقطع خروجی در زمان اندازه‌گیری									
		Q ₂ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)	Q ₁ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)						
قلعه عبدالله	۲۷۵	۱۷۰	۰/۲۷	۰/۲۴	۱/۷۱	۵/۱	۴۲/۰	۲۷۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۵	۵/۱	۲/۲۲	۴۲/۰							
قمیشان	۲۴۰	۱۱۷/۰	۰/۲۵	۰/۲۲	۱/۹۳	۷/۱	۴۲/۰	۲۷۰	۰/۲۸	۰/۲۵	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
شاطور	۳۰۰	۵۰۲/۰	۰/۳۰	۰/۲۵	۱/۹۶	۶/۱	۴۷/۰	۱۶۰/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
جمزبه	۱۳۵۰	۳۳۳/۰	۰/۲۶	۰/۲۵	۲/۰	۲/۶	۴۷/۰	۲۶۷/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
مادرکان	۱۳۲۰	۱۷۰	۰/۲۴	۰/۲۲	۱/۵۱	۲/۴	۵/۰	۳۹/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
زیار	۵۷۰	۱۷۰	۰/۲۴	۰/۲۲	۱/۵۱	۲/۴	۵/۰	۳۹/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۱/۷۱	۷/۱	۲/۲۰	۴۷/۰							
شریف آباد	۵۰۰	۷۱/۰	۰/۲۴	۰/۲۲	۲/۸۵	۲/۵	۹۴/۰	۲۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۳/۱۳	۰/۳۳	۰/۳	۰/۶۸							
سیریان	۱۱۰۰	۱۷۰	۰/۲۴	۰/۲۲	۲/۲۷	۲/۲	۳۰/۰	۶۵/۰	۰/۲۸	۰/۲۴	۲/۴۴	۲/۳	۰/۲۶	۰/۶							
سیچی	۱۹۰	۴۲/۰	۰/۲۶	۰/۲۹	۱/۱۵	۱/۱	۶۰/۰	۴۷/۰	۰/۲۷	۰/۲۶	۱/۰۴	۱/۱	۰/۳۳	۰/۱۴							

جدول ۴. مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی در مرداد ماه

نام محل کانال	فاصله بین دو مقطع (m)	مشخصات مقطع ورودی در زمان اندازه‌گیری										مشخصات مقطع خروجی در زمان اندازه‌گیری									
		Q ₂ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)	Q ₁ (m ³ /s)	D (m)	R (m)	P (m)	W (m)	V (m/s)	A (m ²)						
قلعه عبدالله	۷۰۰	۰/۱۳۱	۰/۱۸	۰/۱۶۴	۱/۷	۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۱۵۷	۰/۲۶	۲/۴۶	۲/۲۸	۰/۲۶	۰/۶							
قمیشان	۶۱۰	۰/۱۲۵	۰/۳	۰/۳۷	۲/۴۴	۲/۲	۰/۱۹	۰/۶۶	۰/۱۵	۰/۲۴	۲/۴	۲/۲	۰/۲۶	۰/۵۸							
شاطور	۸۵۰	۰/۰۵۹	۰/۱۴	۰/۱۰۵	۱/۱۸	۱/۱	۰/۴۷۲	۰/۱۲۵	۰/۰۸	۰/۱۷	۱/۷۴	۱/۶	۰/۲۷۵	۰/۲۹							
جمزیه	۱۰۲۰	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۲/۳۵	۲/۲۵	۰/۸۳	۰/۴۲	۰/۴۰۵	۰/۲۷	۲/۹	۲/۷	۰/۵۲	۰/۷۷							
مادرکان	۱۱۶۰	۰/۳۲	۰/۱۶۲	۰/۱۵۷	۲/۹۹	۲/۹	۰/۶۹	۰/۴۷	۰/۴	۰/۳۲	۲/۶۱	۲/۳	۰/۴۹	۰/۸۲							
زیار	۷۰۰	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۲/۳	۲/۲	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۱۲۸	۰/۱۶۴	۱/۶۹	۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۲۸							
شریف آباد	۶۲۵	۰/۱۷۴	۰/۲۹۹	۰/۲۸	۲/۹۷	۲/۸	۰/۲۱	۰/۸۳۰	۰/۲۱	۰/۲۳	۲/۳۶	۲/۲۵	۰/۳۹	۰/۵۴							
سیریان	۷۵۰	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۶۴	۱/۶۹	۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۱۷۴	۰/۳۳	۲/۸۵	۲/۵۲	۰/۱۸۵	۰/۹۴							
سیچی	۳۶۵	۰/۰۵۲	۰/۱۳	۰/۱۱۳	۱/۲۵	۱/۱	۰/۳۷	۰/۱۴۲	۰/۰۶۷	۰/۲۳	۲/۰۱	۱/۸	۰/۱۴۵	۰/۴۶							

اصلاح ضرایب معادلات تجربی

با استفاده از معادلات تجربی که شرح آن داده شد مقادیر نشت آب برای روش‌های اینگهام (Ingham)، میسرا (Misra)، آفنگندن (Affengendon)، دیویس و ویلسون (Davis and Wilson)، موریتس (Moritz)، مولس‌ورث و ینی‌دومیا (Mols worth) (Yennidumia) و پنجاب هند در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه گردیده است. مقادیر میانگین کل دوره فصل زراعی و نشت محاسباتی در جدول ۵ ارائه شده است. در معادلات تجربی فقط اثر بافت خاک و عوامل هیدرولیکی کانال‌ها در نظر گرفته شده است ولی در این پژوهش پوشش گیاهی بطور ضمنی در معادلات اصلاح شده وارد شده‌اند. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده نشت آب، ضرایب جدیدی برای معادلات تجربی به دست آمده است بدین صورت که مقادیر نشت اندازه‌گیری شده (q_m) در معادلات تجربی جای‌گذاری شده و ضرایب معادلات تجربی برای این ارقام مجدداً محاسبه گردید است. جدول ۶ ضرایب اصلاح شده معادلات تجربی نشت آب را در شرایط مختلف پوشش گیاهی و بافت خاک بطور جداگانه ارائه می‌دهد.

با توجه به ضرایب اصلاح شده، مقادیر نشت آب برای کانال‌های منطقه رودشت اصفهان از معادلات تجربی محاسبه شده و در جدول ۷ درج گردیده است. معادلات رگرسیون خطی بین مقادیر q_m (نشت آب اندازه‌گیری شده)، q_c و q_{cm} (نشت آب به دست آمده از معادلات تجربی اولیه و پس از اصلاح) و ضرایب تعیین مربوطه در جدول ۸ ارائه شده است. مشاهده گردید تمام روش‌ها مقدار نشت را کمتر از مقدار اندازه‌گیری تخمین می‌زنند ولی روش اینگهام قبل از اصلاح بالاترین ضریب تعیین (۰/۸۷) و شیب خط برابر ۰/۲۵۵ را داشته است. بعد از اصلاح معادلات نیز ملاحظه شد که معادلات اینگهام و موریتس بالاترین ضریب تشخیص را داشته (۰/۹۶) و شیب خط نزدیک به واحد است ضمن این که مقدار عرض از مبدأ نیز ناچیز است. هم‌چنین روش بعدی که قابل استفاده است روش میسرا با ضریب تعیین (۰/۸۳) و شیب خط نزدیک به واحد می‌باشد.

اندازه‌گیری تلفات آب کانال‌ها در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد انجام شده است. این تلفات شامل نشت آب و تبخیر و تعرق می‌باشد که به منظور محاسبه تبخیر و تعرق، از آمار تبخیر از تشت کلاس الف ایستگاه‌های هواشناسی کبوترآباد و رودشت در محدوده زمانی اندازه‌گیری‌ها و با اعمال ضریب تشت $K_p=0/74$ استفاده شده است (۲). مقادیر متوسط ماهانه تبخیر منطقه (متوسط دو ایستگاه) در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به ترتیب ۶۴، ۱۰۲ و ۱۰۱ میلی‌متر گزارش شده است. خاطر نشان می‌سازد که مقدار (Kc) برای سطوح روباز کلیه آبراهه‌ها با پوشش علفی و نی برای مناطق خشک و بادخیز برابر ۱/۲ در نظر گرفته شده است (۸). اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی بوسیله چهارضلعی چوبی (Quadrant) انجام شده است. این وسیله نسبت سطح دارای علف و نی به سطح لخت را تعیین می‌کند.

با داشتن درصدهای پوشش گیاهی هر کانال، مقدار تبخیر و تعرق محاسبه و برای بقیه سطح کانال که فاقد پوشش گیاهی است مقدار تبخیر و تعرق به صورت تبخیر از سطح آزاد محاسبه شده است. مشخصات هیدرولیکی کانال‌های خاکی شامل سطح مقطع (A)، سرعت (V)، عرض دهنه بالا (W)، محیط خیس شده (P)، شعاع هیدرولیکی (R)، مقطع هیدرولیکی (D) و بده جریان (Q) در جدول‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است.

نتایج

محاسبه میزان نشت آب در کانال‌های خاکی

میزان نشت اندازه‌گیری شده (جدول ۵) بین ۱/۳۷-۱/۹۶ مترمکعب بر مترمربع در روز (میانگین ۱/۶۵ مترمکعب بر مترمربع در روز) و مقدار تبخیر از تشت کلاس الف در ایستگاه رودشت بین ۰/۲۵۱-۰/۳۰۱ (میانگین ۰/۲۷۶ مترمکعب بر مترمربع در روز) می‌باشد. با توجه به ناچیز بودن میانگین تبخیر و تعرق سه ماهه ($0/246 = 0/74 \times 1/2 \times 0/276$) که ۱/۵ درصد از کل تلفات را تشکیل می‌دهد، تلفات در این مطالعه فقط شامل نشت آب می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه بین نتایج این مطالعه با معادلات و روش های تجربی (متوسط دوره فصل زراعی)

معادله	معادله مونس	معادله موریتس	معادله ویلسون و دیویس	معادله آفنگندن	روش میسرا	معادله اینگهام	معدل نشت آب	معدل نشت شده	خطای معیار	طول کانال (m)	درصد پوشش گیاهی	باقات	نام کانال
$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	SE	(m)			
۰/۰۳۱	۰/۰۵۷	۰/۰۸۳	۰/۱۲۰	۰/۰۶۶	۰/۲۵	۰/۰۴۴	۱/۳۷	۱/۳۷	۰/۰۷۰	۵۶۷	۸۱	CL.	قلعه عبدالله
۰/۰۲۱	۰/۰۴۴	۰/۰۸۴	۰/۰۹۳	۰/۰۷۲	۰/۲۵	۰/۰۳۷	۱/۴۵	۱/۴۵	۰/۰۳۶	۵۶۸	۴۵	CL.	قمیشان
۰/۰۲۲	۰/۰۴۲	۰/۰۷۵	۰/۱۰۰	۰/۰۴۹	۰/۲۵	۰/۰۳۸	۱/۳۸	۱/۳۸	۰/۰۴۲	۴۵۵	۱۸۳	CL.	شاطور
۰/۰۵۹	۰/۱۱۵	۰/۱۱۳	۰/۱۳۹	۰/۲۸۷	۰/۵	۰/۱۲۰	۱/۶۱	۱/۶۱	۰/۰۸۰	۱۲۹۰	۱۵	L.	جمبزه
۰/۰۲۹	۰/۰۸۴	۰/۰۸۷	۰/۱۶۱	۰/۲۲۹	۰/۴	۰/۰۹۰	۱/۸۷	۱/۸۷	۰/۱۷	۱۰۸۸	۴۵	Si.L.	مادرکان
۰/۰۳۱	۰/۰۸۲	۰/۰۸۶	۰/۱۰۵	۰/۲۴۱	۰/۵	۰/۰۸۷	۱/۶۲	۱/۶۲	۰/۰۵۹	۵۴۷	۷۸۳	L.	زیار
۰/۰۶۶	۰/۱۶۱	۰/۱۵۹	۰/۱۸۶	۰/۵۳۳	۰/۶۵	۰/۱۷۲	۱/۸۹	۱/۸۹	۰/۰۷۲	۴۱۴	۴۰	L.S.	شریف آباد
۰/۰۴۳	۰/۱۲۳	۰/۰۹۶	۰/۱۵۲	۰/۶۴۷	۰/۶۵	۰/۱۲۹	۱/۸۸	۱/۸۸	۰/۰۴۱	۷۵۰	۱۲	S.L.	سیریان
۰/۰۸۵	۰/۰۸۱	۰/۲۱	۰/۱۳۹	۰/۵۶۷	۰/۶۸	۰/۲۰۴	۱/۹۶	۱/۹۶	۰/۰۸۱	۲۱۶	۶۵	S.L.	سیچی

جدول ۶. ضرایب اصلاح شده معادلات تجربی در شرایط مختلف پوشش گیاهی و بافت خاک

معادله	بافت خاک	ضرایب اصلاح نشده	پوشش گیاهی		
			کم	متوسط	زیاد
اینگهام	سنگین	۱/۵	۵۴/۵	۵۸/۸	۴۶/۷
	متوسط	۳/۵	۴۷	۶۸/۸	۶۵/۲
	سبک	۵/۵	۷۵/۹	۶۰/۴	۵۲/۸
آفنگندن	سنگین	۰/۷	۱۹/۷	۱۴	۱۴/۵
	متوسط	۱/۹	۱۰/۶	۱۴/۷	۱۲/۷
	سبک	۳/۴	۹/۳	۱۲	۱۱/۷
موریتس	سنگین	۰/۴۱	۷/۵	۷/۱	۶/۸
	متوسط	۰/۵۴	۷/۷	۱۱	۱۰/۲
	سبک	۰/۶۶	۱۲/۲	۷/۸	۶/۲
مولس ورث - ینی دومیا	سنگین	۰/۰۱۵	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۳۶
	متوسط	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۶	۰/۰۴۳
	سبک	۰/۰۰۳	۰/۰۴۳	۰/۰۳۵	۰/۰۷۳
پنجاب هند	سنگین	۱/۱	۶۹	۷۵/۹	۴۸/۶
	متوسط	۱/۴۵	۳۹/۵	۸۸/۵	۷۵/۷
	سبک	۱/۸	۷۴/۵	۵۱/۵	۴۱/۵
دیویس و ویلسون	سنگین	۱۵	۲۰۷	۲۳۳	۱۷۱
	متوسط	۱۷/۵	۲۰۳	۱۹۲	۲۷۰
	سبک	۲۵	۲۹۲	۲۵۴	۳۵۲

جدول ۷. مقایسه بین نتایج نشت آب اندازه‌گیری شده و به دست آمده از معادلات تجربی اصلاح شده

نام کانال	بافت خاک	نشت آب	معادله اینگهام	روش میسرا	معادله آفنگندن	معادله دیویس و ویلسون	معادله موریتس	معادله مولس ورث	وینی دومیا	هند
		اندازه‌گیری شده $m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$	$m^3/m^2/day$
قلعه عبدالله	CL.	۱/۳۷	۱/۳۷	۰/۶۵	۱/۱۳	۱/۳۷	۱/۴	۱/۷۱	۱/۳۶	۱/۳۶
قمیشان	CL.	۱/۴۵	۱/۴۵	۰/۶۵	۱/۴۸	۱/۴۴	۱/۴۱	۱/۸۰	۱/۴۴	۱/۴۴
شاطور	CL.	۱/۳۸	۱/۳۸	۰/۶۵	۱/۴۶	۱/۳۶	۱/۲۹	۱/۷۱	۱/۳۸	۱/۳۸
جمزبه	L.	۱/۶۱	۱/۵۶	۰/۵	۱/۶۳	۱/۵۸	۱/۶۵	۱/۶۹	۱/۶۰	۱/۶۰
مادرکان	SiL.	۱/۷۷	۱/۷۴	۰/۴	۲/۰۴	۱/۷۴	۱/۷۴	۱/۸۴	۱/۷۷	۱/۷۷
زیار	L.	۱/۶۲	۱/۵۱	۰/۵	۱/۶۱	۱/۶۲	۱/۵۹	۱/۶۷	۱/۶۱	۱/۶۱
شریف آباد	L.S.	۱/۸۹	۱/۸۷	۰/۶۵	۱/۶۷	۱/۸۶	۱/۹	۱/۸۷	۱/۸۰	۱/۸۰
سیریان	S.L.	۱/۷۸	۱/۷۵	۰/۶۵	۱/۴۰	۱/۴۲	۱/۸	۱/۸۳	۱/۷۷	۱/۷۷
سیچی	S.L.	۱/۹۶	۱/۸۲	۰/۶۸	۱/۵۲	۱/۹۶	۱/۹	۱/۹۷	۱/۹۵	۱/۹۵

جدول ۸. معادلات و ضرایب تعیین مقادیر نشت نظری و نشت اندازه گیری شده

نام معادله یا روش تجربی	معادله تابع رگرسیون خطی	ضریب تعیین (R^2)
قبل از اصلاح معادلات		
اینگهام	$q_c = -0.318 + 0.255q_m$	۰/۸۷
موریتس	$q_c = -0.247 + 0.212q_m$	۰/۶۹
آفنگندن	$q_c = -1.25 + 0.941q_m$	۰/۷۹
مولس ورث - ینی دومیا	$q_c = -0.123 + 0.28q_m$	۰/۴۹
میسرا	$q_c = -0.78 + 0.755q_m$	۰/۸۳
دیویس - ویلسون	$q_c = -0.048 + 0.11q_m$	۰/۵۹
پنجاب هند	$q_c = -0.087 + 0.079q_m$	۰/۶۰
بعد از اصلاح معادلات		
اینگهام	$q_{cm} = -0.096 + 0.91q_m$	۰/۹۶
موریتس	$q_{cm} = -0.039 + 1.01q_m$	۰/۹۶
آفنگندن	$q_{cm} = -0.64 + 0.6q_m$	۰/۵۰
مولس ورث - ینی دومیا	$q_{cm} = -0.25 + 1.065q_m$	۰/۷۸
میسرا	$q_{cm} = -0.21 + 0.4q_m$	۰/۷۳
دیویس - ویلسون	$q_{cm} = -1.77 + 0.37q_m$	۰/۵۱

بدین ترتیب ضرایب معادلات تجربی نشت برای شرایط منطقه مورد مطالعه اصلاح شده و مناسب ترین معادله تجربی نشت نیز تعیین گردید.

بحث

با نگاهی به جدول ۵ مشاهده می شود ارقام نشت اندازه گیری شده بیشتر از مقادیر نشت محاسبه شده از طریق فرمول های تجربی (۹) به دست آمده است (قبل از اصلاح ضرایب) بنابراین توضیحات زیر ضروری به نظر می رسد:

(الف) وجود حفرات و درز و ترک ها در بدنه انهار سنتی شبکه رودشت (مادی ها) منجر به افزایش مقدار نشت اندازه گیری شده و اختلاف آن با نشت محاسباتی می گردد که البته این مشکل غیر قابل اجتناب می باشد.

(ب) پوشش گیاهی موجود در انهار یکی دیگر از دلایل بالا رفتن مقادیر نشت اندازه گیری شده می باشد که این عامل مهم در

هیچ کدام از روابط تجربی منظور نشده است.

(ج) دامنه وسیع تغییرات ضرایب مربوط به جنس خاک در معادلات تجربی، انواع بافت خاک را در بر نمی گیرد بنابراین با توجه به بافت کلی محل طرح (سبک و متوسط) مقادیر نشت اندازه گیری شده بالا بوده و مقادیر محاسباتی به لحاظ در نظر نگرفتن دقیق مرزبندی های جنس و بافت خاک در فرمول ها پایین به دست آمده است. البته مشکل فوق الذکر تا هنگامی خود را نشان می دهد که ضرایب اصلاح نگردیده اند و در صورت اصلاح ضرایب معادلات، مشاهده می شود مقادیر نشت اندازه گیری شده و محاسباتی از طریق فرمول های اینگهام و موریتس دارای همخوانی بالایی می باشند.

در مطالعاتی که عراق علوی (۳) در کانال های خاکی زیر دست سد زاینده رود انجام داده است روش تجربی میسرا (Misra) برای تخمین نشت آب از کانال پیشنهاد شده در صورتی که در

دشت‌ها معادلات اینگهام و موریتس (اصلاح شده) مبنای محاسبات میزان تلفات نفوذی قرار گیرد.

۲. با توجه به کاستی‌هایی که معادلات تجربی دارند توصیه می‌گردد در مطالعات شبکه‌های آبیاری به منظور محاسبه مقادیر تلفات حتی‌المقدور از روش‌های محاسبه عملی نشت (روش‌های ورودی - خروجی و حوضچه‌ای) و در غیر این صورت از معادلات اینگهام و موریتس استفاده گردد و با توجه به این مطلب که مشخصات خاک و پوشش گیاهی نقاط انتخاب شده، معرف خصوصیات کلی شبکه آبیاری رودشت می‌باشد، ضرایب اصلاح شده را می‌توان با ضریب اطمینان بالایی برای کل منطقه به کار برد.

۳. نظر به بالا بودن مقادیر تلفات در این منطقه که یکی از قطب‌های کشاورزی استان به حساب می‌آید و وقوع خشک‌سالی‌های اخیر توصیه می‌گردد بعد از مطالعات کارشناسی با استفاده از اعتبارات دولتی و همیاری مردمی کلیه انهار خاکی بتونی شده و شبکه آبیاری سستی موجود، تبدیل به یک شبکه مدرن گردد.

۴. ضرایب معادلات نشت با توجه به خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی منطقه رودشت اصلاح گردیده و اصلاح این ضرایب برای مناطق دیگر نیاز به انجام طرح‌های مجزا دارد چرا که علاوه بر خصوصیات نام‌برده، شوری آب و خاک از عوامل مهم افزایش ضریب آب‌گذری و به دنبال آن توان بالقوه نشت آب به شمار می‌آید. انجام این امر مهم با توجه به عزم وزارت نیرو برای مدرن سازی شبکه‌های آبیاری کشور امری ضروری به نظر می‌رسد.

این تحقیق معادله اینگهام (Ingham) برای منطقه رودشت معرفی می‌گردد. خاطر نشان می‌سازد مطالعات عراق علوی بر روی کانال‌های درجه یک و دو (انهار اصلی و نیمه اصلی) متمرکز گردیده در صورتی که در این تحقیق آزمایش‌ها در کانال‌های خاکی درجه سه و چهار انجام شده بنابراین درصد پوشش گیاهی در شبکه آبیاری زاینده رود بسیار بالاتر از رودشت برآورد گردیده است. هم‌چنین درصد ذرات خاک در این مطالعات متفاوت می‌باشد. بدین صورت که در شبکه‌های آبیاری زاینده رود و رودشت به ترتیب خاک‌های لومی سیلتی و رسی معرف یک خاک سنگین می‌باشند. هم‌چنین سالمی و سپاسخواه (۱۱) در شبکه آبیاری برخوار معادله دیویس و ویلسون (Davis & Wilson) را مناسب‌ترین معادله تخمین نشت آب معرفی نمودند. به هرحال ناسازگاری بین نتایج این تحقیق و تحقیقات انجام شده قبلی (۳ و ۱۱) با توجه به تنوع خاک‌ها و درصد پوشش‌های گیاهی مناطق مختلف امری طبیعی به نظر می‌رسد و ضرورت اصلاح ضرایب معادلات تجربی را برای مناطق مختلف تحت آبیاری نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

۱. به منظور انجام مطالعات مرحله اول شبکه‌های مدرن آبیاری، طراحان و مهندسين مشاور برای تخمین میزان تلفات نفوذی در انهار خاکی از معادلات تجربی شرح داده شده استفاده می‌نمایند. به عنوان مثال در طرح مطالعات شبکه‌های آبیاری برخوار و رودشت، مشاور با استفاده از متوسط میزان‌های نشت در معادلات مختلف میزان تلفات در انهار درجه ۳ در نظام‌ها و آرایش‌های مختلف با تخصیص‌های متفاوت را محاسبه کرده است که پیشنهاد می‌گردد در مطالعات عمرانی و زیربنایی در این

منابع مورد استفاده

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

۲. سازمان هواشناسی کل کشور. ۱۳۷۸. گزارش سالیانه اقلیماتولوژی. ایستگاه کشاورزی کبوترآباد، انتشارات سازمان کشاورزی استان اصفهان، ۳۹ صفحه.
۳. عراق علوی، س. ۱۳۷۳. مدیریت توزیع آب رودخانه زاینده رود براساس برآورد راندمان انتقال آب در کانال‌های زیردست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۰۲ صفحه .
۴. کشکولی، ح.ع. ۱۳۶۶. یک بررسی مختصر میزان و علل تلفات آب در تعدادی از کانال‌های خاکی خوزستان. علوم کشاورزی ۱۸ (۳ و ۴) : ۱-۱۳.
۵. معاونت بهره‌برداری و مدیریت منابع آب. ۱۳۶۹. گزارش سالیانه وضعیت منابع آب. شماره ۵، ص. ۲۰-۲۸، وزارت نیرو، تهران.
۶. مهندسین مشاور زاینده‌آب. ۱۳۷۰. گزارش آبیاری طرح شبکه آبیاری دشت رودشتین. انتشارات مهندسین مشاور زاینده‌آب، جلد چهارم، ص. ۸۷-۱۲۰، وزارت نیرو، تهران.
7. Bos, M.G. and J. Nagteren. 1982. On Irrigation Efficiencies. 3rd ed., ILRI pub., Wageningen.
8. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage. Paper No. 24, FAO. Rome, 144Page.
9. Kraatz, D. B. 1977. Irrigation Canal Lining. FAO Land and Water Development Series. No. 1, FAO. Rome, 199 Page.
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.