Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
سال چهارم/ شماره ششم/بهار و تابستان ۱۳۸۹ (۱۱-۱۸)

بررسی کاربرد روش هال اصلاح‌شده در مدل ترکیبی بیلان حجمی-اینرسی صفر برای آبیاری جویچه‌ای

سودابه گلستانی[۱]، محمد شایان‌نژاد[۲] و سید حسن طباطبائی[۳]*

چکیده

دقت نتایجی که از مدل‌ها به‌دست می‌آید به کیفیت اطلاعات و انتخاب مدل مناسب بستگی دارد. به کارگیری مدل ترکیبی بیلان حجمی- اینرسی صفر (VB-ZI) توسط گلستانی و همکاران، باعث بهبود نتایج پیش‌بینی در آبیاری جویچه‌ای شده است. هدف این تحقیق، افزایش دقت مدل (VB-ZI) در تخمین مسافت پیشروی در آبیاری جویچه‌ای است. در این تحقیق از روش هال اصلاح‌شده در محاسبه حجم ذخیره زیرسطحی استفاده شد. برای سنجش دقت مدل توسعه داده شده در آبیاری جویچه‌ای، از سه سری داده مربوط به مزارع با بافت و مشخصات مختلف استفاده شد. این اطلاعات شامل ضرایب هندسی و هیدرولیکی شکل مقطع جویچه، زمان پیشروی، دبی ورودی و خروجی جویچه، ضریب زبری مانینگ، شیب و ضرایب معادله نفوذ در هر جویچه است. سنجش مدل مذکور با استفاده از ضرایب آماره جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب جرم مانده (CRM) و کارآیی مدل (ME) انجام شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که دقت مدل توسعه داده شده (MVB-ZI) در تخمین مسافت پیشروی، نسبت به مدل بیلان حجمی (VB) و همچنین نسبت به مدل (VB-ZI) افزایش یافته است. میزان RMSE برای مدل (MVB-ZI) در سری اول تا سوم داده‌ها به‌ترتیب ۲۶/۵۷، ۱۲/۷۱ و ۲۰/۴۹ به‌دست آمد که این مقادیر برای مدل (VB-ZI) به‌ترتیب ۳۰/۱۳، ۱۴/۶۳ و ۲۲/۴۸ است. مقدار CRM نیز برای سری اول، دوم و سوم داده‌ها به‌ترتیب ۰/۲۱۷، ۰/۲۷۲ و ۰/۳۰۳ به‌دست آمد که نشان‌دهنده بیش‌برآوردی مدل نسبت به مقادیر واقعی است. با توجه به سادگی مدل توسعه داده شده نسبت به مدل اینرسی-صفر و همچنین دقت بالاتر نسبت به مدل بیلان حجمی توصیه می‌شود از مدل توسعه داده شده، استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: جویچه، مسافت پیشروی، ذخیره سطحی، ذخیره زیرسطحی و مدل بیلان حجمی-اینرسی صفر اصلاح‌شده.

ارجاع: گلستانی س. شایان‌نژاد م. و طباطبائی س.ح. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد روش هال اصلاح‌شده در مدل ترکیبی بیلان حجمی-اینرسی صفر برای آبیاری جویچه‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۴(۶): ۱۱-۱۸.

۱ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشجوی فعلی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
*نویسنده مسئول: stabaei@agr.sku.ac.ir
تاریخ دریافت:۱۳۸۷/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۳۸۹/۴/۲۰

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

دسترسی به راندمان بالا در مصرف آب در مزرعه نیازمند طراحی دقیق و اجرای صحیح سیستم آبیاری است. در مدل‌سازی، پارامترهای ورودی، نقش مهمی در دقت نتایج نهایی به‌دست آمده دارند و دقت بیشتر در اندازه‌گیری آنها موجب اطمینان بیشتر به نتایج به‌دست آمده از مدل می‌شود. براساس ترکیب پارامترهای مختلف مؤثر در آبیاری، مدل‌های ریاضی متعددی ایجاد شده‌اند که در آنها با توجه به‌دقت ورودی‌ها، خروجی مناسب تخمین زده می‌شود. ورودی این مدل‌ها باید شامل پارامترهای طراحی و اجرا مانند توپوگرافی، طول، ضریب زبری، مشخصات نفوذ و هیدروگراف دبی خروجی باشد.

خروجی در این مدل‌ها شامل رواناب، مقدار آب نفوذ یافته، راندمان‌های آبیاری و غیره است که با مقایسه خروجی مدل و نتایج به‌دست آمده ناشی از اندازه‌گیری مزرعه‌ای میزان دقت مدل سنجیده می‌شود. مدل‌های ریاضی استفاده شده اکثراً براساس قانون بقای جرم به‌همراه یک فرضیه مشخص در مورد متوسط عمق جریان سطحی استوار است.

در مدل بیلان‌حجمی (VB[1]) فرضیات ساده‌کننده وجود دارد که این فرضیات باعث کاهش دقت مدل می‌شوند. یکی از محدودیت‌های مدل‌های VB وابستگی آنها به عمق نرمال است که این وابستگی کاربرد آن را به‌خصوص برای آبیاری‌های با شیب کم محدود می‌سازد. علاوه بر این انتخاب فاکتور شکل سطحی ثابت هم خطاساز است (اسفندیاری و ماهشوری، ۱۹۹۷. والیانتز، ۲۰۰۱. واکر، ۲۰۰۵). والیانتز (۱۹۹۴) مدل VB را با استفاده از ترم مومنتم مدل اینرسی-صفر (ZI[2]) برای آبیاری نواری به نحوی اصلاح کرد که برای کلیه نوارهای مسطح یا شیب‌دار قابل استفاده باشد و وابستگی به عمق نرمال درآن از بین برود. به‌علاوه از یک فاکتور شکل اصلاح‌شده برای محاسبه حجم ذخیره سطحی[3] استفاده کرده است. فرضیاتی که در این مدل اصلاح‌شده وجود دارد عبارتنداز: ۱- دبی در واحد عرض نوار ثابت است. ۲- حجم نفوذ یافته به‌وسیله معادله کوستیاکف محاسبه می‌شود و ۳- برای جریان سطحی هم از یک تابع نمایی استفاده شده است که به‌صورت زیر است:

$$y(x,t) = Y(t) \times \{1 - \frac{x}{s(t)}\}^{b} \qquad (۱)$$

که در آن: Y(t) عمق در ابتدای نوار در زمان t (متر) و s(t) فاصله پیشروی در زمان t (متر) و b ضریب ثابت که وابسته به برخی خصوصیات جریان است. مقدار b براساس گزارش والیانتز (۱۹۹۴) با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$b = \frac{0.45}{(1+p)^{0.2}} \qquad (۲)$$

که p منعکس کننده خصوصیات دبی، شیب، و نفوذ است و از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$p = \left(\frac{q \times s_0 \times \left(\frac{y_n}{k}\right)^{1/a}}{y_n^{2}}\right) \qquad (۳)$$

که s_0 شیب مزرعه (متر بر متر)، n ضریب زبری مانینگ و q دبی ورودی نوار (متر مکعب بر ثانیه بر متر)، y_n عمق نرمال (متر)، k و a ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف ($z = kt^a$) و Z نفوذ تجمعی (متر مکعب بر متر) است. نتایج به‌دست آمده با این‌روش در مقایسه با داده‌های صحرایی، دقت مناسب مدل در پیش‌بینی فاز پیشروی[4] را نشان می‌دهد (والیانتز، ۱۹۹۴). نکته قابل توجه این است که دقت مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی فازهای مختلف آبیاری یکسان نیست. زیرا حساسیت مدل‌ها در فازهای مختلف نسبت به پارامترهای ورودی متفاوت است. لذا لازم است در انتخاب مدل مناسب به این نکته توجه لازم مبذول شود (هولزاپفل و همکاران، ۱۹۸۴).

گلستانی و همکاران (۱۳۸۹) از تابع نمایی مذکور برای محاسبه حجم ذخیره سطحی در آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند. در معادله ۳ ، q دبی در واحد عرض نوار است. این مقدار در جویچه به‌صورت $\frac{Q}{w}$ در معادله استفاده شده است.

همچنین از روش هال (۱۹۵۶) برای محاسبه حجم ذخیره زیرسطحی[5] استفاده کردند (والیانتز، ۱۹۹۴). ایشان از ترکیب این معادلات، مدل بیلان حجمی-اینرسی صفر (VB-ZI) را برای تخمین مسافت پیشروی در آبیاری جویچه‌ای استخراج کرده‌اند. مقایسه مقادیر تخمین زده شده با مدل و مقادیر پیشروی اندازه‌گیری شده، دقت مدل را در تخمین

1- Volume balance (VB)
2- Zero inertia (ZI)
3- Surface storage

4- Advance phase
5- Subsurface storage

www.SID.ir

Archive of SID

مسافت پیشروی نسبت به مدل بیلان حجمی معمولی نشان می‌دهد.

در روش هال (۱۹۵۶) مقدار نفوذ با استفاده از قانون ذوزنقه تا گام زمانی $i-1$ محاسبه شده و از فاکتور شکل زیر سطحی برای لحاظ کردن خمیدگی نوک پروفیل نفوذ در آخرین گام زمانی استفاده شده است. درحالی‌که خمیدگی پروفیل نفوذ در گام زمانی $i-1$ نیز دیده می‌شود و لحاظ کردن ضریب شکل پروفیل زیرسطحی جریان فقط در آخرین سلول، باعث تخمین بیشتر حجم ذخیره زیرسطحی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی می‌شود. در روش اصلاح‌شده هال (آلازبا و استرلکف، ۱۹۹۴) میزان این خمیدگی در هر دو گام زمانی در نظر گرفته شده است تا تخمین حجم ذخیره زیرسطحی با دقت بیشتری انجام شود. با توجه به تأثیر اجزا مدل بیلان حجمی در نتایج نهایی به‌دست آمده، ضروری است که برای تخمین دقیق این مقادیرکوشش بیشتری صورت گیرد. با بررسی ترم ذخیره زیرسطحی در مدل VB-ZI، به‌نظر می‌رسدکه این جزء از مدل را می‌توان با دقت بیشتری تخمین زد و این امر در نهایت منجر به‌دقت بیشتر مدل در تخمین مسافت پیشروی می‌شود.

هدف از این تحقیق افزایش دقت مدل ترکیبی بیلان حجمی-اینرسی صفر (گلستانی و همکاران، ۱۳۸۹) در پیش‌بینی مسافت پیشروی در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از روش اصلاح‌شده هال (آلازبا و استرلکف، ۱۹۹۴) در تخمین حجم ذخیره زیرسطحی است.

مواد و روش‌ها

توسعه مدل

در مدل MVB-ZI برای آبیاری جویچه‌ای، محاسبه حجم ذخیره سطحی از معادله ۱ استفاده شده‌است که شرح معادله و مطالب مربوط به آن در مقاله گلستانی و همکاران (۱۳۸۹) آورده شده است و لذا در اینجا از ذکر آن خودداری می‌شود.

در روش اصلاح‌شده هال (آلازبا و استرلکف، ۱۹۹۴) برای محاسبه حجم ذخیره زیرسطحی از جزء اصلاحی $(\frac{1}{2}-\sigma_z)z_1(s_{i-1}-s_{i-2})$ استفاده شده است که در روش هال (۱۹۵۶) دیده نمی‌شود. تکنیک اصلاح‌شده هال در محاسبه حجم ذخیره زیرسطحی به‌صورت زیر است:

$$\Delta v=\sum_{k=1}^{i-1}(\frac{z_{i-k+1}-z_{i-k-1}}{2})(s_k-s_{k-1})+\ldots$$

$$\ldots.+(\frac{1}{2}-\sigma_z)z_1(s_{i-1}-s_{i-2})+\sigma_z z_1(s_i-s_{i-1}) \qquad (۴)$$

که در آن σ_z فاکتور شکل زیرسطحی است که به‌صورت $\sigma_z=\frac{1}{1+a}$ محاسبه شده و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. با جانشینی حجم ذخیره سطحی و زیرسطحی به‌دست آمده در معادله VB در فاز پیشروی (معادله ۵)، معادله نهایی به‌صورت معادله ۶ به‌دست می‌آید:

$$Q\times t=\Delta s+\Delta v \qquad (۵)$$

$$Q\times t=\frac{1}{\sigma_2 b+1}[\sigma_1 Y_i^{\sigma_2}s_i-\sigma_1 Y_{i-1}^{\sigma_2}s_{i-1}]+\ldots$$

$$\ldots+\sum_{k=1}^{i-1}(\frac{z_{i-k+1}-z_{i-k-1}}{2})(s_k-s_{k-1})+\ldots.$$

$$\ldots+(\frac{1}{2}-\sigma_z)z_1(s_{i-1}-s_{i-2})+\sigma_z z_1(s_i-s_{i-1}) \qquad (۶)$$

در معادله بالا Δs حجم ذخیره زیرسطحی (مترمکعب)، Δv حجم ذخیره سطحی (مترمکعب)، Q جریان ورودی به جویچه (مترمکعب بر دقیقه)، t مدت زمان جریان (دقیقه)، w عرض جویچه (متر)، Y عمق آب در ابتدا در گامهای زمانی مختلف (متر) و s_i مسافت پیشروی در گامهای زمانی مختلف (متر) است. اگر این معادله برحسب فاکتور S_i مرتب شود تابع به‌صورت:

$$s_i=\frac{(\sigma_2 b+1)(Q\times t)+\sigma_z z_1 s_{i-1}(\sigma_2 b+1)+(\sigma_2 b+1)(\frac{1}{2}-\sigma_z)z_1(s_{i-1}-s_{i-2})}{(\sigma_2 b+1)\sigma_z z_1+\sigma_1 Y_i^{\sigma_2}}+\ldots$$

$$\ldots\ldots-\frac{(\sigma_2 b+1)\sum_{k=1}^{i-1}(\frac{z_{i-k+1}-z_{i-k-1}}{2})(s_k-s_{k-1})++\sigma_1 Y_{i1}^{\sigma_2}s_{i-1}}{(\sigma_2 b+1)\sigma_z z_1+\sigma_1 Y_i^{\sigma_2}} \qquad (۷)$$

به‌دست می‌آید که به‌صورت خلاصه شده به‌صورت:

$$s_i=\frac{M}{\sigma_1 Y_i^{\sigma_2}+(\sigma_2 b+1)\sigma_z z_1} \qquad (۸)$$

است. در این معادله M صورت کسر معادله ۷ است. در معادله ۸ دو عامل مجهول Y, s دیده می‌شود که لازم است مقدار این دو عامل در هر بازه زمانی و همزمان محاسبه شوند. برای محاسبه عمق مجهول از ترم مومنتم مدل اینرسی صفر ($\frac{\partial y}{\partial x}=s_0-s_f$)، استفاده شده است. درصورتی‌که مقدار s_f از معادله مانینگ محاسبه شده و در

www.SID.ir

Archive of SID

ترم مومنتم جانشین شود، همچنین به‌جای پارامتر y از تابع نمایی نسبت داده شده به پروفیل سطحی (معادله ۱) استفاده و نسبت به فاصله مشتق گرفته شود و در ترم مومنتم معادله اینرسی صفر جانشین شود، پس از ساده‌سازی، معادله نهایی به‌دست آمده برحسب s_i مرتب شده و در معادله ۸ جانشین می‌شود. معادله ۸ پس از جانشینی مقادیر به‌دست آمده برحسب متغیر y مرتب می‌شود و معادله ۹ به‌شرح زیر برای محاسبه عمق جریان به دست می‌آید.

$$f(Y) = c_1 Y_i^{\sigma_2+1} + c_2 Y_i + c_3 Y_i^{(-\sigma_2\rho_2)} + c_4 \qquad (۹)$$

ضرایب ثابت در این معادله عبارتند از:

$$c_1 = \frac{-b\sigma_1 w}{M} \qquad (۱۰)$$

$$c_2 = \frac{-\sigma_z z_1(\sigma_2 b^2 + b)}{M} \qquad (۱۱)$$

$$c_3 = \frac{Q^2 \times n^2}{3600 p_1 (\sigma_1)^{\rho_2}} \qquad (۱۲)$$

$$c_4 = -s_0 \qquad (۱۳)$$

که در آن ρ_1, ρ_2 ضرایب هیدرولیکی جویچه و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. برای محاسبه مسافت پیشروی (s_i) در هر گام زمانی، ابتدا عمق جریان با استفاده از معادله ۹ و روش نیوتن-رافسون محاسبه و سپس با استفاده از معادله ۸ و استفاده از روش سعی و خطا و مقایسه مقادیر محاسباتی و تخمین زده شده، مسافت پیشروی محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر به‌دست آمده در هر بازه زمانی به‌عنوان شرایط مرزی در گام زمانی بعدی استفاده می‌شود. روند محاسبات با استفاده از برنامه نویسی در محیط Q.BASIC دنبال می‌شود.

تأیید مدل

اطلاعات پیشروی مورد استفاده در این تحقیق، از سه مزرعه با بافت‌های مختلف (جدول۱) جمع‌آوری شد. سری اول اطلاعات در تابستان ۱۳۸۶ از ۹ جویچه با طول‌های مختلف در مزرعه دشت ده در نزدیکی دانشگاه شهرکرد توسط گلستانی (۱۳۸۶) تهیه شد. بافت خاک در این سری از اطلاعات رسی-لومی است. سری دوم، اطلاعات پیشروی جمع‌آوری شده توسط اسفندیاری (۱۹۹۵) مربوط به ۲۳ جویچه است که از یک مزرعه تحقیقاتی با بافت شنی واقع در ۶۰ کیلومتری غرب سیدنی جمع‌آوری شده است. سری سوم، اطلاعات پیشروی جمع‌آوری شده توسط اسفندیاری (۱۹۹۵) مربوط به ۲۲ جویچه است که از یک مزرعه تحقیقاتی با بافت شنی-رسی-لومی واقع در ۶۰ کیلومتری غرب سیدنی جمع‌آوری شده است. در این سه سری داده، اطلاعات مربوط به نفوذ، سطح مقطع جریان، دبی جریان ورودی، بافت خاک، شیب زمین، رطوبت قبل از آبیاری، قرائت پیشروی در ایستگاه‌ها جمع‌آوری و استفاده شده است. جدول ۱ محدوده اطلاعات مربوط به جویچه‌ها در هر سری از داده‌ها را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی دقت مدل توسعه داده‌شده، در سه سری اطلاعات، مسافت پیشروی با استفاده از سه مدل VB، VB-ZI و MVB-ZI تخمین زده شد. برای مقایسه نتایج به‌دست آمده از پارامتر آماری (RMSEI) استفاده شد. این پارامتر با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_o - x_p)^2}{n}} \qquad (۱۴)$$

که در آن: x_o = داده مشاهداتی (مسافت پیشروی) x_p = داده تخمین زده شده با مدل (مسافت پیشروی) و n = تعداد داده‌ها است. همچنین از آماره ضریب جرم مانده (CRM[1]) و ضریب کارآیی مدل (ME[2]) استفاده شد که معادلات به‌شرح زیر است.

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_p - x_o)}{\sum_{i=1}^{n} x_o} \qquad (۱۵)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_o - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^{n} (x_p - x_o)^2}{\sum_{i=1}^{n} (x_o - \bar{x})^2} \qquad (۱۶)$$

درصورتی‌که CRM برابر با صفر باشد، کارآیی مدل حداکثر است. مقادیر مثبت و منفی آن نشان‌دهنده بیش برآوردی یا کم برآوردی مدل نسبت به مقادیر واقعی است. مقدار ME نیز از منفی بی‌نهایت برای بدترین حالت تا ۱ برای بهترین حالت تغییر می‌کند.

1- Coefficient of residual mass (CRM)
2- Model efficiency (EF)

www.SID.ir

Archive of SID

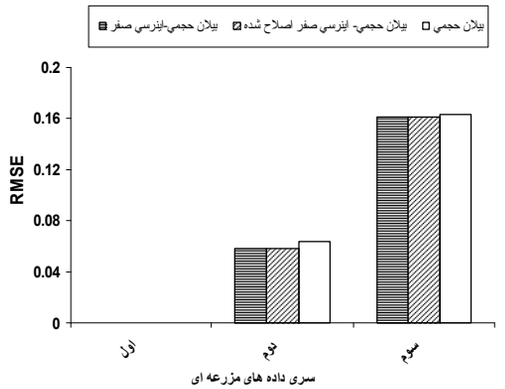
جدول ۱- محدوده اطلاعات جویچه‌های آزمایشی در هر سری از داده‌ها

پارامتر	تعریف	واحد	سری اول داده	سری دوم داده	سری سوم داده
منبع داده ها	-	-	گلستانی (۱۳۸۶)	اسفندیاری (۱۹۹۵)	اسفندیاری (۱۹۹۵)
بافت خاک	-	-	رسی-لومی	شنی	شنی-رسی-لومی
L	طول جویچه	m	۱۹۸-۱۵۳	۵۹	۱۲۵
K	ضریب معادله نفوذ	$m^3.\min^{-a}.m^{-1}$	۰/۰۰۱۷۱-۰/۰۱۹۶	۰/۰۰۰۲۴-۰/۰۰۴۷۳	۰/۰۰۰۳۴-۰/۰۰۰۲۹
a	توان معادله نفوذ	-	۰/۴۷۸-۰/۰۱۱	۰/۹۶۹-۰/۶۲۲	۰/۸۱۴-۰/۰۲۰
n	ضریب زبری مانینگ	-	۰/۰۲	۰/۰۳۵-۰/۰۲	۰/۰۲۳-۰/۰۱
Q	دبی جویچه	$m^3/\min$	۰/۰۸۵۵-۰/۰۱۵۶۶	۰/۱۰۵-۰/۰۲۱۶	۰/۱۸۶۶-۰/۰۱۰۵
ρ_1	ضریب هیدرولیکی مقطع	-	۲/۶۰۱-۰/۲۱۳	۲/۷۴-۰/۲۱۲	۲/۳۰۰-۰/۰۸۸۹
ρ_2	ضریب هیدرولیکی مقطع	-	۲/۹۸-۲/۴۶۴	۳/۱۴۵-۲/۶۲	۳/۱۱۶-۲/۸۱۷
σ_1	ضریب هندسی مقطع	$m^{1-2\sigma_2}$	۲/۰۲۶-۰/۴۳۴	۰/۴۷۶-۰/۲۱۵	۰/۴۱۹-۰/۲۲۱
σ_2	ضریب هندسی مقطع	-	۲/۴۳۱-۱/۲۷۰	۱/۷۴-۱/۰۵۹	۱/۲۵۶-۱/۰۶۴
S_0	شیب کف جویچه	m/m	۰/۰۱۵۶-۰/۰۱۱۳	۰/۰۰۳۳۲-۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۴-۰/۰۰۰۱۳۵
w	عرض جویچه	m	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۹۵

نتایج و بحث

به‌منظور تعیین دقت MVB-ZI در برابر مدل VB و VB-ZI، از اطلاعات سه سری داده صحرایی در فاز پیشروی استفاده شد. نتایج بدست آمده به شرح زیر است.

ابتدا پروفیل سطحی جریان در جویچه، در دو بافت شنی و شنی-رسی- لومی و عمق آب در ایستگاه‌های مختلف بر اساس تابع نمایی نسبت داده شده (معادله ۱) شبیه سازی و حجم ذخیره سطحی محاسبه شد. سپس برای تعیین میزان دقت تابع نمایی از نمایه‌های آماری ذکر شده، استفاده شد. نتایج نشان داد که در بافت شنی، RMSE حجم ذخیره سطحی بدست آمده با مدل VB-ZI در مسیر پیشروی برابر با ۰/۰۵۸ مترمکعب و RMSE حجم ذخیره سطحی تخمین زده شده با مدل VB در مسیر پیشروی ۰/۰۶۴ مترمکعب است. ضریب CRM در خاک شنی در مدل VB برابر ۰/۵۳ و در مدل MVB-ZI برابر ۰/۴۱ است. همچنین ضریب راندمان ME مدل VB در تخمین حجم ذخیره سطحی ۱۸/۶۴- و در مدل VB-ZI برابر با ۱۶/۲۶- بدست آمده است. در بافت شنی-رسی-لومی نیز RMSE حجم ذخیره سطحی بدست آمده با مدل VB-ZI در فاز پیشروی برابر با ۰/۱۶۱ مترمکعب و RMSE حجم ذخیره سطحی تخمین زده شده با مدل VB در فاز پیشروی ۰/۱۶۴ مترمکعب است. در این بافت ضریب CRM مدل VB برابر ۰/۷۵ و ضریب CRM مدل VB-ZI نیز ۰/۶۲ بدست آمد. ضریب ME در این بافت و در مدل VB ۱۷/۴۵- و در مدل VB-ZI ۱۵/۱۴- بدست آمده است. مقادیر RMSE وCRMو ME بدست آمده دقت تابع نمایی را در تخمین حجم ذخیره سطحی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در مدل MVB-ZI نیز از تابع نمایی ذکر شده (معادله ۱) برای تخمین حجم ذخیره سطحی استفاده شده است، می‌توان دقت تابع فوق را در تخمین حجم ذخیره سطحی در این مدل نیز، تأیید کرد. لازم به ذکر است که در سری اول داده ها به دلیل عدم وجود داده‌های عمق آب در ایستگاه و زمان‌های مختلف امکان محاسبه خطای شبیه‌سازی پروفیل سطحی وجود نداشت.



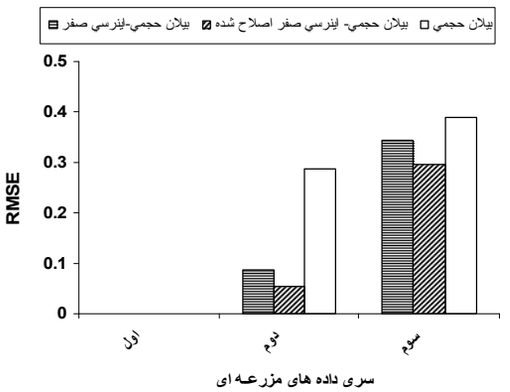
شکل ۱- مقایسه RMSE مدل‌ها در پیش‌بینی حجم ذخیره سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

حجم ذخیره زیرسطحی تخمین زده شده با سه مدل نیز آزمایش شد. در بافت شنی RMSE حجم ذخیره زیرسطحی تخمین زده شده با مدل VB، VB-ZI و مدل MVB-ZI در مسیر پیشروی به‌ترتیب ۰/۲۸۸، ۰/۰۸۷ و ۰/۰۵۳ متر مکعب است (شکل ۲). ضریب CRM محاسبه شده در بافت شنی در مدل VB، VB-ZI و MVB-ZI به‌ترتیب برابر با ۰/۸۱، ۰/۷۵، ۰/۶۶ به‌دست آمد. ضریب ME نیز در سه مدل به‌ترتیب ۲۱/۱۹- ، ۱۸/۶۹- ، ۱۷/۲۳- به‌دست آمد. در بافت شنی-رسی-لومی نیز RMSE حجم ذخیره زیرسطحی تخمین زده شده با مدل VB، VB-ZI و مدل MVB-ZI در مسیر پیشروی به‌ترتیب ۰/۳۸۸، ۰/۳۴۴ و ۰/۲۹۷ محاسبه شد. ضریب CRM در مدل VB، VB-ZI ، MVB-ZI به‌ترتیب ۰/۷۳ ، ۰/۶۹ ، ۰/۶۳ به‌دست آمده است. ضریب ME نیز در این سه مدل به‌ترتیب ۲۱/۷۵- ، ۱۷/۶۲- ، ۱۶/۱۴- به‌دست آمد. مقایسه مقادیر به‌دست آمده دقت بیشتر مدل MVB-ZI را در مقایسه با مدل VB-ZI در تخمین حجم ذخیره زیرسطحی نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که لحاظ کردن خمیدگی پروفیل نفوذ در گام زمانی i و گام زمانی $i-1$ که در روش اصلاح‌شده هال به آن توجه شده است، باعث تخمین مناسب‌تر حجم ذخیره زیرسطحی نسبت به استفاده از روش هال و قانون ذوزنقه در تمام گام‌های زمانی می‌شود. از آنجا که در سری اول داده‌ها قرائت اعماق آب در فاز پیشروی در ایستگاه‌های مختلف انجام نشده است امکان مقایسه ذخیره سطحی و زیرسطحی تخمین زده شده وجود ندارد. اما انتظار می‌رود که با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های تست شده قبلی و نزدیکی خصوصیات جویچه‌ها، مشابه چنین نتایجی در این سری از داده‌ها نیز به‌دست آید.

شکل ۳ خطای RMSE مدلها در پیش‌بینی مسافت پیشروی را در سه سری داده‌ها نشان می‌دهد. در سری اول داده‌ها و در بافت رسی-لومی RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل MVB-ZI ۲۶/۵۷ متر، RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل VB-ZI ۳۰/۱۳ متر و RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل VB ۳۴/۷۶ متر به‌دست آمد (شکل ۳). ضریب CRM مدل VB ۰/۳۸، مدل VB-ZI ۰/۲۹۵، مدل MVB-ZI ۰/۲۱۷ محاسبه شد. ضریب ME مدل VB در تخمین مسافت پیشروی ۲۴/۵۸- ، در مدل VB-ZI ۱۹/۴۸- ، در مدل MVB-ZI ۱۸/۹۳- به دست آمد.



شکل ۲- مقایسه RMSE سه مدل در پیش‌بینی حجم ذخیره زیرسطحی در دسته‌های مختلف داده‌ها

در سری دوم داده‌ها و در بافت شنی RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل VB-ZI ۱۴/۶۳ متر و RMSE تخمین زده شده با مدل VB ۱۶/۸۵ متر و RMSE مقادیر تخمین زده شده با مدل MVB-ZI ۱۲/۷۱ متر است. ضریب CRM مدل VB ۰/۴۳، مدل VB-ZI ۰/۳۶۲، مدل بیلان MVB-ZI ۰/۲۷۲ محاسبه شد. ضریب ME محاسبه شده در مدل VB ۲۰/۸۱- ، در مدل VB-ZI ۱۸/۴۴- ، و در مدل MVB-ZI ۱۷/۲۳- به‌دست آمد.

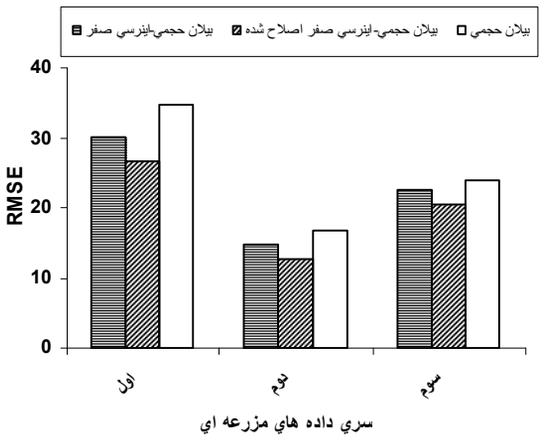
در سری سوم داده‌ها در بافت شنی-رسی-لومی RMSE تخمین زده شده با مدل VB-ZI ۲۲/۴۸ متر و RMSE تخمین زده شده با مدل VB ۲۴ متر گزارش می‌شود. درحالی‌که RMSE مسافت پیشروی تخمین زده شده با مدل MVB-ZI ۲۰/۴۹ متر است. ضریب CRM مدل VB ۰/۳۸۱، مدل VB-ZI ۰/۳۲۵، مدل MVB-ZI ۰/۳۰۳ به‌دست آمده است. ضریب ME مدل VB ۲۳/۳۶- ، مدل VB-ZI ۲۰/۴۱- ، مدل MVB-ZI برابر با ۱۸/۵۷- محاسبه شد.

در تمام نتایج به‌دست آمده ضریب CRM مثبت بوده است. یعنی مدلها در مقایسه با مقادیر حقیقی، تخمین بیشتری برای حجم ذخیره سطحی، حجم ذخیره زیرسطحی و مسافت پیشروی داشته‌اند. که البته مقدار آن در مدل MVB-ZI کمتر از دو مدل دیگر است. همچنین مقادیر ME

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دست آمده در سه مدل منفی است و در عین حال مقدار به دست آمده از مدل MVB-ZI به ۱ در هر سه مدل نزدیک‌تر است که دقت مدل مذکور را در تخمین مقادیر موردنظر تأیید می کند.



شکل ۳- مقایسه RMSE سه مدل در پیش‌بینی مسافت پیشروی در دسته‌های مختلف داده‌ها

بحث

با توجه به این‌که در هر سه مدل از یک‌سری داده مشخص استفاده شده است آنچه باعث ایجاد این اختلاف در نتایج نهایی مدل‌ها شده است، استفاده از توابع مختلف در تخمین حجم ذخیره سطحی و زیرسطحی است. نتایج به‌دست آمده نشان داده است که با استفاده از تابع نمایی ذکر شده (معادله ۱) حجم ذخیره سطحی با دقت بیشتری تخمین زده شده و مقادیر تخمین زده شده نسبت به مدل VB نزدیکی بیشتری با مقادیر مشاهداتی دارد. همچنین حجم ذخیره زیرسطحی نیز در مدل VB-ZI با دقت بیشتری نسبت به مدل VB برآورد شد و در مدل MVB-ZI نیز دقت مدل در تخمین حجم ذخیره زیرسطحی نسبت به هر دو مدل افزایش بیشتری یافت. درنهایت با توجه به اصلاح اجزاء مدل MVB-ZI، دقت در تخمین مسافت پیشروی افزایش می‌یابد و مقادیر پارامترهای آماری گزارش شده نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

نتایج این تحقیق با نتایج به‌دست آمده توسط والیانتز (۱۹۹۴) و گلستانی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. والیانتز (۱۹۹۴) با مقایسه داده‌های صحرایی و مقادیر تخمین زده شده، دقت مناسب مدل توسعه داده خود را در پیش‌بینی فاز پیشروی در آبیاری نواری تأیید کرد. گلستانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز دقت مناسب مدل توسعه داده خود را در پیش‌بینی فاز پیشروی در آبیاری جویچه‌ای تأیید کردند. این تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از توابع مناسب برای تخمین ذخیره سطحی و ذخیره زیرسطحی دقت پیش‌بینی مدل را افزایش داده است.

تغییر بافت خاک در میزان دقت مدل در تخمین نتایج نهایی تأثیر بسیار دارد. در بافت سبک به‌دلیل بالا بودن ضرایب نفوذ، حجم بیشتری از جریان در مسیر پیشروی نفوذ می‌کند و ذخیره سطحی درصد کمتری از کل جریان را در برمی‌گیرد. لذا تخمین دقیق حجم ذخیره زیرسطحی می‌تواند تأثیر بیشتری در تخمین مقادیر پیش‌بینی شده نهایی داشته باشد که این‌کار با استفاده از روش اصلاح‌شده هال امکان‌پذیر است. همچنین بررسی تأثیر عوامل مختلف بر دقت مدل نشان داد که حساسیت مدل به تغییر بافت خاک و ضرایب نفوذ و همچنین دبی ورودی جریان، بیشتر از سایر عوامل مانند شیب زمین است و لازم است در برداشت این داده‌ها دقت بیشتر مبذول شود.

نتیجه‌گیری

برمبنای تحقیق حاضر نتایج زیر به دست آمد:

- حجم ذخیره زیرسطحی در روش هال اصلاح‌شده با مقادیر واقعی مطابقت بیشتری دارد.
- استفاده از روش اصلاح‌شده هال و تخمین دقیق‌تر حجم ذخیره زیرسطحی، به‌خوبی می‌تواند دقت مدل را در تخمین مسافت پیشروی نسبت به روش هال افزایش دهد.

سپاسگزاری

در این تحقیق از برخی داده‌های پایان‌نامه کارشناسی ارشد گلستانی از دانشگاه شهرکرد و رساله دکتری اسفندیاری از University of Western Sydney استفاده شده است که بدین وسیله از ایشان سپاسگزاری می‌شود. همچنین از نظرات ارزشمند آقای دکتر صدرالدینی از دانشگاه تبریز که باعث ارتقا کیفیت مقاله شدند تقدیر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- طباطبائی س ح. ۱۳۸۳. تغییرات زمانی معادله نفوذ آب در آبیاری جویچه‌ای متأثر از بافت خاک و مدیریت خاک. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲- عباسی ف. محمودیان شوشتری م. خالقی م.ح. و کشاورز ع. ۱۳۷۵. تحقیق و مطالعه بروی مدل‌های آبیاری نواری و انتخاب مدل بهینه. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۳- گلستانی س. ۱۳۸۶. استفاده از ترم مومنتم معادله اینرسی صفر جهت بهبود جریان در آبیاری جویچه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۴- گلستانی س. طباطبائی س. ح. و شایان‌نژاد م. ۱۳۸۹. اصلاح مدل بیلان حجمی با بهبود ترم ذخیره سطحی برای آبیاری جویچه‌ای. دانش کشاورزی دانشگاه تبریز (زیر چاپ)

5- Alazba A. 1994. Correct form of hall technique for border irrigation advance. Journal of Irrig & Drain Eng, ASCE. 120(2):292-307.

6- Esfandiari M. 1995. Evaluation of furrow irrigation models for south-east Australia. Ph.D. Dissertation University of Western Sydney, Sydney, Australia.

7- Esfandiari M. and Maheshwari B.L. 1997. Field value of the shape factor for estimating surface storage in furrow on a clay soil. Journal of Irrigation Science: 531-535.

8- Holzapfeel E.A. Marino M.A. and Chaves-morales J. 1984. Comparison and selection of furrow irrigation model. Journal of Agricultural Water Management. 9:105-125.

9- Valiantzas J. D. 1994. Border advance using improved volume-balance model. Journal of Irrig & Drain Eng, ASCE. 119(6):1006-1012.

10- Valiantzas D. 2001. Optimal furrow design, I:time of advance equation. Journal Irrig & Drain Eng, ASCE. 127(4): 201-208.

www.SID.ir