

کاربرد سرعت متوسط عمقی در تخمین ضریب پخش طولی آلودگی در رودخانه‌ها

جلیل ابریشمی^۲

محمود فغفور مغربی^۲

محمد گیوه‌چی^۱

(دریافت ۸۷/۱۰/۵ پذیرش ۸۷/۱/۲۳)

چکیده

تعیین پروفیل بستر رودخانه و توزیع سرعت متوسط عمقی به‌عنوان اطلاعات پایه در استفاده از معادلات تجربی و تحلیلی برای تخمین ضریب پخش طولی آلودگی، همواره مورد توجه محققان بوده است. با استفاده از مدل ساده ارائه شده توسط مغربی که توانایی تخمین خطوط هم سرعت بی بعد در مقطع عرضی رودخانه‌ها و کانال‌ها را داراست، می‌توان به تخمین توزیع سرعت متوسط عمقی مبادرت ورزید. اطلاعات مورد نیاز در این مدل شامل پروفیل بستر، توزیع تنش برشی و زبری بستر است. با مقایسه اطلاعات میدانی سرعت متوسط عمقی و ضریب پخش طولی آلودگی با سرعت متوسط عمقی تخمین زده شده با استفاده از روش مغربی و ضریب پخش طولی آلودگی که با استفاده از آن برآورد شد، نتیجه گردید که این روش از دقت مناسبی در تخمین سرعت متوسط عمقی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: ضریب پخش طولی، کانال باز، سرعت متوسط عمقی، مدیریت آلودگی.

Application of Depth-Averaged Velocity Profile for Estimation of Longitudinal Dispersion in Rivers

Mohammad Givehchi¹

Mahmoud Faghfour Maghrebi²

Jalil Abrishami³

(Received Dec. 26, 2008 Accepted Apr. 12, 2009)

Abstract

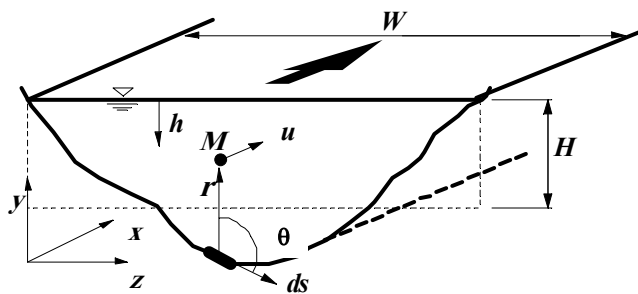
River bed profiles and depth-averaged velocities are used as basic data in empirical and analytical equations for estimating the longitudinal dispersion coefficient which has always been a topic of great interest for researchers. The simple model proposed by Maghrebi is capable of predicting the normalized isovel contours in the cross section of rivers and channels as well as the depth-averaged velocity profiles. The required data in Maghrebi's model are bed profile, shear stress, and roughness distributions. Comparison of depth-averaged velocities and longitudinal dispersion coefficients observed in the field data and those predicted by Maghrebi's model revealed that Maghrebi's model had an acceptable accuracy in predicting depth-averaged velocity.

Keywords: Longitudinal Dispersion Coefficient, Open Channel, Depth-Averaged Velocity, Pollution Management.

1- Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Sistan and Baluchestan University (Corresponding Author) (+98 541) 8052890 M.givehchi@Eng.usb.ac.ir
2- Assoc. Prof., Dept. of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول) ۸۰۵۲۸۹۰ (+۹۸ ۵۴۱) M.givehchi@Eng.usb.ac.ir
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

نتایج دقیق تری در تخمین ضریب پخش طولی آلودگی باید توجه بیشتری به تخمین دقیق تر از U_d داشت [۲]. از اینرو، هدف از این مقاله تخمین پروفیل عرضی سرعت متوسط عمقی با استفاده از مدل ساده‌ای بود که توسط مغربی ارائه شده است [۸ و ۹]. همچنین این مدل با روش سئو^۳ و بایک^۴ و اطلاعات میدانی مقایسه می‌گردد تا دقت آن مورد ارزیابی قرار گیرد [۱۰].



شکل ۱- تعریف نمادها و دستگاه مختصات سراسری

۲- پروفیل سرعت متوسط عمقی

اغلب روشهای ارائه شده برای تخمین پروفیل سرعت متوسط عمقی برای مقاطع خاص همچون مثلث، مستطیل و یا دوزنقه‌ای شکل ارائه شده‌اند و یا در مجاری متقارن قابل استفاده می‌باشند. سئو و بایک به منظور ایجاد توانایی و دقت بیشتر در مدل نمودن توزیع‌های مختلف پروفیل سرعت متوسط عمقی، استفاده از تابع چگالی احتمالی بتا را ارائه نمودند [۱۰]:

$$\frac{U_d}{U} = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} (z')^{\alpha-1} (1-z')^{\beta-1} \quad ; \quad 0 < z' < 1 \quad (5)$$

که در آن:

α و β پارامترهای تابع، z' فاصله بی بعد شده از کرانه چپ رودخانه، $\Gamma(\beta)$ و $\Gamma(\alpha)$ به ترتیب تابع گاما به ازای α و β می‌باشند. این تابع قادر به مدل نمودن پروفیل‌های سرعت متقارن، نامتقارن، تخت و دارای تحدب زیاد است. اما در این مدل نیاز به اطلاعات میدانی سرعت برای تعیین α و β می‌باشد. در صورت عدم دسترسی به این اطلاعات امکان استفاده از این روش وجود ندارد، مگر اینکه از مقادیر α و β به دست آمده از رودخانه‌های مشابه استفاده شود. مغربی در سال ۲۰۰۳ مدل ساده‌ای را ارائه نمود که توانایی تخمین خطوط هم سرعت بی بعد در مقطع عرضی داکت‌ها، رودخانه‌ها، کانال‌های باز و مستقیم و بدون انحنای طولی که دارای نامنظمی در زبری و هندسه کف باشند را دارد [۸]. در این روش با

فرایند جابه‌جایی و پخش آلودگی معمولاً توسط ضریب پخش طولی آلودگی بیان می‌گردد و روابط متعددی در خصوص تخمین این ضریب ارائه شده است [۱-۳]. این موضوع در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد که از آن جمله احیای روانابهای شهری را می‌توان نام برد [۴]. سرعت متوسط مقطع و پروفیل عرضی سرعت متوسط عمقی از جمله اطلاعاتی است که در این روابط استفاده می‌گردد [۵]. فیشر^۱ با استفاده از پروفیل عرضی سرعت متوسط عمقی، معادله‌ای انتگرالی برای تخمین ضریب پخش طولی آلودگی در رودخانه‌هایی که دارای نسبت عرض به عمق زیاد باشند را ارائه نمود [۶]:

$$K = -\frac{1}{A} \int_0^W h u' \left(\int_0^z \frac{1}{\varepsilon_t h} \left(\int_0^z h u' dz \right) dz \right) dz \quad (1)$$

که در این رابطه:

K ضریب پخش طولی، A سطح مقطع جریان، W عرض سطح آزاد آب، h عمق جریان، u' انحراف سرعت متوسط عمقی (U_d) از سرعت متوسط مقطع (U) و یا $u' = U_d - U$ ، ε_t ضریب اختلاط عرضی و Z مختصه عرضی اندازه‌گیری شده از کرانه چپ رودخانه می‌باشند (شکل ۱). فیشر همچنین رابطه ساده‌ای که برگرفته از رابطه ۱ بوده و بر اساس کمیت‌های بی بعد پایه‌گذاری شده بود را نیز ارائه نمود [۷]:

$$K = \frac{I r U^2 W_1^2}{E_t} \quad (2)$$

که در آن:

W_1 مشخصه طولی متناظر با برش حاصله از توزیع عرضی سرعت، E_t متوسط ضریب اختلاط عرضی در سطح مقطع جریان، I و r توسط روابط زیر تعریف می‌گردند

$$r = \frac{u'^2}{U^2} \quad (3)$$

$$I = -\int_0^1 h' u'' \left(\int_0^{z'} \frac{1}{h' \varepsilon_t'} \left(\int_0^{z'} h' u'' dz' \right) dz' \right) dz' \quad (4)$$

در رابطه ۴، متغیرهای بی بعد $h' = h/H$ ، $z' = z/W$ ، $u'' = u'/\sqrt{u'^2}$ ، $\varepsilon_t' = \varepsilon_t/E_t$ شده‌اند، که در آن H عمق متوسط آب در رودخانه می‌باشد. فیشر بر اساس تحقیقات خود $W_1 = 0.7W$ را به عنوان انتخابی مناسب در رودخانه‌های غیریکنواخت و غیر متقارن پیشنهاد نمود [۷]. دنگ و همکاران^۲ با تحلیل حساسیت نتیجه گرفتند که برای به دست آوردن

³ Seo

⁴ Baek

¹ Fischer

² Deng et al.

استفاده از سرعت متوسط مقطع و سرعت بی بعد در هر نقطه، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$u(Z, y) = \frac{\int_{\text{boundary}} c_1 c_2 \sin \theta u_* r^{1/m} ds}{U} = \frac{1}{A} \int_A \left(\int_{\text{boundary}} c_1 c_2 \sin \theta u_* r^{1/m} ds \right) dA \quad (6)$$

که در آن:

u سرعت جریان در نقطه‌ای دلخواه از سطح مقطع جریان، θ زاویه بین بردار وضعیت و بردار منطبق بر المان بستر، u_* سرعت برشی، r فاصله بین نقطه دلخواه M تا المان بستر (شکل ۱)، m عدد ثابت، c_1 و c_2 ضرایب ثابت و به ترتیب معرف زبری پیرامون مجرا و طبیعت جریان می‌باشند. با استخراج خطوط هم سرعت بی بعد با استفاده از اطلاعات سرعت بی بعد در نقاط مختلف سطح مقطع عرضی رودخانه، برآورد پروفیل عرضی سرعت متوسط عمقی امکان پذیر می‌گردد.

۳- اطلاعات میدانی

شش توزیع سرعت متوسط عمقی و ضریب انتشار طولی اندازه‌گیری شده از دلتای ساکرامنتو^۱ در کالیفرنیا شمالی و رودخانه کلینچ^۲ در آمریکا به عنوان اطلاعات میدانی انتخاب شده‌اند [۱۱ و ۱۲]. در جدول ۱، مشخصات متوسط ابعادی و هیدرولیکی جریان در این مقاطع درج شده است که در آن Q معرف دبی می‌باشد. در شکل ۲، اطلاعات سرعت متوسط میدانی که با تقسیم بر سرعت متوسط مقطع بی بعد گشته‌اند، برای هر مقطع رسم

^۱ Sacramento Delta

^۲ Clinch

شده‌اند. با استفاده از این اطلاعات میدانی، ضرایب α و β در معادله سنو و بایک (رابطه ۵) برای هر مقطع محاسبه گردید و سپس معادله سرعت عرضی ترسیم شد. در مدل مغربی با فرض یکنواختی زبری بستر و تنش برشی به علت عدم وجود اطلاعات میدانی در خصوص آنها، انتخاب $m=6$ که اغلب در رودخانه‌های طبیعی انتخاب می‌گردد [۹] و استفاده از رابطه ۶ به تخمین سرعت بی بعد در نقاط مختلف سطح مقطع رودخانه مبادرت شده است. در شکل ۲، خطوط بی بعد هم سرعت در سطح مقطع عرضی رودخانه‌ها که با استفاده از این اطلاعات رسم شده‌اند، نشان داده شده است. برای تخمین سرعت متوسط عمقی در فاصله مشخص z ، ابتدا کلیه نقاطی که سرعت آنها با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شده و دارای فاصله z از مبدأ می‌باشند، با یکدیگر جمع شده و سپس بر تعدادشان تقسیم می‌گردد. با انجام این محاسبه در فواصل مختلف عرضی، پروفیل سرعت متوسط عمقی به روش مغربی محاسبه می‌گردد. در قسمتهای مختلف شکل ۲ دیده می‌شود که پروفیل‌های سرعت متوسط عمقی ارائه شده توسط معادله سنو و بایک و مغربی، مخصوصاً در ناحیه میانی رودخانه، بسیار نزدیک به یکدیگر و نزدیک به اطلاعات سرعت میدانی می‌باشند. میزان این انطباق در جدول ۱ با استفاده از ضریب همبستگی R و متوسط خطای بین اطلاعات میدانی و اطلاعات تخمین زده شده توسط روشهای مختلف نشان داده شده است. ضریب همبستگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

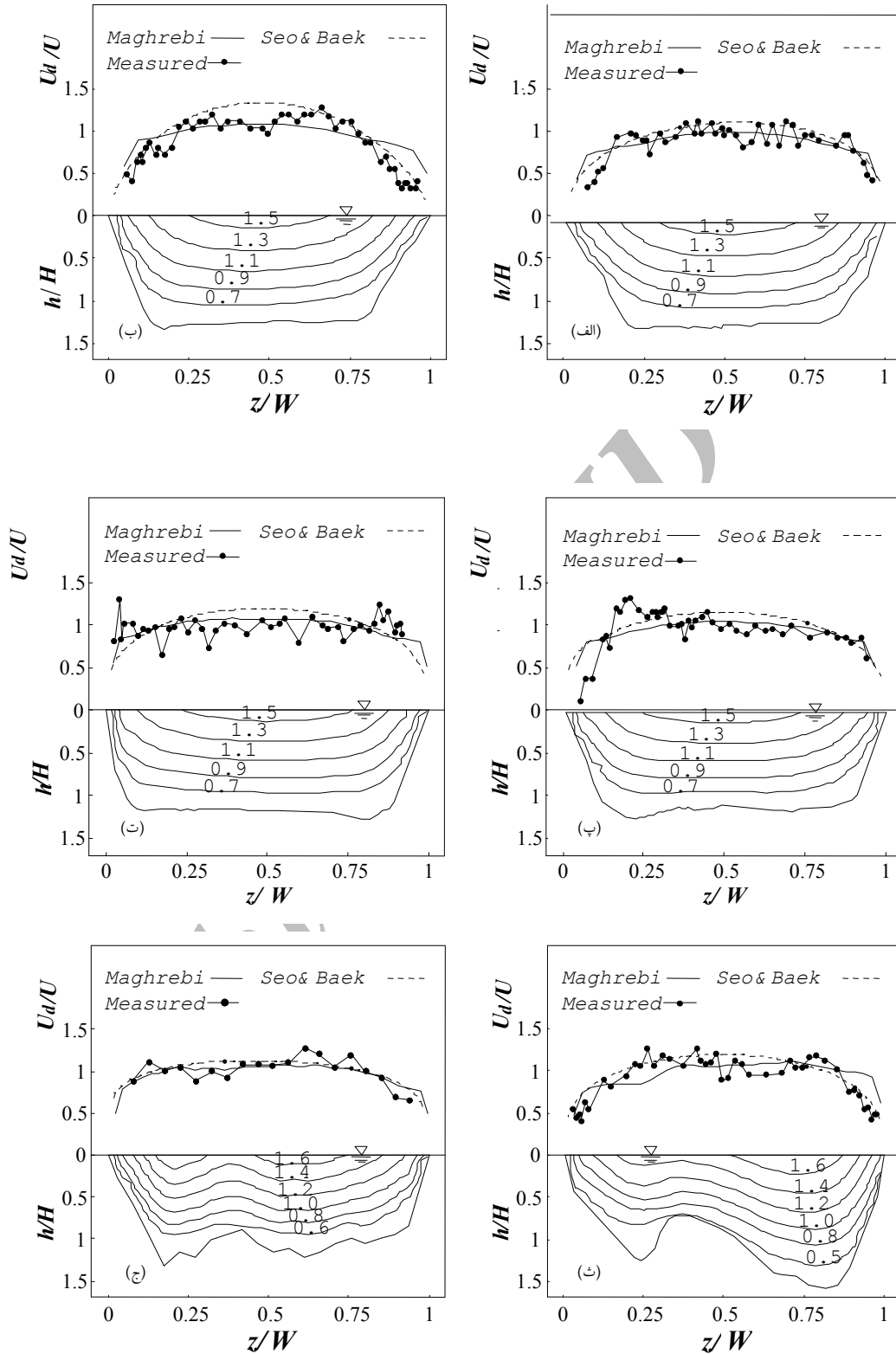
$$R = \sqrt{(S_t - S_r) / S_t} \quad (7)$$

که در آن:

S_t مجموع توان دوم اختلاف بین سرعت میدانی نقاط و سرعت متوسط میدانی مقطع و S_r مجموع توان دوم اختلاف میان سرعت نقاط حاصل از اطلاعات میدانی و مقدار تخمین زده شده با استفاده

جدول ۱ - مشخصات ابعادی و هیدرولیکی، ضریب همبستگی (R) و متوسط خطای بین سرعت تخمین زده شده توسط مدل مغربی و روش سنو و بایک با اطلاعات میدانی سرعت

نام مقطع	W (m)	H (m)	U (m/s)	Q (m ³ /s)	معادله سنو و بایک		مدل مغربی	
					% خطای متوسط	%R	% خطای متوسط	%R
WGA41	۱۲۷	۸/۳	۱/۰۷	۱۱۳۶	-۷/۶	۸۸/۳	-۵/۴	۸۶/۸
WGA60	۱۱۱	۷/۱	۰/۳۸	۲۹۸	-۱۶/۹	۸۸/۷	-۲۳/۲	۷۷/۶
WGB38	۱۲۰	۷	۰/۹۱	۷۵۸	-۱۶	۸۱/۳	-۱۱	۸۰/۲
WGB57	۱۰۸	۵/۱	-۰/۱۶	-۸۵	-۴/۴	۷۸/۴	-۱	۷۳/۹
OLD	۱۸۷	۶/۳	۰/۳۷	۴۳۵	-۱۰/۸	۹۱/۲	-۱۲/۶	۷۸/۳
Clinch	۴۴/۲	۰/۵۵	۰/۴	۹/۷	-۲/۲۲	۹۸/۴	۱	۹۸/۷



شکل ۲- خطوط هم سرعت بی بعد با استفاده از مدل مغربی، پروفیل سرعت متوسط عمقی تخمین زده شده توسط مدل مغربی، روش سئو و بایک و اطلاعات میدانی (الف) WGA41 (ب) WGA60 (پ) WGB38 (ت) WGB57 (ث) OLD (ج) Clinch

جدول ۲ - مقایسه ضریب پخش طولی میدانی K (m^2/s) و تخمین زده شده با مدل مغربی و رابطه سئو و بایک

نام مقطع	اندازه گیری میدانی	معادله سئو و بایک		مدل مغربی
	K	معادله $K_{(1)}$	معادله $K_{(2)}$	معادله $K_{(2)}$
WGA41	۱۵/۷	۵۷/۶	۲۸/۲	۱۷/۶۴
WGA60	۵/۴	۱۷/۹	۸/۸	۲/۱
WGB38	۳۳/۹	۶۹	۳۳/۸۱	۳۰/۸۶
WGB57	۰/۱۵	۰/۷۲	۰/۳۵	۰/۶۹
OLD	۱۲/۲۰	۵۱/۹	۲۵/۴	۱۰/۱۱
Clinch	۸/۵۵	۸/۵	۴/۲	۳/۹

پایین دست مجرا در مدل مغربی از دیگر نقاط ضعف مدل است. در مقطع WGB57 که به علت تأسیسات بالادستی جریان برگشتی است، مقدار R به $78/3$ درصد می‌رسد که گویای این نقص می‌باشد. اگرچه در این تحقیق فقط به توانایی مدل مغربی در تخمین سرعت متوسط عمقی پرداخته شد، اما استفاده‌های دیگر این روش از جمله رسم خطوط هم سرعت و تخمین دبی از دیگر نقاط قوت این روش به‌شمار می‌آیند [۸-۹].

در جدول ۲، مقدار ضریب پخش طولی اندازه‌گیری شده در شش مقطع مورد بررسی همراه با مقادیر تخمین زده شده با استفاده از معادلات ارائه شده توسط فیشر و پروفیل سرعت برآورد شده توسط روش مغربی و سئو و بایک ارائه شده است. برای تخمین مقدار K، با استفاده از رابطه ۲، پیشنهاد فیشر یعنی $W_1 = 0.7W$ استفاده گردید. از اطلاعات جدول ۲ نتیجه می‌گردد که مقدار K تخمین زده شده از رابطه ۲ تقریباً نصف مقدار محاسبه شده توسط رابطه ۱ است و این مقادیر به مقادیر میدانی ضریب پراکندگی طولی نزدیک‌تر می‌باشند. مقدار K تخمین زده شده با استفاده از پروفیل سرعت متوسط عمقی برآورد شده به روش مغربی و تابع بتا در همه موارد قابل مقایسه با مقادیر میدانی می‌باشند. فقط در دو مقطع WGB57 و کلینچ، بین مقادیر میدانی ضریب پخش طولی و تخمین زده شده با استفاده از روش مغربی و سئو و بایک تفاوت قابل ملاحظه وجود دارد. به نظر می‌رسد در مقطع WGB57 این اختلاف به دلیل جریان برگشتی باشد. در مورد مقطع کلینچ نیز به دلیل کم عمق بودن رودخانه، مقدار ضریب پخش طولی میدانی دو برابر مقدار تخمین زده شده با استفاده از رابطه ۲ است [۱۳].

۴- نتیجه گیری

روابط ۱ و ۲ ارائه شده توسط فیشر نتایج قابل قبولی را در تخمین ضریب پخش طولی آلودگی در رودخانه‌هایی که دارای نسبت عرض به عمق زیاد هستند، ارائه می‌دهند. نتایج این تحقیق نشان

از یکی از روشهاست. انتظار می‌رود در روش سئو و بایک به دلیل استفاده از اطلاعات میدانی برای محاسبه پروفیل سرعت متوسط عمقی نسبت به روش مغربی ضریب همبستگی بهتر و همچنین خطای متوسط در تخمین سرعت کمتر باشد (جدول ۱). با این وجود، اختلاف بین R و خطای متوسط در دو روش کوچک می‌باشد. بدیهی است با تخمین دقیق‌تر توزیع سرعت برشی و زبری مجرا نتایج بهتری از مدل مغربی را بتوان استخراج نمود که تطابق بیشتری با اطلاعات میدانی داشته باشند. در شکل ۲ دیده می‌شود که پروفیل سرعت میدانی دارای نوساناتی است که هیچکدام از روشها نتوانسته‌اند آن را به خوبی مدل نمایند و دلیل وجود خطا نیز بیشتر حاصل از عدم توانایی پیش‌بینی صحیح سرعت در نزدیک کرانه‌ها است (جدول ۱).

روش مغربی در صورت عدم تعیین واقعی توزیع زبری و تنش برشی و فرض ثابت بودن این دو پارامتر در مقطع، پروفیل سرعت عرضی را تقریباً تحت ارائه می‌نماید. از این روست که در مقاطع WGA41 و کلینچ که پروفیل سرعت عرضی اندازه‌گیری شده نیز دارای نوسانات کمی بوده و تقریباً تخت می‌باشد، میزان انطباق پروفیل تخمین زده شده توسط مدل مغربی بهتر از حالات دیگر است. در نظر گرفتن تغییرات هندسه بستر مجرا، زبری و تنش برشی در تخمین تغییرات سرعت و همچنین قابلیت استفاده از این روش در رودخانه‌های طبیعی و کانال‌ها از نکات قوت این روش به‌شمار می‌آید. اغلب تخمین توزیع زبری و تنش برشی بستر، کاری مشکل بوده و در محاسبات از توزیعهای ساده‌تر که توسط کاربر انتخاب می‌گردد، استفاده می‌شود. از اینرو، دقت نتایج به دقت کاربر در تعیین اطلاعات اولیه بستگی خواهد داشت. جریان در مدل مغربی پایدار فرض می‌شود. در صورتی که جریان شتابدار باشد انتظار می‌رود اختلاف بین سرعت‌های حاصل از روش مغربی با مقادیر اطلاعات میدانی بیشتر شود و این موضوع به مقدار شتاب جریان بستگی دارد. در نظر نگرفتن شرایط هیدرولیکی بالادست و

مدل ارائه شده توسط مغربی در تولید خطوط هم‌سرعت، روشی مناسب، سریع و آسان در تخمین پروفیل سرعت متوسط عمقی است. در مقاطع مورد بررسی در این تحقیق، پروفیل سرعت تخمینی با این روش از تطابق بسیار خوبی بر اطلاعات میدانی برخوردار بود. ضریب پخش طولی آلودگی محاسبه شده با استفاده از این توزیع سرعت عرضی نیز نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. قابل انتظار است که با داشتن اطلاعات دقیق‌تر از توزیع زبری بستر و تنش برشی، نتایج بهتری را بتوان با استفاده از مدل مغربی به دست آورد.

می‌دهد که مقدار ضریب پخش طولی آلودگی تخمین زده شده از رابطه ۲ از دقت بیشتری برخوردار است. در استفاده از روابط ارائه شده توسط فیشر نیاز به تعریف پروفیل سرعت عرضی متوسط عمقی در مقطع است. معادله بتا ارائه شده توسط سئو و بایک قابلیت تخمین پروفیل سرعت در حالت متقارن و نامتقارن را داراست. این روش از اطلاعات میدانی استفاده کرده و بهترین ضرایب برای معادله بتا را جهت دسترسی به بهترین انطباق بین اطلاعات میدانی و پروفیل سرعت تخمینی فراهم می‌کند. در صورت عدم وجود اطلاعات میدانی استفاده از این روش امکان‌پذیر نمی‌باشد، مگر این که از ضرایب رودخانه‌های مشابه استفاده شود.

۵- مراجع

- 1- Tayfur, G., and Singh, V.P. (2005). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial neural network." *J. of Hydraulic Engineering*, 131 (11), 991-1000.
- 2- Deng, Z.Q., Singh, V.P., Bengtsson, L., and Adrian, D.D. (2002). "Longitudinal dispersion coefficient in single-channel streams." *J. of Hydraulic Engineering*, 128 (10), 901-916.
- 3- McQuivey, R.S., and Keefer, T.N. (1976). "Convection model of longitudinal dispersion." *J. of Hydraulic Division American Society of Civil Engineering*, 102 (10), 1409-1424.
- ۴- پروین‌نیا، م.، رخشنده رو، غ.ر.، و منجمی، پ. (۱۳۸۷). "بررسی کیفیت و احیای روانابهای شهری در شیراز." *مجله آب و فاضلاب*، ۶۶، ۵۵-۴۶.
- ۵- ریاحی مدوار، ح.، و ایوب زاده، س.ع. (۱۳۸۷). "تخمین ضریب پراکندگی طولی آلودگی با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی انطباقی." *مجله آب و فاضلاب*، ۶۷، ۴۷-۳۴.
- 6- Fischer, H.B. (1966). *Longitudinal dispersion in laboratory and natural streams*, Report No. KH-R-12, Keck Laboratory of Hydraulic and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- 7- Fischer, H.B. (1975). "Discussion of simple method for predicting dispersion in stream by R.S. McQuivey and T.N. Keefer." *J. of Environment Engineering Division American Society of Civil Engineering*, 101(3), 453-455.
- 8- Maghrebi, M.F. (2003). "Discharge estimation in flumes using a new technique for the production of isovel contours." *Proceedings of International Conference on Civil and Environment Engineering*, ICCEE, 147-156.
- 9- Maghrebi, M.F., and Ball, J.E. (2006). "New method for estimation of discharge." *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1044-1051.
- 10- Seo, I.W., and Baek, K.O. (2004). "Estimation of the longitudinal dispersion coefficient using the velocity profile in natural streams." *Journal of Hydraulic Engineering*, 130 (3), 227-236.
- 11-U.S. Geological Survey. www.usgs.gov, (May 2008).
- 12- Godfrey, R. G., and Frederick, B.J. (1970). *Stream dispersion at selected sites*, Professional Paper No. 433-K, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
- 13- Bencala, K.E., and Walters, R.A. (1983). "Simulation of solute transport in mountain pool-and-riffle stream: a transient storage model." *Water Resources Research*, 19(3), 718-724.