بررسی شیب خط نشت در خاکریز کانالهای آبیاری شبکه آبیاری و زهکشی دشت میاناب با استفاده از مدل Seep/w

فرخ فلاحت
کارشناس ارشد سازه های آبی دانش آموخته رشته کارشناسی ارشد سازه های آبی آزاد واحد جامع شوشتر
Falahat_f317@yahoo.com
عادل دحیماوی
کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی- سازمان آب وبرق خوزستان
بهروز دهانزاده
هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد جامع شوشتر
حسین فتحی
عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
محمد رضا گوهری بهبهانی
کارشناس عمران- سازمان آب وبرق خوزستان

چکیده

یکی از مشکلات شبکه های آبیاری موجود پدیده نشت و تراوش می باشد. مسئله تراوش آب و کنترل آن در کانالهای آبیاری یکی از مهمترین مسائل در طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری از اینگونه کانال هاست. در این تحقیق، میزان و خط آزاد نشت از کانال آبیاری و زهکشی میاناب واقع در حوضه کارون با استفاده از مدل ریاضی دو بعدی Seep/w شبیه سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که زمانی که عمق جریان در کانال اصلی برابر و یا بیشتر از ۱/۶۹ متر باشد، خط آزاد نشت دیواره پائین دست خاکریز را قطع می‌کند و احتمال ایجاد پدیده Piping وجود دارد. با افزایش عمق جریان آب در کانال اصلی، شیب خط نشت افزایش می یابد. ضریب هدایت هیدرولیکی تاثیری بر خط آزاد نشت ندارد و تنها عاملی که روی خط آزاد نشت تأثیر می‌گذارد، رقوم سطح جریان آب در کانال اصلی می باشد.

واژه های کلیدی : نشت، شیب خط آزاد نشت، مدل SEEP/W، شبکه آبیاری و زهکشی میاناب

۱.مقدمه

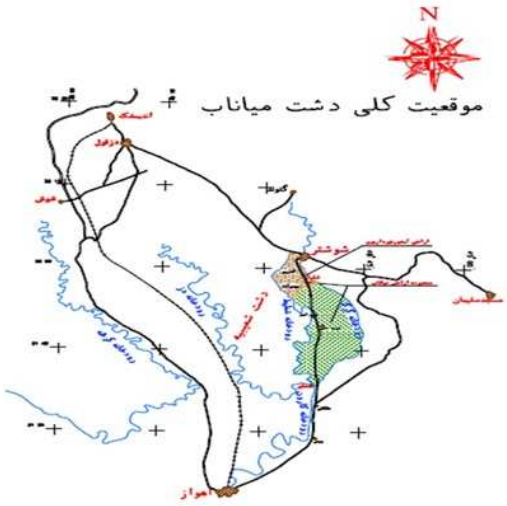
از دلایل عمده اهمیت بررسی میزان نشت می توان به تلفات آب در اثر نشت، تنزل کیفیت اراضی و خاک اطراف کانال در اثر نشت و تهدید محیط زیست منطقه در اثر نشت اشاره نمود. به همین خاطر، کاهش تلفات آب به حداقل ممکن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت حیاتی پیدا نموده و باعث جلب نظر کارشناسان به بررسی کمی و کیفی جریان نشت آب از کانال ها و مسایل مربوط به آن شده است(رستمیان و کوپایی، ۱۳۹۰). نشت آب در کانال های خاکی و بتنی و نحوه کنترل آن یکی از مهمترین مسائلی است که در طراحی کانال های آبیاری و زهکشی می بایستی مورد توجه خاص متخصصین قرار بگیرد. دانش و آگاهی از قوانین بنیادی نشت به متخصصین اجازه می دهد تا از بوجود آمدن مشکلات جدی در اثر نشت

جلوگیری کنند. تاکنون مطالعات بسیاری در ارتباط با نشت و کنترل آن در کانال هـای آبیـاری و زهکشـی انجـام شـده اسـت. حیدری زاده (۱) تلفات نشت آب از کانال های آبیاری را به وسیله یک مدل ریاضی بررسی کرد. در ایـن مـدل ریاضـی، پدیـده نشت به صورت جریان دو بعدی اشباع و ماندگار در محیط های متخلخل اطراف کانال فـرض شـده و معادلـه جریـان بـا روش عددی تفاضل های محدود حل شده است. نتایج نشان داد که مدل ریاضی تهیه شده با تقریب نسـبتًا خـوبی، میـزان نشـت از کانال را پیش‌بینی می‌کند. عراق علوی (۲) در تحقیقاتی روی کانال های خاکی پـایین دسـت سـد زاینـده رود ضـمن ارزیـابی روشهای تجربی برآورد نشت، میزان نشت از کل تلفات را 98/5 درصد و سهم تبخیر و تعرق را 1/5 درصد برآورد نمود. فتـاحی (۳) در تحقیق خود با استفاده از المان PLANE55-2D و نرم افزار ANSYS مسأله میـزان نشـت جریـان آب و گرادیـان هیدرولیکی در پشت سپر را برآورد نمود. با توجه به نتایج آنالیز، مشاهده شد که میزان نشت آب و گرادیان هیدرولیکی حداکثر برآوردی توسط این نرم افزار و روشهای تئوری و نظری تقریبا برابر و دارای اختلاف خیلـی جزئـی و قابـل اغمـاض مـی‌باشـند. بنابراین با المان محدود و برنامه ای نظیر ANSYS می توان به راحتی مسائل پیچیده نشت آب در پشـت سـپر را بـرآورد و گرادیان هیدرولیکی حداکثر را با دقتی برابر نتایج تئوری و نظری بدست آورد

۲-مواد و روشها

۲-۱معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت میاناب شوشتر در جنوب غربی ایران در استان خوزستان و در ناحیه ای بین عرض جغرافیایی '31°39 تا '32°2 شمالی و طول جغرافیایی '48°46 تا '49°5 شرقی واقع شده است. وسعت این دشت ۴۳۰۰۰ هکتار است که از آن ۳۶۸۵۰ هکتار اراضی قابل کشت محسوب می شود. این دشت از شمال به شهر شوشتر و از جنوب به تپه های علّه، از شرق به رودخانه گرگر و از غرب به رودخانه شطیط محدود شده است. بطور کلی اطراف دشت میاناب را دو رودخانه فوق الذکر احاطه کرده است و راه دسترسی آن به نواحی خارج از منطقه تنها از طریق دو محل یکی بند قیر و دیگری پل آزادگان به ترتیب به اهواز و دزفول می باشد. به همین دلیل این دشت را " جزیره میاناب شوشتر" نیز نامیده اند. شیب غالب دشت میاناب از شمال به جنوب و از حواشی به سمت مرکز دشت است. به طوری که ناحیه گودی در امتداد شمال به جنوب در نواحی مرکزی دشت ایجاد شده است که زهکش اصلی دشت در آن ناحیه احداث شده است و محل تخلیه آبهای اضافی دشت محسوب می شود. شکل ۱ موقعیت دشت میاناب را نشان می دهد. کانال مورد مطالعه دارای سه مقطع به ترتیب در کیلومتر ۵+۹۷۲ ، ۶+۰۷۲ و ۶+۱۷۲ می باشد که فاصله بین مقاطع ۱۰۰ متر است. و در مجموع ۲۰۰ متر طول کانال می باشد. مشخصات هیدرولیکی اندازه‌گیری شده کانال مذکور به شرح جدول ۱ می باشد.



جدول ۱ : مشخصات هیدرولیکی اندازه گیری شده کانال

ارتفاع کف کانال تا رقوم بتنی دیواره کانال (متر)	ارتفاع کف کانال تا بالای کانال (برم)	شیب جداره های کانال(متر بر متر)	شیب طولی کانال (متر بر متر)	طول کانال (متر)	عمق جریان (متر)	عرض کف کانال (متر)	دبی (متر مکعب بر ثانیه)
۲.۴	۲.۹	۰۱:۰۱.۵	۰.۰۰۰۱۵	۲۰۰	۲.۱۳	۳	۱۱.۶

۳.معرفی مدل SEEP/W

Seep/w یک محصول نرم‌افزاری با المانهای متناهی است که از آن می‌توان در مدلسازی نحوه جابجایی و توزیع فشار آب منفذی در داخل مواد متخلخل مانند خاک و صخره استفاده کرد. فرمولاسیون جامع و گسترده آن امکان آنالیز مسائل ساده و بسیار پیچیده نشت آب را فراهم می‌آورد. این نرم افزار در آنالیز و طراحی پروژه‌های ژئوتکنیکی، عمرانی، هیدرولوژیکی و معدن کاربرد دارد.Seep/w یک برنامه کلی آنالیز نشت آب است که جریان محیطهای اشباع و غیر اشباع را مدلسازی می‌کند. برای اینکه نتایج آنالیز، با واقعیت شباهت بیشتری داشته باشند، لازم است که در مدلسازی آب زیرزمینی جریان غیراشباع را نیز در نظر بگیریم. در خاکها، ضریب هدایت هیدرولیکی و میزان گنجایش حجمی آب، یا آب ذخیره شده به صورت تابعی از فشار آب منفذی تغییر می‌کند. نرم‌افزار Seep/w، این روابط را به صورت تابع پیوسته‌ای مدلسازی می‌کند. اکثر دیگر نرم‌افزارهای مشابه این مسئله را در نظر نمی‌گیرند و به جای آن، از یک سری فرضیات غیر واقعی فیزیکی استفاده می‌کنند که در واقع توابع مرحله‌ای هستند. به عنوان مثال، در فشار آب منفذی صفر و بزرگتر از آن (یعنی زیر سطح ایستابی)، مقدار هدایت هیدرولیکی آب به صورت اشباع فرض می‌شود و یا در فشار آب منفذی کوچکتر از صفر (یعنی بالای سطح ایستابی)، مقدار هدایت هیدرولیکی آب صفر است. استفاده از چنین توابع مرحله‌ای غیر واقعی در مدلسازی قابلیت هدایت هیدرولیکی خاک و میزان گنجایش حجمی آب می‌تواند منجر به نتایج نادرست شود.

4.ارائه نتایج

۳-۱محاسبه میزان نشت و خط آزاد نشت به روش تقریبی

روشهای متعددی برای محاسبه تلفات آب در کانالها وجود دارد که از میان آنها روش‌های تجربی، تحلیلی و مدلهای گرافیکی بیشترین کاربرد را دارند. یکی از روشهای تجربی که می توان از آن نام برد رابطه پیشنهادی کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی(ICID) است که به شرح زیر محاسبه می گردد :

الف) مقاطع ذوزنقه‌ای برای حالتی که $\frac{b}{d} < 4$ باشد

$$Q = K_s . U . (W_s + 2d)\frac{1}{P}$$

ب) مقاطع ذوزنقه‌ای برای حالتی که $\frac{b}{d} > 4$ باشد

$$Q = K_s (W_s + Ad)$$

b : عرض کف (m)

d : عمق آب در کانال (m)

W_s : عرض سطح آب در کانال (m)

P: محیط خیس شده (m)

K_s ، A ، U برحسب بافت خاک، شیب جداره و نسبت عرض کف طبق جداول زیر تعیین می‌گردد.

جدول ۲ : مقادیر ضریب U بر اساس رابطه پیشنهادی کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی(ICID)

مقادیر ضریب U	b/d	2	3	4
	Z=1/5	0/78	0/96	۱.۰۴

جدول ۳ : مقادیر ضریب Ks بر اساس رابطه پیشنهادی کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی(ICID)

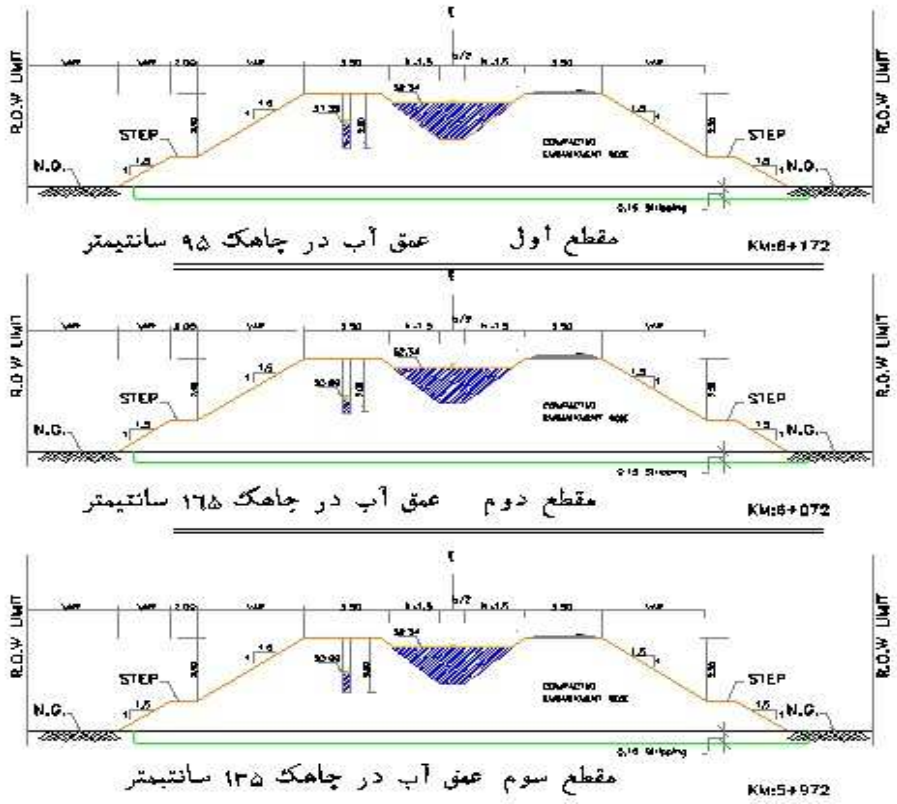
بافت خاک	سبک	لوم متوسط	لوم ماسه‌ای	نیمه سنگین	سنگین
Ks	0.05	0.05-0.1	0.1-0.5	0.5-1	1-5

جدول ۴ : مقادیر ضریب A بر اساس رابطه پیشنهادی کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی(ICID)

مقادیر A	b/d	5	6	7	10
	Z=1.5	2.5	2.7	3	3.3

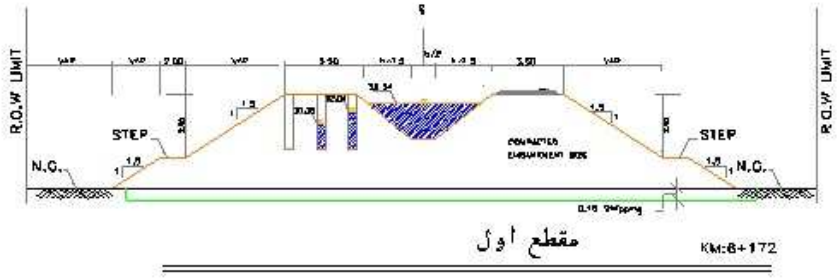
پس از بررسی های به عمل آمده خصوصاً در مسئله نشت آب از کانال به زمینهای زراعی و بعضاً مناطق مسکونی، اقداماتی به شرح زیر انجام گرفت :

۱- در سه مقطع ۵+۹۷۲ ، ۶+۰۷۲ و ۶+۱۷۲ روی برم کانال (در نقطه آکس برم) گمانه‌هایی به عمق حدوداً ۲ متر زده و سطح آب در آنها قرائت شد. (توضیحاً قرائت سطح آب ۲۴ ساعت در دو نوبت انجام گرفت) که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شد.



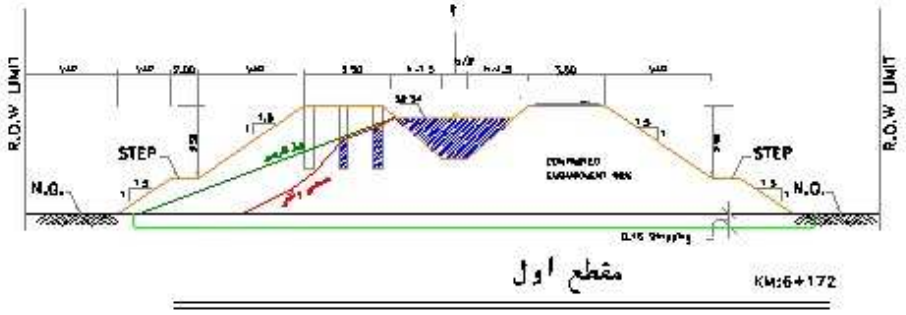
شکل ۲ : مقاطع مورد مطالعه

از بین سه مقطع بررسی شده مقطع شماره ۱ واقع در کیلومتر ۶+۱۷۲ که سطح آب در آن بالاتر از دو مقطع دیگر بود به عنوان مقطع بحرانی انتخاب و با دقت بیشتر مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور طرفین آن مطابق شکل ۳ گمانه‌هایی زده شد که پس از قرائت در دو نوبت (باتوجه به تثبیت سطح ایستایی) تراز آب مطابق شکل ۳ می‌باشد.



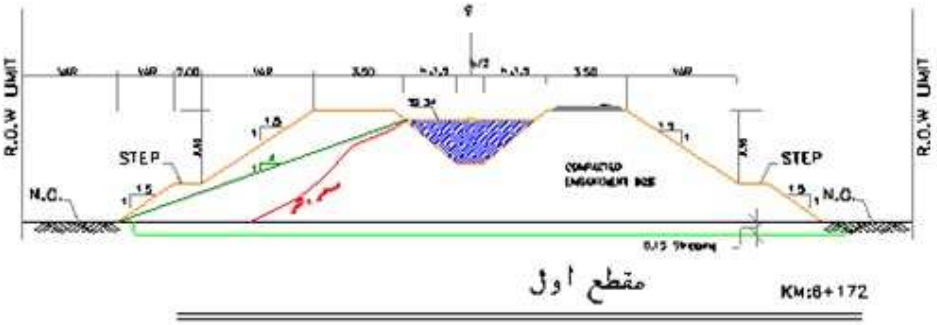
شکل ۳ : مقطع انتخابی به عنوان مقطع بحرانی

۳- با توجه به شکل ۳ شیب تقریبی سطح آب را می‌توان مطابق شکل ۴ در نظر گرفت. توضیحاً منحنی واقعی سطح آب در بدنه سازه‌های خاکی آب بند بر اساس مبانی مکانیک خاک معمولاً خطی نمی‌باشد ولی ترسیم دقیق آن مستلزم حفر تعداد زیادی گمانه و بررسی‌های کامل می‌باشد اما به شکل محافظ کارانه در جهت اطمینان می‌توان تراز سطح آب را با یک خط تقریب زد. (لازم به ذکر است که روش زیر بصورت تجربی می‌باشد و دقیق نیست و به همین جهت در راستای برآورد نشت و تأثیر آن بر روی دیواره پایین دست کانال از نرم افزار استفاده شد که نتیجه‌ای کاملاً معکوس با این روش بدست آمد و در ادامه نتایج حاصل از مدل ارائه خواهد شد.)



شکل ۴ : ترسیم خط نشت بصورت تقریبی

۴- به منظور مقایسه نشت موجود با نشت مجاز روشها و تکنیکهای متعددی وجود دارد که روش رایج و ساده در این زمینه روش تقریبی ۴ به ۱ (4:1) می‌باشد. با پذیرفتن این روش سطح آب موجود در بدنه کانال با سطح مجاز آب در شکل ۵ مقایسه گردیده است.



شکل ۵ : مقایسه نشت موجود با نشت مجاز در روش تقریبی

۵- علاوه بر کنترل سطح آب، می‌توان مستقیماً به کمک فرمول دارسی، دبی عبوری از یک متر طول کانال (در مقطع بحرانی) را تعیین و با دبی مجاز مقایسه نمود. عمق آب کانال در کیلومتر ۶+۱۷۲ برابر ۲/۱۳ متر و عرض کف ۳ می باشد. برای تعیین گرادیان هیدرولیکی در این مقطع باتوجه به برداشت تراز آب داریم :

$$i = \frac{\Delta H}{L}$$

$$i = \frac{1.7}{3.5} = 0.48$$

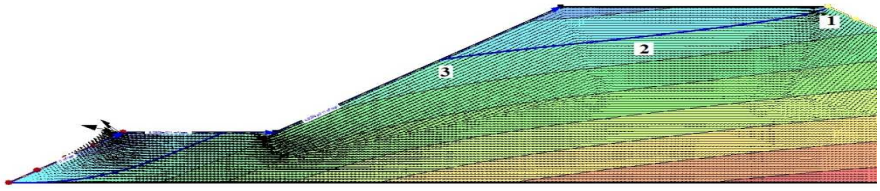
$$A = 2.13 * 1 = 2.13$$

$$Q = KiA$$

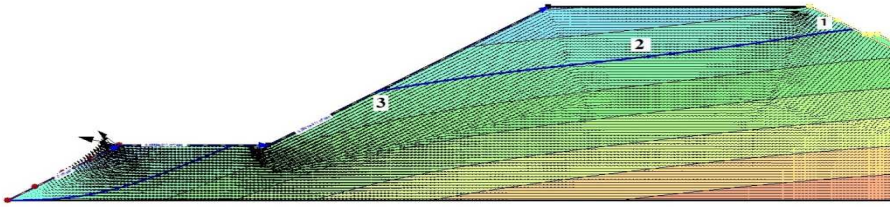
$$Q = 2\times10^{-6}\times0.48\times2.13 = 0.002\ Lit/s/m$$

۵.تعیین میزان نشت و خط آزاد نشت در کانال با مدل ریاضی SEEP/W :

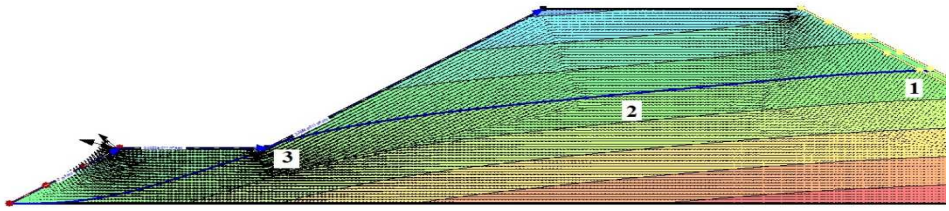
به منظور تعیین سطح آزاد نشت در کانال با استفاده از مدل SEEP/W ابتدا اقدام به ترسیم هندسه مقاطع نموده و سپس با استفاده از اطلاعات موجود، مدل راه اندازی گردید. با توجه به اینکه، تنها عامل تأثیر گذار بر روی محل تشکیل خط نشت، تراز آب در کانال می باشد، ترازهای مختلف سطح آب در کانال مورد بررسی قرار گرفته است تا بتوان در مورد برخورد خط نشت با خاکریز کانال با اطمینان بیشتری نظر داد. اشکال ۶ تا ۱۰ خط آزاد نشت به ازای ۵ تراز مختلف سطح جریان آب در کانال اصلی و همچنین تراز خط آزاد نشت در سه نقطه شامل نقطه ابتدایی (محل تلاقی سطح آزاد آب در کانال اصلی و بدنه)، نقطه میانه خاکریز و نقطه انتهایی (محل برخورد خط آزاد نشت با شیب پائین دست خاکریز) را نشان می‌دهند. با توجه به اشکال ۶ تا ۱۰ می‌توان دریافت که زمانی که تراز سطح جریان آب در کانال اصلی برابر و یا بیشتر از ۳۲ متر باشد، یا به عبارتی عمق جریان در کانال اصلی برابر و یا بیشتر از ۱/۶۹ متر باشد، خط آزاد نشت دیواره پائین دست خاکریز را قطع می‌کند. علاوه بر این جدول ۵ مقادیر ترازهای خط نشت در سه نقطه و شیب خط نشت به ازای رقوم مختلف سطح آب در کانال اصلی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که با افزایش رقوم سطح آب در کانال اصلی و بتبع افزایش عمق جریان آب در کانال اصلی، شیب خط نشت افزایش می یابد. شکل ۱۱ نمودار تغییرات شیب خط نشت نسبت به عمق جریان آب در کانال اصلی و همچنین معادله خط برازش را نشان می‌دهد. با توجه به معادله خط برازش نرخ تغییرات شیب خط آزاد نشت نسبت به عمق جریان در کانال اصلی برابر با ۰.۰۵۳۱ می‌باشد.



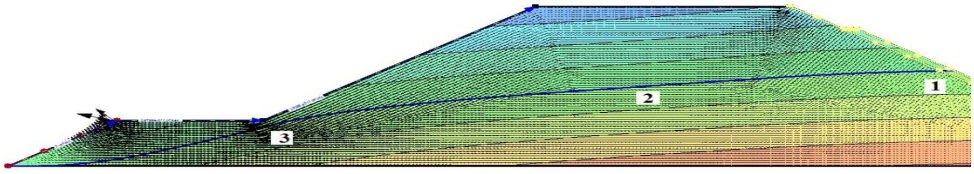
شکل ۶ : تراز خط نشت به ازای تراز آب در کانال اصلی برابر با ۳۳/۱۱ متر



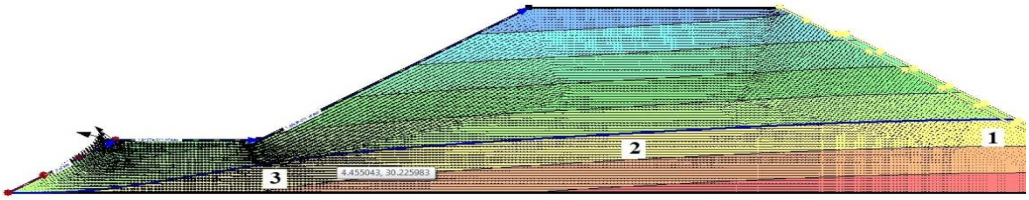
شکل ۷: تراز خط نشت به ازای تراز آب در کانال اصلی برابر با ۳۲/۷ متر



شکل ۸: تراز خط نشت به ازای تراز آب در کانال اصلی برابر با ۳۲ متر



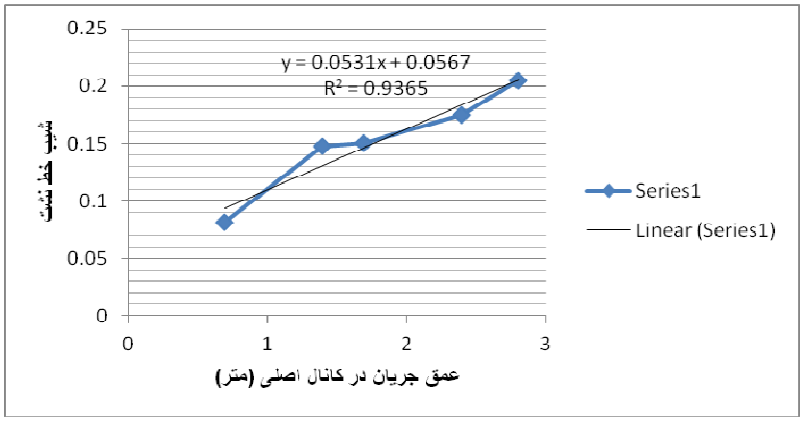
شکل ۹: تراز خط نشت به ازای تراز آب در کانال اصلی برابر با ۳۱/۷ متر



شکل ۱۰: تراز خط نشت به ازای تراز آب در کانال اصلی برابر با ۳۱ متر

جدول ۵ : تراز های مختلف آب در کانال و مقادیر متناظر خط نشت

شیب خط نشت	تراز نقطه سوم خط نشت(روی خاکریز پایین دست) (متر)	تراز نقطه دوم خط نشت (میانه پوسته) (متر)	تراز نقطه اول خط نشت(روی جداره کانال اصلی) (متر)	عمق جریان در کانال اصلی (متر)	تراز آب در کانال اصلی (متر)
0/2047	32/07	32/5	33/11	2/8	33/11
0/1747	31/58	32/18	32/7	2/39	32/7
0/1508	30/64	31/6	32	1/69	32
0/1474	30/44	31/34	31/7	1/39	31/7
0/0814	30/14	30/75	31	0/69	31



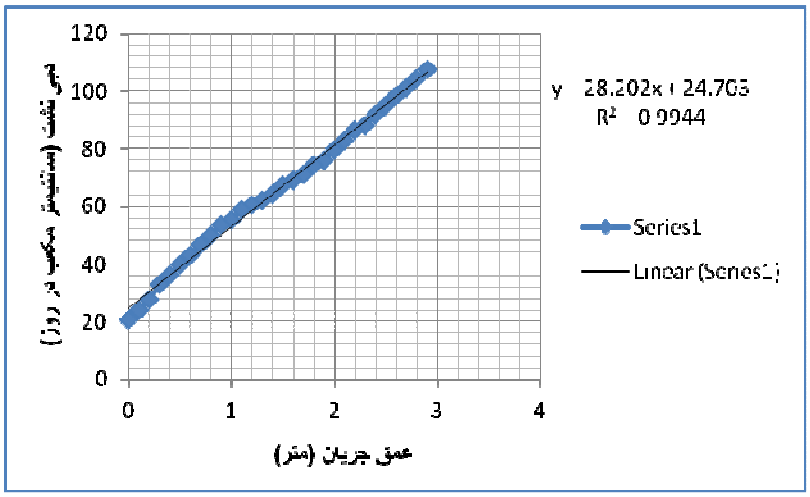
شکل ۱۱: نمودار تغییرات شیب خط نشت نسبت به عمق جریان آب در کانال اصلی

۶. تأثیر ضریب هدایت هیدرولیکی (K) بر روی خط آزاد نشت و میزان نشت

با توجه به بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که ضریب هدایت هیدرولیکی هیچ نقشی در تعیین موقعیت مکانی خط نشت ندارد زیرا که خط نشت متأثر از ضریب هدایت هیدرولیکی نمی‌باشد و عاملی که روی موقعیت خط نشت تأثیر می‌گذارد، رقوم سطح جریان آب در کانال اصلی می‌باشد که اشکال ۶ تا ۱۰ تائیدکننده این موضوع می‌باشد.

۷. تعیین معادله دبی نشت از خاکریز نسبت به عمقهای مختلف جریان در کانال اصلی

به منظور تعیین معادله نشت، اعماق مختلف جریان در کانال منظور گردید. سپس به ازای اعماق مختلف، میزان دبی نشت توسط مدل محاسبه شد. شکل ۱۲ نمودار تغییرات دبی نشت از خاکریز سمت چپ و راست نسبت به ارتفاع آب در کانال اصلی و معادله خط برازش را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود دبی نشت از خاکریز سمت چپ و راست رابطه مستقیم با عمق آب در کانال اصلی دارد و نرخ تغییرات دبی نشت نسبت به تغییرات عمق جریان برابر با ۲۸/۲ سانتیمتر مکعب در روز به ازای یک متر عمق جریان می باشد.



شکل ۴-۲۹ نمودار تغییرات دبی نشت از خاکریز سمت چپ و راست نسبت به ارتفاع آب در کانال اصلی

۸.نتیجه گیری

۱- با افزایش رقوم سطح آب در کانال اصلی و بتبع افزایش عمق جریان آب در کانال اصلی، شیب خط نشت افزایش می یابد.

۲- زمانی که تراز سطح جریان آب در کانال اصلی برابر و یا بیشتر از ۳۲ متر باشد، یا به عبارتی عمق جریان در کانال اصلی برابر و یا بیشتر از ۱/۶۹ متر باشد، خط آزاد نشت دیواره پائین دست خاکریز را قطع می‌کند.

۳- با توجه به معادله خط برازش نرخ تغییرات شیب خط آزاد نشت نسبت به عمق جریان در کانال اصلی برابر با ۰.۰۵۳۱ می‌باشد.

۴- ضریب هدایت هیدرولیکی هیچ نقشی در تعیین موقعیت مکانی خط نشت ندارد زیرا که خط نشت متأثر از ضریب هدایت هیدرولیکی نمی‌باشد و عاملی که روی موقعیت خط نشت تأثیر می‌گذارد، رقوم سطح جریان آب در کانال اصلی می‌باشد

۵- دبی نشت از خاکریز سمت چپ و راست رابطه مستقیم با عمق آب در کانال اصلی دارد و نرخ تغییرات دبی نشت نسبت به تغییرات عمق جریان در کانال اصلی برابر با ۲۸/۲ سانتیمتر مکعب در روز به ازای یک متر عمق جریان می باشد.

۶- مقایسه خط آزاد نشت موجود با خط آزاد نشت مجاز بدست آمده با روش تقریبی رایج و ساده ۴ به ۱ (4:1)، حاکی از آن بود که خط آزاد نشت موجود دیواره پائین دست خاکریز کانال را قطع نمی‌کند. در صورتی که شبیه سازی خط آزاد نشت با بکارگیری مدل Seep/w نشان می دهد که به ازای عمق جریان در کانال اصلی برابر یا بیشتر از ۱/۶۹ متر خط آزاد نشت دیواره پائین دست خاکریز را قطع می‌کند و جریان نشت به زمینهای مجاور برقرار بوده که احتمال فرسایش و تخریب شیب دیواره پائین دست خاکریز وجود دارد.

۹.منابع ومآخذ

۱- حیدری زاده، م.۱۳۶۹ . بررسی تلفات نشت از کانالهای آبیاری. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲- عراق علوی، س. ۱۳۷۳ . مدیریت توزیع آب زاینده رود بر اساس برآورد راندمان انتقال آب در کانال های زیر دست سد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- فتاحی،س.ع. ۱۳۸۳. محاسبه نشت آب و گرادیان هیدرولیکی در پشت سپر به کمک اجزاء محدود. کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شریف.

۴- سالمی، ح. و سپاسخواه، ع. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رووددشت اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۰. شماره اول.

۵- ملک پور، ا. ، رحیمی، ح. و احمدی، ح. ۱۳۸۵. بررسی اثر سطح 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.۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۵.

۶- رستمیان، ر. و کوپایی، ج.ع. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل نرم افزاری SEEP/W در برآورد میزان 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 ۵۸.

۷- محمدنژاد، ب.ع. و علیزاده، ز. ۱۳۹۱. ارزیابی روش های کاهش اثرات نشت و زیرشویی در سدهای خاکی. سومین سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی.

۸- Kahlown A.N., and Kemper W.D. 2004. Seepage losses as affected by condition and composition of channel banks. Agricultural Water Management.

۹- Ji C.N., Wang Z.Y., and Shi Y. 2005. Application of modified EP method in steady seepage analysis. Computers and Geotechnics,32(1): 27-35.

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