

## برآورد ضریب انتشار طولی آلاینده‌ها در کانال مرکب با دو ردیف پوشش گیاهی صلب (درخت) روی سیلاب‌دشت

مریم فرزادخو<sup>1</sup>، علیرضا کشاورزی<sup>2</sup>، حسین حمیدی‌فر<sup>3\*</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، دانشگاه شیراز

2- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

3- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\* hamidifar@shirazu.ac.ir

**چکیده** - گیاهان موجود در سیلاب‌دشت باعث پیچیده‌تر شدن ساختار جریان در مقاطع مرکب می‌شوند. با این وجود گیاهان می‌توانند تأثیر به‌سزایی در بهبود کیفیت آب، از جمله کاهش غلظت آلاینده‌ها ایجاد کنند. در این پژوهش به بررسی آزمایشگاهی تأثیر دو ردیف پوشش گیاهی روی سیلاب‌دشت بر ضریب انتشار طولی و نحوه تغییر غلظت در پایین‌دست آلودگی توسط ماده‌ی زوال‌ناپذیر پرمنگنات پتاسیم پرداخته شده است. آزمایش‌ها بر روی یک فلوم مستقیم به طول 8 متر، عرض 0/25 متر و ارتفاع 0/6 متر با مقطع مرکب مستطیلی انجام شده است. پوشش گیاهی با استوانه‌های فلزی شبیه‌سازی شده‌اند. تغییرات غلظت در سه مقطع در پایین‌دست محل تزریق، با تصویربرداری از ابر آلودگی و استفاده از تکنیک پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب بررسی شده است. نتایج نشان داد وجود دو ردیف درخت روی سیلاب‌دشت به دلیل تقویت جریان برشی بین گیاهان روی سیلاب‌دشت و دیواره سیلاب‌دشت تأثیر زیادی بر ضریب انتشار طولی آلودگی دارد. بر این اساس، وجود درختان در یک عمق نسبی خاص (0/56) تا میزان 39/2 درصد ضریب انتشار طولی را نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی افزایش می‌دهد و باعث کاهش غلظت آلودگی در نواحی پایین‌دست محل تزریق می‌شود. نتایج ضریب بدون بعد انتشار طولی به دست آمده در این پژوهش با روابط ارائه شده توسط محققان مختلف مقایسه شد و دقت روش‌های مورد بررسی در برآورد ضریب انتشار طولی در آبراهه‌های مرکب با پوشش گیاهی روی سیلاب‌دشت ارزیابی شد. نتایج نشان داد مدل‌های Elder (1959) و Deng et al, (2002) با دقت بالاتری ضریب انتشار طولی را برای حالت دو ردیف پوشش گیاهی سیلاب‌دشت برآورد می‌کنند.

**کلید واژگان:** آلودگی، پردازش تصویر، پوشش گیاهی، سیلاب‌دشت، ضریب انتشار طولی، مقطع مرکب.

### 1- مقدمه

حائز اهمیت است. آلودگی شیمیایی، آلی و صنعتی می‌تواند عامل از بین بردن کامل گونه‌های زیستی در سیلاب‌دشت باشد؛ بنابراین مطالعه و بررسی نحوه پخش و جابه‌جایی آلودگی در قسمت سیلاب‌دشت اهمیت زیادی دارد. Taylor (1954) از پیشگامان در مطالعه‌ی انتقال

مقطع مرکب، مقطع رایج در بیشتر رودخانه‌ها و مسیل‌ها است. عموماً در دشت‌های سیلابی گیاهان و درختانی وجود دارند که در آن ناحیه گونه‌های زیستگاهی خاصی را تشکیل می‌دهند. به همین دلیل مطالعات سیلاب‌دشت‌ها

این روابط  $U_* = \sqrt{gRS_f}$  سرعت برشی،  $g$  شتاب ثقل،  $R$  شعاع هیدرولیکی،  $S_f$  شیب سطح آب،  $U$  سرعت متوسط،  $B$  عرض کانال،  $D_r$  عمق نسبی (نسبت عمق آب در پهنه‌ی سیلابی به عمق آب در کانال اصلی)،  $H$  ارتفاع آب و  $\varepsilon_t$  ضریب اختلاط عرضی می‌باشد.

با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد باوجود تحقیقات زیادی که توسط محققان مختلف در زمینه برآورد ضریب انتشار طولی در آبراهه‌ها انجام شده است، هنوز درک کاملی از این فرایند حاصل نشده است. بنابراین، انجام تحقیقات بیشتر، به‌ویژه با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند اثر آرایش پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و اثر مقیاس کانال ضرورت دارد. به صورت کلی در طبیعت الزاماً تمامی سطح سیلاب‌دشت دارای پوشش گیاهی نیست و پوشش گیاهی غیر یکنواخت می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است مقداری از عرض سیلاب‌دشت خالی از پوشش گیاهی باشد و با استفاده از شیوه‌ی نوین پردازش تصویر (با دقت یک پیکسل عکس) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر دو ردیف پوشش گیاهی صلب روی سیلاب‌دشت بر ضریب انتشار طولی پرداخته شده است تا اثر بر هم کنش ناحیه‌ی با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی بر روی انتقال آلاینده‌ها روشن شود.

آلاینده‌ها بوده است. فرایند یک بعدی انتقال یک آلاینده پس از گذشت زمان اولیه برای اختلاط کامل در عرض و عمق را می‌توان به صورت رابطه (1) نوشت (Fischer et al., 1979):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (1)$$

که در این رابطه  $c$  غلظت آلاینده،  $u$  سرعت لحظه‌ای موضعی جریان در راستای  $x$ ،  $t$  زمان پس از شروع تزریق و  $k$  ضریب انتشار طولی است.

حضور پوشش گیاهی سیلاب‌دشت مکانیزم انتشار را تغییر می‌دهد و روی انتقال مواد آلاینده تأثیر می‌گذارد (Nepf et al., 1997; Lightbody & Nepf, 2006; Tanino & Nepf, 2008b).

(Perucca et al., 2009) به بررسی ضریب پخشیدگی در رودخانه‌های با پوشش گیاهی با استفاده از یک مدل نیمه دو بعدی پرداخته‌اند و نشان دادند پوشش گیاهی به میزان 70-100 درصد نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی روی ضریب انتشار طولی اثر می‌گذارد. حمیدی‌فر (1392) و (Hamidifar et al., 2015) تحقیقات جامعی در مورد تأثیر پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت بر خصوصیات هیدرولیکی و انتقال آلاینده‌ها در مقاطع مرکب مستطیلی انجام دادند. فرمول‌های ضریب انتشار طولی ارائه شده توسط محققان مختلف در جدول 1 خلاصه شده است. در

جدول 1 فرمول‌های ارائه شده توسط محققان مختلف برای تخمین پخش طولی

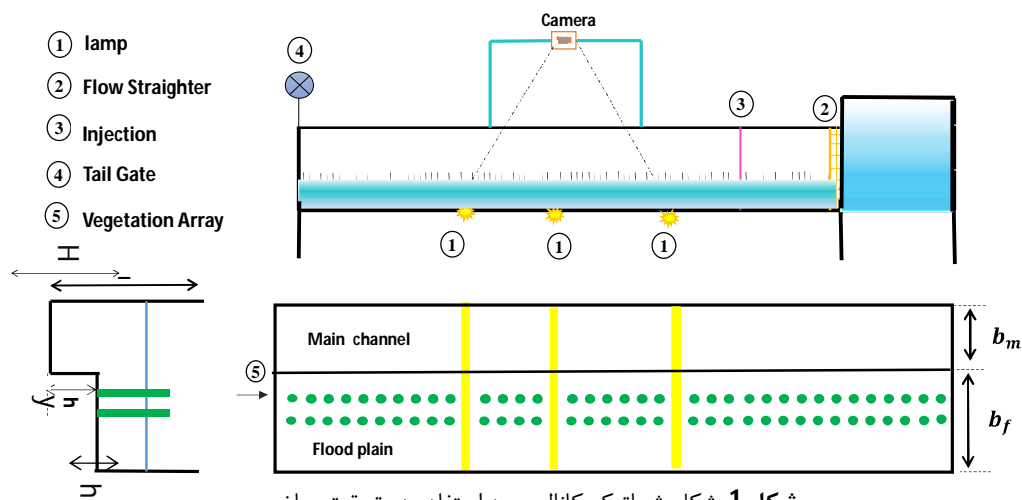
شماره رابطه	نام محقق	شکل رابطه
(2)	الدر (1959)	$K = 5.86 HU_*$
(3)	پارکر (1961)	$K = 14.28R^{2/3}\sqrt{2gS}$
(4)	گلاور (1964)	$K = 500 RU_*$
(5)	مک‌کوی و کیفر (1974)	$K = 0.058 \frac{HU}{S}$
(6)	مگزین و همکاران (1988)	$K = 75.86RU \left(0.4 \frac{U}{U_*}\right)^{-1.632}$
(7)	سنو و چئونگ (1998)	$K = 5.915 \left(\frac{B}{H}\right)^{0.62} \left(\frac{U}{U_*}\right)^{1.428} HU_*$
(8)	دنگ و همکاران (2002)	$K = \frac{0.15}{8 \varepsilon_t} \left(\frac{U}{U_*}\right)^2 \left(\frac{B}{H}\right)^{\frac{5}{3}} H U_*$
(9)	کاشفی‌پور و فالكونر (2002)	$K = \left[ 4.728 + 1.775 \left(\frac{B}{H}\right)^{0.62} \left(\frac{U_*}{U}\right)^{0.572} \right] HU \left(\frac{U}{U_*}\right)$
(10)	جاعل و همکاران (1387)	$K = 16.072 HU_* \left(\frac{B}{H}\right)^{0.5398} \left(\frac{U}{U_*}\right)^{-0.4088}$
(11)	حمیدی‌فر و همکاران (1395)	$K = (-16.727 D_r + 16.983) H U_*$

## 2- مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شده است. از یک فلوم به طول 8 متر، عرض 0/25 متر و ارتفاع 0/6 متر استفاده شده است. دیواره و کف کانال از جنس شیشه به ضخامت 10 میلی‌متر است، برای ایجاد مقطع مرکب از یک پله از جنس شیشه استفاده شده است. عرض سیلاب‌دشت 0/15 متر و عرض کانال اصلی 0/1 متر می‌باشد، شیب طولی بستر کانال اصلی و سیلاب‌دشت ثابت و برابر 0/001 می‌باشد. فاصله دوربین تا کف کانال 2/50 متر می‌باشد. تصویر شماتیک کانال و سایر تجهیزات مورد استفاده در این پژوهش و مقطع عرضی کانال مرکب در شکل 1 نشان داده شده است.

آزمایش‌ها با ایجاد ابر آلودگی توسط ماده‌ی پرمنگنات

پتاسیم با غلظت 10 گرم بر لیتر انجام شده است. ماده‌ی ردیاب به صورت لحظه‌ای توسط یک نیم لوله در کل عرض فلوم تزریق شده است. تغییرات غلظت در سه ایستگاه به صورت عرضی در طول فلوم با تصویربرداری با دوربین دیجیتال کنن مدل A3200 انجام شده است و ابر آلودگی با روش پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی تأثیر گیاهان بر روی سیلاب‌دشت بر انتقال آلاینده‌ها، استوانه‌های فلزی با قطر 5 میلی‌متر به صورت دو ردیف موازی با فاصله طولی و عرضی به ترتیب برابر 40 و 30 میلی‌متر و فاصله 30 میلی‌متر از مرز مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت قرار گرفته است. تراکم گیاهان در این پژوهش برابر 4/36% می‌باشد. شرایط جریان در عمق‌های نسبی مختلف در جدول 2 نشان داده شده است.



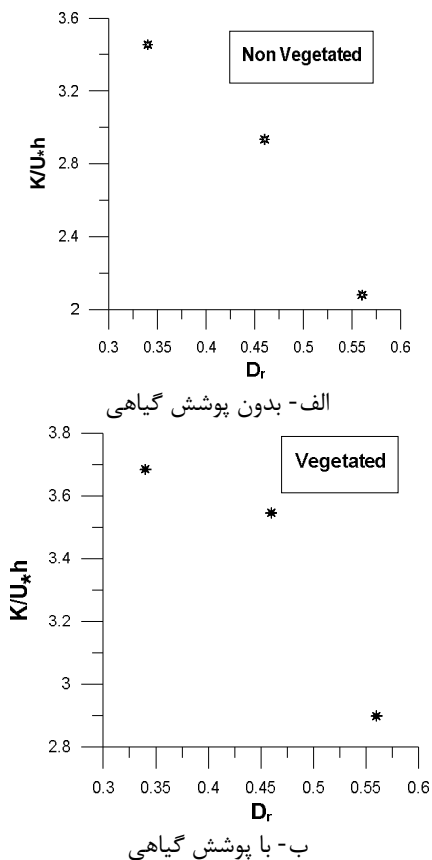
شکل 1 شکل شماتیک کانال مورد استفاده در تحقیق حاضر

جدول 2 خصوصیات جریان و پوشش گیاهی در عمق‌های نسبی مختلف

شماره آزمایش	عمق نسبی $D_f$	عمق آب در کانال اصلی $H$ (m)	عمق آب در سیلاب‌دشت $h$ (m)	وضعیت پوشش گیاهی
1	0/34	0/076	0/026	بدون پوشش
2	0/46	0/093	0/043	بدون پوشش
3	0/56	0/115	0/065	بدون پوشش
4	0/34	0/076	0/026	دو ردیف پوشش
5	0/46	0/093	0/043	دو ردیف پوشش
6	0/56	0/115	0/065	دو ردیف پوشش

می‌تواند تقویت جریان برشی بین گیاهان روی سیلاب‌دشت و دیواره باشد که با مطالعات Choi & Lee (2012) هم‌خوانی دارد. از دیگر علت‌های افزایش ضریب انتشار طولی، ایجاد مقاومت جریان توسط پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت و تشکیل دنباله‌ها در پایین دست ساقه‌ها می‌باشد که باعث به تله افتادن و پخش بهتر ماده‌ی رنگی می‌شود (Nepf et al, 1997).

به منظور مقایسه‌ی بهتر تغییرات ضریب انتشار طولی در عمق‌های نسبی مختلف از پارامتر بدون بعد آن استفاده می‌شود. ضریب بدون بعد انتشار طولی با استفاده از آنالیز ابعادی و قضیه‌ی پی‌باکینگهام بدون بعد شده است. در این روش با انتخاب پارامترهای  $\rho$  (چگالی سیال)،  $u_*$  (سرعت برشی) و  $h$  (عمق آب در سیلاب‌دشت) به عنوان کمیت‌های تکراری، ضریب انتشار طولی به شکل  $K/U_*h$  بدون بعد می‌شود. تغییرات بدون بعد ضریب انتشار طولی در شکل 2 برای دو حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی مشاهده می‌شود.



شکل 2 تغییرات پارامتر  $K/U_*h$  در اعماق نسبی مختلف

به منظور مقایسه مدل‌های مختلف ارائه شده توسط محققان مختلف در برآورد ضریب انتشار طولی از دو پارامتر آماری شامل خطای جذرمیانگین مربعات نرمال شده ( $NRMSE$ ) و نسبت اختلاف ( $DR$ ) استفاده می‌شود. این دو پارامتر به صورت معادلات (12 و 13) تعریف می‌شود:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{K_{obs,i} - K_{model,i}}{u_{*h}} \right)^2}{n}} \quad (12)$$

$$DR = \log_{10} \left( \frac{u_{*h}}{\frac{K_{model,i}}{K_{obs,i}}} \right) \quad (13)$$

در این روابط  $\frac{K_{obs,i}}{u_{*h}}$  و  $\frac{K_{model,i}}{u_{*h}}$  به ترتیب ضرایب بدون بعد انتشار طولی به دست آمده از آزمایشات و محاسبه شده از مدل‌های مختلف است،  $i$  مربوط به شماره آزمایش‌ها و  $n$  هم تعداد داده‌ها است،  $\frac{K_{obs,max}}{u_{*h}}$  و  $\frac{K_{obs,min}}{u_{*h}}$  مربوط به میزان حداکثر و حداقل ضریب بدون بعد انتشار طولی مشاهده شده است.

### 3- نتایج و بحث

با تزریق رنگ در کانال از یک محل مشخص، جریان باعث حرکت ابر آلودگی به سمت پایین دست می‌شود. با ثبت تصاویر در سه ایستگاه عرضی در طول فلوم و با داشتن توزیع زمانی غلظت، ضریب انتشار طولی  $K$  از روش ممان استاندارد (حمیدی‌فر و همکاران، 1395) برای حالت بدون پوشش گیاهی و در حضور پوشش گیاهی در سه عمق نسبی برای سیلاب‌دشت محاسبه شده است و نتایج در جدول 3 نمایش داده شده است.

جدول 3 ضریب انتشار طولی در سیلاب‌دشت برای عمق‌های نسبی مختلف

$D_r$	با پوشش گیاهی	
	بدون پوشش گیاهی	با پوشش گیاهی
	$K(m^2/s)$	$K(m^2/s)$
0/34	0/0015	0/0016
0/46	0/0024	0/0029
0/56	0/0028	0/0039

همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب  $K$  در حضور پوشش گیاهی نسبت به عدم حضور پوشش گیاهی در یک عمق نسبی خاص تا میزان 28 درصد افزایش می‌یابد. علت آن

نسبی، میزان درصد در محدوده‌ی  $DR$  برای هر مدل مشخص می‌شود. بنابراین با مقایسه نتایج  $DR$  مدل‌های مختلف مشاهده می‌شود که مدل‌های Elder (1959)، Deng et al. (2002)، تقریب خوبی برای محاسبه ضریب انتشار طولی هستند، بنابراین این مدل‌ها در مقایسه با سایر مدل‌های بررسی شده، میزان  $K$  در کانال‌های مرکب با دو ردیف پوشش گیاهی صلب روی سیلاب‌دشت را نسبت به مقادیر مشاهده آزمایشگاهی با خطای کمتری تخمین می‌زنند.

#### 4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرایند پخش طولی در مقطع مرکب نامتقارن با دو ردیف پوشش گیاهی صلب بر روی سیلاب‌دشت با استفاده از تصویربرداری از ابر آلودگی و روش پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب برآورد شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب  $K$  در حضور پوشش گیاهی نسبت به عدم حضور پوشش گیاهی در یک عمق نسبی خاص تا میزان 28 درصد افزایش می‌یابد. ضریب انتشار طولی برای اعماق نسبی مختلف با معیار بدون بعد  $K/U_*h$  مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش عمق نسبی از 0/34 به 0/56 ضریب  $K/U_*h$  تا میزان 39 و 21 درصد به ترتیب در حالت بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی کاهش می‌یابد.

مقایسه نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از سایر معیارهای ارائه شده توسط محققان مختلف نشان می‌دهد که مدل‌های Elder (1959)، Deng et al. (2002)، حمیدی‌فر و همکاران (1395) و جاعل و همکاران (1387) تقریب خوبی برای محاسبه ضریب انتشار طولی هستند.

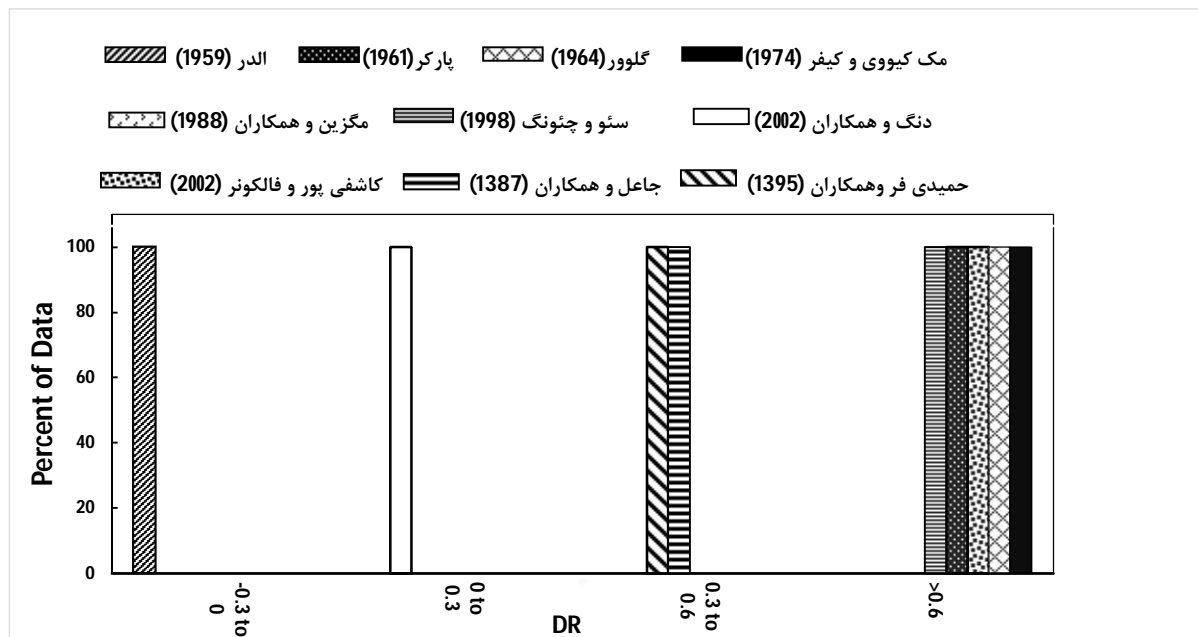
مطابق شکل با افزایش عمق نسبی از 0/34 به 0/56 ضریب بدون بعد  $K/U_*h$  برای هر دو حالت بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی به ترتیب تا میزان 39% و 21% کاهش می‌یابد. علت روند کاهشی پارامتر بدون بعد انتشار طولی با افزایش عمق نسبی، افزایش عمق جریان و سرعت برشی می‌باشد که باعث می‌شود مخرج کسر را بزرگتر نماید.

در طول دهه‌های اخیر فرمول‌های مختلفی برای محاسبه ضریب انتشار طولی ارائه شده است. این روابط در آبراهه‌ها با مقیاس‌های مختلف ارائه شده است. به منظور مقایسه بهتر و کم کردن اثر مقیاس در این پژوهش، ضریب بدون بعد انتشار طولی برای سیلاب‌دشت در مدل‌های مختلف از جمله (Elder, 1959; Parker, 1961; Glover, 1964; McQuivey & Keefer, 1974; Magazine et al., 1988; Seo & Cheong, 1998; Deng et al., 2002; Kashefipour & Falconer, 2002; و همکاران, 1387 و حمیدی‌فر و همکاران, 1395) محاسبه شده است و با ضریب بدون بعد انتشار طولی آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده در این پژوهش مقایسه گردیده است. جدول 4 ضرایب بدون بعد انتشار طولی محاسبه شده توسط مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های Elder (1959)، Deng et al. (2002)، حمیدی‌فر و همکاران (1395) و جاعل و همکاران (1387) با دقت بالاتری ضریب  $K$  را برآورد می‌کنند. با محاسبه‌ی  $DR$  برای تمامی مدل‌های ارائه شده در پژوهش حاضر مدل‌هایی که محدوده‌ی  $DR$  آن‌ها بین 0/3- تا 0/3 برای عمق‌های نسبی مختلف قرار گیرد با خطای کمتری میزان ضریب انتشار طولی را برآورد می‌کنند. شکل 3 میزان درصد قرارگیری روابط در محدوده‌ی مختلف  $DR$  برای عمق‌های نسبی مختلف را نشان می‌دهد، با اختصاص درصد ثابتی به ازای هر عمق

جدول 4 محاسبه ضریب انتشار طولی بدون بعد  $K/U_*h$  در مدل‌های مختلف در سیلاب‌دشت

$D_f$	نام محقق										
	الدرد (1959)	پارکر (1961)	گلور (1964)	مک‌کوی و کیفر (1974)	مگزین و همکاران (1988)	سئو و چئونگ (1998)	دنگ و همکاران (2002)	کاشفی‌پور و فالکونر (2002)	جاعل و همکاران (1387)	حمیدی‌فر و همکاران (1395)	تحقیق حاضر
0.34	2.00	147.3	188.1	55.8	66.2	36.0	7.24	30.9	12.2	11.2	3.68
0.46	2.72	124.2	193.0	90.4	60.8	45.7	7.29	52.5	11.7	9.28	3.54
0.56	3.31	104.1	190.0	112.4	59.0	44.8	5.44	62.8	11.3	7.61	2.89
NRMSE	2.07	14.1	17.4	11.7	9.9	8.2	3.2	8.8	4.03	3.8	-



شکل 3 مقایسه دقت مدل‌های مختلف بر اساس شاخص  $DR$  برای محاسبه ضریب انتشار طولی در سیلاب‌دشت با دو ردیف پوشش گیاهی

$S_f$	شیب سطح آب
$t$	زمان پس از شروع تزریق (T)
$U$	سرعت متوسط موضعی جریان ( $LT^{-1}$ )
$U_*$	سرعت برشی ( $LT^{-1}$ )
$y$	ارتفاع سیلاب‌دشت (L)
$z$	راستای عمقی
$\varepsilon_t$	ضریب اختلاط عرضی ( $L^2T^{-1}$ )

## 6- منابع

جاعل، آ؛ موسوی جهرمی، ح؛ کاشفی‌پور، م. و سلطانی محمدی، ا. (1387). "تخمین ضریب انتشار طولی در کانال‌های آبیاری"، دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

حمیدی فر، ح؛ امید، م.ح؛ امیری، م.ج. و بهرامی، م. (1395). "کاربرد روش پردازش تصویر دیجیتال در برآورد ضریب انتشار طولی در آبراه‌های مرکب"، نشریه‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 23، شماره 4، ص.ص. 281-293.

حمیدی فر، ح؛ امید، م.ج. و کشاورزی، ع.ر. (1392). "بررسی آزمایشگاهی ضریب انتشار طولی آلاینده‌ها در رودخانه‌های با مقاطع مرکب"، سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و

مقایسه مدل‌های ارائه شده با معیار  $DR$  و  $NRMSE$  می‌دهد دو مدل Elder (1959)، Deng et al. (2002) میزان  $K$  را نسبت به مشاهدات آزمایشگاهی با خطای کمتری تخمین می‌زنند.

## 5- فهرست علائم

$B$	عرض کانال (L)
$c$	غلظت لحظه‌ای موضعی ( $ML^{-3}$ )
$D_r$	عمق نسبی
$DR$	نسبت اختلاف
$g$	شتاب ثقل ( $LT^{-2}$ )
$H$	عمق آب در کانال اصلی (L)
$h$	عمق آب در سیلاب‌دشت (L)
$k$	ضریب انتشار طولی ( $L^2T^{-1}$ )
$K_{model,i}$	ضریب انتشار طولی محاسبه شده ( $L^2T^{-1}$ )
$K_{obs,i}$	ضریب انتشار طولی در آزمایشات ( $L^2T^{-1}$ )
$K_{obs,max}$	ضریب انتشار طولی حداکثر ( $L^2T^{-1}$ )
$K_{obs,min}$	ضریب انتشار طولی حداقل ( $L^2T^{-1}$ )
$NRMSE$	خطای جذرمیانگین مربعات نرمال شده
$Q$	دبی ( $L^3T^{-1}$ )
$R$	شعاع هیدرولیکی (L)

Magazine, M.K.; Pathak, S.K. and Pande, P.K. (1988). "Effect of bed and side roughness on dispersion in open channels". *Journal of Hydraulic Engineering*. 114(7), pp. 766-782.

McQuivey, R.S. and Keefer, T.N. (1974). "Simple method for predicting dispersion in streams". *Journal of the Environmental Engineering Division*. 100(4), pp. 997-1011.

Nepf, H.M.; Mugnier, C.G. and Zavistoski, R.A. (1997). "The effects of vegetation on longitudinal dispersion". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 44(6), pp. 675-684

Parker, F.L. (1961). "Eddy diffusion in reservoirs and pipelines". *Journal of the Hydraulics Division*. 87(3), pp. 151-171.

Perucca, E., Camporeale, C. and Ridolfi, L. (2009). Estimation of the dispersion coefficient in rivers with riparian vegetation. *Advances in Water Resources*, 32(1), 78-87.

Seo, I.W. and Cheong, T.S. (1998). "Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams". *Journal of Hydraulic Engineering*. 124(1), pp. 25-39.

Tanino, Y., and Nepf, H. M. (2008). "Lateral dispersion in random cylinder arrays at high Reynolds number". *Journal of Fluid Mechanics*, 600, 339-371.

Taylor, G. (1954). The Dispersion of matter in turbulent flow through a pipe, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematica, Physical and Engineering Sciences Conference*. 223, pp. 446-468.

مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران.

Choi, S. and Lee, J. (2012). "Impact of vegetation on contaminant transport in partly-vegetated open-channel flows". *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ecohydraulics*. 17<sup>th</sup> to 21<sup>th</sup> September, Vienna, Austria.

Deng, Z.Q.; Bengtsson, L.; Singh, V.P. and Adrian, D.D. (2002). "Longitudinal dispersion coefficient in single-channel streams". *Journal of Hydraulic Engineering*. 128(10), pp. 901-916.

Elder, J.W. (1959). "The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow". *Journal of Fluid Mechanics*. 5(4), pp. 544-560.

Fischer, H.B.; List, E.; Koh, R.; Imberger, J. and Brooks, N. (1979). "*Mixing in island and coastal waters*". Academic. New York.

Glover, R.E. (1964). "Dispersion of dissolved or suspended materials in flowing streams". *Geological Survey Professional Paper*, 433-B, pp. 33.

Hamidifar, H.; Omid, M.H. and Keshavarzi, A. (2015). "Longitudinal dispersion in waterways with vegetated floodplain". *Ecological Engineering*. 84, pp. 398-407.

Kashefipour, S. M., and Falconer, R. A. (2002). "Longitudinal dispersion coefficients in natural channels". *Water Research*, 36(6), 1596-1608.

Lightbody, A. F., and Nepf, H. M. (2006). "Prediction of near-field shear dispersion in an emergent canopy with heterogeneous morphology". *Environmental Fluid Mechanics*, 6(5), 477-488.