مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۰/ شماره ۳/سال ۱۳۸۸/ص ۹۴-۸۳

ارزیابی مدل EVALUE برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای

هادی رمضانی اعتدالی*، عبدالمجید لیاقت و فریبرز عباسی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۲۲۴۱۱۱۱۹(۰۲۶۱)، پیام‌نگار: hadiramezani@ut.ac.ir

** به‌ترتیب دانشجو دکتری؛ دانشیار گروه آموزشی مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛ و دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۹؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۵

چکیده

ضریب زبری مانینگ از مهمترین پارامترها در طراحی و ارزیابی آبیاری سطحی است. با وجود اهمیت زیاد این پارامتر، تخمین آن در آبیاری سطحی و به خصوص در آبیاری جویچه‌ای، بسیار دشوار است. در این تحقیق، برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای از مدل EVALUE استفاده شد. اساس مدل EVALUE بر رابطهٔ بیلان حجم است و پارامترهای رابطهٔ نفوذ کوستیاکف شاخه‌ای و ضریب زبری مانینگ را به طور همزمان در مزارع آبیاری سطحی برآورد می‌کند. مهمترین ورودی مدل EVALUE، عمق جریان در نقاط مختلف طول جویچه در زمان‌های مختلف است. برای بررسی صحت نتایج مدل EVALUE، با استفاده از نرم‌افزار SIRMOD و مقادیر تخمین زده شده پارامترهای نفوذ رابطهٔ کوستیاکف شاخه‌ای و ضریب زبری مانینگ، مراحل پیشروی و پسروی جویچه‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. مقدار ضریب زبری برآورد شده برای جویچه‌های مورد مطالعه بین ۰/۰۲۰ تا ۰/۱۰۲ متغیر بود. نتایج به دست آمده از مدل EVALUE توانست با دقت قابل قبولی مرحله پسروی را که حساسیت بیشتری به ضریب زبری مانینگ دارد شبیه‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی

آبیاری جویچه‌ای، ضریب زبری مانینگ، مدل EVALUE

مقدمه

از عوامل مهم در حرکت آب در آبیاری جویچه‌ای، مقاومت در مقابل جریان آب است. نیروی مقاومتی که از کف جویچه بر آب اعمال می‌شود عبارت است از تنش برشی و نیروی مقاومت ناشی از عوامل جانبی مانند زبری سطح خاک و پوشش گیاهی. این مقاومت‌ها، در خلاف جهت حرکت آب در جویچه ایجاد عامل زبری می‌کند که با ضریب زبری مانینگ (n) بیان می‌شود (Gilley & Finkner, 1991; Bakery *et al.*, 1992; Sepaskhah & Bondar, 2002). علاوه بر زبری سطح خاک، عواملی مانند عمق، شیب، و شدت جریان نیز در مقدار ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای اهمیت دارند (Esfandiari & Maheshwari, 1998; Diaz, 2005). استرلکف و همکاران (Strelkoff *et al.*, 2000) پیشنهاد نمودند که در تخمین ضریب زبری مانینگ، مقاومت سطحی خاک و مقاومت پوشش گیاهی در برابر جریان جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی، به خصوص در آبیاری جویچه‌ای، دشوار است؛ این پارامتر یکی از مهمترین پارامترها در طراحی و ارزیابی سامانه‌های آبیاری سطحی است (Harun-ur-Rashid, 1990; Valiantzas, 1994; Mailapalli *et al.*, 2008). نتایج مطالعات کلمنز و همکاران (Clemmens *et al.*, 2001) نیز نشان می‌دهد که مقدار ضریب زبری مانینگ در هر آبیاری

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

متغیر است و حتی شبیه‌سازی مراحل پیشروی و پسروی با مقدار مشابه باعث خطای نسبتاً قابل توجهی در تخمین آن خواهد شد.

برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری سطحی، روش‌های زیادی ارائه شده است. تروت (Trout, 1992) با اجرای آزمایش‌های زیاد روی جویچه‌هایی به طول ۶ متر و با فرض یکنواخت بودن سرعت جریان، دو معادلهٔ تجربی توانی و نمایی برای تخمین ضریب زبری مانینگ ارائه داد:

$$n = 0.0086\, V^{-0.65} \qquad (۱)$$

$$n = 0.048e^{(-5.85V)} + 0.01 \qquad (۲)$$

که در این دو رابطه، V= سرعت جریان (متر بر ثانیه)؛ و n = ضریب زبری مانینگ[1] (متر$^{1/6}$) است. در روابط فوق، V از تقسیم دبی جریان بر متوسط سطح مقطع جریان در طول مسیر محاسبه می‌شود.

سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002) برای آبیاری جویچه‌ای تحت کشت گندم با دبی‌های مختلف (۰/۴، ۰/۸، و ۱/۱ لیتر بر ثانیه) و شیب‌های متفاوت (۰/۲ و ۰/۴ درصد) آزمایش‌هایی در دو مرحله آبیاری (قبل و بعد از جوانه‌زنی گندم) اجرا و روابطی تجربی برای تخمین ضریب زبری مانینگ ارائه دادند. این محققان، روابط ۳ و ۴ را برای آبیاری‌های قبل از جوانه‌زنی و رابطهٔ ۵ را برای بعد از جوانه‌زنی و وجود پوشش گیاهی در جویچه‌ها پیشنهاد دادند:

$$n = 0.1162 - 0.05037Q \qquad (۳)$$

$$n = 0.145 - 0.0142(N_0) - 0.0504Q \qquad (۴)$$

$$n = 0.0903 + 0.000791C - 0.04Q \qquad (۵)$$

که در آن، Q= دبی ورودی به جویچه (لیتر بر ثانیه)؛ N_0 = شمارهٔ آبیاری (قبل از جوانه‌زنی)؛ و C= پوشش گیاهی (درصد) است.

نتایج تحقیق سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002) همچنین نشان داد که در آبیاری اول ضریب زبری بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۲۱ است اما در آبیاری دوم و سوم ۶۰ تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. بعد از آبیاری سوم وجود پوشش گیاهی گندم باعث افزایش ضریب زبری می‌شود. به‌طوری‌که کمترین ضریب زبری در آبیاری سوم و بیشترین آن در آبیاری هفتم به‌ترتیب ۰/۰۴۷ و ۰/۱۳۶ است.

سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS)[2] (Anon, 1974) مقدار ضریب زبری مانینگ را برای جویچه‌های لخت در آبیاری اول ۰/۰۴ و برای آبیاری دوم ۰/۰۲ پیشنهاد کرده است. چاو (Chow, 1959) نیز ضریب زبری مانینگ را برای زمین‌های شخم‌خورده بدون پوشش گیاهی بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ توصیه می‌کند. لی و ژانگ (Li & Zhang, 2001) یک روش تحلیلی برای تعیین ضریب زبری مانینگ در آبیاری نواری ارائه دادند. برای سهولت، این محققان پروفیل سطحی و زیرسطحی جریان را به صورت چندجمله‌ای درجهٔ ۲ فرض کردند.

هارون الرشید (Harun-ur-Rashid, 1990) برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای و کرتی، فرم دیفرانسیلی معادلهٔ پیوستگی و رابطهٔ مانینگ را با استفاده از روش اختلافات محدود پیشرونده[3] حل کرد و توانست تغییرات زمانی و مکانی ضریب زبری مانینگ را پیدا کند. نتایج مطالعات وی نشان داد که مقادیر محاسبه شده در این روش با مقادیر پیشنهادی در مطالعات دیگر همخوانی مناسبی دارد و بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ تغییر می‌کند.

1- Manning Roughness Coefficient
2- Natural Resources Conservation Service
3- Forward Finite Difference Method

سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002) روش فوق را برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای به‌کار بردند و علاوه بر روش اختلافات محدود پیشرونده، معادلات مربوط را با روش اختلافات محدود پسروندهٔ درجه دو[1] نیز حل کردند. نتایج این دو روش نشان داد که روش اول ضریب زبری را کمتر از روش دوم تخمین می‌زند. استرلکف و همکاران (Strelkoff *et al.*, 1999) سه روش مهم برای تخمین ضریب زبری مانینگ ارائه دادند. در روش اول برای تخمین ضریب زبری با فرض جریان یکنواخت ($S_0 = S_f$) و رسیدن عمق جریان به عمق نرمال از معادله مانینگ استفاده می‌شود. فرض جریان یکنواخت برای شیب‌های نسبتاً زیاد مطرح است و این روش در شیب‌های کمتر از ۰/۰۰۱ کارآیی مناسبی نخواهد داشت. روش دوم استفاده از مدل‌های ریاضی موجود در آبیاری سطحی و انتخاب بهترین مقدار ضریب زبری مانینگ با سعی و خطاست. در این روش، ضرایب زبری مختلف را به مدل می‌دهند و نتایج پیش‌بینی فاز پیشروی و پسروی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌شود. این روش نیز به علت تکرارهای زیاد و پارامترهای ورودی نسبتاً زیاد مدل‌ها چندان مناسب نخواهد بود. در روش سوم نیز ضریب زبری از رابطه مانینگ محاسبه می‌شود. ولی در این رابطه از شیب سطح آب استفاده خواهد شد. برای تعیین شیب سطح آب لازم است عمق جریان در نقاط مختلف اندازه‌گیری شود. این روش در مزارع با شیب کم روش مناسبی است هر چند اندازه‌گیری‌های موردنیاز این روش دشوار و وقت‌گیر است. استرلکف و همکاران (Strelkoff *et al.*, 1999) برای تخمین ضریب زبری مانینگ در مزارع اطراف رودخانه نیل به علت شیب کم منطقه، از روش سوم استفاده کردند. برای سهولت محاسبات، مدل EVALUE را بر اساس روش سوم پیشنهاد کردند. عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2003) برای تخمین ضریب زبری مانینگ در جویچه‌های انتها بسته و با شیب کم از مدل EVALUE استفاده و مقادیر ضریب زبری مانینگ را در آبیاری اول جویچه‌های لخت و انتهابسته بین ۰/۰۶۶ تا ۰/۰۸۱ برآورد کردند.

واکر (Walker, 2005) یک روش بهینه‌سازی چند سطحی را برای تخمین ضریب زبری مانینگ (n) و پارامترهای معادلهٔ نفوذ کوستیاکف- لوئیس (رابطه ۶) معرفی کرد:

$$z = k\tau^{\alpha} + f_0 t \qquad (۶)$$

که در آن، z = نفوذ تجمعی (میلی‌متر)؛ τ = زمان نفوذ (دقیقه)؛ و k = (میلی‌متر بر (دقیقه$^{\alpha}$))؛ α (بدون بعد)؛ و f_0 (میلی‌متربر دقیقه) ثابت‌های تجربی هستند. وی با آنالیز حساسیت نشان داد مراحل پیشروی و پسروی به‌ترتیب به پارامترهای k و n و هیدروگراف رواناب خروجی به α و f_0 حساسیت بیشتری دارند. روش پیشنهادی واکر (Walker, 2005) روشی بر مبنای سعی و خطا با مدل SIRMOD است و به اطلاعات زیادی مانند اندازه‌گیری مراحل پیشروی، پسروی، و هیدروگراف رواناب خروجی نیاز دارد.

استرلکف و همکاران (Strelkoff *et al.*, 2009)، روش‌های موجود در تخمین پارامترهای معادلات نفوذ و ضریب زبری مانینگ را به دو بخش کلی تقسیم کردند. بخش اول دارای حل مستقیم است و از معادلهٔ بیلان حجم و با فرضیاتی ساده کننده استفاده می‌شود. در بخش دوم نیز از حل معکوس استفاده و با سعی و خطا و مقایسهٔ نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده، پارامترهای معادلات نفوذ و ضریب زبری مانینگ تخمین زده خواهد شد. کاربرد هر یک از این روش‌ها بستگی به هدف استفاده و دقت تعیین نتایج دارد. اما نتایج روش دوم باید از نظر قابل اعتماد بودن، همگرایی، و منحصر به فرد بودن نتایج بررسی بیشتری شود (Strelkoff *et al.*, 2009; Bautista *et al.*, 2009).

1- Backward Secondary Finite Difference Method

هدف از این تحقیق، تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از مدل EVALUE و ارزیابی نتایج از طریق مقایسهٔ منحنی پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل SIRMOD است.

مواد و روش‌ها

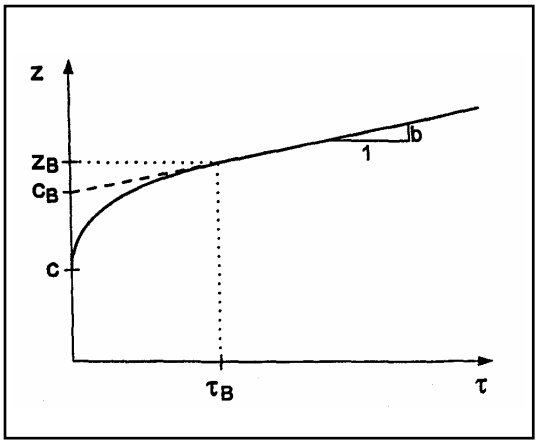
مدل EVALUE

این مدل برای مزارع با شیب کم پیشنهاد شده است و در آن معادلات پیوستگی، مومنتم، و مانینگ به صورت همزمان حل می‌شوند. در این مدل به علت ناچیز بودن سرعت جریان، به خصوص در مزارع با شیب کم، از عبارت‌های شتاب معادله مومنتم صرف نظر و در حقیقت از مدل اینرسی- صفر استفاده می‌شود.

این مدل علاوه بر ضریب زبری مانینگ، ضرایب معادلهٔ کوستیاکف شاخه‌ای[1] (رابطه ۷) را نیز محاسبه می‌کند. علت انتخاب معادلهٔ کوستیاکف شاخه‌ای، توانایی این معادله برای نشان دادن شدت نفوذ در ابتدا و در ادامه رسیدن به مقداری ثابت از شدت نفوذ است (شکل ۱). این معادله در خاک‌های تازه شخم خورده و سله بسته به خوبی جواب می‌دهد.

$$\begin{cases} z = c + k\tau^{a} & \tau \le \tau_B \\ z = c_B + b\tau & \tau > \tau_B \end{cases} \qquad (۷)$$

در این رابطه، z = نفوذ تجمعی (میلی‌متر)؛ τ = زمان نفوذ (دقیقه)؛ τ_B = زمان رسیدن به سرعت نفوذ نهایی و k، a، c، b و c_B ثابت‌های تجربی هستند.



شکل ۱- معادلهٔ نفوذ کوستیاکف شاخه‌ای

این مدل علاوه بر آبیاری جویچه‌ای، در آبیاری نواری و کرتی نیز کاربرد دارد و فقط برای حالتی قابل استفاده خواهد بود که انتهای مزرعه بسته است و هیچ رواناب خروجی وجود ندارد. ورودی‌های مدل شامل فواصل جویچه‌ها، پروفیل عرضی جویچه‌ها، هیدروگراف جریان ورودی، و عمق جریان در هر ایستگاه در زمان‌های مختلف است.

1- Kostiakov Branch Function

آزمایش‌های مزرعه‌ای

در این تحقیق از ۲ سری اطلاعات مزرعه‌ای حاصل از تحقیقات عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2003, 2009) استفاده شد. سری اول آزمایش‌ها شامل جویچه‌های ۱، ۲، و۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی ماری‌کوپا در فینیکس ایالت آریزونا[1] و سری دوم آزمایش‌ها شامل جویچه‌های ۴، ۵، و ۶ در مزرعهٔ ۴۰۰ هکتاری موسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) است. در جویچه‌های ۱ تا ۳ بافت خاک لوم‌شنی، طول ۱۱۵ متر و شیب کف ۰/۰۰۰۱ متر بر متر و در جویچه‌های ۴ تا ۶ بافت خاک لومی، طول ۱۷۵ متر و شیب کف بین ۰/۰۰۵۹ تا ۰/۰۰۶۷ متر بر متر متغیر بوده است. برای هر ۶ جویچه، ۲ جویچهٔ جانبی برای حذف اثر حاشیه ایجاد و اندازه‌گیری‌ها تنها در جویچهٔ میانی اجرا شده است. تمامی جویچه‌ها انتها بسته هستند و لذا امکان استفاده از اطلاعات آنها در مدل EVALUE وجود دارد. اندازه‌گیری‌ها در جویچه‌های ۱ تا ۳ مربوط به آبیاری اول و در جویچه‌های ۴ تا ۶ مربوط به آبیاری سوم بوده است. همچنین در جویچه‌های ۴ تا ۶ از کاهش جریان[2] استفاده شده است. خلاصه‌ای از اطلاعات مزرعه‌ای مربوط به هر جویچه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی از اطلاعات جویچه‌های آزمایشی مورد مطالعه

شماره جویچه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
طول جویچه (متر)	۱۱۵	۱۱۵	۱۱۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵
فاصله جویچه‌ها (متر)	۱	۱	۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
شیب کف (متر بر متر)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۶۴
زمان کاهش جریان (دقیقه)	-	-	-	۴۱	۵۵	۲۹
زمان قطع جریان (دقیقه)	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
متوسط دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)	۱/۲۹	۱/۳۲	۱/۲۸	۰/۶۷	۰/۹۸	۰/۷۲
پارامترهای هیدرولیکی جریان						
ρ_1	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۱۷
ρ_2	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۲/۸۲	۲/۸۳	۲/۶۱
پارامترهای هندسی جویچه						
σ_1	۱/۳۱	۱/۳۱	۱/۳۱	۰/۷۳	۱/۰۹	۱/۳۲
σ_2	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۶۵	۱/۵۰	۱/۵۳	۱/۷۱

1- Maricopa Agricultural Center (MAC), Maricopa, Phoenix, Arizona.
2- Cutback

در تمام جویچه‌ها علاوه بر زمان پیشروی و پسروی، عمق جریان نیز در ایستگاه‌هایی به فاصلهٔ ۲۰ متر از یکدیگر با استفاده از خط‌کش‌های نصب شده در کف جویچه در زمان‌های مختلف اندازگیری شده است. پس از رسیدن آب به هر ایستگاه تا ۱۰ دقیقه بعد از آن، عمق آب به صورت ۲-۱ دقیقه‌ای و پس از آن هر ۱۰-۵ دقیقه و پس از قطع جریان نیز هر ۵-۲ دقیقه قرائت شده است.

پروفیل عرضی جویچه‌ها قبل و بعد از آبیاری در ۳ مقطع از طول جویچه (ابتدا، وسط، و انتها) با پروفیل‌سنج اندازه‌گیری و میانگین آنها به عنوان پروفیل عرضی در نظر گرفته شد. همچنین، برای شبیه‌سازی مراحل پیشروی و پسروی در هرجویچه با مقادیر تخمینی ضریب زبری مانینگ و پارامترهای معادلهٔ نفوذ و مقایسهٔ آن با نتایج مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده، از نرم‌افزار SIRMOD و مدل هیدرودینامیک کامل[1] (Walker, 2003) استفاده شد.

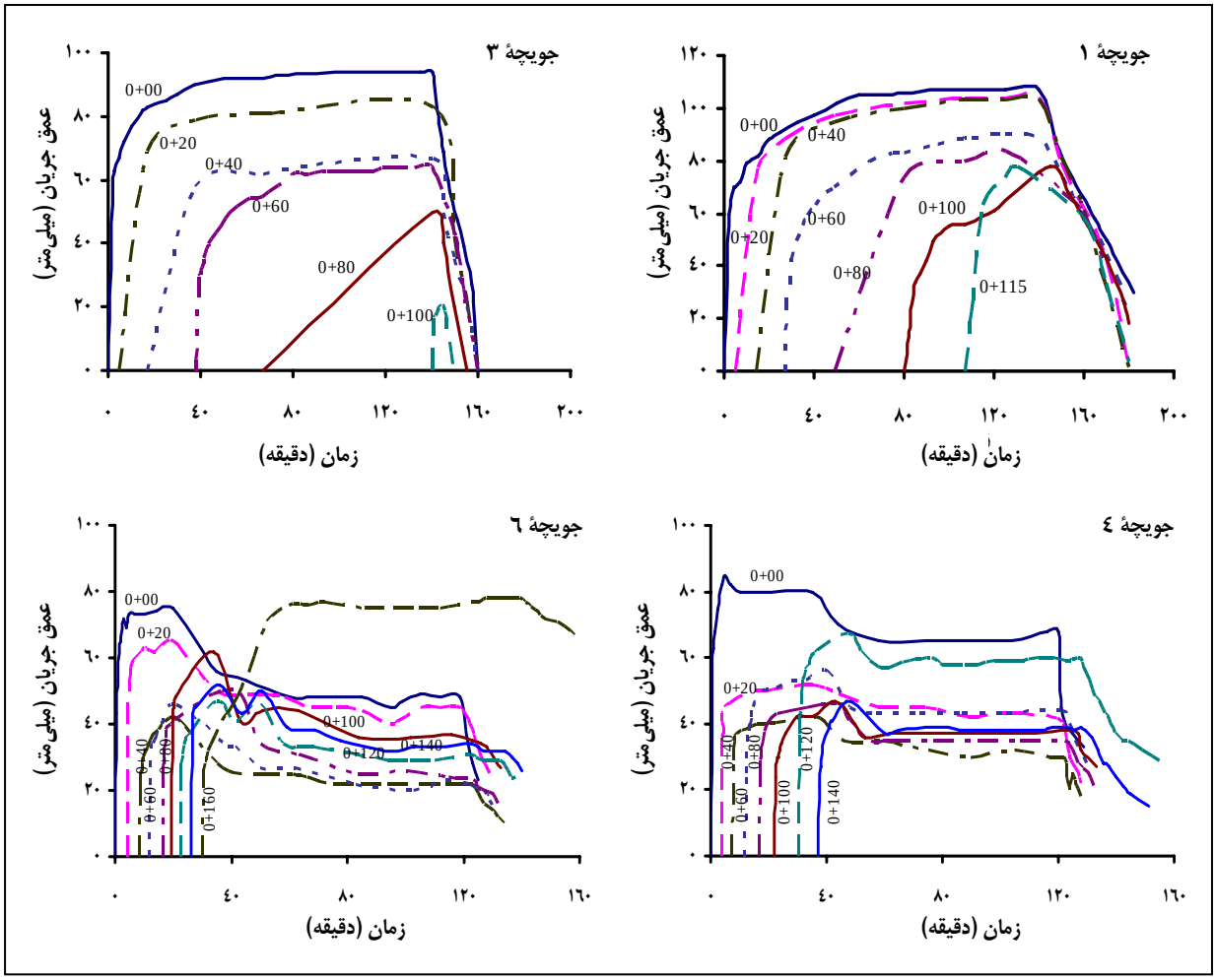
نتایج و بحث

قبلاً نیز اشاره شد که عمق جریان در ایستگاه‌های مختلف و در زمان‌های مختلف مهمترین پارامتر ورودی به مدل EVALUE است. نتایج اندازه‌گیری عمق جریان در ایستگاه‌های مختلف و در زمان‌های متفاوت برای برخی از جویچه‌ها در شکل ۲ آمده است. همان‌طور که از شکل مشخص است هیدروگراف عمق جریان برای جویچه‌های ۱ و ۳ و جویچه‌های ۴ و ۶ مشابه یکدیگر است. البته برای جویچهٔ ۳، مرحلهٔ پیشروی کامل نشده است. همچنین در جویچه‌های ۴ و ۶ برگشت آب[2] بر اثر بسته بودن انتهای جویچه و شیب نسبتاً زیاد کف مشخص است.

پس از جمع‌آوری و آماده کردن اطلاعات ورودی به فرم مورد نظر مدل، نتایج ضرایب معادلهٔ کوستیاکف شاخه‌ای و زبری مانینگ برای هر جویچه محاسبه شده و در جدول ۲ آمده است. در این جدول، برای ضریب زبری مانینگ ۳ مقدار n_1، n_2، و $\overline{n}$ آمده است. علت این امر آن است که مدل یک‌بار n را بر اساس مقادیر میانگین از شیب هیدرولیکی، عمق جریان، و دبی (n_1) و بار دیگر برای هر ایستگاه و در هرگام زمانی تخمین می‌زند و میانگین آنها را به عنوان n_2 در نظر می‌گیرد. بر اساس پیشنهاد استرلکف و همکاران (Strelkoff *et al.*, 1999)، بهتر است متوسط این دو مقدار به عنوان ضریب زبری مانینگ ($\overline{n}$) در نظر گرفته شود.

با توجه به اینکه ضریب زبری مانینگ برای جویچه‌های ۱ تا ۳ مربوط به آبیاری اول و برای جویچه‌های ۴ تا ۶ برای آبیاری سوم است، مقدار بیشتر ضریب زبری برای ۳ جویچهٔ اول کاملاً منطقی و توجیه‌پذیر است. همچنین، در جدول ۲ بیشترین و کمترین مقدار ضریب زبری مانینگ به‌ترتیب برای جویچه‌های ۳ و ۶ به دست آمده است. زمان پیشروی در جویچه‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب ۱۰۷ و ۱۱۴ دقیقه و در جویچهٔ ۳ فاز پیشروی کامل نشده است، لذا در بین ۳ جویچه اول بیشینه بودن ضریب زبری مانینگ برای جویچه ۳ قابل پیش‌بینی بود. همچنین، برای جویچه‌های ۴، ۵، و ۶ زمان پیشروی به‌ترتیب برابر با ۵۵، ۱۲۳، و ۳۹ دقیقه است و کمینه بودن ضریب زبری مانینگ برای جویچه ۶ منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد. البته این اختلاف‌ها می‌تواند به پارامترهای معادلهٔ نفوذ نیز مرتبط باشد، اما به‌طورکلی نمی‌توان اثر ضریب زبری مانینگ را نادیده گرفت.

1 - Full Hydrodynamic Model
2- Backwater



شکل ۲- تغییرات عمق جریان نسبت به زمان در ایستگاه‌های مختلف برای برخی از جویچه‌ها

در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقدار c برای ۳ جویچهٔ اول برابر با ۶ میلی‌متر و برای ۳ جویچه دوم برابر صفر تخمین زده شده است؛ در ۳ جویچهٔ اول، نوبت آبیاری اول بوده و زمین تازه شخم خورده، وجود نفوذ آنی (c) برای آنها منطقی است و برای جویچه‌های ۴، ۵، و۶ به دلیل آبیاری‌های قبلی مقدار c ناچیز است (Strelkoff *et al.*, 2009). همچنین به علت زمان کوتاه آبیاری نسبت به زمان رسیدن به نفوذ نهایی (τ_B)، در هیچ یک از جویچه‌ها مقدار نفوذ به نفوذ نهایی نرسیده و مقدار b (سرعت نفوذ نهایی) صفر تخمین زده شده است که این موضوع نیز کاملاً توجیه‌پذیر است (Strelkoff *et al.*, 1999).

جدول ۲- پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ برای جویچه‌های مورد مطالعه

پارامتر	جویچهٔ ۱	جویچهٔ ۲	جویچهٔ ۳	جویچهٔ ۴	جویچهٔ ۵	جویچهٔ ۶
k (میلی‌متر بر(ساعت^a))	۴۰	۴۵	۵۵	۲۷	۲۷	۲۵
a	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۸۰	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۵۵
c (میلی‌متر)	۶	۶	۶	۰	۰	۰
b (میلی‌متر بر ساعت)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
c_b (میلی‌متر)	۱	۱	۱	۱	۱	۱
τ_B^* (ساعت)	–	–	–	–	–	–
n_1 (متر$^{۱/۶}$)	۰/۰۸۹	۰/۰۷۳	۰/۱۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۳۰	۰/۰۱۸
n_2 (متر$^{۱/۶}$)	۰/۰۹۵	۰/۰۷۲	۰/۰۹۸	۰/۰۴۴	۰/۰۴۵	۰/۰۲۲
$\overline{n}$ (متر$^{۱/۶}$)	۰/۰۹۲	۰/۰۷۳	۰/۱۰۲	۰/۰۴۴	۰/۰۳۸	۰/۰۲۰

* در زمان کوتاه آبیاری، نسبت به زمان رسیدن به نفوذ نهایی (τ_B)، در جویچه‌ها مقدار نفوذ به نفوذ نهایی نرسیده است.

سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS)[1] مقدار ضریب زبری مانینگ را برای جویچه‌های لخت در آبیاری اول ۰/۰۴ پیشنهاد کرده است که با مقادیر تخمین زده برای ۳ جویچه اول تفاوت زیادی دارد (Anon, 1974). به نظر می‌رسد مقادیر پیشنهادی SCS چندان برای آبیاری اول دقیق نباشد، زیرا سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002)، نیز مقدار ضریب زبری مانینگ را برای آبیاری اول بین ۰/۰۷۰ تا ۰/۱۲۱ برآورد کرده‌اند. همچنین SCS مقدار ضریب زبری مانینگ را برای آبیاری‌های بعدی ۰/۰۲ پیشنهاد کرده که با جویچهٔ ۶، برابر و از جویچه‌های ۴ و ۵ کمتر است.

سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002) ضریب زبری مانینگ را برای آبیاری اول بین ۰/۰۷۰ تا ۰/۱۲۱ برآورد کرده‌اند که با نتایج حاصل از این مطالعه برای ۳ جویچهٔ اول (۰/۰۷۳ تا ۰/۱۰۲) نیز تطابق خوبی دارد. تفاوت اندک مشاهده شده مربوط به تفاوت در دبی و شیب دو مطالعه است. البته اثر شیب در مقدار ضریب زبری مانینگ بسیار کمتر از اثر دبی است (Sepaskhah & Bondar, 2002) و در این مطالعه دبی ورودی از حداکثر دبی ورودی در مطالعهٔ سپاسخواه و بندار (۱/۱ لیتر بر ثانیه) بیشتر است.

همچنین، سپاسخواه و بندار (Sepaskhah & Bondar, 2002) برای تخمین ضریب زبری مانینگ بر اساس نوبت آبیاری قبل از جوانه‌زنی گیاه رابطهٔ ۴ را ارائه دادند. با استفاده از این رابطه، ضریب زبری مانینگ برای جویچه‌های ۱ و ۳ برابر ۰/۰۶۵۸ و برای جویچهٔ ۲ برابر ۰/۰۶۴۲ محاسبه شد. همان‌طورکه مشخص است نتایج محاسبه شده از این رابطه و مدل در جویچه ۲ به هم نزدیک و در مورد جویچه‌های ۱ و ۳ اختلاف زیادی دارند. در مورد جویچه‌های ۴، ۵ و ۶ ضریب زبری مانینگ تخمین زده شده از رابطهٔ ۴ با مقادیر میانگین دبی ورودی به ترتیب برابر با ۰/۰۶۷۴، ۰/۰۵۳۱، و ۰/۰۶۶۳ است. علت اختلاف زیاد مشاهده شده در این جویچه‌ها ممکن است کاهش جریانی باشد که در حین آبیاری اعمال شده

1 - Soil Conservation Service

است. اگر در رابطهٔ ۴ به‌جای میانگین دبی ورودی، همان دبی ورودی اولیه قرار داده شود که تقریباً ۹۰ درصد فاز پیشروی با آن کامل شده است مقادیر ضریب زبری به‌ترتیب برابر ۰/۰۴۶۷، ۰/۰۳۱۹ ، و ۰/۰۲۰۳ به دست می‌آید که با مقادیر تخمینی مدل مشابهت بیشتری دارد.

به منظور بررسی دقت مدل EVALUE در تخمین پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ، فاز پیشروی و پسروی در هر ۶ جویچه با استفاده از نرم‌افزار SIRMOD و مدل هیدرودینامیک کامل، شبیه‌سازی شد (شکل ۳).

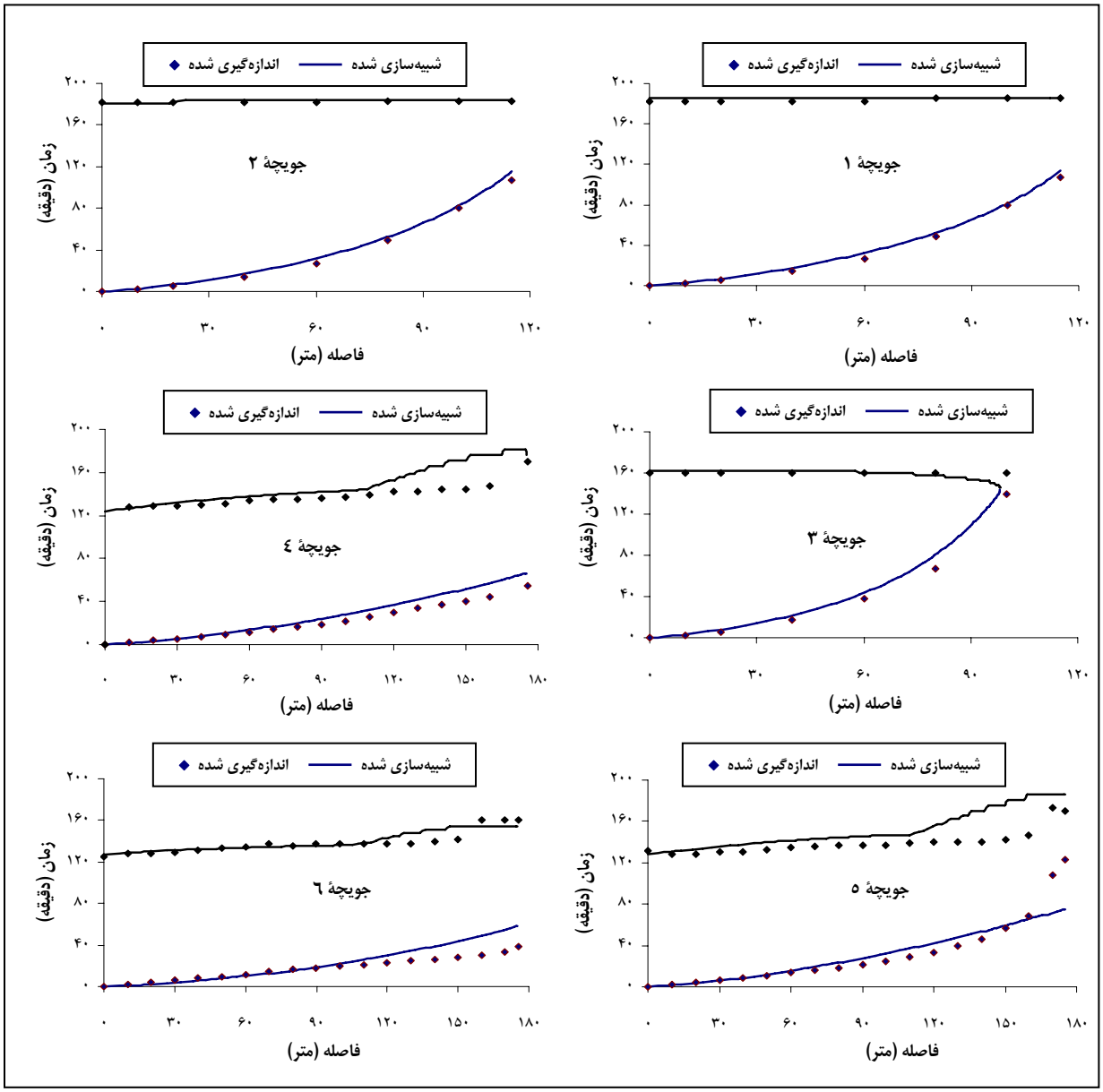
در این شکل کاملاً مشخص است که مدل EVALUE با دقت مناسبی توانسته است پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ را برای جویچه‌های ۱، ۲، و ۳ برآورد کند. اما در مورد جویچه‌های ۴، ۵ ، و ۶ تطابق مناسبی بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مزرعه‌ای مشاهده نمی‌شود. دلیل این ناهماهنگی را می‌توان در چند نکته دانست. در این ۳ جویچه، کاهش جریان رخ داده است؛ مدل SIRMOD با توجه به محدودیت پارامترهای ورودی به مدل، نتوانسته است مراحل پیشروی و پسروی را با اطلاعات ورودی ساده شده به خوبی شبیه‌سازی کند.

به علت شیب زیاد کف در این ۳ جویچه، از کارآیی مدل EVALUE که برای شیب‌های کم توصیه شده است کاسته می‌شود. و همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، کاهش جریان ممکن است از دقت مدل EVALUE در تخمین پارامترهای نفوذ و ضریب زبری مانینگ کاسته باشد.

از شکل جویچه‌های ۴، ۵، و ۶ مشخص است که در ابتدای جویچه‌ها تطابق مناسبی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده وجود دارد و در انتهای جویچه‌ها اختلاف بیشتر می‌شود و این موضوع اثر کاهش جریان و خطاهای حاصل از آن را نمایان‌تر می‌سازد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه، کارآیی مدل EVALUE را در آبیاری جویچه‌ای بررسی کرده است. اندازه‌گیری عمق جریان در زمان و فواصل مختلف از طول جویچه مهمترین ورودی مدل است و تا حدودی استفاده از این مدل را دشوار می‌سازد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که مدل EVALUE برای تخمین ضریب زبری مانینگ در مزارعی مناسب است که شیب آنها کم است و رواناب سطحی ندارند؛ همچنین، این مدل می‌تواند با دقت نسبتاً خوبی ضریب زبری مانینگ و ضرایب معادلهٔ نفوذ کوستیاکف شاخه‌ای را به خصوص در مواردی برآورد کند که جریان ورودی به جویچه ثابت باشد. مقایسهٔ مراحل پسروی اندازه‌گیری شده با فاز پسروی شبیه‌سازی شده در مدل‌های ریاضی، روشی مناسب برای بررسی صحت مقادیر تخمین زده شده برای ضریب زبری مانینگ است. پیشنهاد می‌شود توانایی این مدل در آبیاری نواری و کرتی نیز بررسی شود. پیشنهاد می‌شود از این مدل برای تخمین ضریب زبری مانینگ در آبیاری‌های بعد از جوانه‌زنی گیاه و وجود پوشش گیاهی استفاده و نتایج حاصل از آن به دقت بررسی شود. پیشنهاد می‌شود دقت مدل EVALUE در تخمین پارامترهای معادلهٔ نفوذ کوستیاکف شاخه‌ای به دقت بررسی و نتایج حاصل از مدل با روش‌های موجود برای تخمین این پارامترها مقایسه شود.



شکل ۳- مقایسهٔ مراحل پیشروی و پسروی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در جویچه‌ها

مراجع

Abbasi, F., Liaghat, A. and Ganjeh, A. 2009. Evaluation of fertigation uniformity in furrow irrigation. J. Water and Soil. Agric. Sci. 40(1). (In press). (in Farsi)

Abbasi, F., Simunek, J., van Genuchten, M. T., Feyen, J., Adamsen, F. J., Hunsaker, D. J., Strelkoff, T. S. and Shouse, P. 2003. Overland water flow and solute transport: model development and field-data analysis. J. Irrig. Drain. Eng. 129(2):71-81.

Anon. 1974. Border irrigation. National Engineering Handbook. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Washington DC.

Bakery, M. F., Gater, T. K. and Khattab, A. F. 1992. Field measured hydraulic resistance characteristics in vegetation infested canals. J. Irrig. Drain. Eng. 118, 256-274.

Bautista, E., Clemmens, A. J. and Strelkoff. T. S. 2009. Structured application of the two-point method for the estimation of infiltration parameters in surface irrigation. J. Irri. Drain. Eng. (In press).

Chow, V. T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill. New York.

Clemmens, A. J., Eisenhauer, D. E., and Maheshwari, B. L. 2001. Infiltration and roughness equations for surface irrigation: how form influences estimation. ASAE Paper No. 01-2255. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Diaz, G. 2005. Analysis of manning coefficient for small-depth flows on vegetated beds. Hydrol. Process. 19, 3221-3233.

Esfandiari, M. and Maheshwari, B. L. 1998. Suitability of selected flow equation and variation of Manning's *n* in furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Eng. 124(2): 89-95.

Gilley, J. E. and Finkner, S. C. 1991. Hydraulic roughness coefficients as affected by random roughness. Trans. ASAE. 34: 897-903.

Harun-ur-Rashid, M. 1990. Estimation of maning's roughness coefficient for basin and border irrigation. Agric. Water Manage. 18, 29-33.

Li, Z. and Zhang, J. 2001. Calculation of field Manning's roughness coefficient. Agric. Water Manage. 49, 153-161.

Mailapalli, D. R., Raghuwanshia, N. S., Singh, R., Schmitz, G. H. and Lennartz. F. 2008. Spatial and temporal variation of Manning's roughness coefficient in furrow irrigation. J. Irrig. Drain. Eng. 134(2): 185-192.

Sepaskhah, A. R. and Bondar. H. 2002. Estimation of Manning roughness coefficient for bare and vegetated furrow irrigation. J. Biosys. Eng. 82(3): 351–357.

Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J. and Bautista. E. 2009. Estimation of soil and crop hydraulic properties. J. Irrig. Drain. Eng. (In press).

Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J. and Bautista. E. 2000. Field parameter estimation for surface irrigation management and design. In: Flug, M. and Frevert, D. (Eds.) Watershed Management 2000 Science and Engineering Technology for the New millennium. ASCE. Conf. Fort Collins. CO. Reston.

Strelkoff, T. S., Clemmens, A. J., El-Ansary, M. and Awad, M. 1999. Surface irrigation evaluation models: Application to level basin in Egypt. Trans. ASAE. 42(4): 1027-1036.

Trout, T. J. 1992. Furrow flow velocity effect on hydraulic roughness. J. Irrig. Drain. Eng. 118(6): 981–987.

Valiantzas, J. D. 1994. Simple method for identification of border infiltration and roughness characteristics. J. Irrig. Drain. Eng. 120, 233-249.

Walker, W. R. 2003. SIRMOD III- Surface irrigation simulation, evaluation and design. guide and technical documentation. Dept. of Biological and Irrigation Engineering. Utah State University. Logan. Utah.

Walker, W. R. 2005. Multilevel calibration of furrow infiltration and roughness. J. Irrig. Drain. Eng. 131(2): 129-136.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.10/No.3/2009/P: 83-94*

Evaluation of EVALUE Model to Estimate the Manning Roughness Coefficient in Furrow Irrigation

H. Ramezani Etedali*, A. M. Liaghat and F. Abbasi

*Corresponding Author: Ph.D. Student of Tehran University. P. O. Box: 4111, Tehran, Iran. E-mail: hadiramezani@ut.ac.ir

The Manning roughness coefficient is an important parameter in the design and evaluation of furrow irrigation. Despite its importance, estimation of this parameter for surface irrigation is very difficult, particularly in furrow irrigation. In this study, an EVALUE model was used to estimate the Manning roughness coefficient in furrow irrigation. The model was based on volume balance and developed to estimate the Manning roughness coefficient in surface irrigation. EVALUE also estimates both infiltration parameters of the modified Kostiakov branch function. The main input for EVALUE is depth of flow along the furrow at different times. Evaluation of this model was carried out by comparing simulated advance and resection phases using SIRMOD software based on the estimated parameters and the measured data. The estimated values of the Manning roughness coefficient ranged from 0.02 to 0.102. This model was able to simulate the resection phase, which was more sensitive to the Manning roughness coefficient, closely.

Key Words: EVALUE Program, Furrow irrigation, Manning Roughness Coefficient