نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره6، جلد9، بهمن - اسفند 1394، ص. 959-948

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 9, Feb.-Mar. 2016, p. 948-959

برآورد میزان نشت آب در کانال‌های آبیاری پوشش شده‌ی شهرستان مرودشت با استفاده از مدل‌های SEEP/W و MSEEP

حامد آذری فرد جهرمی[1]، محمد علی شاهرخ‌نیا[2*] و صمد سنایی جهرمی[3]

تاریخ دریافت: 1394/6/29 تاریخ پذیرش: 1394/12/5

چکیده

بررسی نشت از کانال‌های آبیاری به دلیل تلفات آب، تنزل کیفیت اراضی و تهدید محیط زیست همواره مورد توجه محققین بوده است. ترک‌های ایجاد شده در پوشش بتنی کانال‌ها، یکی از دلایل اتلاف آب و کاهش راندمان انتقال آب می‌باشد. در این مطالعه، میزان نشت از سه کانال پوشش شده واقع در منطقه مرودشت استان فارس، با استفاده از روش حوضچه‌ای، مدل‌های نرم‌افزاری SEEP/W و MSEEP و معادلات تجربی برآورد و مقایسه گردید. نتایج حاصل از مدل‌های SEEP/W و MSEEP با نتایج روش حوضچه‌ای اختلاف معنی‌داری نداشت. درکانال اول مدل SEEP/W با خطای 11/3 درصد و در کانال دوم و سوم مدل MSEEP به‌ترتیب با خطای 16/8 و 12/6 درصد میزان نشت را نزدیک‌تر به روش حوضچه‌ای برآورد نمود. در نهایت با استفاده از نتایج به‌دست آمده از روش حوضچه‌ای، معادلات تجربی نشت برای منطقه مورد مطالعه واسنجی شدند. قبل از واسنجی، نتایج روش میسرا در کانال اول و سوم با خطای 9 و 37/1 درصد اختلاف معنی‌داری با روش حوضچه‌ای نشان نداد. نتایج سایر معادلات تجربی با نتایج روش پایه در همه کانال‌ها معنی‌دار شد. در بین روابط تجربی اصلاح شده، در کانال اول و سوم، معادله پنجاب هند با خطای 8/4 و 26/1 درصد و در کانال دوم روش میسرا با خطای 15/0 درصد، تخمین بهتری از میزان نشت آب نسبت به روش حوضچه‌ای داشت.

واژه‌های کلیدی: پوشش بتنی، کانال آبیاری، مدل‌های نشت، ، مرودشت

مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و توسعه صنعت، نیاز به آب برای مصارف خانگی، آبیاری و صنعت در حال افزایش است. در بسیاری از شبکه‌های آبیاری ساخته شده در ایران و جهان، بروز ترک، خردشدگی و گاه جابجایی در پوشش بتنی کانال‌ها، در دوره‌های مختلف ساخت کانال، آبگیری آزمایشی و بهره‌برداری مشاهده شده است. مقدار قابل توجهی از آب با ارزش آبیاری در فرآیند انتقال و توزیع به وسیله نشت از کانال‌های بدون پوشش به‌هدر می‌رود که این موضوع در مورد کانال‌های پوشش شده فرسوده که به مرور زمان دچار ترک شده‌اند نیز صادق است. این امر به‌ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک اهمیّت حیاتی پیدا نموده و به‌همین خاطر لزوم بررسی کمی و کیفی نشت آب از این کانال‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. به منظور کاهش تلفات آب در این کانال‌ها، ابتدا باید مقدار نشت تعیین گردد. مفهوم صحیح نشت به‌وسیله تلمان به‌عنوان گذرآب در داخل و یا خارج از زمین تعریف شده است. تعریف تلمان مخصوصاً اشاره به حرکت کند آب از طریق گذرگاه‌های کوچک میان ذرات خاک و یا سنگ را دارد (Tolman., 1937). بنابراین کلمه نشت در کانال‌ها به‌مفهوم عام آن، حرکت آب به داخل و یا خارج از کانال‌های آبیاری و از طریق خلل و فرج مواد تشکیل دهنده بستر و دیواره‌های کانال است. اما در این تحقیق به‌طور ویژه، فرآیند خروج آب از کانال‌ها از طریق خلل و فرج مواد تشکیل دهنده کف و دیواره‌های کانال و هم-چنین از طریق ترک‌ها و درزها و شکستگی‌های پوشش کانال، بررسی شده است و به‌طور معمول به‌صورت حجم در واحد سطح خیس شده کانال در 24 ساعت و یا درصدی از کل جریان در طول کانال بیان می‌شود. در یک مطالعه، یک راه حل ریاضی دقیق برای محاسبه میزان نشت در کانال‌های ذوزنقه‌ای و مستطیلی در حالت ماندگار ارائه شده است. خاک مورد مطالعه، همگن با خلل و فرج متوسط بوده و آب زیرزمینی در عمق زیادی از کف کانال قرار گرفت(Harr., 1962). از پوشش کانال برای کنترل نشت استفاده می‌شود، اما به دلایل

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی لارستان
2- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
3- استادیار پژوهش، گروه پژوهشی آب فارس
(* نویسنده مسئول: Email: mashahrokh@yahoo.com)

مختلف در این پوشش‌ها، ترک‌هایی ایجاد می‌شود، به‌گونه‌ای که نشت از کانال با پوشش ترک‌دار، به مقدار نشت از کانال بدون پوشش، نزدیک می‌شود (Wachyan and Rushton., 1987). روش‌های مستقیم اندازه‌گیری نشت آب از کانال‌ها کاربردی‌تر و دقیق‌تر است، ولی نیاز به صرف هزینه و نیروی بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها دارند. روش حوضچه‌ای، روش پایه تعیین نرخ نشت در کانال‌های آبیاری است (ANCID., 2003). در تحقیقی عوامل اصلی تأثیرگذار بر میزان تراوش از کانال‌های فرسایش پذیر در نظر گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار SEEP3D به تحلیل نشت از کانال‌های خاکی و اصلاح ضریب فرمول تجربی موریتس پرداخته شد (Ji et al., 2005). روش دبی ورودی- خروجی در مقایسه با روش مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و روش حوضچه‌ای، مقادیر نشت بالاتری در تخمین میزان نشت دارد. در حالی‌که برآوردهای نشت به‌دست آمده از روش مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، کم‌تر از روش حوضچه‌ای می‌باشد (Basharat and Saeed., 2009). پایدار (1370) تلفات نشت از کانال‌های آبیاری را به وسیله یک مدل ریاضی بررسی کرد. مدل ریاضی تهیه شده، پدیده نشت را به‌صورت یک جریان دو بعدی اشباع و ماندگار در محیط متخلخل اطراف کانال فرض کرده و معادله جریان را با روش عددی تفاضل‌های محدود حل نمود. مقدار نشت اندازه‌گیری شده به روش حوضچه‌ای برای دو کانال 1/17 و 0/4 و نتیجه مدل 1/21 و 0/49 مترمکعب بر مترمربع در روز به‌دست آمد. ایشان چنین نتیجه گرفتند که مدل ریاضی تهیه شده با تقریب نسبتاً خوبی، میزان نشت را از کانال پیش‌بینی می‌کند. حیدری‌زاده (1387) با مقایسه مقادیر نشت کانال‌های خاکی منطقه رودشت با معادله تجربی اینگهام و معادله تئوری نشت ودرنیکف، به واسنجی ضرایب این دو معادله پرداخت. معادلات تئوری واسنجی شده بهتر از معادلات تجربی اصلاح شده قادر به برآورد نشت آب از کانال‌ها گزارش شد، با این تفاوت که در تمام شرایط قابل توسعه هستند. شیرافروس و نریمانی (1388) میزان نشت از چند کانال خاکی، با تغییرات در ارتفاع و کناره‌های کانال و شیب جانبی داخلی 0/5 و 1، 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 و همکاران (1389) 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. خلج و همکاران (1390) به تهیه مدلی کامپیوتری پرداختند که میزان نشت از کانال‌های خاکی با هر مقطع دلخواه را با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک همگن اشباع با روش احجام محدود محاسبه نمود. مدل ریاضی تهیه شده با خطای کم‌تر از 5 درصد مقادیر نشت اندازه‌گیری شده از کانال‌های منطقه نازلو را برآورد نمود. رستمیان و عابدی (1390) به بررسی مدل نرم‌افزاری SEEP/W در برآورد میزان نشت از چند کانال خاکی واقع در شبکه آبیاری زاینده رود، پرداختند. سپس میزان نشت را با استفاده از چهار روش تجربی شامل دیویس و ویلسون، مولس ورث-ینی دومیا، موریتس و اینگهام محاسبه کردند. ضریب تعیین برای چهار روش تجربی و مدل نرم‌افزاری به‌ترتیب 9/3، 6/7، 37/3، 18/3، 87/9 درصد به‌دست آمد که مبین توانایی بالای مدل مورد نظر می‌باشد. اقوامی و همکاران (2013) به بررسی مدل‌های SEEP/W و EPR برای تخمین میزان نشت از کانال‌های قزوین و اصفهان با مقاطع و عمق‌های مختلف آب پرداختند که هر دو مدل عملکردهای رضایت بخشی داشتند(Aghvami et al., 2013). حیدری‌زاده و سالمی (1393) به بررسی معادلات اینگهام و ودرنیکف در برآورد نشت آب از کانال‌های منطقه رودشت اصفهان پرداختند که پس از واسنجی معادلات، متوسط آماره RRMSE و MAE برای روش اینگهام برابر 0/275 و 0/01 و برای روش ودرنیکف 0/145 و 0/005 به دست آمد. در یک مطالعه تلفات نشت از کانال‌های بدون پوشش و پوشش شده شاخه کیم هند، با فرض ضرایب نفوذپذیری مختلف، توسط روش ساده و تقریبی پیشنهادی توسط سوامی و همکاران برآورد گردید که متوسط تلفات نشت برای کانال پوشش نشده، پوشش آجر، P.C.C. و P.C.C. با غشا LDPE به‌ترتیب برابر 0/415، 0/0511، 0/0028 و 0/00012 مترمکعب بر ثانیه برآورد شد (Uchdadiya and Patel., 2014).

با توجه به نتایج تحقیقات محققین می‌توان دریافت که در بین روش‌های اندازه‌گیری نشت، روش حوضچه‌ای دقیق‌ترین روش است. هم‌چنین مدل‌های نرم‌افزاری مورد بررسی توانسته، میزان نشت از کانال‌های خاکی را با دقت بالایی برآورد کنند. در این تحقیق به بررسی تخمین نشت مدل‌های نرم‌افزاری SEEP/W و MSEEP در کانال‌های بتنی دارای شکاف و ترک پرداخته شده است. نتایج این مدل‌ها با نتایج به‌دست آمده از روش حوضچه‌ای مقایسه، و ضرایب معادلات تجربی نشت برای منطقه مورد مطالعه اصلاح شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مطالعه

شهرستان مرودشت به مرکزیت شهر مرودشت، در استان فارس و در 45 کیلومتری شمال شرق شیراز، بر روی دشت وسیع و حاصل‌خیز مرودشت قرار دارد. این دشت قطب کشاورزی استان فارس می‌باشد. در این تحقیق تعداد سه کانال در مناطق دشت‌بال واقع در شمال، کته در شرق و فاروق واقع در شمال شرق شهرستان مرودشت، و در هر

کانال سه تکرار، برای بررسی پدیده نشت انتخاب گردید. موقعیت شهرستان مرودشت و موقعیت کانال‌های انتخابی در شکل 1 آمده است. برای بررسی لایه‌بندی خاک بستر کانال‌های مورد مطالعه، در مجاور هر یک پروفیلی به عمق یک متر حفر شد و از مرکز لایه‌های 30 سانتی‌متری نمونه بافت خاک تهیه شد. در این مطالعه برای تعیین بافت خاک از سیستم طبقه‌بندی متحد (USBR) استفاده شد. اطلاعات به‌دست آمده در جدول 1 آمده است.

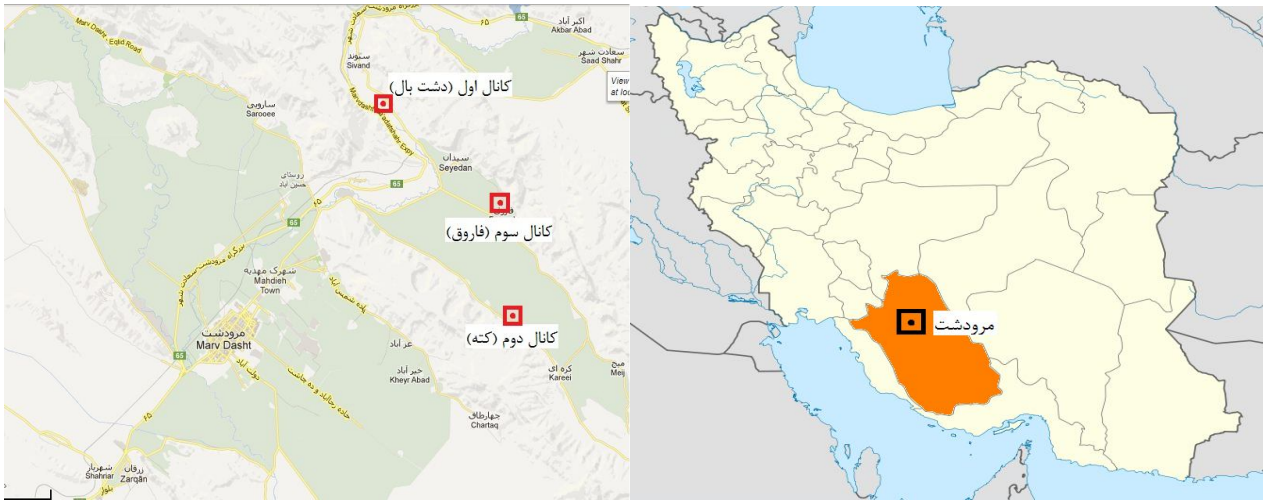
برآورد نشت به‌روش آب‌ایستی (حوضچه‌ای)

رابطه 1 فرمول اساسی تعیین میزان نشت از کانال به روش حوضچه‌ای می‌باشد که توسط فرورت- ریبنس ارائه شده است (Frevert & Ribbens, 1988).

$$S = \frac{W.L.d - EW.L + I}{P_w.L(t_2 - t_1)} \quad (1)$$

جدول 1- بافت لایه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

شماره کانال	موقعیت	عمق (cm)	درصد ذرات			بافت
			ماسه	سیلت	رس	
کانال اول تکرار اول	روستای دشت‌بال	0-30	32	55	13	رس لاغر ماسه‌ای (CL)
		30-60	32	54	14	سیلت ماسه‌ای (ML)
		60-90	32	54	14	سیلت ماسه‌ای (ML)
کانال اول تکرار دوم	روستای دشت‌بال	0-30	31	54	15	سیلت ماسه‌ای (ML)
		30-60	30	52	18	سیلت با ماسه (ML)
		60-90	29	54	17	سیلت با ماسه (ML)
کانال اول تکرار سوم	روستای دشت‌بال	0-30	30	53	17	سیلت با ماسه (ML)
		30-60	29	51	20	سیلت با ماسه (ML)
		60-90	24	53	23	سیلت با ماسه (ML)
کانال دوم تکرار اول	روستای کته	0-30	28	56	16	رس لاغر با ماسه (CL)
		30-60	24	58	18	رس لاغر با ماسه (CL)
		60-90	25	60	15	رس لاغر با ماسه (CL)
کانال دوم تکرار دوم	روستای کته	0-30	20	65	15	رس لاغر با ماسه (CL)
		30-60	23	55	22	رس لاغر با ماسه (CL)
		60-90	22	60	18	رس لاغر با ماسه (CL)
کانال دوم تکرار سوم	روستای کته	0-30	23	59	18	سیلت با ماسه (ML)
		30-60	22	59	19	رس لاغر با ماسه (CL)
		60-90	21	60	19	رس لاغر با ماسه (CL)
کانال سوم تکرار اول	روستای فاروق	0-30	14	69	17	سیلت (ML)
		30-60	19	67	14	سیلت با ماسه (ML)
		60-90	17	68	15	سیلت با ماسه (ML)
کانال سوم تکرار دوم	روستای فاروق	0-30	17	65	18	سیلت با ماسه (ML)
		30-60	15	69	16	سیلت (ML)
		60-90	16	68	16	سیلت با ماسه (ML)
کانال سوم تکرار سوم	روستای فاروق	0-30	15	65	20	سیلت با ماسه (ML)
		30-60	14	62	24	سیلت با ماسه (ML)
		60-90	15	62	23	سیلت با ماسه (ML)



شکل 1- موقعیت شهرستان مرودشت در استان فارس و موقعیت کانال‌های انتخابی در منطقه مرودشت

جدول 2- متوسط مشخصات هیدرولیکی کانال‌ها

شماره کانال	تکرار	A (m^2)	W (m)	P (m)	R (m)	D (m)	L (m)
	تکرار 1	0/36	1/36	1/65	0/22	0/36	10/20
کانال 1	تکرار 2	0/34	1/33	1/62	0/28	0/36	10/00
	تکرار 3	0/33	1/27	1/57	0/21	0/35	10/30
	تکرار 1	0/20	0/98	1/22	0/16	0/29	9/78
کانال 2	تکرار 2	0/17	0/92	1/13	0/15	0/26	10/00
	تکرار 3	0/18	0/88	1/15	0/16	0/29	10/00
	تکرار 1	0/23	1/02	1/30	0/18	0/32	10/65
کانال 3	تکرار 2	0/25	1/07	1/36	0/19	0/34	10/25
	تکرار 3	0/24	1/04	1/33	0/18	0/33	10/05

S میزان نشت آب (زمان/ سطح/ حجم)، W متوسط عرض بالای آب در دو زمان t_1 و t_2 (طول)، L طول بازه مورد بررسی (طول)، d افت سطح آب در زمان آزمایش (طول)، E تبخیر در بازه زمانی t_1 و t_2 (زمان/ طول)، Pw متوسط محیط خیس شده کانال در دو زمان t_1 و t_2 (طول)، t_1 زمان قرائت اول تراز سطح آب (زمان)، t_2 زمان قرائت دوم تراز سطح آب (زمان) می‌باشد. میزان نشت برای روز اول و دوم اندازه‌گیری و به روش حوضچه‌ای برآورد گردید. در این روش میزان نشت آب بر اساس نفوذ آب از داخل کانال به خاک و کاهش عمق آب کانال در بازه‌های زمانی تعیین می‌شود. با توجه به شیب کانال، طولی مشخص از کانال انتخاب و ابتدا و انتهای آن توسط دو بند موقت مسدود و آب‌بندی گردید. در ابتدا، میانه و انتهای بازه‌های مورد بررسی، شاخص‌های مدرجی در عرض کانال قرار داده شد و افقی بودن آن‌ها به وسیله تراز حبابی کنترل شد. در مرحله بعد با استفاده از یک خط‌کش فلزی بلند، پروفیل بستر کف کانال و عمق آب کانال نسبت به شاخص افقی، در طی دو روز، سنجیده و اندازه‌گیری شد.

متوسط مشخصات هیدرولیکی کانال‌های مورد بررسی، در جدول (2) وارد شده است. در این جدول، A مساحت خیس شده کانال (مترمربع)، W عرض بالای آب (متر)، P محیط خیس شده کانال (متر)، R شعاع هیدرولیکی (متر)، D ارتفاع آب در کانال (متر)، L طول بازه مورد بررسی (متر) می‌باشد.

با توجه به میزان نشت در کانال، اندازه‌گیری عمق آب و میزان کاهش سطح آب نسبت به شاخص افقی، در فواصل زمانی مختلفی از شروع آزمایش، در کانال تکرار شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، پروفیل عرضی و رقوم آب کانال در مقاطع مختلف ترسیم، و سطح خیس شده و محیط خیس شده تعیین گردید. به‌دلیل حساسیت این روش و نیاز به دقت بالا هنگام اندازه‌گیری‌ها، قرائت اشل همیشه توسط یک نفر و از موقعیت ثابت انجام شد. درکانال‌های مورد بررسی، آزمایشات در سه تکرار انجام شد، که ملاک انتخاب محل آزمایشات، مناسب بودن آن محل برای اندازه‌گیری است. محل مناسب برای اندازه‌گیری باید در طول مسیر مستقیم کانال و دارای شیب مناسب

باشد.

معادلات تجربی برآورد نشت آب

معادلات و روش‌های تجربی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (سالمی و سپاسخواه، 1385):

معادله اینگهام (معادله 2)

$$q = 0.55CPL(10^{-6})(H^{0.5}) \quad (2)$$

که در آن q میزان نشت در طول کانال (m^3/s)، H عمق جریان آب در کانال (m)، P محیط خیس شده (m)، L طول کانال (m)، C ضریبی است که بسته به نوع خاک بین 1/5 تا 5/5 متغیر است.

معادله مولس ورث- ینی دومیا (معادله 3)

$$q = (86.4)C(R^{0.5}) \quad (3)$$

که در آن q نشت آب ($m^3/m^2/day$)، R شعاع هیدرولیکی (m)، C عدد ثابت که برای خاک‌های رسی 0/0015 و برای خاک‌های شنی 0/003 می‌باشد.

روش میسرا

مقدار تلفات نشت آب بر حسب ($m^3/m^2/day$) برای بستر لوم شنی0/3-0/5، خاک شنی سست 0/5-0/7 و خاک گراول 1-2 برآورد شده است.

معادله دیویس و ویلسون (معادله 4)

$$q = 0.45C \times \frac{P_w \times L}{G} \times H^{1/3} \quad (4)$$

$$G = \left(\frac{4\times10^6 + 3650V^{0.5}}{4\times10^6 + 3650} \right) \quad (5)$$

که در آن 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)، C ضریب ثابت که برای بسترهای لومی رسی15، لومی 17/5 و لومی شنی 25 می‌باشد.

معادله پنجاب هند (معادله 6)

$$q = (C)(a)(d) \quad (6)$$

که در آن q نشت کل از کانال (cfs)، a مساحت خیس شده کانال (million ft^2)، d عمق آب در کانال (m)، C ضریب ثابت که بین 1/1 تا 1/8 می‌باشد.

روش مدل‌های نرم‌افزاری

الف- کلیاتی درباره مدل SEEP/W

این نرم‌افزار مبتنی بر روش متغییر محدود می‌باشد که برای مدل‌سازی تراوش و توزیع فشار آب منفذی در محیط‌های متخلخل نظیر خاک و سنگ تهیه شده است. فرمول‌بندی این نرم‌افزار بر اساس معادله پواسون است. معادله حاکم بر جریان آب در محیط‌های متخلخل، معادله پواسون، مطابق رابطه 7 است که شکل تعمیم یافته معادله معروف لاپلاس می‌باشد.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = q \quad (7)$$

در این رابطه k_x و k_y به‌ترتیب نفوذپذیری خاک در دو جهت افقی و قائم، و h و q نیز به‌ترتیب پتانسیل آب در خاک و دبی ورودی (یا خروجی) در توده خاک مورد بررسی می‌باشند.

پواسون برای جریان در شرایط غیردائمی رابطه دیگری ارائه کرد (معادله 8) (Huntoon., 1974):

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial h}{\partial y}) = q + s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (8)$$

طبق معادلات 7 و 8 و هم‌چنین رابطه دارسی معادله 9، پتانسیل آب در خاک (h) و شیب هیدرولیکی $(\frac{\partial h}{\partial l})$ عوامل مؤثر بر جریان آب در خاک می‌باشند.

$$q = kA(\frac{\partial h}{\partial l}) \quad (9)$$

که در آن q میزان دبی جریان، k ضریب آبگذری، A سطح مقطع جریان، $\frac{\partial h}{\partial l}$ شیب هیدرولیکی در توده خاک می‌باشد.

ب- کلیاتی درباره مدل MSEEP

نرم‌افزار 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 نرم‌افزار، روش متغیر محدود برای حل معادله دیفرانسیل لاپلاس که نشانگر حرکت ایستایی آب جاری است، می‌باشد.

معادله دیفرانسیلی لاپلاس (معادله 7) با استفاده از روش متغیر محدود در MSEEP حل می‌شود. موقعیت سطح فراتیک (ایستایی) از پیش مجهول است. MSEEP به‌وسیله 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.

تعریف مسائل نشت به مدل‌های نرم‌افزاری

گام اول در استفاده از مدل‌ها، تعریف هندسه کانال است. سپس شرایط مرزی هر مقطع در مدل تعریف شد. شرط مرزی اول مربوط به نقاط داخل کانال است که زیر ارتفاع آب قرار گرفته‌اند. شرط مرزی دوم مربوط به نقاط هم تراز سطح ایستایی می‌باشد که به این نقاط بار فشاری صفر تعلق گرفت. از دیگر پارامترهای لازم برای ورود به مدل‌های نرم‌افزاری نفوذپذیری مصالح بستر کانال‌ها می‌باشد. برای تعیین نفوذپذیری خاک بستر کانال‌ها از روش چاهک معکوس استفاده گردید. هم‌چنین به‌دلیل در دسترس نبودن اطلاعات لازم، دانه‌بندی و طرح اختلاط در مورد پوشش بتن کانال‌ها، ضریب نفوذپذیری بتن با استفاده از تحقیقات اشنایدر و همکاران که با استفاده از مدل‌سازی معکوس به اصلاح ضرایب معادله ون گنوختن- معلم برای بتن و ساروج پرداختند، استفاده شده است (Schneider et al., 2012). برای تعریف تابع هدایت هیدرولیکی برای بخش ترک‌ها نیز، از تابعی خطی با حداکثر نفوذپذیری استفاده شده است.

میزان تلفات آب کانال‌ها در روش حوضچه‌ای، تعیین شده است. این تلفات شامل نشت آب و تبخیر می‌باشد. سپس میزان نشت با استفاده از روش‌های تجربی و مدل‌های SEEP/W و MSEEP نیز برآورد گردید. در ادامه، به بررسی نتایج روش‌های مختلف برآورد نشت در تمامی کانال‌ها پرداخته شده است. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش برآورد نشت در کانال‌ها، میانگین آن‌ها توسط آزمون دانکن مقایسه شدند. در این آزمون، میانگین‌ها که حروف مشترک دارند، با یکدیگر تفاوت آماری ندارند. در نهایت با استفاده از نتایج روش حوضچه‌ای، معادلات تجربی برای منطقه مورد مطالعه واسنجی گردید.

نتایج و بحث

ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌دست آمده از آزمایش چاهک معکوس در 3 کانال، در جدول 3 آمده است.

جدول 3- ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع کانال‌ها

شماره کانال	تکرار	ضریب هدایت اشباع (ms^{-1})
کانال 1	تکرار 1	$2/83*10^{-6}$
	تکرار 2	$2/85*10^{-6}$
	تکرار 3	$1/75*10^{-6}$
کانال 2	تکرار 1	$3/25*10^{-6}$
	تکرار 2	$3/08*10^{-6}$
	تکرار 3	$3/02*10^{-6}$
کانال 3	تکرار 1	$1/02*10^{-6}$
	تکرار 2	$1/50*10^{-6}$
	تکرار 3	$1/78*10^{-6}$

جدول 4- مقایسه روش‌های برآورد نشت در کانال 1

روش‌های برآورد نشت	کانال 1	
	میزان نشت (mm/day)	
حوضچه‌ای روز اول	467/0	ab
حوضچه‌ای روز دوم	402/8	ab
SEEP/W	448/3	ab
MSEEP	530/4	a
اینگهام	153/1	c
مولس ورث- ینی دومیا	84/9	c
دیویس و ویلسون	193/1	c
پنجاب هند	163/1	c
میسرا	366/7	b

جدول 5- مقایسه روش‌های برآورد نشت در کانال 2

روش‌های برآورد نشت	کانال 2	
	میزان نشت (mm/day)	
حوضچه‌ای روز اول	481/5	ab
حوضچه‌ای روز دوم	434/9	b
SEEP/W	513/7	a
MSEEP	508/2	ab
اینگهام	73/1	d
مولس ورث- ینی دومیا	63/5	d
دیویس و ویلسون	111/0	d
پنجاب هند	57/3	d
میسرا	250/0	c

جداول 4 و 5 میزان نشت به‌دست آمده از روش حوضچه‌ای، مدل‌های نرم‌افزاری و معادلات تجربی را به‌ترتیب برای کانال اول و دوم نشان می‌دهند که در هر کانال روش‌های برآورد نشت توسط آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شده‌اند. حروف انگلیسی آمده در مقابل هر روش نتایج آزمون دانکن را نشان می‌دهند. در این آزمون، روش‌هایی که حروف مشابه دارند از نظر آماری، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. با توجه به نتایج آزمون دانکن در کانال اول مشاهده می‌شود که نتایج روز اول و دوم آزمایش حوضچه‌ای، با یکدیگر تفاوت آماری ندارند. هم‌چنین نتایج مدل‌های SEEP/W و MSEEP با روش حوضچه‌ای، در سطح 5 درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند که نشان‌دهنده اعتبار مدل‌های ذکر شده در کانال اول می‌باشد. خطای مدل‌ها نسبت به روش حوضچه‌ای به‌ترتیب 11/3 و 31/7 درصد می‌باشد. با توجه به جدول 4 مشاهده می‌شود که از بین روش‌های تجربی، روش میسرا با خطای 9 درصد عملکرد بهتری داشته و با روش حوضچه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشته است. هم‌چنین روش میسرا با مدل SEEP/W نیز تفاوت معنی‌داری ندارد. معادلات تجربی اینگهام با خطای 62 درصد، مولس ورث- ینی دومیا با خطای 78/9 درصد، دیویس و ویلسون با خطای 52/1 درصد و پنجاب هند با خطای 59/5 درصد نسبت به روش حوضچه‌ای تفاوت آماری داشتند. با توجه به جدول 5 مشاهده می‌گردد که در این کانال نیز، از بین روش‌های تجربی، روش میسرا با خطای 42/5 درصد، عملکرد بهتری داشت اما اختلاف آن با روش حوضچه‌ای معنی‌دار می‌باشد. سایر معادلات تجربی نیز عملکرد یکسانی داشتند و با خطای 83/2 درصد (اینگهام)، 85/4 درصد (مولس ورث- ینی دومیا)، 74/5 درصد (دیویس و ویلسون) و 86/8 درصد (پنجاب هند) نسبت به روش حوضچه‌ای تفاوت آماری دارند. بیش‌ترین شدت نشت در مدل SEEP/W دیده می‌شود و کم‌ترین آن‌ها مربوط به معادله پنجاب هند می‌باشد.

جدول 6- مقایسه روش‌های برآورد نشت در کانال 3

روش‌های برآورد نشت	کانال 3	
	میزان نشت (mm/day)	
حوضچه‌ای روز اول	243/0	a
حوضچه‌ای روز دوم	218/8	ab
SEEP/W	269/0	a
MSEEP	246/3	a
اینگهام	109/7	c
مولس ورث- ینی دومیا	73/9	c
دیویس و ویلسون	152/7	bc
پنجاب هند	105/9	c
میسرا	300/0	a

جدول 7- مقایسه روش‌های برآورد نشت کل کانال‌ها

روش‌های برآورد نشت	کل کانال‌ها	
	میزان نشت (mm/day)	
حوضچه‌ای روز اول	369/5	ab
حوضچه‌ای روز دوم	352/2	b
SEEP/W	410/3	a
MSEEP	428/3	a
اینگهام	112/0	de
مولس ورث- ینی دومیا	74/1	e
دیویس و ویلسون	152/3	d
پنجاب هند	108/7	de
میسرا	305/6	c

جدول 6 مقایسه میزان شدت نشت به‌دست آمده از روش حوضچه‌ای، مدل‌های نرم‌افزاری و معادلات تجربی را توسط آزمون دانکن برای کانال سوم نشان می‌دهد. در نهایت شدت نشت برآورد شده از روش‌های مختلف برآورد نشت برای سه کانال نیز، به صورت کلی، با یکدیگر توسط آزمون دانکن مقایسه شده‌اند که نتایج این مقایسه در جدول 7 آمده است. در این آزمون، روش‌هایی که حروف

مشابه دارند از نظر آماری، با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. با توجه به نتایج آزمون دانکن در کانال سوم، مشاهده گردید که نتایج روز اول و دوم آزمایش حوضچه‌ای، با یکدیگر تفاوت آماری ندارند. هم‌چنین نتایج مدل‌های SEEP/W و MSEEP به‌ترتیب با خطای 22/9 و 12/6 درصد نسبت به روش حوضچه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت که نشان‌دهنده اعتبار مدل‌های ذکر شده در کانال سوم می‌باشد. با توجه به جدول 6 مشاهده می‌شود که از بین روش‌های تجربی، روش میسرا با خطای37/1 درصد عملکرد بهتری داشت و با روش حوضچه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت. هم‌چنین روش میسرا با مدل‌های نرم‌افزاری نیز تفاوت معنی‌داری ندارد. معادله دیویس و ویلسون از نظر دقت با خطای 30/2 درصد در رتبه دوم قرار دارد و همان‌طور که مشاهده می‌شود این روش نیز با روز دوم آزمایش حوضچه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت. معادلات تجربی اینگهام با خطای 49/9 درصد، مولس ورث- ینی دومیا با خطای 66/2 درصد و پنجاب هند با خطای 51/6 درصد نسبت به روش حوضچه‌ای تفاوت آماری داشتند. بیش‌ترین شدت نشت در روش میسرا دیده می‌شود و کم‌ترین آن‌ها مربوط به روش مولس ورث- ینی دومیا می‌باشد. با توجه به نتایج آزمون دانکن در این کانال، هر دو مدل نرم‌افزاری عملکرد خوبی داشتند اما خطای مدل MSEEP کم‌تر بوده است. در مقایسه کلی کانال‌ها با توجه به جدول 7 مشاهده گردیدً نتایج روز اول و دوم آزمایش حوضچه‌ای، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. هم‌چنین نتایج مدل‌های SEEP/W و MSEEP با نتایج روز اول آزمایش حوضچه‌ای تفاوت معنی‌داری نداشتند اما با نتایج روز دوم به‌ترتیب با خطای 16/5 و 21/6 درصد اختلاف معنی‌داری دارند. هم‌چنین مشاهده شد که از بین روش‌های تجربی، روش میسرا با خطای 13/2 درصد در کل، عملکرد بهتری داشته است اما با نتایج آزمایش حوضچه‌ای اختلاف معنی‌دار داشت. بیش‌ترین شدت نشت مربوط به مدل MSEEP و کم‌ترین مربوط به روش مولس ورث- ینی دومیا می‌باشد. در ادامه، نتایج برآورد نشت، در کانال‌های مختلف با هم مقایسه شد. جدول 8 مقایسه میزان نشت کانال‌ها با یکدیگر در روش‌های مختلف توسط آزمون دانکن را نشان می‌دهد. با استفاده از این جدول نتایج میزان نشت به‌دست آمده از روش‌های مختلف در هر کانال با 2 کانال دیگر مقایسه شده است.

با توجه به نتایج روش حوضچه‌ای در جدول 8 مشاهده می‌شود که کانال 3 کم‌ترین و کانال 2 بیش‌ترین میزان نشت را داشته‌اند. هم‌چنین با توجه به نتایج آزمون دانکن روش حوضچه‌ای، میزان نشت کانال‌های 1 و 2 تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. میزان نشت کانال 3 با کانال‌های 1 و 2، در هر دو روز روش حوضچه‌ای، معنی‌دار می‌باشد. در مدل SEEP/W، کانال 3 کم‌ترین و کانال 2 بیش‌ترین نشت را داشته است. در این مدل، میزان نشت کانال 1 با کانال‌های دیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما اختلاف میزان نشت کانال 2 و 3 معنی‌دار می‌باشد. در مدل MSEEP، کانال 3 کم‌ترین و کانال 1 بیش‌ترین شدت نشت را داشته است. در این مدل، میزان نشت کانال‌های 1 و 2 با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما اختلاف میزان نشت کانال 3 با دو کانال دیگر معنی‌دار شده است.

واسنجی روش‌های تجربی

با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده نشت آب در دو تکرار هر کانال، معادلات تجربی واسنجی گردیده و ضرایب جدیدی برای آن‌ها به‌دست آمد. بدین صورت که مقادیر نشت اندازه‌گیری شده با استفاده از روش حوضچه‌ای (q_p)، در معادلات تجربی ذکر شده جایگذاری شده و ضرایب معادلات تجربی برای این ارقام، دوباره محاسبه گردید. ضرایب اصلاح شده و اصلاح نشده این معادلات به‌صورت جداگانه برای بافت‌های مختلف خاک (متوسط، متوسط تا سنگین، سنگین) در جدول 9 آورده شده است. در ادامه، صحت سنجی معادلات تجربی اصلاح شده، با استفاده از میزان نشت آب در تکرارهای باقیمانده هر کانال، بررسی شد که نتایج این محاسبات در جدول 10 درج شده است. شدت نشت آمده در این جدول بر حسب میلی‌متر در روز می‌باشد.

جدول 8- مقایسه کلی میزان نشت کانال‌ها با یکدیگر با استفاده از آزمون دانکن

روش‌های برآورد نشت	کانال 1		کانال 2		کانال 3	
	میزان نشت (mm/day)		میزان نشت (mm/day)		میزان نشت (mm/day)	
حوضچه‌ای روز اول	467/0	a	481/5	a	243/0	b
حوضچه‌ای روز دوم	402/8	a	434/9	a	218/8	b
SEEP/W	448/3	ab	513/7	a	269/0	b
MSEEP	530/4	a	508/2	a	246/3	b
اینگهام	153/1	a	73/1	c	109/7	b
مولس ورث- ینی دومیا	84/9	a	63/5	c	73/9	b
دیویس و ویلسون	193/1	a	111/0	c	152/7	b
پنجاب هند	163/1	a	57/3	c	105/9	b
میسرا	366/7	a	250/0	b	300/0	a

جدول 9- ضرایب اصلاح شده و اصلاح نشده معادلات تجربی برای منطقه مورد مطالعه

معادله	بافت خاک	ضرایب اصلاح نشده	ضرایب اصلاح شده
اینگهام	متوسط	3/50	10/30
	متوسط تا سنگین	3/00	5/25
	سنگین	2/50	13/59
مولس ورث- ینی دومیا	متوسط	0/0022	0/012
	متوسط تا سنگین	0/002	0/005
	سنگین	0/00185	0/012
دیویس و ویلسون	متوسط	17/50	42/70
	متوسط تا سنگین	17/00	21/28
	سنگین	15/00	54/04
پنجاب هند	متوسط	1/45	4/02
	متوسط تا سنگین	1/30	2/57
	سنگین	1/20	8/10
میسرا	متوسط	0/40	0/49
	متوسط تا سنگین	0/30	0/19
	سنگین	0/25	0/41

جدول 10- مقادیر نشت آب اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از معادلات تجربی اصلاح شده (واسنجی و صحت سنجی)

			واسنجی				
شماره کانال	تکرار		نشت اندازه‌گیری شده (mm/day)	اینگهام	مولس ورث- ینی دومیا	دیویس و ویلسون	پنجاب هند	میسرا
کانال 1	تکرار 1	میزان نشت	487/0	484/6	484/3	487/2	486/5	490/0
		درصد خطا		0/5	0/6	0/0	0/1	0/6
کانال 2	تکرار 1	میزان نشت	392/5	424/3	419/8	424/2	428/1	410/0
		درصد خطا		8/1	6/9	8/1	9/1	4/4
	تکرار 3	میزان نشت	429/7	399/9	410/2	399/8	396/4	410/0
		درصد خطا		6/9	4/5	6/9	7/7	4/6
کانال 3	تکرار 1	میزان نشت	173/7	183/5	181/7	183/9	179/2	190/0
		درصد خطا		5/6	4/6	5/9	3/1	9/4
	تکرار 3	میزان نشت	200/7	190/6	183/5	190/1	195/5	190/0
		درصد خطا		5/0	8/6	5/3	2/6	5/3
			صحت سنجی					
کانال 1	تکرار 2	میزان نشت	420/3	475/7	475/0	478/3	455/6	490/0
		درصد خطا		13/2	13/0	13/8	8/4	16/6
کانال 2	تکرار 2	میزان نشت	482/6	372/1	402/1	378/8	335/3	410/0
		درصد خطا		22/9	16/7	21/5	30/5	15/0
کانال 3	تکرار 2	میزان نشت	282/0	197/8	185/2	185/2	208/3	190/0
		درصد خطا		29/8	34/3	30/4	26/1	32/6

با مقایسه نتایج به‌دست آمده از معادلات اصلاح شده با روش حوضچه‌ای مشخص می‌شود که مقادیر برآورد شده از معادلات تجربی به مقادیر اندازه‌گیری شده، نزدیک شده است. با توجه به نتایج صحت سنجی جدول 10 و مقایسه درصد خطای معادلات مختلف مشاهده می‌شود که معادلات اصلاح شده در کانال 1 بهترین نتایج را داشته‌اند. هم‌چنین با مقایسه درصد خطای به‌دست آمده از صحت سنجی کانال 1 مشاهده می‌شود که معادله پنجاب هند با خطای 8/4 درصد و سپس معادلات مولس ورث- ینی دومیا و اینگهام به‌ترتیب

با خطای برابر 13/0 و 13/2 درصد عملکرد بهتری داشته‌اند. در کانال 2، روش میسرا با خطای 15/0 و سپس معادله مولس ورث- ینی دومیا با خطای 16/7 درصد عملکرد بهتری داشته‌اند. با توجه به جدول 10 در کانال 3 نیز معادله پنجاب هند با خطای 26/1 درصد عملکرد بهتری نسبت به سایر معادلات داشته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود معادلات تجربی اصلاح شده در کانال 1 و 2 عملکرد بهتری داشته‌اند.

نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج شدت نشت از کانال‌ها در روز اول و دوم آزمایش حوضچه‌ای مشخص شد که پس از حدود 24 ساعت، به‌خاطر اشباع شدن خاک بستر کانال با گذشت زمان، میزان نشت به‌مقدار نهایی نزدیک شده است. در کانال اول و سوم قبل از اصلاح معادلات تجربی ، روش میسرا با خطای 9 و 37/1 درصد، نشت را نزدیک‌تر به روش پایه (حوضچه‌ای) برآورد کرده است که نشان‌دهنده دقت این روش در مقایسه با سایر معادلات تجربی می‌باشد. در کانال دوم نیز از بین روش‌های تجربی، روش میسرا با خطای 42/5 درصد، میزان نشت را نزدیک‌تر به روش حوضچه‌ای برآورد کرده، اما اختلاف آن‌ها معنی‌دار می‌باشد که باید برای این منطقه اصلاح شود. با مقایسه نتایج معادلات اصلاح شده با روش حوضچه‌ای مشاهده شد که در کانال 1 معادلات پنجاب هند، مولس ورث- ینی دومیا و اینگهام به‌ترتیب با خطای 8/4، 13/0 و 13/2 درصد، در کانال 2 روش میسرا و معادله مولس ورث- ینی دومیا با خطای 15/0 و 16/7 درصد بهترین عملکرد را در میان سایر روش‌های تجربی داشته‌اند. با توجه به نتایج آزمون دانکن در کانال اول مدل SEEP/W با خطای 11/3 درصد و در کانال دوم، مدل MSEEP با خطای 16/8 درصد عملکرد بهتری داشته است. هم‌چنین در کانال سوم نیز مدل MSEEP با خطای 12/6 درصد دقت بیشتری داشته است اما مدل SEEP/W نیز از دقت خوبی نسبت به روش پایه برخوردار است. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آماری، دقت و اعتبار مدل‌های نرم‌افزاری برآورد میزان نشت، برای منطقه مورد مطالعه تأیید شد.

منابع

پایدار،ز. 1370. مدل ریاضی تلفات نشت از کانال‌های آبیاری. مجله آب. 10: 22-15.

حیدری‌زاده،م. 1387. مقایسه نتایج کاربرد معادله تئوری با تجربی نشت آب از کانال‌های منطقه رودشت اصفهان. اولین همایش مدیریت جامع حوضه آبخیز زاینده رود، اصفهان، 15-14 اسفند.

حیدری‌زاده،م، سالمی،ح. 1393. بررسی کاربرد معادله تجربی اینگهام و معادله تئوری ودرنیکو در برآورد نشت آب از کانال‌های منطقه رودشت اصفهان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. 28 .4: 703-712.

خلج،م، گلزاری،س، قبادیان،ر. 1390. اصلاح ضرایب تجربی روابط برآورد نشت از کانال‌های خاکی منطقه نازلو ارومیه با استفاده از نتایج مدل ریاضی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گیلان، دانشگاه گیلان، 19-17 آبان. 8-1.

رستمیان،ر، عابدی کوپایی،ج. 1390. ارزیابی مدل نرم‌افزاری SEEP/W در برآورد نشت آب از کانال‌های خاکی (شبکه آبیاری زاینده رود). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک.15، 58: 22-13.

سالمی،ح.ر، سپاسخواه.ع.ر. 1385. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه رودشت اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.10، 1: 42-29.

شیرافروس،ع و نریمانی،ض. 1388. محاسبه میزان تلفات نشت از کانال‌های خاکی با استفاده از نرم‌افزار MSEEP. همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول. 12-11 اسفند. 7-1.

نوری محمدیه،م، سهرابی،ت، رحیمی،ح. 1389. شبیه‌سازی جریان نشت از کانال‌های خاکی به سمت آبخوان آب زیرزمینی با مدل SEEP3D. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، 23-21 اردیبهشت. 259-250.

Aghvami,E., Abbaspour,A., Ghorbani,M.A., Salmasi,F. 2013. Estimation of Channels Seepage Using Seep/w and Evolutionary Polynomial Regression (EPR) Modelling (Case Study: Qazvin and Isfahan Channels). Journal of Civil Engineering and Urbanism.3. 4: 211-215

Australian National Committee on Irrigation and Drainage (ANCID). 2003. Open Channel Seepage & Control. Vol 1.4, Best Practice Guideliens for Channel Seepage Identification and Measurement, Published by Australian National Committee on Irrigation and Drainage (ANCID), c/o-Goulburn-Murray Water, PO Box 165, Tatura, Victoria, Australia, 3616.

Basharat,M., Saeed,M. 2009. Modelling the seepage from Chashma Jhelum link canal and rehabilitaion of the waterlogged areas. Water and Power Development Authority, International Waterlogging and Salinity Research Institute, Journal of Pakistan Engineering Congress. 43. 11:24-38.

Frevert,D.K., Ribbens,R.W. 1988. Methods of Evaluating Canal Transmission Losses. Part of:

Elsevier Ltd, Computers and Geotechnics. . 32. 1: 27-35.

Schneider,S., Mallants,D., Jacques,D. 2012. Determining Hydraulics Properties of Concrete and Mortar by Inverse Modeling. Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol. 1475, Belgian Nuclear Research Centre SCKCEN, 2400 Mol, doi: 10.1557/opl.2012.601, pp 367-372.

Tolman,C.F. 1937. Ground Water, 1st edn, New York and London: McGraw-Hill Book Company, p 593.

Uchdadiya,K.D, Patel,J.N. 2014. Seepage losses through unlined and lined canals. International Journal of Advances in AppliedMathematics andMechanics. 2.2: 88-91.

Wachyan,E., Rushton,K.R. 1987. Water losses from irrigation canals. Journal of Hydrology. 92. 3-4: 275-288.

Planning Now for Irrigation and Drainage in the 21st Century. Proceedings of Conference Sponsored by the Irrigation and Drainage Division, American Society Civil Engineering, Lincoln, Nebraska, USA, July 18-21, pp 157-164.

GeoDelft. 2002. MSeep User Manual. Release 6.7, p 81.

Geo-Slope International Ltd. 2008. Seepage Modeling With SEEP/W 2007. User Guide, 3rd Edn, Calagary, Alberta, Canada, p 317.

Harr,M.E. 1962. Ground Water and Seepage, 1st edn, New York: McGraw-Hill Book Company, p 315.

Huntoon,P.W. 1974. Finite Difference Methods as Applied to the Solutions of Ground Water Flow Problems. Wyoming: Wyoming Water Resources Research Institute, University of Wyoming.108.

Ji,C.N., Wang,Z.Y., Shi,Y. 2005. Application of Modified EP Method in Steady Seepage Analysis.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 9, Feb.-Mar. 2016, p. 948-959

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره6، جلد9، بهمن - اسفند 1394، ص. 959-948

Estimation of Seepage in Lined Irrigation Channels of Marvdasht Plain Using SEEP/W and MSEEP Models

H. Azari Fard Jahromi[1], M.A.Shahrokhnia[2*] and S.Sanaee Jahromi[3]
Recived: Sep.20, 2015 Accepted: Feb.24, 2016

Abstract

Study of seepage in irrigation canals has been widely considered by researchers due to the importance of water losses, degradation of the land and environmental problems. Canal lining cracks is one of the main reasons of the water losses and reduction of water delivery efficiency. In this study, seepage rate in three concrete lined canals of Marvdasht Plain (Fars Province), were evaluated using SEEP/W, MSEEP and empirical models, and compared with ponding method results. Results of SEEP/W and MSEEP models showed no significant difference to the results obtained from ponding method. Results of SEEP/W model showed 11.3 percent of error comparing with ponding method in the first canal. For the second and the third canals this error was about 16.8 and 12.6 percent for MSEEP model, respectively. Using ponding method, the final seepage rates were about 402.8, 434.9, 218.8 mm per day in the three canals, respectively. The final seepage rate obtained by SEEP/W model was 448.3, 513.7, and 269.0 mm per day in three canals, respectively. The final seepage rate estimated by MSEEP model was 530.4, 508.2, and 246.3 mm per day in the three studied canals. The empirical seepage models were calibrated using the data obtained from ponding method in the studied region. The differences between results of un-calibrated Misra model and ponding method were not significant for the first and the third studied canal. The errors of seepage estimation for these canals were 9 and 37.1 percent, respectively. The difference between ponding method and other empirical models were significant. Among the modified empirical models, the results of Davis and Wilson, and Ingham models were closer to ponding method. The coefficient of determination and estimation error of Davis and Wilson model was 0.8486 and 2.23 percent error, while for Ingham model these values were 0.8430 and 2.27 percent, respectively.

Keywords: Concrete lining, Irrigation canal, Marvdasht, Seepage Models

[1] - Former Master Degree Student of Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Islamic Azad University of Larestan
[2] - Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Agriculture and Natural Resources Research Center of Fars Province
[3] - Assistant Professor, Fars Water Research Group
(*-Corresponding Author Email: mashahrokh@yahoo.com)