

بررسی تأثیر آرایش بلوک‌های مستغرق بر ضریب اختلاط عرضی در یک فلوم آزمایشگاهی

عالیه سعادت پور¹، منوچهر حیدرپور²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان

2- دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: 88/12/25

تاریخ دریافت: 88/9/15

چکیده

یکی از مشخصه‌های جریان روباز در کنترل آلودگی، ضرائب پخشیدگی آشفته است. منظور بررسی تأثیر آرایش بلوک‌های موضعی بر ضریب اختلاط عرضی، آزمایشاتی در فلومی به طول 7 متر، عرض 0/32 متر و ارتفاع 0/35 متر انجام شده است که توسط دو پمپ با حداکثر دبی 16/4 لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد. جریان به صورت یکنواخت بوده و عمق جریان 11/4 سانتی‌متر توسط دریچه پایین دست کانال کنترل می‌گردید. پس از حصول جریان توسعه یافته در کانال در تراز ی بالاتر از لبه کانال از یک مخزن هوایی حاوی محلول رقیق شده نمک با غلظت معلوم به عنوان ماده ردیاب استفاده شد. غلظت‌ها در 4 مقطع و هر مقطع در 27 نقطه اندازه‌گیری گردید. ضریب اختلاط عرضی با استفاده از روابط ساده شده معادله بقای جرم، برای آرایش‌های مختلف زبری بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی نشان داد که بهترین راندمان افزایش ضریب زبری مربوط به آرایشی از بلوک‌ها می‌باشد که شامل سه ردیف بلوک با ارتفاع افزایشی از 1/5 تا 3 سانتیمتر در جهت جریان بوده و بهترین آشفستگی را جهت مخلوط شدن آلودگی ایجاد کرده است.

کلید واژه‌ها: ضریب اختلاط عرضی، آلودگی، زبری موضعی، طول اختلاط کامل.

مقدمه

دیگر از مشکلات زنجیره بحران آب، علی‌الخصوص در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. رهاسازی آلاینده‌ها در آب‌های سطحی، نیاز به استفاده از فرآیندهای اختلاط و رقیق‌سازی آلودگی را به منظور بازیابی و امکان استفاده از آب‌های آلوده ضروری ساخته است. از چهار دهه پیش، مطالعه روی پدیده انتشار آلودگی (به صورت علمی و منسجم) آغاز شده و هم‌اکنون استفاده از فرآیند پخشیدگی و تقویت خودپالایی رودخانه‌ها در اغلب کشورها مورد توجه قرار گرفته است. سرازیر شدن انواع پساب‌های کشاورزی و صنعتی به داخل آبراه‌ها به منظور اکسید شدن و حذف مواد آلی به یک عمل مرسوم و متداول تبدیل شده است. رودخانه‌ها به واسطه

مطالعات زیست محیطی از ضروریات کنونی جامعه بشری است. نرخ رو به رشد جمعیت، کمبود منابع آب شرب و روند رو به رشد آلودگی آب‌های سطحی از بحران‌های پیش روی اغلب کشورهای جهان می‌باشد. با افزایش جمعیت جهان، تأمین آب مورد نیاز برای مصارف شرب و کشاورزی این جمعیت، یکی از معضلات پیش روی بشر در سال‌های آتی خواهد بود. در حال حاضر اصلی‌ترین منبع تأمین آب، آب‌های سطحی می‌باشند که در این میان رودخانه‌ها نقش کلیدی در تأمین این نیاز اساسی بشر عهده‌دار هستند. روند توسعه آلودگی آب‌های سطحی توسط پساب‌های کشاورزی و فاضلاب صنعتی کارخانه‌های بزرگ (که به صورت بی‌رویه به رودخانه‌ها ریخته می‌شود) یکی

برای مسائل اختلاط عرضی در کانال و رودخانه‌ها تغییرات غلظت در راستای عمودی معمولاً قابل اغماض می باشد. بنابر این معادله متوسط عمقی بقاء جرم در حالت کلی به شکل زیر ارائه می گردد [10]:

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t} + \frac{\partial(huc)}{\partial x} + \frac{\partial(hwc)}{\partial z} \quad (1)$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(h e_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h e_z \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

در رابطه (1)، c = غلظت متوسط عمقی، w ، u = به ترتیب سرعت متوسط عمقی در راستای x و z ، h = متوسط عمق جریان و e_x و e_z به ترتیب ضرایب پخش طولی و عرضی متوسط عمقی باشند که به صورت زیر تعریف می گردند:

$$e_x = - \frac{\overline{(u'c' + T_x')}}{\frac{\partial c}{\partial x}} \quad (2)$$

$$e_z = - \frac{\overline{(w'c' + T_z')}}{\frac{\partial c}{\partial z}} \quad (3)$$

در روابط فوق $\overline{T_x'}$ و $\overline{T_z'}$ = ضرایب پدیده انتقال متوسط عمقی هستند که بواسطه نوسانات توربولانس به ترتیب در راستای x و z وجود می آیند. $\overline{u'c'}$ = انتقال متوسط عمقی است که ناشی از گرادیان شار جرمی در راستای x می باشد. همچنین $\overline{w'c'}$ = انتقال متوسط عمقی است که ناشی از گرادیان شار جرمی در راستای عرضی z می باشد. شایان ذکر است که ضرایب پخش e_x و e_z در حالت کلی نمایانگر انتقال ذرات ردیاب در سیال، بواسطه نوسانات توربولانس بوده که در بررسی دقیق تر، e_x در راستای طولی و ناشی از برش های عمودی جریان¹ می باشد و

آشفته گی جریان (که از خصوصیات ذاتی آنها می باشد) امکان حمل، پخش و رقیق سازی آلاینده ها را در حد ظرفیت و توان خود دارا می باشند. تبعات زیست محیطی شدیدی را به دنبال خواهد داشت (1).

از مشخصه های جریان روباز در کنترل آلودگی، ضرائب پخشیدگی آشفته می باشند. افزایش این ضرائب در راستای سه محور، عامل رقیق سازی و افزایش تبادل مواد با بستر جریان و به طور کلی باعث کاهش طول اختلاط کامل می باشد. از جمله راه های افزایش این ضرایب (به خصوص ضریب پخشیدگی عرضی) می توان به افزایش زبری بستر و مقاومت جریان، تغییر ساختار جریان و افزایش آشفته گی بواسطه ایجاد زبری های موضعی در مسیر جریان اشاره کرد (2).

در این تحقیق با آزمایش تجربی و استفاده از روابط حاکم بر هیدرولیک جریان، اقدام به بررسی حالت های مختلف تاثیر ضریب زبری بر روی ضریب انتشار عرضی نموده و با مقایسه آنها، بهترین روش برای کاهش طول اختلاط کامل و افزایش راندمان کاهش غلظت در جریان های آشفته معرفی گردیده است. با مطالعه طریقه شکل گیری پدیده پخش در مجاری روباز، روش های افزایش ظرفیت حمل و قدرت پخش آلاینده ها، شناسایی شده و با منطقی کردن رها سازی آلاینده ها به رودخانه ها می توان محیط زیست و توسعه پایدار را توأمان تجربه کرد. در این راستا برآورد ضریب اختلاط عرضی جریان مهم ترین قدم برای تخمین طول اختلاط کامل می باشد.

معادله کلی بقاء جرم:

پخش گردیده تا جایی که در تمام سطح مقطع جریان، دارای غلظتی معادل 5% غلظت اولیه می‌شوند. در این حالت، اختلاط کامل صورت گرفته و پدیده رقیق‌سازی هیدرودینامیکی جریان از این نقطه به بعد، نقشی در کاهش غلظت آلاینده نخواهد داشت. در رابطه (6)، \bar{u} ، سرعت متوسط جریان، b ، عرض کانال روباز مورد آزمایش و e_z ، ضریب اختلاط عرضی جریان می‌باشد.

آنالیز ابعادی

از آنجایی که رابطه تئوری برای ضریب اختلاط عرضی (e_z) وجود ندارد نیاز است که آنالیز ابعادی انجام گیرد و متغیرهای مهم بدست آید. در یک کانال مستطیلی روباز، پارامترهای مؤثر بر ضریب پخش عرضی عبارتند از سرعت متوسط جریان u ، عمق جریان h ، عرض آبراهه b ، تنش برشی کف یا سرعت برشی u_* ، چگالی سیال r و لزجت دینامیکی جریان m . به عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$e_z = j(u, h, b, u_*, r, m) \quad (7)$$

چنانچه u_* ، h و r به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب شوند، می‌توان رابطه (7) را با توجه به قانون باکینگام چنین بازنویسی نمود:

$$\frac{e_z}{u_* h} = j\left(\frac{u_*}{u}, \frac{b}{h}, \frac{r u_* h}{m}\right) \quad (8)$$

که در آن $e_z / u_* h$ ضریب اختلاط عرضی بدون بعد بوده و با K نشان داده می‌شود.

در رابطه (8) پارامتر بی بعد سوم، عدد رینولدز برشی است که در صورتی که جریان آشفتۀ زیر باشد می‌توان از تأثیر ویسکوزیته سیال صرف‌نظر نمود. بنابراین رابطه (8) را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$\frac{e_z}{u_* h} = j\left(f, \frac{b}{h}\right) \quad (9)$$

e_z نیز در راستای عرضی و ناشی از چرخش‌های ثانویه است. با استفاده از رابطه (1)، هولی، روش تبادل گشتاور را برای محاسبه e_z از اندازه‌گیری‌های توزیع غلظت، با لحاظ کردن شرایط ماندگار و با صرف‌نظر از پخش طولی ارائه نمود(8). برای جریان یکنواخت در کانال مستطیلی مستقیم، عمق (h) ثابت و سرعت عرضی به صورت متوسط عمقی (\bar{w}) برابر صفر می‌باشد. با فرض اینکه e_x در مقطع کانال ثابت باشد، رابطه هولی به صورت زیر خلاصه می‌شود(8):

$$\frac{ds^2}{dx} = -\frac{2}{u} e_z = \frac{\int_{-b/2}^{b/2} \frac{\partial c}{\partial z} z dz}{\int_{-b/2}^{b/2} c dz} \quad (4)$$

در رابطه فوق b ، عرض کانال، z = فاصله از خط مرکزی کانال، c = غلظت ماده ردیاب در نقطه مورد نظر و s^2 = واریانس توزیع غلظت از خط مرکزی کانال می‌باشد. در این مورد تزریق ماده ردیاب باید در خط مرکزی انجام شود. مقدار واریانس توزیع غلظت از رابطه زیر بدست می‌آید(3):

$$s^2 = \frac{\int_{-b/2}^{b/2} z^2 c dz}{\int_{-b/2}^{b/2} c dz} \quad (5)$$

برای تعیین طول اختلاط کامل یک آلاینده در مجاری روباز، فیشر و همکارانش¹ رابطه‌ای را برای تعیین طول اختلاط کامل در شرایط تزریق ماده ردیاب در مرکز کانال ارائه کردند (7). این رابطه به شکل زیر می‌باشد.

$$L = \frac{0.1 \times \bar{u} \times b^2}{e_z} \quad (6)$$

در رابطه فوق L طول اختلاط کامل می‌باشد. در این طول از کانال که از محل منبع آلودگی آغاز می‌شود، مواد آلاینده به طور کامل در عرض و عمق کانال

در رابطه (9)، $f =$ فاکتور اصطکاک داریسی - ویسباخ بوده و برابر با $8(u_* / u)^2$ است. بنابراین ضریب بدون بعد پخش عرضی تابعی از فاکتور اصطکاک و نسبت عرض به عمق می‌باشد. در رابطه (9)، فاکتور اصطکاک بیانگر برش‌های کف بوده که آنها نیز تولید کننده اغتشاش و آشفتگی در جریان هستند. همچنین نسبت عرض به عمق نیز تا حدودی معرف جریان‌های ثانویه در کانال روباز می‌باشد (3)، (10).

نهایتاً ضریب اختلاط عرضی (e_z) را می‌توان توسط رابطه زیر به صورت بدون بعد بیان کرد:

$$q = \frac{e_z}{u_* h} \quad (10)$$

در رابطه (10)، $q =$ ضریب بدون بعد اختلاط عرضی، $e_x =$ ضریب اختلاط عرضی، $u_* =$ سرعت برشی و $h =$ عمق متوسط جریان می‌باشد. مقدار q ، حتی برای کانال‌های مستقیم نیز بسیار متغیر است.

به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که فاکتور اصطکاک نشان‌دهنده تنش می‌باشد که باعث توربولانس در جریان می‌شود و نسبت عرض به عمق بر چرخش‌های ثانویه در کانال تأثیر می‌گذارد (9).

در ارتباط با کانال‌های مستطیلی مستقیم، افراد مختلفی اقدام به اندازه‌گیری ضریب پخش عرضی نمودند. از آن جمله الدر و سالیوان¹ که این دو در این زمینه تنها بر روی کانال‌های مستطیلی با بستر صاف اندازه‌گیری - هایی انجام نمودند و مقدار ضریب بی‌بعد پخش عرضی را بین 108/0 تا 172/0 بدست آوردند (5)، (14). سایرین و چانگ² و نیز میلر و ریچاردسون³ آزمایشاتی شامل بستر زبر با استفاده از گوه‌های چوبی و بلوک‌های مستطیلی انجام دادند (11)، (15). این بلوک‌ها دارای

قرار دادند. از طرفی اوکویه، پریچ، لوو و کریشناپان⁴ نیز تحقیقاتی بر روی پدیده اختلاط آلودگی در کانال‌های زبر و صاف به طور همزمان و در شرایط زبری محدود بستر انجام دادند (10)، (12)، (13). اوکویه به این نتیجه رسید که با افزایش نسبت عرض به عمق (b/h)، مقدار ضریب q افزایش می‌یابد. زبری کانال نیز مورد دیگری است که علاوه بر نسبت (b/h) بر ضریب q مؤثر باشد (12). پریچ که از تخته‌های فلزی به عنوان زبری استفاده کرده بود، از آزمایشات خود نتیجه گرفت که فاکتور اصطکاک تأثیری بر ضریب q ندارد (13). با اینحال افراد دیگری همچون اینگمند، جابسون⁵ و سایرین و لوو و کریشناپان نشان دادند که با افزایش زبری، ضریب q نیز افزایش می‌یابد (6)، (9)، (10).

چاو و باباروتسی⁶ به طور تجربی توسعه عرضی لایه‌های اختلاط توربولانت در جریان در کانال‌های باز با عمق کم آب را تحقیق کردند. از نتایج منتشر شده نشان داده شد که ضرائب بدون بعد اختلاط عرضی در

4 - Okoye, Prych, Lau, Krishnapan

5 - Engman-jobson

6 - Chau-Babarutsi

1 - Elder-Sullivan

2 - Sayre-Chang

3 - Miller-Richardson

تنها موقعیت و آرایش زبری‌های موضعی متناوب تغییر داده شد. برای مقایسه اثر زبری نسبی در بستر کانال با حالتی که کانال دارای بستر صاف است از یک آزمایش شاهد استفاده شد که در آن بستر کانال بدون زبری موضعی و غیر موضعی مورد آزمایش قرار گرفت.

آزمایشات شامل شش نوع زبری موضعی با آرایش-های متفاوت هستند که در فاصله 1 متری از محل تزریق آلودگی تعبیه شده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل این سری آزمایشات و تأثیر زبری‌های موضعی در این فاصله از محل تزریق، بر فرآیند پخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که تقریباً در تمامی آزمایشات عمق، دبی و سرعت جریان ثابت بوده و به تبع آن سرعت برشی عمومی جریان نیز ثابت خواهد ماند. آرایش‌های مختلف بلوک‌های موضعی به صورت اشکال 1-الف الی 1-و می‌باشد.

برای زبری بستر در کانال مورد استفاده در این تحقیق از یک سری بلوک مکعب مستطیلی با سطح مقطع مستطیلی به ابعاد 5 سانتیمتر در 1/5 سانتیمتر و ارتفاع‌های متفاوت استفاده شد. دلیل استفاده از بلوک به عنوان زبری این بود که بتوان تأثیر آرایش آنها را به عنوان یک زبری موضعی و متناوب بر پدیده پخش بررسی کرد. آرایش بلوک‌ها باعث ایجاد یک سری خطوط جریان منحصراً به فرد در اطراف بلوک‌ها شده که هر کدام به نوعی در پدیده اختلاط عرضی مؤثر بودند.

آزمایش‌ها ابتدا در یک سری بلوک موضعی با آرایش‌های متفاوت در کانال 32 سانتیمتری انجام و تأثیر شکل آرایش بلوک‌ها بر ضریب اختلاط عرضی مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های پخشیدگی با استفاده از محلول نمک به عنوان ردیاب انجام شد. پس از حصول جریان توسعه یافته در کانال، در ترازوی بالاتر از لبه کانال از یک مخزن هوایی حاوی محلول رقیق شده نمک با غلظت معلوم و هد ثابت

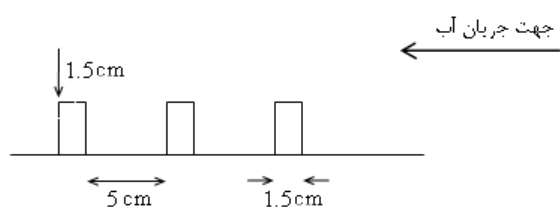
محدوده گسترده 0/1 تا 0/26 متغیر است (4). محققین قبلی تحقیقات خود را تحت شرایط صاف و یا شرایط محدود زبری بستر انجام دادند. بنابراین اندازه کانال و شرایط هیدرولیکی متفاوت توسط محققین مختلفی اختیار شده است.

چاو¹ تحقیقاتی در ارتباط با e_z و ضریب بدون بعد اختلاط عرضی در یک کانال مستطیلی روباز تحت شرایط مختلف زبری بستر و جریان به انجام رسانید. او در تحقیقات خود، مطابق دیگر محققین نشان داد که e_z نسبت به سرعت برشی و عمق جریان متغیر بوده ولی بر خلاف دیگر محققین اعلام کرد که مقدار ضریب بدون بعد اختلاط عرضی در بستر جریان با زبری‌های متفاوت، بدون تغییر باقی می‌ماند (3).

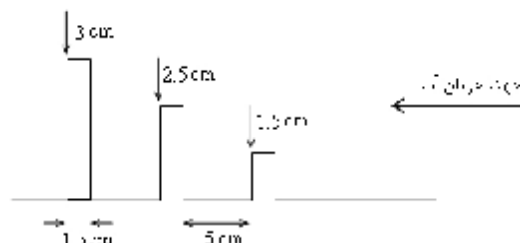
زبری‌های مورد استفاده محققین تاکنون در سرتاسر مسیر جریان مستقر بوده و تغییری در مقدار و آرایش زبری به صورت موضعی در طول کانال انجام نگرفته است. در این تحقیق سعی بر این است تا با استفاده از تغییر زبری بستر کانال (با حضور بلوک‌های مستغرق) مقدار ضریب اختلاط عرضی تعیین شده و در ادامه تأثیر این زبری موضعی بر طول اختلاط کامل جریان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

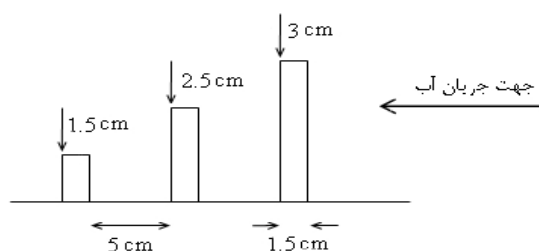
آزمایشات در یک کانال مستطیلی با طول تقریبی 7 متر و عرض 0/32 متر و ارتفاع 0/35 متر و تحت شرایط جریان یکنواخت در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت. این کانال بوسیله دو پمپ با حداکثر دبی 16/4 لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد. تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ توسط شیر تنظیم تعبیه شده پیش از دهانه ورودی به مخزن بالادست صورت می‌گرفت. آب در سیکل بسته از منبع اصلی به مخزن کوچک ابتدای فلوم پمپاژ شده و در آنجا با عبور از آرام کننده وارد کانال می‌شد. در هر آزمایش برای مقایسه تأثیر آرایش بلوک‌های متناوب، عمق و سرعت ثابت نگه داشته شده و



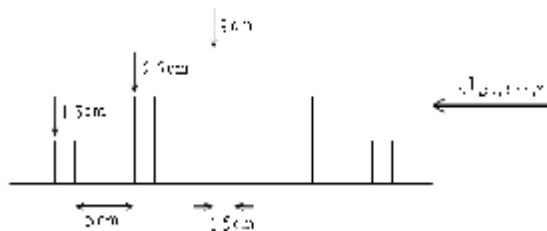
(د) آرایش چهار



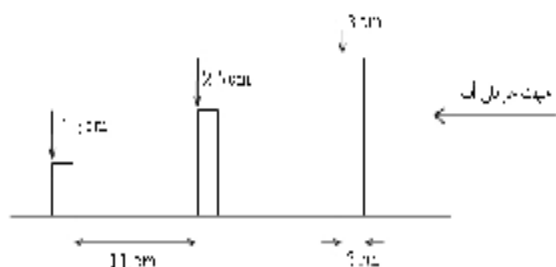
(الف) آرایش یک



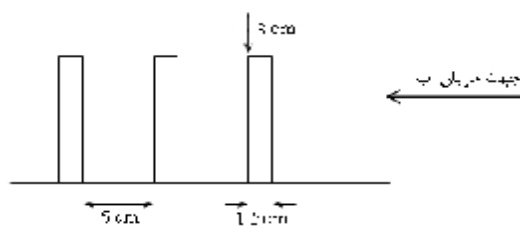
(ه) آرایش پنج



(ب) آرایش دو



(و) آرایش شش

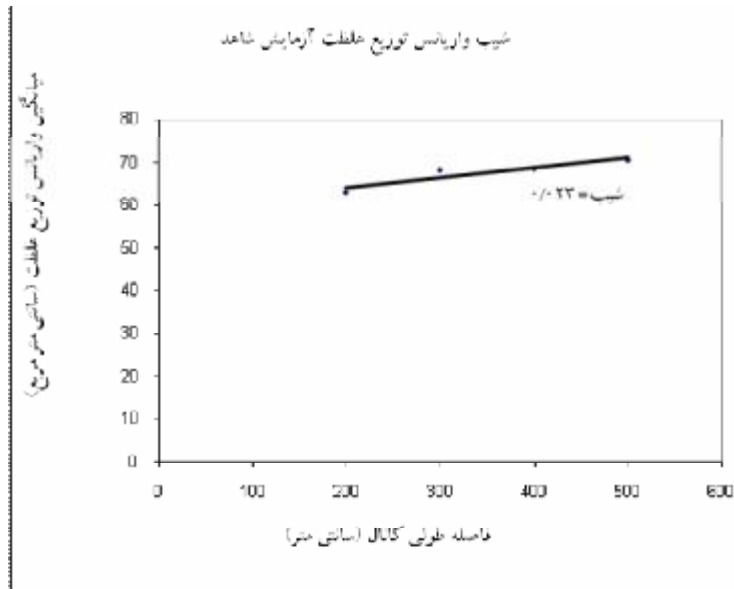


(ج) آرایش سه

شکل 1 - آرایش بلوک‌های موضعی

کاملاً توسعه یافته و نوسانات سطح آب به حد تعادل رسیده بود. در 4 مقطع $3/5$ ، $4/5$ ، $5/5$ و $6/5$ ، پخش عرضی ردیاب در مسیر جریان اندازه‌گیری شد. در هر مقطع سه تراز عمقی و در هر تراز، 9 نقطه در عرض کانال نمونه برداری شد. بنابراین در هر مقطع 27 نقطه نمونه برداری شد و EC آنها توسط $EC - meter$ اندازه‌گیری شد.

به عنوان ماده ردیاب استفاده گردید. یک لوله انعطاف‌پذیر نیز ماده ردیاب را از مخزن مذکور دریافت کرده و در مرکز سطح جریان ورودی به صورت دائمی تزریق می‌کرد. سرعت تزریق ماده ردیاب، طوری تنظیم شد که با سرعت میانگین جریان در کانال برابر گردد. محل تزریق نقطه‌ای ماده ردیاب در فاصله‌ای حدود $1/5$ متر از ابتدای کانال در نظر گرفته شد. در این موضع، جریان



شکل 2- نمایش شیب واریانس توزیع غلظت در آزمایش شاهد (بدون زبری)

نتایج و بحث

تغییرات ضریب اختلاط عرضی با آرایش‌های متفاوت بلوک‌ها

نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده در جدول (1) به صورت خلاصه ارائه گردیده است. چنانچه مشاهده می‌شود، برای مقایسه هر چه بهتر تأثیر بلوک‌های مستغرق، نتایج آزمایش شاهد نیز در جدول مذکور گنجانده شده است.

جهت نمایش بهتر اختلاف بین ضرایب اختلاط عرضی و طول کامل اختلاط در آرایش‌های مختلف بلوک، از اشکال 3 و 4 استفاده شده است.

تغییرات غلظت از مقدار اولیه در هر تراز بدست آورده شد و با تقسیم آن بر غلظت ماده ردیاب، تغییرات بدون بعد غلظت بدست آمد. با استفاده از رابطه (5) برای هر تراز واریانس داده‌های غلظت بدست آمده و با متوسط‌گیری از آنها، برای هر مقطع یک واریانس غلظت متوسط عمقی حاصل گردید.

نهایتاً با ترسیم واریانس‌های مقاطع روی یک محور طولی، مطابق شکل 2، شیب واریانس‌ها بدست آمده و با استفاده از این شیب و استفاده از رابطه (11) مقدار ضریب اختلاط عرضی در هر آزمایش حاصل گردید.

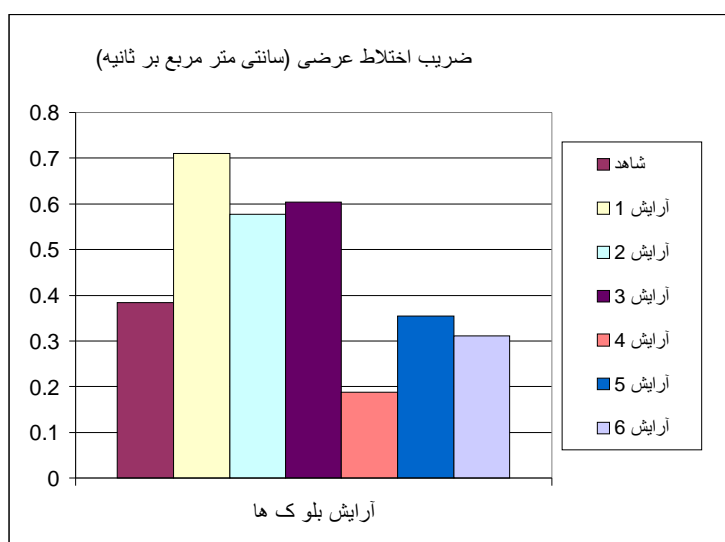
$$e_z = \frac{1}{2} u \frac{d\bar{s}^2}{dx} \quad (11)$$

\bar{u} = سرعت متوسط جریان (سانتی متر بر ثانیه)،

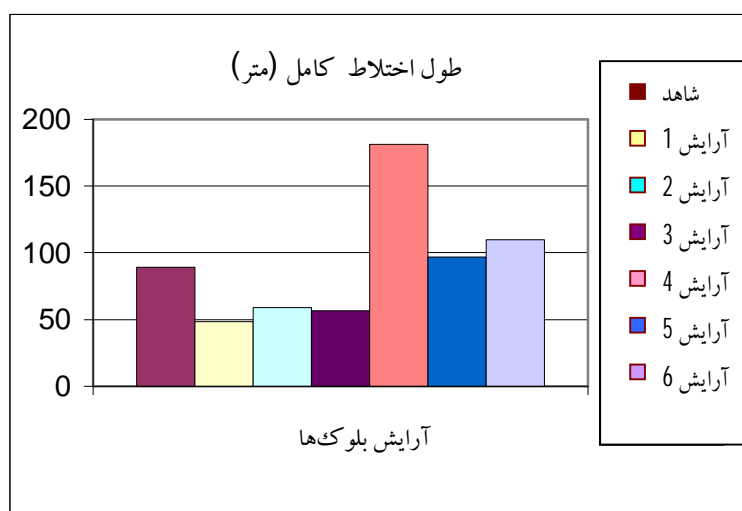
\bar{q} = ضریب اختلاط عرضی بدون بعد

جدول 1- خلاصه نتایج نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آرایش مختلف زبری

	آزمایش شاهد	آرایش 1	آرایش 2	آرایش 3	آرایش 4	آرایش 5	آرایش 6
شیب وارپانس توزیع غلظت (cm)	0/023	0/0425	0/0348	0/0364	0/0113	0/0212	0/0187
سرعت متوسط (cm/s)	0/334	0/334	0/332	0/332	0/333	0/334	0/333
ضریب اختلاط عرضی (cm ² /s)	0/384	0/7097	0/5777	0/6042	0/1881	0/354	0/3114
طول اختلاط کامل (m)	89/04	48/188	58/85	56/26	181/24	96/6	109/52
درصد افزایش ضریب اختلاط نسبت به شاهد	0	84/818	50/443	57/344	-51/02	-7/81	-18/91



شکل 3- مقایسه ضریب اختلاط عرضی جریان و آرایش‌های مختلف زبری موضعی



شکل 4- مقایسه طول اختلاط کامل جریان و آرایش‌های مختلف زبری موضعی

است. با افزایش سرعت آب در این ناحیه، آلودگی تحت تأثیر خطوط جریان به سرعت از بالای بلوکها عبور کرده است و فرصت پخش در بین بلوکها را پیدا نکرده است. پس از آرایش شماره یک، بیشترین ضریب اختلاط مربوط به آرایش شماره سه با سه ردیف بلوک با ارتفاع سه سانتی متر می باشد. نتایج نشان می دهد این ارتفاع زبری، مناسب بوده زیرا افزایش حدود 57 درصدی در میزان ضریب اختلاط عرضی ایجاد کرده که نشان دهنده آن است که آلودگی به خوبی در ناحیه بین زبریها مخلوط گردیده است. در آرایش شماره دو، طول زبریها بیشتر از حالت های دیگر می باشد ولی با مقایسه با آرایش اول مشاهده می شود که در حالت اول در پشت زبریها فضایی ایجاد شده که جریان های ثانویه باعث اختلاط بیشتر آلودگی در این منطقه شده که در آرایش دو با وجود اینکه طول زبری بیشتر است ولی ضریب اختلاط کمتر بوده زیرا چنین ناحیه ای در پشت بلوکها وجود ندارد و حتی این افزایش طول زبری نتیجه عکس گذاشته است. در مورد سایر آرایشها که باعث کاهش ضریب اختلاط عرضی نسبت به حالت شاهد شده است نیز می توان نظری مشابه آرایش شماره چهار داشت. به عنوان مثال در آرایش شش نیز طول اختلاط افزایش یافته زیرا بلوک اول به عنوان مانع و توده زبر متراکمی عمل کرده و فرصت مخلوط شدن آلودگی در بین بلوکها وجود نداشته، همچنین آرایش شماره پنج با فاصله طولی بیشتر بین ردیفهای بلوک از 5 به 11 سانتی متر باعث افزایش ضریب اختلاط عرضی گشته که بیانگر آن است که آلودگی بهتر از آرایش شماره شش توانسته خود را در فضای بلوکها وارد و مخلوط کند.

همانطور که در شکل 3 مشاهده می شود کمترین میزان ضریب اختلاط عرضی مربوط به آرایش شماره چهار و برابر با $0/18$ سانتی متر مربع بر ثانیه و بیشترین مقدار این ضریب مربوط به آرایش شماره یک با ضریب اختلاط عرضی معادل $0/71$ سانتی متر مربع بر ثانیه و حدود 85 درصد افزایش نسبت به شاهد می باشد. طبق نتایج بدست آمده مقدار این پارامتر در حالتی که از زبری موضعی در مسیر جریان استفاده شده است در آرایشهای یک، دو و سه افزایش و در آرایشهای چهار، پنج و شش نسبت به شاهد کاهش یافته است.

آرایش یک بهترین آرایش در افزایش ضریب اختلاط عرضی را دارد و بهترین آشفتگی را جهت مخلوط شدن آلودگی ایجاد کرده است. در این آرایش که از سه ردیف بلوک با ارتفاع افزایشی از $1/5$ تا 3 سانتی متر در جهت جریان تشکیل شده است، آلودگی توانسته خود را به محدوده زبریها برساند و فرصت پخش بین بلوکها را به خوبی پیدا کرده است. در پشت بلوکها منطقه آشفته ایجاد شده و جریانهای ثانویه به خوبی در مخلوط شدن آلودگی کمک کرده و طول اختلاط را کاهش داده است. در مقابل آرایش شماره چهار، کمترین ضریب اختلاط عرضی را دارد که در این مورد نه تنها طول اختلاط کامل کاهش نیافته است بلکه بیشتر از طول اختلاط کامل در آزمایش شاهد می باشد. دلیل آن را می توان بدین صورت توجیه کرد که آرایش شماره چهار که شامل سه ردیف بلوک با ارتفاع برابر $1/5$ سانتی متر می باشد به صورت یک برآمدگی و مانع در کف کانال عمل کرده و چون ارتفاع کمی داشته، آلودگی نتوانسته خود را به محدوده زبری برساند و این بلوکها به صورت برآمدگی کف کانال، باعث کاهش سطح مقطع جریان و در نتیجه افزایش سرعت آب در این محدوده گشته

نتیجه گیری

با ارتفاع افزایشی از 1/5 تا 3 سانتیمتر در جهت جریان بوده و بهترین آشفتگی را جهت مخلوط شدن آلودگی ایجاد کرده است که نتیجه آن کمترین مقدار طول اختلاط می‌باشد. همچنین با تغییر فواصل و افزایش فضای خالی بین بلوک‌ها جهت نفوذ آلودگی در بین بلوک‌ها مقدار ضریب مذکور افزایش یافته است.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات می‌توان دریافت که ضریب اختلاط عرضی به آرایش زبری بستگی داشته و بهترین راندمان افزایش ضریب اختلاط عرضی در کانال مورد بررسی مربوط به آرایشی از بلوک‌ها می‌باشد که شامل سه ردیف بلوک

منابع

1. Boxall, J. B and I. Guymer. 2000. Estimating Transverse Mixing Coefficients. *Water and Maritime Engrg.* 4: 263-275.
2. Chanson, H. 2004. *Environmental Hydraulics of Open Channel Flow*. Chapter 7, Elsevier.
3. Chau, K.W., (2000), "Transverse Mixing Coefficient Measurements in an Open Rectangular Channel," *Adv in Environmental Res.* 4: 287-294.
4. Chu, V. H., Babarutsi, S. (1988), "Confinement and Bed-friction Effects in Shallow Turbulent Mixing Layers," *J. Hydr. Engrg.* 127: 919-927.
5. Elder, J. W., (1959), "The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow," *J. fluid Mech.* 5: 544-560.
6. Engman, E. O., (1974), "Discussion of Diffusion and Dispersion in Open Channel Flow," *J. Hydr Div, ASCE.* 100: 1850-1851.
7. Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H., (1979), "Mixing in Inland and Coastal Waters," Academic Press, N.Y.
8. Holley, E. R. 1971. Transverse Mixing Characteristics in Rivers. Report No. S132, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, the Netherlands.
9. Jobson, H. E. and Sayre W. W., (1970), "Vertical Transfer in Open Channel Flow," *J. Hydr Div, ASCE.* 96: 703-724.
10. Lau, Y. L. and Krishnappan, B. G., (1977), "Transverse Dispersion in Rectangular Channels," *J. Hydr Div. ASCE.* 103: 1173-1189.
11. Miller, A. C. and E. V. Richardson. 1974. Diffusion and Dispersion in Open Channel Flow. *J. Hydr Div. ASCE.* 100: 159-171.

12. Okoye, J. K., (1970), "Characteristics of Transverse Mixing in Open Channel Flows," Report No. KH-R-23, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, Calif.
13. Prych, E. A. (1970), "Effects of Density Differences on Lateral Mixing in Open Channel Flows," Report No. KH-R-21, W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California.
14. Sullivan, P. J., (1968), "Dispersion in a Turbulent Shear Flow," thesis presented to Churchill College, University of Cambridge, at Cambridge, England, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
15. Sayre, W. W. and Chang, F. M., (1968), "A Laboratory Investigation of the Open Channel Dispersion Process for Dissolved, Suspended and Floating Dispersants," U.S. Geological Survey Professional Paper, 433-E, 77pp.