

برآورد عددی مقدار نشت از کانال‌های خاکی منطقه نازلو ارومیه و اصلاح ضرایب روابط

تجربی برآورد نشت

رسول قبادیان^{۱*} - معصومه خلیج^۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۱

چکیده

بررسی نشت از کانال‌های خاکی به دلیل تلفات آب، تنزل کیفیت اراضی و خاک اطراف کانال‌ها و توجیه فنی پوشش کانال‌ها همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق مدلی کامپیوتری نوشته شده است که میزان نشت از کانال‌های خاکی به هر مقطع دلخواه را با حل عددی معادله عمومی جریان آب در خاک همگن اشباع در شرایط همسان و غیرهمسان با روش احجام محدود و الگوریتم گوس - سایدل محاسبه می‌کند. موقعیت خط نشت آزاد با روش شبکه تغییر شکل یافته به همراه سعی و خطا تعیین می‌گردد. همچنین میزان نشت با استفاده از رابطه داری و با کمک مقادیر بار آبی محاسبه شده در گره‌های مرزی محاسبه می‌شود. به منظور بررسی دقت مدل از نقطه نظر برنامه‌نویسی مقدار دبی نشت و مکان هندسی خط نشت آزاد از یک کانال با مقطع دایره‌ای شکل با نتایج روش تحلیلی نکاشت کانفرمال مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد مکان هندسی خط نشت آزاد و عرض نشت در هر دو روش بر هم منطبق می‌باشند. همچنین با افزایش فاصله سطح آب زیرزمینی از بستر کانال اختلاف دبی نشت بین دو روش کمتر می‌شود. علاوه بر این به منظور واسنجی مدل دو کانال به نام‌های لوله‌ام و شیخ سرمست در منطقه نازلو ارومیه انتخاب شد و مقدار تلفات آب در این دو کانال با اندازه‌گیری صحرائی برآورد گردید. همچنین نتایج آزمایش نفوذپذیری با بار افتان نشان داد مقدار ضریب نفوذپذیری بستر نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست به ترتیب ۳/۵ و ۱/۷۷ متر بر روز می‌باشد. سپس با وارد کردن مختصات مقطع عرضی کانال و ضریب نفوذپذیری بستر کانال به‌عنوان تنها داده‌های ورودی به مدل مقدار نشت محاسبه شد که با مقدار به‌دست آمده توسط آزمایشات صحرائی اختلافی کمتر از ۵ درصد را نشان می‌دهد. پس از اطمینان از دقت مدل با استفاده از نتایج اجرای مدل ضرایب چهار رابطه تجربی برآورد نشت برای نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست اصلاح گردید.

واژه‌های کلیدی: روش احجام محدود، معادلات تجربی، منطقه نازلو، نشت

مقدمه

می‌توان به مطالعات صحرائی، معادلات تجربی و محاسبات هیدرولیکی اشاره کرد. از جمله روش‌های تجربی شناخته شده برای محاسبه مقدار نشت می‌توان به روابط زیر اشاره کرد (۳):

$$q_l = 0.55CP\sqrt{y} \times 10^{-6} \quad \text{اینگهام} \quad (1)$$

که در آن q_l : میزان نشت در واحد طول کانال ($m^3/s/m$)، y : عمق آب در کانال (m)، P : محیط خیس شده کانال (m)، L : طول کانال (m) و C : ضریبی است که بسته به نوع خاک عددی بین ۱/۵ تا ۵/۵ است.

$$q_l = \frac{0.45CP^3\sqrt{y}}{4 \times 10^6 + 3650\sqrt{v}} \quad \text{دیویس - ویلسون} \quad (2)$$

در معادله بالا (q_l ($m^3/s/m$)) دبی نشت در واحد کانال، y (m) عمق جریان آب در کانال، P (m): محیط خیس شده، v (m/s): سرعت جریان آب در کانال و C : ضریب ثابت است که برای بسترهای لومی - رسی ۱۵، بسترهای لومی ۱۷/۵ و بستر لومی - شنی ۲۵ در نظر گرفته

ابتدایی‌ترین شیوه انتقال آب کشاورزی از محل استحصال تا سر مزرعه، احداث کانال‌های خاکی است که اگرچه هزینه اولیه ناچیزی دارد ولی به دلیل نیاز به لایروبی در فاصله زمانی کوتاه و پاک‌سازی علف‌های هرز، هزینه نگهداری زیادی داشته و مهم‌تر از همه میزان تلفات آب در این کانال‌ها فوق‌العاده بالا بوده که گاهی تا ۷۰ درصد هم می‌رسد. بیشترین تلفات آب در کانال‌های خاکی به صورت نشت آب از این کانال‌ها صورت می‌گیرد لذا در مدیریت انتقال آب در کانال‌های خاکی باید مقدار نشت مورد محاسبه قرار گیرد. از روش‌های مختلفی که برای محاسبه مقدار نشت استفاده می‌شود

۱ و ۲ - استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه
(*) نویسنده مسئول: (Email: rsglobal@gmail.com)

می‌شود.

$$q = 0.0186C \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \text{موریتس} \quad (3)$$

که در آن q (m^3/s): نشت آب از کانالی به طول یک کیلومتر، Q (m^3/s): مقدار جریان آب، V (m/s): سرعت جریان و C : ضریب ثابت است که برای جدار رس و رس لومی $0/41$ ، لوم $0/535$ و لوم شنی $0/66$ می‌باشد.

$$q = 86.4C \sqrt{R} \quad \text{معادله مولس ورث - ینی دومیا} \quad (4)$$

در رابطه بالا q ($m^3/day / m^2$) دبی نشت در واحد سطح کانال، R (m): شعاع هیدرولیکی و C : ضریب ثابت است که برای خاک‌های رسی $0/015$ و برای خاک‌های شنی $0/003$ در نظر گرفته می‌شود.

$$q_t = ky \left[1.071 \left(\frac{T}{y} \right) + 1.786 \right] \times \left(\frac{m}{1.5} \right) \quad \text{موسکات} \quad (5)$$

که در آن q_t ($m^3/s/m$) نشت آب در واحد طول کانال، k (m/s) نفوذپذیری بستر، T (m) عرض سطح آب، m شیب جانبی کانال و y (m) عمق جریان است. رابطه بالا برای شرایطی نوشته شده است که سطح آب زیرزمینی در فاصله بی‌نهایت از کف کانال قرار گرفته باشد.

سوامی و کاشیپ (۱۴) با به کار بردن روش عددی تفاضل محدود، مقدار تراوش از کانال‌های بدون گوشه را در شرایطی که سطح آب زیرزمینی در عمق بی‌نهایت قرار گرفته باشد به دست آوردند و تحقیقات آنها در این زمینه منجر به ارائه‌ی دیگرام‌هایی شد که در سال ۲۰۰۳ توسط کاسیموف (۱۱)، با جزئیات بیشتر توضیح داده شده است. سوامی و کاشیپ (۱۵) مقدار تراوش آب در کانال‌های بدون گوشه شامل کانال‌های دایره‌ای را در شرایطی که یک لایه زهکش در عمق محدود از بستر کانال قرار گرفته باشد بررسی کردند. کاهلون و کمپر (۱۲) به بررسی تاثیر دیواره‌های کانال در میزان نشت از کانال پرداخت و به این نتیجه رسید در صورت بهبود دیواره، دبی نشت به اندازه ۲۵ درصد کاهش پیدا می‌کند همچنین ۸۰ درصد مقدار نشت از

۸ سانتی‌متری بالای خاکریز کانال‌های قدیمی اتفاق می‌افتد. برون و عثمان (۷) به بررسی حساسیت نشت یک کانال در محیط اشباع پرداخت و تاثیر مقادیر خود برگشتی و سطح آب زیرزمینی را در میزان نشت از کانال بررسی کردند. جی و همکاران (۱۰) در تحقیق خود عوامل اصلی تاثیر گذار بر میزان تراوش از کانال‌های فرسایش پذیر را در نظر گرفت و با استفاده از نرم‌افزار (SEEP-3D) به تحلیل نشت از کانال‌های خاکی و اصلاح ضریب فرمول تجربی موریتس پرداخت، همچنین مسائلی را که مدل اجزا محدود در مشخص کردن ناحیه زه‌آب آزاد با آن مواجه بود برطرف کرد. چاهار (۸) رابطه‌ای تحلیلی ارائه داد که در به دست آوردن میزان تغذیه مصنوعی یا تلفات نشت از کانال‌های دوزنقه‌ای مفید بود. پایدار (۲) برای محاسبه تلفات نشت در کانال‌های آبیاری از یک مدل ریاضی استفاده کرد؛ در تحقیقی که او

انجام داده بود پدیده نشت به صورت جریان دو بعدی اشباع و ماندگار در محیط متخلخل شبیه‌سازی شده و معادله جریان را با روش عددی تفاضل محدود حل کرده و نتیجه به دست آمده نشان می‌داد مدل با تقریب خوبی مقدار نشت از کانال را شبیه‌سازی می‌کند. عراق علوی (۴) در تحقیقی که روی کانال‌های زیر دست سد زاینده‌رود انجام داد روش‌های تجربی برآورد نشت از این کانال‌ها را مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که سهم نشت از کل تلفات آب $98/5$ درصد و سهم تبخیر $1/5$ درصد است. او متوسط تلفات آب را در کانال‌های درجه سه $0/696$ و در کانال‌های درجه چهار $0/662$ مترمکعب در مترمربع در روز به دست آورد. همچنین اشاره نمود که از بین روابط تجربی روش میسرا نزدیک‌ترین روش به نتایج اندازه‌گیری بوده و پس از آن معادله موریتز را به عنوان بهترین روش انتخاب کرد. سالمی و سپاسخواه (۳) روابط تجربی برآورد نشت را در کانال‌های خاکی دشت آبخور اصفهان را مورد ارزیابی قرار دادند و از بین روابط تجربی استفاده شده، معادلات دیویس - ویلسون و مولس ورث ینی دومیا را به عنوان مناسب‌ترین معادلات جهت برآورد نشت، در منطقه مورد مطالعه تشخیص دادند. قبادیان (۵) مدلی برای مقاطع نامنظم رودخانه‌ای تهیه کرد که در آن مقدار نشت در شرایط جریان غیرماندگار را با جفت کردن معادلات تجربی نشت با معادلات سنت-ونانت برآورد می‌نماید. نتایج تحقیق وی نشان داد استفاده از رابطه موسکات بر خلاف روابط اینگام و دیویس ویلسون باعث می‌شد مدل زمان شروع و اوج سیلاب اندازه‌گیری شده را به درستی تخمین زده و تلفات نشت را با خطای کمتر از ۲۰ درصد برآورد کند. فوگات و همکاران (۱۳) در ابتدا نشان دادند نتایج مدل اجزا محدود دوبعدی HYDRUS با مقادیر دبی تراوش و موقعیت خروج خط نشت اندازه‌گیری شده توسط مدل آزمایشگاهی اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند سپس تاثیر رقوم بستر کانال بر دبی تراوش و بالا آمدگی سطح آب را بررسی نمودند.

به علت وقت‌گیر بودن و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری‌های صحرائی و همچنین لزوم واسنجی ضرایب معادلات تجربی برای شرایط محلی، در این تحقیق با توسعه مدل کامپیوتری میزان نشت و موقعیت خط تراوش از کانال‌های خاکی با هر شکل مقطع دلخواه محاسبه می‌شود. در مدل مذکور معادله عمومی جریان آب در خاک همگن اشباع در شرایط همسان و غیرهمسان با روش احجام محدود و دستگاه معادلات حاکم به روش تکراری گوس - سایدل حل می‌شود.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

معادله عمومی جریان در توده خاک غیرهمگن و غیرهمسان برای حالتی که هیچ‌گونه منبع تغذیه و تخلیه‌ای وجود نداشته باشد به

صورت زیر خواهد بود. این معادله به نام معادله خطی ریچاردز شناخته می شود (۱):

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial h}{\partial z}) = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (۶)$$

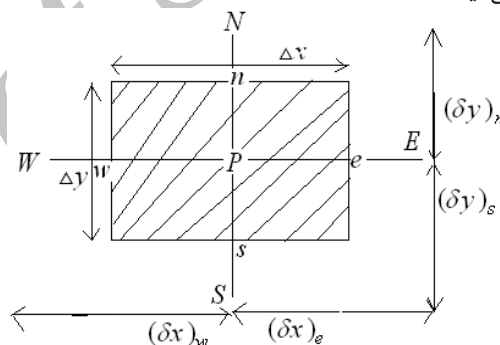
که در آن h : بار آبی خاک و k_x, k_y, k_z : به ترتیب نشان دهنده هدایت هیدرولیکی خاک در جهت های عمودی (Z)، طولی (X) و عرضی (Y) می باشند. θ : نیز بیان گر رطوبت حجمی توده خاک می باشد.

در شرایط جریان ماندگار و برای توده خاک اشباع $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$

است. بنابراین رابطه ۱ برای جریان دو بعدی به صورت زیر بیان خواهد شد.

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial h}{\partial y}) = 0 \quad (۷)$$

در این تحقیق برای منفصل کردن معادله دیفرانسیلی ۷ از روش حجم کنترل (F.V) استفاده شده است (۱۶). با منفصل نمودن معادله ۷ روی حجم کنترل نشان داده شده در شکل ۱ رابطه جبری ۸ به دست می آید.



شکل ۱- معرفی نقطه P و حجم کنترل آن

$$(K_x)_e \frac{h_E - h_p}{(\delta x)_e} \Delta y + (K_x)_w \frac{h_w - h_p}{(\delta x)_w} \Delta y + \quad (۸)$$

$$(K_y)_n \frac{h_N - h_p}{(\delta y)_n} \Delta x + (K_y)_s \frac{h_s - h_p}{(\delta y)_s} \Delta x = 0$$

هر کدام از عبارتهای رابطه ۸ دبی جریان را که از هر کدام از مرزهای حجم کنترل وارد و یا خارج می شود را نشان می دهد. با توجه به حالت های مختلف قرار گرفتن نقطه مرکزی P و حجم کنترل مربوط به آن معادله ۷ به صورتهایی که در زیر آمده است منفصل خواهد شد:

محدوده مورد مطالعه و شرایط مرزی

شکل های ۲ و ۳ مقطع عرضی متوسط و محدوده مورد مطالعه نهرهای لوله ام و شیخ سرمست را به صورت شماتیک نشان می دهد. لازم به ذکر است که مقاطع عرضی کانال های مورد نظر در ورودی و خروجی به صورت دستی و با استفاده از محکم نمودن طناب در دو سمت مقطع با میخ های فلزی و اندازه گیری عمق با میله فلزی مدرج در فواصل مختلف برداشت گردید.

جدول ۱- حالت های مختلف منفصل سازی معادله دوبعدی جریان وقتی برخی مرزهای حجم کنترل حالت خاص داشته باشند

$(k_x)_e \frac{h_E - h_p}{\partial x_e} \frac{\Delta y}{2} + (k_y)_s \frac{h_s - h_p}{\partial x_s} \frac{\Delta x}{2} = 0$		حالت ۱
$(k_x)_e \frac{h_E - h_p}{\partial x_e} \Delta y + (k_y)_n \frac{h_N - h_p}{\partial x_n} \frac{\Delta x}{2} + (k_y)_s \frac{h_s - h_p}{\partial x_s} \frac{\Delta x}{2} = 0$		حالت ۲
$(k_x)_e \frac{h_E - h_p}{\partial x_e} \frac{\Delta y}{2} + (k_x)_w \frac{h_w - h_p}{\partial x_w} \Delta y + (k_y)_s \frac{h_s - h_p}{\partial x_s} \Delta x + (k_y)_n \frac{h_N - h_p}{\partial x_n} \frac{\Delta x}{2} = 0$		حالت ۳
$(k_x)_e \frac{h_E - h_p}{\partial x_e} \frac{\Delta y}{2} + (k_x)_w \frac{h_w - h_p}{\partial x_w} \frac{\Delta y}{2} + (k_y)_n \frac{h_N - h_p}{\partial x_n} \Delta x = 0$		حالت ۴

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

که در آن q: تلفات انتقال از کانال (m/day)، Q_1 : مقدار جریان ورودی (m^3/s)، Q_2 : مقدار جریان خروجی (m^3/s)، P: محیط خیس شده کانال (m) و L: طول کانال (m) می‌باشد.

با توجه به عملیات نگهداری نسبتاً مناسب از کانال‌های مذکور رشد علف‌های هرز در کانال‌های مذکور تقریباً ناچیز بوده و مقدار برداشت شده توسط ریشه علف‌های هرز و تبخیر و تعرق آنها ناچیز است. بنابراین کل تلفات شامل تلفات ناشی از نشت آب و تبخیر از سطح آزاد آب نهر می‌باشد. به منظور برآورد تبخیر از سطح آب آزاد نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست از آمار ایستگاه هواشناسی تپیک استفاده شد. این ایستگاه در موقعیت ۴۴ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی، ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده است. در ایستگاه تپیک برای اندازه‌گیری تبخیر از تشتک کلاس A استفاده می‌شود.

حل معادلات حاکم

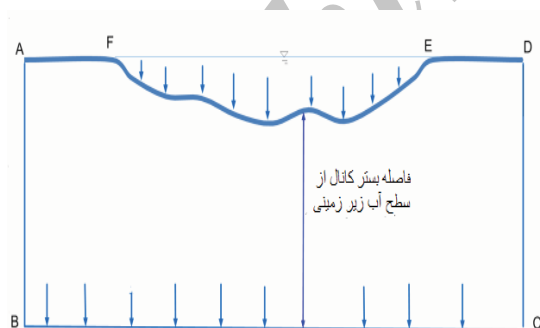
برای تعیین موقعیت خط نشت آزاد و محاسبه دبی نشت از کانال ابتدا محدوده زیر خط AD در شکل‌های ۲ و ۳ شبکه‌بندی می‌شود. با توجه به شکل حجم کنترل مربوطه مقدار پتانسیل جدید نقطه مرکزی حجم کنترل (h_p^{k+1}) با توجه به مقادیر حدسی نقاط مجاور تعیین می‌گردد.

تغییرات عرض بالائی سطح مقطع نهر ۲۶۷ متری لوله‌ام از ابتدا تا انتها کمتر از ۳۰ سانتی‌متر و برای نهر با طول ۵۶۴ متر کمتر از ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. جزئیات بیشتر در جدول ۲ ارائه شده است. در اشکال ۲ و ۳ محدوده EF (مقطع عرضی نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست) مرز نفوذ پذیر با پتانسیل ثابت است. پتانسیل این مرزها با رقوم سطح آب در کانال برابر می‌باشد. خط BC نیز یکی دیگر از مرزهای نفوذپذیر با پتانسیل ثابت است که پتانسیل این خط با رقوم سطح آب زیرزمینی برابر خواهد بود. ED و AF خطوط نشت فرضی هستند که در شروع محاسبات به صورت افقی فرض می‌شوند. DC و AB مرزهایی هستند که در این مرزها گرادیان جریان در جهت افقی

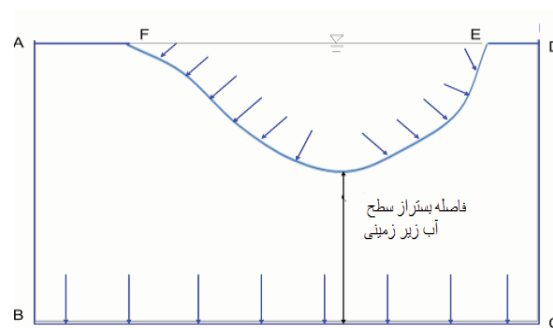
$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

نحوه انجام آزمایش صحرایی

مقدار کل تلفات (شامل تلفات ناشی از نشت آب، تبخیر از سطح آزاد، برداشت مستقیم توسط ریشه گیاهان و همچنین تبخیر و تعرق گیاهان رشد کرده در کانال‌های خاکی) به روش صحرایی و با اندازه‌گیری جریان ورودی-خروجی با استفاده از مولینه مدل OTT محاسبه گردید. اندازه‌گیری‌ها در دو مقطع عرضی، برای اعماق کمتر از ۵۰ سانتی‌متر در عمق $y/6$ و در اعماق بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر در $y/8$ و $y/2$ انجام گرفته است. در جدول ۲ مشخصات هیدرولیکی مقاطع ورودی و خروجی نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست در زمان اندازه‌گیری ارائه شده است. همچنین از رابطه زیر مقدار کل تلفات محاسبه گردید:



شکل ۳- محدوده مورد مطالعه نهر لوله‌ام



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه نهر شیخ سرمست

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی مقاطع ورودی و خروجی نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست

نام کانال	فاصله بین دو مقطع (m)	مشخصات هیدرولیکی مقطع خروجی					مشخصات هیدرولیکی مقطع ورودی						
		Q_2 (m^3/s)	R (m)	W (m)	V (m/s)	P (m)	A (m^2)	Q_1 (m^3/s)	R (m)	W (m)	V (m/s)	P (m)	A (m^2)
لوله‌ام	۲۶۷	۰/۲۲۱	۰/۲۲۹	۲/۳	۰/۳۹۱	۲/۴۶	۰/۵۶۵	۰/۲۶۹	۰/۲۲	۲/۶	۰/۴۷۳	۲/۷۶	۰/۵۶۹
شیخ سرمست	۵۶۴	۰/۶۴۷	۰/۱۷	۴/۲	۰/۱۸۷	۴/۱۸	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۲۱	۳/۴	۰/۹۶	۳/۷	۰/۷۸۱

$$k_s = \frac{1}{\frac{\cos^2 \theta}{k_x} + \frac{\sin^2 \theta}{k_y}} \quad (۱۳)$$

که در آن k_s نفوذپذیری در جهت عمود بر شیب با زاویه θ است. مدل تهیه شده در این تحقیق به منظور ورود شرایط مرزی، شبکه بندی محدوده و نهایتاً حل دستگاه معادلات حاکم به روش تکراری گوس-سایدل به زبان ویژوال بیسیک نوشته شده است. همچنین در این تحقیق به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی با مقادیر اندازه گیری شده یا نتایج روش تحلیلی در مرحله ارزیابی و صحت سنجی مدل از پارامتر آماری درصد خطای نسبی استفاده شده است:

$$RE = \left| \frac{q_{L_N} - q_{L_M}}{q_{L_N}} \right| \times 100 \quad (۱۳)$$

که در آن RE: درصد خطای نسبی، q_{L_M} و q_{L_N} : به ترتیب دبی نشت محاسبه شده توسط مدل عددی و دبی نشت اندازه گیری شده یا مربوط به روش تحلیلی می باشد.

نتایج و بحث

صحت سنجی مدل

به منظور بررسی دقت مدل از نقطه نظر برنامه نویسی و صحت سنجی آن مقدار دبی نشت و مکان هندسی خط نشت آزاد از یک کانال با مقطع دایره ای شکل با نتایج روش تحلیلی نگاشت کانفرمال که در منبع ارائه شده است مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل ۴-الف و ب مکان هندسی خط نشت آزاد، خطوط همپتانسیل و خطوط جریان برای دو حالت d/y یعنی نسبت فاصله سطح آب کانال تا سطح آب زیرزمینی به عمق جریان در کانال با توجه به فایل خروجی مدل در محیط نرم افزار Tecplot ترسیم شده است. همان گونه که ملاحظه می شود خطوط همپتانسیل و خط نشت آزاد، تقارن کامل نسبت به خط مرکزی کانال دارند. علاوه بر این اعداد و ارقام مندرج در جدول ۳ و اشکال ۵ و ۶ نشان می دهند که عرض نشت و دبی نشت محاسبه شده با هر دو روش به ازای مقادیر مختلف d/y از یک روند یکسان پیروی می کنند. به گونه ای که برای مقادیر d/y کمتر از ۴ تغییرات عرض نشت و دبی تراوش شدید می باشد در حالی که به ازای مقادیر بیشتر از ۴ عرض نشت ثابت شده و همچنین مقدار دبی نشت نیز به مقدار ثابت و نهائی خود رسیده است. مکان هندسی سطح آزاد و عرض نشت در هر دو روش بر هم منطبق می باشند؛ همچنین با افزایش فاصله سطح آب زیرزمینی از بستر کانال اختلاف دبی نشت بین دو روش کمتر می شود.

برای حالت عمومی شکل حجم کنترل (شکل ۱) مقدار پتانسیل جدید نقطه مرکزی حجم کنترل از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$a_p h_p^{k+1} = a_e h_E^k + a_w h_W^k + a_n h_N^k + a_s h_S^k \quad (۱۰)$$

که در آن:

$$a_w = (K_x)_w \frac{\Delta y}{(\delta x)_w}, a_e = (K_x)_e \frac{\Delta y}{(\delta x)_e}$$

$$a_n = (K_y)_n \frac{\Delta x}{(\delta y)_n}, a_s = (K_y)_s \frac{\Delta x}{(\delta y)_s}$$

$$a_p = a_w + a_e + a_s + a_n$$

مقادیر سرعت در نقطه مرکزی حجم کنترل در جهات طولی (V_x^{k+1}) و عرضی (V_y^{k+1}) با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ محاسبه شده تا با استفاده از آنها خطوط جریان در محیط نرم افزار Tecplot ترسیم گردد.

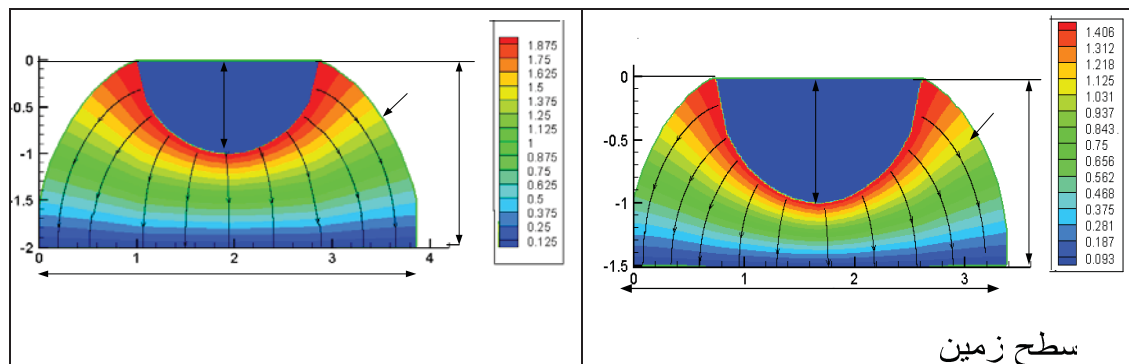
$$V_x^{k+1} = (k_x)_e \frac{h_E^{k+1} - h_p^{k+1}}{(\delta x)_e} \quad (۱۱)$$

$$V_x^{k+1} = (k_x)_e \frac{h_p^{k+1} - h_S^{k+1}}{(\delta y)_s} \quad (۱۲)$$

در مدل ارائه شده در این تحقیق برای پیدا کردن موقعیت خط نشت آزاد گام های زیر برداشته می شود:

- ۱- در ابتدا سطح آزاد به صورت افقی فرض می شود.
- ۲- مقدار بار آبی جدید h_p^{k+1} برای تمام نقاط محاسبه می شود.
- ۳- اگر سطح آزاد فرضی درست حدس زده شده باشد در هر نقطه از این سطح بار آبی جدید برابر رقوم نقطه (Z) است و موقعیت نقطه روی سطح آزاد تغییر نمی یابد.
- ۴- اگر برای هر نقطه روی سطح آزاد $h_p^{k+1} > Z$ در آن صورت سطح آزاد در آن نقطه یک پله بالا برده می شود.
- ۵- اگر برای هر نقطه روی سطح آزاد $h_p^{k+1} < Z$ در آن صورت سطح آزاد در آن نقطه یک پله پایین آورده می شود.
- ۶- پس از تعیین سطح آزاد جدید مجدداً محاسبات از گام یک تکرار می گردد.

در مرحله بعد با فرض این که جریان حالت پایداری دارد، پس از ثابت شدن خط نشت برای محاسبه مقدار دبی نشت یافته از سطح و دیواره های کانال از رابطه داری استفاده می شود. مقادیر نفوذپذیری در جهت عمود بر مرزهای مایل از رابطه زیر به دست می آید:



ب - $(d/y = 2)$

الف - $(d/y = 1.5)$

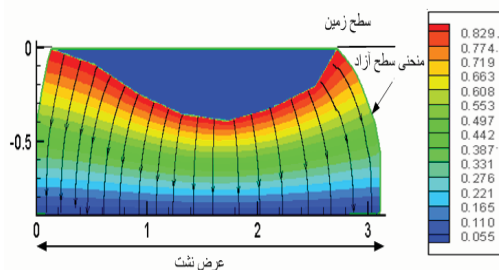
مشکل: سطح آب از خطوط جریان و پتانسیل محاسبه شده با مدل عددی تحقیق حاضر برای دو حالت y/d از کانال دایره‌ای y

جدول ۳ - مقدار تراوش و عرض نشت محاسبه شده با روش‌های تحلیلی و عددی

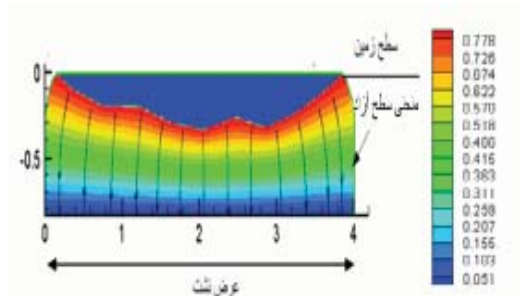
d	نتایج روش عددی		نتایج روش تحلیلی		خطای روش عددی	
	عرض نشت (m)	مقدار نشت ($m^3/day/m$)	عرض نشت (m)	مقدار نشت ($m^3/day/m$)	عرض نشت (%)	مقدار نشت (%)
$1/5$	۳/۴	۳۵/۷۷	۳/۴	۲۹/۸۱	%۰	۱۶/۶۶%
۲	۳/۸	۲۹/۵۵	۳/۸	۲۵/۵۷	%۰	۱۳/۴۵%
۴	۴/۴	۲۶/۴۳	۴/۴	۲۴/۵۳	%۰	۷/۱۸%
۶	۴/۵	۲۶/۰۰	۴/۵	۲۴/۱۹	%۰	۶/۹۷%
۸	۴/۵	۲۵/۹۲	۴/۵	۲۴/۱۹	%۰	۶/۶۶%

شبکه دبی تراوش در نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست به ترتیب $۵/۵۸$ و $۳/۸۷$ (مترمکعب بر مترمربع در روز) محاسبه شد. که با مقادیر اندازه‌گیری شده برای نهرهای مذکور که به ترتیب عبارتند از $۵/۶۷$ و $۴/۰۰۶$ مترمکعب بر مترمربع در روز کمتر از ۵ درصد اختلاف دارند. که این مقدار خطا در مسائل مواجهه با پدیده پیچیده نشت قابل قبول می‌باشد. شکل‌های ۵ و ۶ خطوط جریان و هم پتانسیل مربوط به نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست را نشان می‌دهد.

برای صحت‌سنجی مدل مختصات مقاطع عرضی نهرهای لوله‌ام و شیخ سرمست و هدایت هیدرولیکی خاک نهرهای مذکور که به روش بار افتان، در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی اندازه‌گیری شده است به مدل معرفی شد. مقادیر نفوذپذیری نهرهای مذکور به ترتیب برابر با $۳/۵$ (m/day) و $۱/۷۷$ (m/day) برآورد شد. لازم به ذکر است که بافت خاک بستر کانال‌های مذکور لومی شنی می‌باشد. نهایتاً پس از شبکه‌بندی ناحیه ABCDE توسط مدل و حل معادلات حاکم در نقاط مرکزی هر



شکل ۶ - خطوط جریان و پتانسیل و عرض نشت نهر لوله‌ام



شکل ۵ - خطوط جریان و پتانسیل و عرض نشت نهر شیخ سرمست

همانگونه که قبلا اشاره شد عمده تلفات آب در کانال های خاکی مربوط به تلفات ناشی از نشت آب و تبخیر از سطح آزاد آب کانال می باشد. در منطقه مورد مطالعه در زمان های اندازه گیری صحرائی، مقدار تبخیر در ماه های خرداد و تیر به ترتیب ۴۰۴/۷ و ۴۵۱/۶ میلی متر بوده که فقط ۰/۲۳ و ۰/۳۷ درصد از کل تلفات آب را شامل می شود، لذا در محاسبات انجام شده، تلفات ناشی از تبخیر به علت اندک بودن در مقایسه با تلفات نشت در نظر گرفته نشده است.

برآورد تلفات نشت سالانه در کانال های مورد نظر

پس از صحت سنجی و واسنجی مدل عددی ارائه شده در این تحقیق با در دست داشتن دبی ورودی به نهرهای خاکی لولهام و شیخ سرمست در ماه های مختلف و اجرای مدل برای شرایط اخیر مقدار تلفات نشت در طول ماه های مختلف بهره برداری از کانال در سال ۸۹ محاسبه شده است. مقادیر تلفات نشت محاسبه شده در ماه های مختلف در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. همچنین با استفاده از مقادیر نشت محاسبه شده میانگین تلفات نشت آب در طول یک فصل زراعی در سال ۸۹ در نهر لولهام ۱۴/۱۹ (m³/day/m) و در نهر شیخ سرمست ۱۸/۱۶ (m³/day/m) بوده است که مقداری قابل توجه است.

اصلاح ضرایب ثابت روابط تجربی برآورد نشت

یکی از راه های برآورد مقدار نشت از کانال های خاکی استفاده از روابط تجربی است. لازم است ضرایب ثابت این روابط برای هر منطقه اصلاح شود. بدین منظور در این تحقیق پس از اطمینان از صحت مدل، مقدار نشت به دست آمده توسط مدل برای ماه های مختلف سال ۸۹ در معادلات تجربی جایگزین شد و مقادیر متوسط ضرایب معادلات تجربی برای نهرهای لولهام و شیخ سرمست محاسبه شد. مقادیر این ضرایب تجربی قبل و بعد از اصلاح برای نهرهای مذکور در جدول ۶ ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود اختلاف فاحشی بین ضرایب اولیه و ضرایب اصلاح شده وجود دارد. تحقیق انجام شده توسط سالمی و سپاسخواه (۳) بر روی کانال های خاکی منطقه رودشت اصفهان نشان داد برای اینکه روابط تجربی موجود از جمله روش های دیویس-ویلسون و اینگهام بتوانند تخمین درستی از تلفات نشت در کانال های خاکی داشته باشند باید ضرایب c در روابط مذکور حتی بیشتر از ۱۰ برابر بزرگ تر در نظر گرفته شوند.

جدول ۴ - تلفات نشت محاسبه شده در نهر لولهام در ماه های مختلف سال ۸۹

ماه	دبی ورودی (m ³ /s)	مقدار نشت محاسبه شده (m ³ /day/1m)	دبی خروجی (m ³ /s)	راندمان انتقال (درصد)
اردیبهشت	۰/۵۱	۱۹/۰۸	۰/۴۵۱	۸۸/۴۳
خرداد	۰/۲۶۱	۱۵/۵۳	۰/۲۱۳	۸۱/۶۱
تیر	۰/۲۶	۱۵/۵۳	۰/۲۱۳	۸۱/۵۴
مرداد	۰/۱	۱۰/۳۵	۰/۰۶۸	۶۸/۰۱
شهریور	۰/۰۹۸	۱۰/۲۹	۰/۰۶۶	۶۷/۵۵
مهر	۰/۲	۱۴/۴	۰/۱۵	۷۷/۷۵

جدول ۵ - تلفات نشت محاسبه شده در نهر شیخ سرمست در ماه های مختلف سال ۸۹

ماه	دبی ورودی (m ³ /s)	مقدار نشت محاسبه شده (m ³ /day /1m)	دبی خروجی (m ³ /s)	راندمان انتقال (درصد)
اردیبهشت	۴/۱۳	۳۷/۷۵	۳/۸۹	۹۴/۰۳
خرداد	۱/۴۸	۲۱/۹۸	۱/۳۴	۹۰/۳
تیر	۰/۷۴	۱۴/۷	۰/۶۶۴	۸۷/۰۳
مرداد	۰/۵	۱۱/۶۴	۰/۴۲۴	۸۴/۸
شهریور	۰/۱۵۶	۴/۷۴	۰/۱۲۵	۸۰/۱۶

جدول ۶ - ضرایب اولیه و اصلاح شده معادلات تجربی برای نهادهای لوله‌ام و شیخ سرمست

ضرایب تجربی اصلاح شده		ضرایب تجربی اولیه		روابط تجربی
نه‌ر شیخ سرمست	نه‌ر لوله‌ام	نه‌ر شیخ سرمست	نه‌ر لوله‌ام	
۰/۱	۰/۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	مولس - ورث
۷/۷۱	۱۷/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۶	موریتس
۴۲۵/۸۸	۸۳۲/۸۹	۲۵	۲۵	دیویس - ویلسون
۵۲/۶۶	۱۳۴/۲۹	۵/۵	۵/۵	اینگهام

موقعیت خط نشت آزاد با روش شبکه تغییر شکل یافته به همراه سعی و خطا تعیین می‌گردد. دبی تراوش براساس روش دارسی و مقادیر بار آبی گره‌های مرزی تعیین می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد:

۱- مدل عددی تهیه شده با خطای کمتر از ۵ درصد مقدار دبی نشت اندازه‌گیری از کانال‌ها را برآورد می‌کند.

۲- مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از روش تحلیلی نگاشت کانفرمال نشان داد که مکان هندسی سطح آزاد و عرض نشت در هر دو روش بر هم منطبق می‌باشند. همچنین با افزایش فاصله سطح آب زیرزمینی از بستر کانال اختلاف دبی نشت بین دو روش کاهش می‌یابد.

۳- میانگین تلفات نشت آب در طول یک فصل زراعی در سال ۸۹ در نه‌ر لوله‌ام $14/19 (m^3/day/m)$ و در نه‌ر شیخ سرمست $18/162 (m^3/day/m)$ بوده است که مقداری قابل توجه است.

پس از تعیین مقادیر متوسط ضرایب نشت برای روابط تجربی با قرار دادن این ضرایب در معادلات مربوطه مقدار دبی نشت برای شرایط اندازه‌گیری شده در این تحقیق محاسبه شد و با مقادیر اندازه‌گیری شده برای نهادهای لوله‌ام و شیخ سرمست که به ترتیب عبارتند از $5/67$ و $4/006$ مترمکعب بر مترمربع در روز مقایسه گردید. همان‌گونه که در جداول ۷ و ۸ ارائه شده است در هر دو نه‌ر از بین روابط تجربی اصلاح شده، روابط دیویس-ویلسون و اینگهام با درصد خطای کمتری دبی نشت از کانال‌ها را برآورد می‌کنند و معادلات تجربی اولیه مقدار نشت را خیلی کمتر از مقدار واقعی آن نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدلی کامپیوتری نوشته شده است که در آن معادلات حاکم بر اساس روش احجام محدود منفصل شده است.

جدول ۷- مقایسه مقدار نشت به‌دست آمده از معادلات تجربی اولیه و اصلاح شده (نه‌ر شیخ سرمست)

نام معادله تجربی*	معادلات تجربی اولیه		معادلات تجربی اصلاح شده	
	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	درصد خطا
مولس - ورث	۰/۱۷	۶/۱۴	۵۳	
اینگهام	۰/۳۵	۲/۵	-۱۲/۶۳	
موریتس	۰/۳۸	۴/۵۵	۱۳/۵۸	
دیویس - ویلسون	۰/۲۲	۳/۸۲	-۴/۶۴	

*: مقدار نشت اندازه‌گیری $4/006$ و جواب مدل عددی $3/87 (m^3/day/m^2)$ می‌باشد

جدول ۸- مقایسه بین مقدار نشت به‌دست آمده با معادلات تجربی اولیه و اصلاح شده (نه‌ر لوله‌ام)

نام معادله تجربی*	معادلات تجربی اولیه		معادلات تجربی اصلاح شده	
	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	مقدار نشت $(m^3/day/m^2)$	درصد خطا
مولس - ورث	۰/۱۲۶	۶/۸۵	۲۰/۸۱	
اینگهام	۰/۲۳	۵/۵۴	-۲/۲۹	
موریتس	۰/۳۲	۶/۹۳	۲۲/۲۲	
دیویس - ویلسون	۰/۱۶۵	۵/۴۹	-۳/۱۷	

*: مقدار نشت اندازه‌گیری $5/67$ و جواب مدل عددی $5/58 (m^3/day/m^2)$ می‌باشد

پس از اصلاح ضرایب، روابط اینگهام و دیویس-ویلسون دبی نشت اندازه‌گیری شده را با تقریب بهتری پیش‌بینی می‌کنند.

۴- اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین ضرایب اولیه و ضرایب اصلاح شده معادلات تجربی برآورد نشت در منطقه مورد مطالعه وجود دارد.
۵- قبل از اصلاح ضرایب ثابت، تمام روابط تجربی مورد بررسی در این تحقیق مقدار دبی نشت را بسیار کمتر از واقع برآورد می‌نمایند.

منابع

- ۱- ابن جلال ر. و شفاعی بجستان م. ۱۳۸۴. اصول نظری و عملی مکانیک خاک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- پایدار ز. ۱۳۷۰. مدل ریاضی تلفات نشت از کانال‌های آبیاری. مجله آب، جلد ۱۰: ۲۵-۱۵.
- ۳- سالمی ح. و سپاسخواه ع. ۱۳۸۵. اصلاح معادلات تجربی نشت آب از کانال در منطقه روددشت اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. مجله علوم و فنون کشاورزی، جلد ۱۰، شماره اول.
- ۴- عراق علوی س. ۱۳۷۳. مدیریت توزیع آب زاینده رود بر اساس برآورد راندمان انتقال آب در کانال‌های زیر دست سد. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۵- قبادیان ر. ۱۳۹۰. روند یابی سیلاب و تخمین تلفات نشت در رودخانه‌های فصلی با حل همزمان معادلات جریان غیر ماندگار و نشت. مجله آب و خاک مشهد، جلد ۲۵، شماره ۲.
- ۶- مجتهدی ح. و فغفور مغربی م. ۱۳۸۹. روش تحلیلی محاسبه نشت از کانال‌های نیمه بیضوی به روش نگاشت کانفرمال. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۴، ص ۳۰-۲۲.
- 7- Bruen M., and Osman Y. 2004. Sensitivity of stream – aquifer seepage to spatial variability of the saturated hydraulic conductivity of the aquifer. *Journal of Hydrology* 293(4):289-302.
- 8- Chahar B.R. 2007. Analysis of Seepage from Polygon Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(4): 451-460.
- 9- GeoDelf. 2002. MSeep User Manual – Release 6.7, P.81.
- 10- 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.
- 11- Kacimov A.R. 2003. Discussion of "Design of minimum seepage loss non-polygonal canal sections" by Prabhata K. Swamee and Deepak Kashyap. *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 129, No. 1, 68-70.
- 12- Kahlown A.N., and Kemper W.D. 2004. Seepage losses as affected by condition and composition of channel banks. *Agricultural Water Management*.
- 13- Phogat V., Malik R.S., and Kumar S. 2009. Modeling (HYDRUS -2D) the effect of canal bed elevation on seepage and water table rise in a sand box filled with loamy soil, *Irrigation Science*, Vol. 27, 191-200.
- 14- Swamee P.K., and Kashyap D. 2001. Design of minimum seepage loss non-polygonal canal sections, *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol.127, No.2, 113-117.
- 15- Swamee P.K., and Kashyap D. 2004. Design of minimum seepage loss nonpolygonal canal sections with drainage layer at shallow depth, *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol.130, No.2, 166-170.
- 16- Versteeg H.K., and Malalasekera W. 1995. An introduction to computational fluid dynamics - The finite volume method. Longman Group Ltd. P, 255.

Numerical Estimating of Earth Channel Seepage in Nzloo Area of Uromye Province and Correction of Empirical Relation Constant Coefficient

R. Ghobadian^{1*} - M. Khalaj²

Received: 8-6-2011

Accepted: 29-10-2011

Abstract

Investigation of earth channel seepage is always taken into account by researchers due to water losses, reduction of soil quality around the channel and for canal lining issues. In this Present research a computer model has written in with seepage amount in an earth channel with natural cross section is calculated by solving general equation of water movement into isotropic or anisotropic soil under saturation condition by numerical finite volume method. Location of pheriatric seepage line using deformed mesh with tray and error is determined. Also amount of seepage is determined by means of Darsy relation and using of calculate head in boundary junctions. Evaluation of model accuracy viewpoint programming, seepage discharge and location of pharisaic seepage line calculated for a circular channel compared with results of analytical conformal mapping method. The results showed location of pheriatric seepage line and wide of seepage area overlaps in tow methods. Also difference between calculate seepage discharge by tow mentioned method decreases with increasing distant of ground water surface table from channel bed. Additionally to model verification two earth channel named Lolham and Shikhsarmast in Nazloo area of Uromiye province were selected and seepage discharge was determined by site measurement. Also the result of falling head hydraulic conductivity test showed hydraulic conductivity of bed material of Lolham and Shikhsarmast channels are 3.5 and 1.77 meter per day, respectively. Then cross section coordinate points and hydraulic conductivity as the only input data entered to model and amount of seepage has calculated that has less than 5% difference with measurement values. After model verification, constant coefficient of empirical relation for seepage calculation has modified using result of model running.

Keywords: Seepage, Nazloo area, Empirical method, Finite volume method

1,2- Assistant Professor and Msc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah

(* - Corresponding Author Email: rsgobadian@gmail.com)