بررسی شیب خط نشت در کانال‌های خاکی به روش صحرایی و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل Mseep (مطالعه موردی شبکه های آبیاری دز)

فرنام عصاره*[۱]، بهروز دهانزاده[۲]، سیروس پاکباز[۳] و محمد صالحه[۴]

۱) کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، شرکت مهندسین مشاور آب ورزان.

۲) استادیار گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

۳) استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴) مدرس گروه عمران، دانشکده صنعت آب و برق خوزستان، اهواز.

*نویسنده مسئول: **ahmad_asareh@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۲۶**

چکیده :

مسئله نشت در کانال‌ها یکی از مسائل مهم در پروسه انتقال آب می‌باشد. در پژوهش حاضر موضوع نشت در کانال‌های آبیاری از نظر شیب خط نشت در کانال‌های خاکی که در مقطع خاکریزی قرار دارند مورد بررسی قرار گرفت، که این موضوع تعیین کننده ابعاد خاکریز کانال می‌باشد. برای بررسی شیب خط نشت، روی خاکریز مجاور کانال انتقال آب، چاهک‌هایی در عرض خاکریز حفاری گردید و با تعیین سطح آب چاهک‌های مذکور، شیب خط نشت واقعی بدست آمد. سپس نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از نرم افزار Mseep مقایسه گردید. محل‌های مورد انتخاب برای بررسی شیب خط نشت، ۳ کانال فرسایشی از کانال‌های قدیمی غرب شبکه آبیاری و زهکشی دز بودند، به‌طوری‌که یک کانال درجه۱، یک کانال درجه ۲ و یک کانال درجه ۳ انتخاب شد. نتایج حاصله مبین شیب ۱: ۱ خط نشت بود. همچنین نتایج نشان داد شیب خط نشت با ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K) رابطه مستقیمی دارد.

کلمات کلیدی : شیب خط نشت، Mseep ، کانال‌های خاکی، ضریب هدایت هیدرولیکی.

مقدمه:

در مناطق خشک و نیمه خشک چون ایران، عدم دسترسی به منابع آب کافی یکی از مهمترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی می‌باشد. با این وجود، متاسفانه از منابع آب موجود هم استفاده بهینه نمی‌شود. نشت آب در کانال‌های خاکی و بتنی و نحوه کنترل آن یکی از مهمترین مسائلی است که در طراحی کانال‌های آبیاری و زهکشی می‌بایستی مورد توجه خاص قرار گیرد (Wang *et al*., 2002). زیرا که مقادیر اندک راندمان انتقال آب در کانال‌های توزیع و انتقال آب عمدتا ناشی از تلفات نشت در کانال‌های خاکی است (Sepaskhah and Salemi, 2004). طبق گزارش معاونت بهره‌برداری و مدیریت منابع آب کشور (۱۳۶۹) بازده انتقال در شبکه‌های آبیاری و زهکشی حدود ۶۸ درصد می‌باشد. با این اوصاف شناخت و کمی کردن فرایند نشت از کانال به منظور حفاظت منابع آب، مدیریت آبهای سطحی و زیرزمینی، تعیین شدت عوارض مرتبط با نشت و نیز ارزیابی منافع فنی و مادی بالقوه روش‌ها و فناوری‌های کاهش نشت، اجتناب‌ناپذیر است(Martin and Gates, 2014). روش‌های تخمین نشت و نفوذ از کانال‌ها عبارتند از: ۱- روش‌های مستقیم شامل: انواع روش‌های میدانی مانند روش ورودی – خروجی و روش حوضچه، و ۲- روش‌های غیرمستقیم که مبتنی بر روابط تجربی از جمله روش اینگهام [۱] ، دیویس ویلسون[۲] ، موریتز[۳]، روش هندوستان [۴] ، مولسورس و ینیدومیا [۵]، آفنگندن[۶]، ودرنیکف[۷] ، موسکات [۸]، کوستیاکف[۹] ، سوبرامانیا [۱۰] ، میسرا [۱۱] ، روش‌های حل تحلیلی و روش‌های قیاسی [۱۲] می‌باشند (Ali, 2011). سالمی و سپاسخواه (۱۳۸۵) پس از بررسی ۹ کانال خاکی در رودشت اصفهان، به واسنجی و صحت‌سنجی معادلات تجربی نشت اینگهام، دیویس-ویلسون، آفنگندن، موریتز، مولسورس و ینیدومیا، میسرا و روش هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که این روش‌ها مقدار نشت را کمتر از واقعیت تخمین می‌زنند. نوری محمدیه و همکاران (۱۳۸۹) دقت معادلات تجربی اینگهام، موریتز، دیویس-ویلسون، مولسورس و ینیدومیا و میسرا را در ۳ کانال موجود در دشت قزوین بررسی نموده و روش‌های میسرا و موریتز را به عنوان روش‌های قابل اعتماد توصیه کردند. شبیه‌سازی عددی و استفاده از مدل، ابزاری برای درک بهتر فرایندهای دخیل در نشت از کانال بوده که در تعدادی مطالعات به آن پرداخته شده است. حیدری‌زاده (۱۳۶۹) تلفات نشت آب از کانال‌های آبیاری

[1] Ingham
[2] Davis-Wilson
[3] Moritz
[4] India
[5] Molesworth and Yennidumia
[6] Offengenden
[7] Vedernikov
[8] Muscat
[9] Kostiakov
[10] Subramanya
[11] Misra
[12] Analogues

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 شد و معادله جریران با روش عددی تفاضل‌های محدود حل شد. نتایج نشان داد که مدل ریاضی تهیه شده با تقریب نسبتًا خوبی، میزان نشت از کانال را پیش‌بینی می‌کند. انصاری و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند کاربرد عددی مدل SEEP/W در شبیه‌سازی جریان درون مصالح درشت دانه و سازه‌های سنگریزه‌ای همواره نتایج خوبی ارائه نمی‌کند و سبب کم برآوردی نیمرخ خط فریاتیک نسبت به نیمرخ مشاهداتی بخصوص در شیب‌های کم و همچنین مقدار دبی نشت یافته با توجه به شیب موردنظر وضعیت متفاوتی از خود نشان می‌دهد. با این وجود نتایج آنها نشان داد که مدل عددی در شیب تند به خوبی توانسته است نیمرخ جریان را شبیه‌سازی نماید. اقوامی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون تکاملی چند جمله‌ای و SEEP/W میزان نشت از کانال را در برخی از کانال‌های اصفهان و قزوین مورد مطالعه قرار دادند و نتایج رضایت‌بخشی برای مدل SEEP/W گزارش کردند. شیرافروس و نریمانی (۱۳۸۸) میزان نشت از چند کانال خاکی، با تغییرات در ارتفاع و کناره‌های کانال و شیب جانبی داخلی ۰/۵ و ۱، را با استفاده از نرم‌افزار MSEEP مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. پس از استخراج نشت نهایی از مقاطع عرضی کانال‌ها، مشاهده گردید که در شرایط یکسان با دبی‌های برابر، با افزایش ارتفاع و کناره‌های کانال، تلفات نشت کمتر می‌شود. نوری محمدیه و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل SEEP3D به تخمین نرخ جریان نشت از سه کانال خاکی واقع در دشت قزوین پرداختند. سپس نتایج مدل را با نتایج روش حوضچه‌ای و دبی ورودی- خروجی مقایسه کردند و دریافتند که مدل SEEP3D گرادیان هیدرولیکی جریان نشت از کانال در جهت عمقی را بیشتر از جهت افقی تعیین می‌کند. در این تحقیق به بررسی شیب خط نشت در کانال‌های خاکی به روش صحرایی در شبکه آبیاری و زهکشی دز و مقایسه آن با نتایج حاصل از مدل Mseep پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی خط نشت از کانال‌های خاکی، ۳ کانال از شبکهٔ آبیاری و زهکشی دز در قسمت غربی این شبکه مورد مطالعه قرار گرفت. ۳ کانالی که برای بررسی خط نشت انتخاب شدند، شامل: یک کانال درجه ۱ به نام کانال W_2 یا کانال کرخه، یک کانال درجه ۲ به نام کانال W_1R_8 یا کانال پای پل و یک کانال درجه ۳ مربوط به دریچهٔ W_1L13-7 شبکهٔ آبیاری و زهکشی دز بودند. خصوصیات اصلی کانال‌های منتخب در جدول(۱) و (۲) ارائه شد است. مقاطع دقیق کانال‌ها با نقشه‌برداری تعیین گردید و ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K) برای خاک‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در کنار هر کدام از کانال‌های تحت بررسی چاهک‌هایی حفر شد و سطح آب درون چاهک‌ها اندازه‌گیری گردید. مشخصات چاهک‌های حفر شده درجدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات کانال‌هایی منتخب جهت بررسی خط نشت

نام کانال	طول کانال (km)	نوع کانال	ظرفیت کانال در مقطع مورد نظر (m^3/s)	تعداد چک	تعداد دریچه	تعداد اسپیل
W_2	۳۰+۰۰	خاکی	۵۰	۲۱	۵۸	۲
$\mathbf{W_1R_8}$	۱۶+۰۰	در ابتدا بتنی و سپس خاکی	۲.۲	۷	۲۲	۱
$\mathbf{W_1L13-7}$	۲+۱۰۰	خاکی	۰.۴	۲	۳	-

جدول ۲ : مشخصات هندسی اولیه کانال‌های انتخابی

نام کانال	عمق نرمال y (m)	عرض کف b (m)	شیب دیواره m	شیب طولی (S)	فری برد Fb
$\mathbf{W_2}$	۴/۱۳	۵	۲	۰/۰۰۰۱	۱/۳
$\mathbf{W_1R_8}$	۱/۰۲	۲/۲	۲	۰/۰۰۰۳۴	۰/۶۰
$\mathbf{W_1L13-7}$	۰/۴۵	۰/۸۰	۲	۰/۰۰۰۴	۰/۱۵

جدول ۳: مشخصات چاهک‌های حفر شده در خاکریز کانال‌ها

نام کانال	فاصلهٔ مقطع حفر چاهک از ابتدای کانال (m)	ساحل حفاری چاهک	تعداد چاهک‌های حفاری شده در هر مقطع	فاصله چاهک ها از وسط کانال (m)				
				اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
$\mathbf{W_2}$	۵۰۰	ساحل راست	پنج	۱۲.۴	۱۲.۶۵	۱۳.۲۷	۱۵.۱۲	۷.۹۸
$\mathbf{W_1R_8}$	۱۴۱۰۰	ساحل راست	چهار	۳.۴	۳.۹۰	۴.۹۰	۶.۳۰	-
$L_{13\text{-}7}\mathbf{W_1}$	۱۱۰۰	ساحل چپ	چهار	۱.۸۵	۲.۰۰	۲.۱۵	۲.۴۰	-

حفاری بدین صورت انجام شد که پس از انتخاب محل چاهک‌ها، حفاری با آگردستی به قطر ۲ و عمق ۹۰ سانتی‌مترکه طول اولیهٔ آگر بود صورت می‌گرفت. برای بررسی دقیق خط نشت در دایک کانال‌های مورد مطالعه و در مقطع عرضی، چاهک‌هایی را

حفاری کرده و سطح آب حاصل از نشت کانال در هر چاهک بدست آمد. مقاطع بدست آمده با استفاده از نقشه‌برداری دقیق بدست آمد. همچنین سطح آب زیرزمینی در محل مقاطع مورد بررسی با استفاده از چاه‌های آب اطراف کانال‌ها بدست آمد(جدول۴ و ۵).

جدول ۴ : سطح آب در چاهک های حفر شده

نام کانال	عمق آب در چاهک نسبت به سطح آب کانال (m)				شیب خط نشت
	چاهک شماره ۱	چاهک شماره ۲	چاهک شماره ۳	چاهک شماره ۴	بدست آمده
کانال W_2	۰/۱۳	۰/۴۵	۱/۲۰	۳/۳۱	۰/۸۶
کانال W_1R_8	۰/۱۵	۰/۷	۱/۸۵	۳/۲۵	۰/۹۷
کانال W_1L_{13-7}	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۶	۰/۹۱	۰/۷۷

جدول ۵ : سطح آب زیرزمینی در محل حفر چاهک‌ها

کانال مورد مطالعه	W_2	$W_1 - R_8$	$W_1L13 - 7$
سطح آب زیرزمینی در محل	۱۸m	۱۷m	۸m

شبکهٔ جریان در هر کدام از ۳ کانال تحت بررسی با استفاده از نرم افزار MSEEP ترسیم و با خط نشت ترسیم شده از برداشت‌های میدانی مقایسه گردید. علاوه بر این، با رسم دستی شبکه جریان بر اساس تئوری‌ها و روش‌های موجود، شبکه جریان با واقعیت برداشت شده از چاهک‌ها تطبیق و مقایسه گردید.

کلیاتی در خصوص نرم‌افزار MSEEP

نرم افزار MSEEP از جمله برنامه‌هایی است که میزان و نحوه حرکت و نشت آب را در محیط متخلخل در حالت دو بعدی تحلیل می‌کند. اساس کار این نرم افزار، روش متغیر محدود برای حل معادله دیفرانسیل لاپلاس که نشانگر حرکت ایستایی آب جاری است، می‌باشد. در نرم‌افزارMSEEP معادله دیفرانسیلی لاپلاس (رابطه۱) با استفاده از روش متغیر محدود حل می‌شود.

$$kx\frac{\partial^2 h}{\partial \mathrm{x}^2} + \mathrm{Ky}\frac{\partial^2 \mathrm{h}}{\partial \mathrm{y}^2} = \mathrm{q} \qquad (1)$$

در این رابطه K_x و K_y به‌ترتیب نفوذپذیری خاک در دو جهت افقی و قائم، h و q نیز به ترتیب پتانسیل آب در خاک و دبی ورودی (یا خروجی) در توده خاک مورد بررسی می‌باشد. موقعیت سطح فراتیک (ایستایی) از پیش مجهول است. MSEEP به وسیله

روش تکرار، با استفاده از شرط مرزی تعریف شده در طول این سطح، موقعیت سطح فراتیک را تعیین می‌کند. در طی این روند تکرار، برای هر گره روی سطح فراتیک یا سطح نشت، مقدار و جهت دبی مشخص، تعیین می‌شود.

علاوه بر معادله لاپلاس نخستین کسی که مطالعات خود را در زمینه حرکت آب در محیط متخلخل خاک انجام داد؛ دارسی(۱۸۵۶) دانشمند فرانسوی بود(رابطه۲).

$$Q = AK\frac{dh}{dl} \tag{2}$$

که در آن: Q حجم آبی است که در واحد زمان از سطح مقطع A می‌گذرد و K ضریب هدایت هیدرولیکی یا ضریب دارسی می‌باشد.

همچنین دانشمندان با استفاده از قانون بقای جرم در رابطه انتقالی رینالدز در فضای سه بعدی به معادلهٔ عمومی جریان آب در خاک یا معادله ریچاردز دست یافتند(رابطه۳).

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K_x\frac{\partial h}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[K_y\frac{\partial h}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[k_2\frac{\partial h}{\partial z}\right] \tag{3}$$

که در آن: θ عیار حجمی آب خاک و $\frac{\partial\theta}{\partial t}$ درجه تغییرات حجم آب در خاک نسبت به زمان است. در خاک‌های اشباع که تغییراتی در حجم آب خاک ایجاد نمی‌شود و خلل و فرج خاک کاملاً از آب پر شده اند، داریم:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = 0$$

همچنین در خاک‌های ایزوتروپیک که K در جهات مختلف مساوی است $\left(K_x = K_y = K_z\right)$ خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \mathrm{V_x}}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial \mathrm{V_y}}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial \mathrm{V_2}}{\partial \mathrm{z}} = 0 \tag{4}$$

که این فرمول، فرمول پیوستگی نام دارد. اگر از رابطه دارسی به جای V مقدار $K = \frac{\partial h}{\partial L}$ را قرار دهیم به معادله لاپلاس(رابطه۱) به‌دست می‌آید.

در زمینه نشت از نهرهای خاکی با استفاده از تئوری اعداد مختلط ابتدا کازنی عبارتی را به صورت $\theta = iz + \frac{w}{k} = Ae^{\omega/\propto}$ در سال ۱۹۳۱ ارائه داد که پاولوسکی در سال ۱۹۳۶ با انتخاب θ به صورت نیم دایره‌ای به شعاع H که حداکثر عمق نهر می‌باشد، با

توجه به اینکه w تابعی به شکل $w = \varphi + i\Psi$ است خطوط جریان در اطراف نهر را رسم کرد. پاولوسکی با استفاده از این شبکه جریان، دبی و عرض محدوده نشت در بی‌نهایت را برای نشت از یک نهر با عمق آب زیرزمینی نامحدود بدست آورد. طبق گفتهٔ او عرض مقطع نشت در $y = \infty$ برابر می‌شود با:

$$\text{عرض مقطع نشت} = B + 2\,H$$

و چون در این منطقه خطوط جریان عمودی شده و $i=1$ طبق فرمول دارسی:

$$q = K(B + 2\,H)$$

همچنین ودرنیکف برای کانالهای ذوزنقه ای با آب زیرزمینی عمیق فرمولی به شکل زیر استخراج کرد:

$$q = K(B + AH) \qquad (5)$$

که در آن A بین ۲ و ۴ بوده بر حسب $B/_{\mathrm{H}}$ بدست می‌آید.

در نرم افزار MSEEP مسائل با دو شیوه حل می‌شود: ۱- تحلیل جریان آب زیرزمینی دو بعدی عمودی در ساختمان لایه‌های خاک با در نظر گرفتن انواع شرایط مرزی و دبی مثبت، یا منفی که به این شیوه، برش مقطعی گفته می‌شود. ۲- تحلیل جریان‌های ثابت دو بعدی در اکوفرنشتی با فرض اینکه جریان در اکوفر اساساً افقی است و بنابراین سطوح هم پتانسیل عمودی هستند. تمام شرایط مرزی در دبی‌های ورودی و خروجی قابل اضافه کردن به مسئله می‌باشند که به این شیوه اکوفر فراتیک گفته می‌شود. خروجی‌های نرم افزار MSEEP نیز به دو صورت ارائه می‌شوند: ۱- بصورت گرافیکی: شامل رسم خطوط جریان و پتانسیل، ۲- بصورت جدولی: شامل ارائه اطلاعات ورودی – نقاط مرزی، مرزها و اطلاعات دقیق *پتانسیل‌های* جریان در هر منطقه .

ضریب هدایت هیدرولیکی (K) در نرم افزار MSEEP که برای ترسیم شبکه جریان نشت از کانال استفاده می‌گردد به صورت K_x و K_y در هر لایه مورد نیاز می‌باشد برای اندازه گیری K از روش چاهک که معتبرترین و دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی در منطقهٔ اشباع است، استفاده گردید. از آنجایی که دایک کانال با استفاده از یک نوع مصالح و یک نوع کوبیدگی احداث گردیده است لایه‌های مجزا در آن وجود نداشته و می‌توان تمام دایک را یک لایه فرض کرد . همچنین می‌توان K_x و K_y را یکسان فرض نمود. از آنجا که خطای ایجاد شده در این فرض بسیار کوچک است می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. پس از رسم شبکه جریان این شبکه با برداشت‌های صحرایی مقایسه گردید.

نتایج و بحث :

ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به دست آمده از آزمایش چاهک در ۳ کانال مورد بررسی، در جدول شماره ۶ ارائه شده است.

جدول ۶ : نتایج اندازه گیری K در مقطع دایک کانالهای مورد مطالعه

نام کانال	K در چاهک۳	K در چاهک ۴	K در چاهک ۵	میانگین
$\mathbf{W_2}$	6.1×10^{-6}	4.2×10^{-6}	2.9×10^{-6}	4.4×10^{-6}
$\mathbf{W_t - R_s}$	4.5×10^{-6}	5.1×10^{-6}	-----	4.5×10^{-6}
$\mathbf{W_t L13 - 7}$	1.1×10^{-5}	1.3×10^{-5}	-----	1.2×10^{-5}

با توجه به خروجی‌های نرم افزار MSEEP مربوط به شبکه جریان کانال‌های مورد مطالعه مشاهده گردید شیب خط نشت ارائه شده توسط نرم افزار MSEEP از شیب خط نشت بدست آمده در پژوهش حاضر کندتر بوده و در حدود ۱ به ۱/۵ می‌باشد (جدول۷).

جدول ۷ : مقایسه شیب خط نشت در روشهای مختلف

روش تعیین خط نشت	شیب خط نشت		
	W_2	W_1R_8	W_1L13-7
حفر چاهک	*0.86:1*	*0.97:1*	*0.77:1*
نرم افزار MSEEP	*1.5:1*	*1.55:1*	*1.45:1*
نظریه ودرنیکف	*0.67:1*	*0.67:1*	*0.67:1*

شیب خط نشت از کانال‌ها، در خاکریز کوبیده شده (با کوبیدگی ۹۵٪) و سطح آب زیرزمینی پایین، شیب خط نشت حدود ۱ به ۱ اندازه‌گیری گردید. این شیب در خاکریز نرمال با کوبیدگی حدود ۸۰٪ و بافت سبک باز هم تندتر بدست آمد. نتایج نشان داد شیب خط نشت بدست آمده با شیب خط نشت ارائه شده توسط ودرنیکف نزدیک بوده ولی از شیب خط نشتی که نرم‌افزار MSEEP رسم می‌نماید، تندتر می‌باشد. به همین دلیل جهت طراحی ابعاد خاکریز کانال می‌توان شیب خط نشت را در جهت اطمینان حداکثر ۱ به ۱/۵ در نظر گرفت.

نتیجه‌گیری:

شیب خط نشت در کانال‌های خاکی با عواملی مثل جنس خاک، درصد کوبیدگی خاک، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک، عمق آب زیرزمینی رابطه مستقیم دارد. برای ادامه مطالعات در زمینه نشت از کانال زمینه‌های تحقیقاتی زیادی وجود دارد که پیشنهاد می‌شود علاقه‌مندان در زمینه تأثیر گذشت زمان (سن کانال) و تبعات آن مانند تحکیم، رگاب یا رسوب‌گذاری در دبی و شیب خط نشت تحقیقاتی انجام دهند. همچنین تأثیرات عواملی نظیر پوشش گیاهی کانال‌ها، ضریب K، سطح آب زیرزمینی، میزان بار معلق یا بار بستر و غلظت یون‌های مختلف در آب کانال، چگونگی بهره‌برداری و شرایط مختلف دیگر در نشت از کانال‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

منابع :

ابن جلال، ر. و شفاعی بجستان، م. (۱۳۷۶). اصول نظری و عملی مکانیک خاک، انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.

انصاری، ا.، صدقی آصل، م. و پرویزی، م. (۱۳۹۵). ارزیابی دقت کد کامپیوتریSEEP/W در برآورد دبی و نیمرخ سطح آب جریان درون محیط‌های متخلخل درشت دانه طویل. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۲، ص ۳۶۲-۳۵۵.

حیدری‌زاده، م. (۱۳۹۶۹). بررسی تلفات نشت از کانال‌های آبیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، چاپ نشده، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

سالمی، ح. ر. و سپاسخواه، ع. ر. (۱۳۸۵). اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره۱۰، شماره ۱، ص ۴۲-۲۹.

شیرافروس، ع. و نریمانی، ض. (۱۳۸۸). محاسبه میزان تلفات نشت از کانال‌های خاکی با استفاده از نرمافزار MSEE. همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول. ۱۲-۱۱ اسفند. ۷-۱.

معاونت بهره‌برداری و مدیریت منابع آب. (۱۳۶۹). گزارش سالیانه وضعیت منابع آب. وزارت نیرو، تهران، ۵ : ص ۲۸ - ۲۰.

نوری محمدیه، م.، سهرابی، ت. و رحیمی، ح. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های تجربی تعیین نشت در کانال‌های خاکی (مطالعه موردی: دشت قزوین). مجله پژوهش آب ایران، شماره ۴، ص ۱۲۸-۱۲۵.

Aghvami, E., Abbaspour, A., Ghorbani, M. A. and Salmasi, F. (2011). Estimation of channels seepage using seep/w and evolutionary polynomial regression (EPR) modelling (Case Study: Qazvin and Isfahan channels). J. Civil Eng. Urban, 3, pp: 211-215.

Ali, H. (2011). Practices of irrigation & on-farm water management. Springer Science & Business Media, New York, USA, 546pp.

Martin, C.A. and Gates, T.K. (2014). Uncertainty of canal seepage losses estimated using flowing water balance with acoustic Doppler devices. Journal of Hydrology, 517, pp: 746-761.

Sepaskhah, A.R. and Salemi, H. R. (2004). An empirical model for prediction of conveyance efficiency for small earth canals. Iranian J. Sci. Tech, 28, pp: 623-628.

Wang, H., Liu, C. and Zhang, L. (2002). Water-saving agriculture in China: an overview. Advances inAgronomy, 75, pp: 135-171.

Investigating the slope of the seepage line in the earth canals by field method and comparing it with the results of the MSEEP model (Case study of Dez irrigation networks)

Farnam Asareh[1]*, Behrouz Dahanzageh[2], Sirous Pakbaz[3] and Mohammad Salehe[4]

1) Phd Student, Department of Civil Engineering-Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, shoushtar, Iran.

2) Assistant Professor, , Department of Civil Engineering-Water Resources Engineering and Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, shoushtar, Iran.

3) Associate professor, Department of civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

4) Department of Civil Engineering, Faculty of water and Electricity Industry, Ahvaz, Khuzestan

***Correspondence author:** ahmad_asareh@yahoo.com

Received Data: 2019. 07. 11 **Accepted Data: 2020. 10. 17**

Abstract

seepage in canals is one of the most important issues in the water transfer process. In the present study, the issue of seepage in irrigation canals in terms of slope of leakage line in soil canals that are in the embankment section was investigated, which determines the dimensions of the canal embankment. To check the slope of the seepage line, wells were dug across the embankment near the water transfer canal, and by determining the water level of the mentioned wells, the slope of the actual seepage line was obtained. Then the results were compared with the results of Mseep software. The sites selected to investigate the slope of the seepage line were 3 erosive canals from the old west canals of the Dez Irrigation and Drainage Network, so that a grade 1 canal, a grade 2 canal, and a grade 3 canal were selected. The results showed a 1: 1 slope of the leak line. The results also showed that the slope of the leak line is directly related to the hydraulic conductivity of the soil saturation (K).

Keywords: seepage line slope, MSEEP, soil channels, hydraulic conductivity.