

انتخاب روش مناسب برای کاهش طول اختلاط کامل در جریان آشفته در کانال مستطیلی

عالیه سعادت پور^۱، منوچهر حیدرپور^۲ و سید حسن طباطبائی^{۳*}

چکیده

ضریب اختلاط عرضی یکی از پارامترهای هیدرولیکی جریان است که با آن می‌توان مقدار خودپالایی رودخانه‌ها را تخمین زد. هدف این تحقیق، بررسی تأثیر تغییرات نسبت عرض به عمق بر ضریب اختلاط عرضی است. آزمایش‌ها در کانالی شیشه‌ای به طول ۷ متر، عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر اجرا شد که با دو پمپ با حداکثر دبی ۱۶/۴ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد. جریان به صورت یکنواخت بود و عمق جریان با دریچه کنترل در پایین دست کانال کنترل می‌باشد. پس از حصول جریان توسعه یافته در کانال، محلول کلرید سدیم با غلظت ۲۵ گرم در لیتر به عنوان ماده ردیاب استفاده شد. غلظت‌ها در ۴ مقطع در طول کانال و در هر مقطع در ۲۷ نقطه اندازه‌گیری شد. ضریب اختلاط عرضی با استفاده از روابط ساده شده معادله بقای جرم، برای نسبت‌های مختلف عرض به عمق بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت عرض به عمق از ۲/۸ به ۵/۶۹، انتقال از طریق جریان‌های ثانویه افزایش می‌یابد. در نتیجه در سرعت ثابت ۰/۳۳ متر مربع بر ثانیه، مقدار ضریب بی‌بعد اختلاط عرضی با افزایش عمق جریان از ۵/۶۲۱ به ۱۱/۴ سانتی‌متر برای کانال مورد نظر از ۰/۴۹۴۵ به ۰/۱۲۱ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: ضریب اختلاط عرضی، آلودگی، خودپالایی، طول اختلاط کامل

ارجاع: سعادت پور ع. حیدرپور م. و طباطبائی س.ح. ۱۳۹۰. انتخاب روش مناسب برای کاهش طول اختلاط کامل در جریان آشفته در یک کانال مستطیلی. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۹): ۱۱-۱۸

۱- دانشجوی سابق کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* نویسنده مسئول: stabaei@agr.sku.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۲۹

مقدمه

(θ) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش f ، ضریب θ نیز افزایش می‌یابد. مورفی و همکاران (۲۰۰۷) مدلی را برای پخش طولی در کانال‌های با پوشش گیاهی ارائه نمودند. آنها نشان دادند که در مکانیسم تبادل در کانال‌های بدون پوشش با کانال‌های داری پوشش، روش پخشیدگی تفاوت بسیار زیادی دارد و تراکم پوشش گیاهی بسیار تأثیرگذار است. اوکوئه (۱۹۷۰)، پریچ (۱۹۷۰)، لو و کریشناپان (۱۹۷۷) درباره‌ی این پدیده در کانال‌های زبر و صاف به طور هم زمان و در شرایط زبری محدود بستر تحقیق کردند. اوکوئه (۱۹۷۰) به این نتیجه رسید که با افزایش نسبت عرض به عمق (w/h)، مقدار ضریب θ افزایش می‌یابد. زبری کانال نیز مورد دیگری است که علاوه بر نسبت w/h به نظر می‌رسد بر ضریب θ مؤثر باشد. پریچ (۱۹۷۰) از آزمایش‌های خود نتیجه گرفت که فاکتور اصطکاک تأثیری بر ضریب θ ندارد. با این حال، محققین دیگری چون اینگمنند (۱۹۷۴)، جابسون و سایره (۱۹۷۰) و لو و کریشناپان (۱۹۷۷) نشان دادند که با افزایش زبری، ضریب θ نیز افزایش می‌یابد. آزمایش‌های مزرعه‌ای توسط بلتاوس (۱۹۸۰) برای تشخیص ضرایب اختلاط عرضی سه رودخانه، تحت شرایط آب آزاد و پوشش یخ، که متفاوت از شرایط ایده‌آل کانال عریض مستقیم یکنواخت با عمق ثابت است، انجام شد. چو و باباروتسی (۱۹۸۸) به طور تجربی توسعه عرضی لایه‌های اختلاط آشفته در جریان در کانال‌های باز با عمق کم آب را تحقیق کردند. نتایج نشان داد که ضرایب بدون بعد اختلاط عرضی در محدوده گسترده ۰/۱ تا ۰/۲۶ متغیر است. چاو (۲۰۰۰) تحقیقاتی در ارتباط با ضریب اختلاط عرضی و ضریب بدون بعد آن در یک کانال مستطیلی روباز تحت شرایط مختلف زبری بستر و جریان به انجام رسانید. وی در تحقیقات خود نشان داد که ضریب اختلاط عرضی نسبت به سرعت برشی و عمق جریان متغیر بوده ولی بر خلاف دیگر محققین اعلام کرد که مقدار این ضریب در بستر جریان با زبری‌های متفاوت، بدون تغییر باقی می‌ماند.

رهاسازی آلاینده‌ها در آب‌های سطحی، استفاده از فرایندهای اختلاط و رقیق‌سازی آلودگی را به منظور بازیابی و امکان استفاده از آب‌های آلوده ضروری ساخته است. ظرفیت خودپالایی و پخش آلاینده‌ها توسط جریان در رودخانه‌ها محدود است و لازم است آلاینده‌ها به طور حساب شده رهاسازی شوند. این مطلب نیازمند اطلاع از میزان توانایی حمل، پخش و پاک‌سازی آلاینده‌ها توسط جریان آب در طول مشخصی از مسیر خود است (میلر و ریچاردسون، ۱۹۷۴).

برآورد ضریب اختلاط عرضی (e_z)^۱ جریان مهمترین قدم برای تخمین طول اختلاط کامل است. طول اختلاط کامل^۲ مسافتی است که جریان در طول آن توانایی رقیق‌سازی و پخش کامل آلاینده را به صورت یکنواخت در سطح مقطع دارد. محاسبات مربوط به سرعت انتشار مواد و غلظت آنها در کانال‌های باز معمولاً بر اساس معادلات ساده شده بقای جرم صورت می‌گیرد. راه‌حل‌هایی تجربی برای جریان‌های یکنواخت در کانال‌های مستقیم هست و جریان‌های پیچیده هندسی را می‌توان با روش‌های عددی توضیح داد. اگرچه درستی این روش‌ها بستگی به مقادیر صحیح ضرایب اختلاط آشفته‌گی دارد، برای گسترده‌گی‌های جانبی، به طور معمول ضریب اختلاط جانبی متناسب با حاصل ضرب سرعت برشی در عمق متوسط فرض می‌شود (فیشر و همکاران، ۱۹۷۹). الدر (۱۹۵۹) و سالیوان (۱۹۶۸) اندازه‌گیری‌هایی را روی کانال‌های مستطیلی با بستر صاف^۳ انجام دادند. سایره و چانگ (۱۹۶۸)، میلر و ریچاردسون (۱۹۷۴) آزمایش‌هایی شامل بستر زبر با استفاده از گوه‌های چوبی و بلوک‌های مستطیلی انجام دادند. این دو با استفاده از بلوک‌های مستطیلی در سرتاسر بستر کانال به عنوان زبری، تأثیر فاکتور اصطکاک^۴ (f) را بر ضریب بدون بعد اختلاط عرضی

1 - Transverse mixing coefficient (e_z)

2 - Complete mixing length (CML)

3 - Smooth

4 - Friction factor

$$L = \frac{0.1 \times \bar{u} \times w^2}{e_z} \quad (3)$$

در معادله فوق: L ، طول اختلاط کامل (متر)، \bar{u} ، سرعت متوسط جریان (m/s)، w ، عرض کانال روباز مورد آزمایش (m) و e_z ، ضریب اختلاط عرضی جریان (m^2/s) می‌باشد. طول اختلاط کامل طولی از کانال است که از محل منبع آلودگی آغاز می‌شود. مواد آلاینده به طور کامل در عرض و عمق کانال پخش گردیده تا جایی که تمام سطح مقطع جریان دارای غلظتی معادل ۵٪ غلظت اولیه می‌شوند. در این حالت، اختلاط کامل صورت گرفته و پدیده رقیق‌سازی هیدرودینامیک جریان از این نقطه به بعد نقشی در کاهش غلظت آلاینده نخواهد داشت.

برآورد ضریب اختلاط عرضی جریان مهمترین قدم برای تخمین طول اختلاط کامل می‌باشد. تاکنون تحقیقاتی با حضور بلوک‌های مستغرق به صورت موضعی و متناوب برای تعیین ضریب اختلاط عرضی صورت نگرفته است. لذا، هدف این تحقیق بررسی اثر تغییرات نسبت عرض به عمق بر ضریب اختلاط عرضی در یک کانال مستطیلی در شرایط آزمایشگاهی است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک کانال مستطیلی با طول تقریبی ۷ متر، عرض ۰/۳۲ متر، ارتفاع ۰/۳۵ متر و تحت شرایط جریان یکنواخت در سال ۱۳۸۷ در فلوم تحقیقاتی آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان و به مدت یک ماه انجام گرفت. شاسی کانال فلزی بوده و دیواره و کف آن از جنس پلکسی-گلاس شفاف با زبری نسبتاً کم می‌باشد. این کانال به وسیله دو پمپ با حداکثر دبی ۱۶/۴ لیتر در ثانیه تغذیه می‌شد. تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ توسط شیر تنظیم تعبیه شده روی لوله رانش پمپ 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. شماتیک کانال آزمایشگاهی در شکل ۱ آمده است.

از آنجایی که رابطه تئوری برای ضریب اختلاط عرضی وجود ندارد نیاز است که آنالیز ابعادی انجام گیرد و متغیرهای مهم به دست آید. در یک کانال مستطیلی روباز، پارامترهای مؤثر بر ضریب پخش عرضی عبارتند از سرعت متوسط جریان u ، عمق جریان h ، عرض آبراهه w ، تنش برشی کف یا سرعت برشی u^* ، چگالی سیال ρ و لزجت دینامیک جریان μ . e_x و e_z به ترتیب ضرایب پخش طولی و عرضی متوسط عمق می‌باشند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$e_x = - \frac{\left(\overline{u'c'} + \overline{T_x} \right)}{\frac{\partial c}{\partial x}} \quad (1)$$

$$e_z = - \frac{\left(\overline{u'c'} + \overline{T_z} \right)}{\frac{\partial c}{\partial z}} \quad (2)$$

در معادلات فوق، $\overline{T_x}$ و $\overline{T_z}$ ضرایب پدیده انتقال متوسط عمقی هستند که بواسطه نوسانات آشفتگی به ترتیب در راستای x و z به وجود می‌آیند. $\overline{u'c'}$ انتقال متوسط عمقی است که ناشی از گرادیان شار جرمی در راستای x می‌باشد. همچنین $\overline{w'c'}$ انتقال متوسط عمقی است که ناشی از گرادیان شار جرمی در راستای z می‌باشد. شایان ذکر است که ضرایب پخش e_x و e_z در حالت کلی نمایانگر انتقال ذرات ردیاب در سیال، به واسطه نوسانات تلاطم است که در بررسی دقیق‌تر، در راستای طولی و ناشی از برش-های عمودی جریان^۳ است و e_z نیز در راستای عرضی و ناشی از چرخش‌های ثانویه^۴ است. برای تعیین طول اختلاط کامل یک آلاینده در مجاری روباز، فیشر و همکاران (۱۹۷۹) رابطه‌ای را برای تعیین طول اختلاط کامل در شرایط تزریق ماده ردیاب در مرکز کانال ارائه کردند. این معادله به شکل زیر است:

1-Average transport depth caused by turbulent fluctuations in the x and z directions

2-Average transport depth due to differential convection in x direction

3-Vertically shear flow

4-Secondary circulation

گیره به میله مدرج متصل شد تا بتواند در فواصل مشخص و معینی در عرض و عمق حرکت کند. محدوده مطالعاتی نسبت‌های عرض به عمق از $2/8$ تا $5/69$ متغیر بود. این بدان معنی است که در کانال با عرض 32 سانتی‌متر، محدوده اعماق مورد آزمایش از $5/6$ تا $11/4$ سانتی‌متر است.

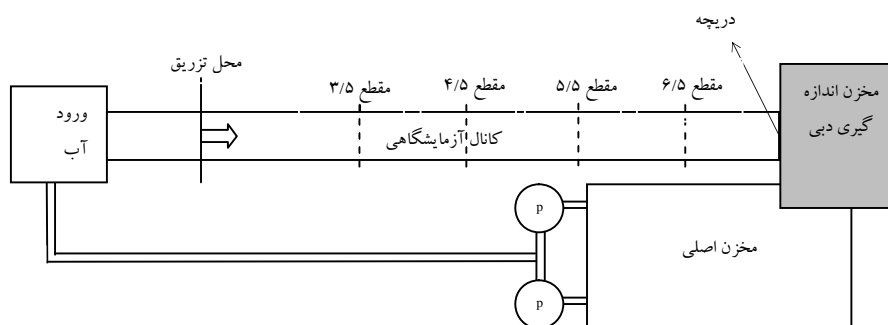
هشت آزمایش صورت گرفت و در هر آزمایش 4 مقطع و در هر مقطع 27 نقطه نمونه برداری شد و هدایت الکتریکی آنها توسط EC -meter اندازه‌گیری شد. به منظور عدم تأثیر EC آب برگشتی بر نتایج هر مرحله از آزمایش، تغییرات غلظت از مقدار اولیه در هر تراز به دست آورده شد و با تقسیم آن بر غلظت ماده ردیاب، تغییرات بدون بعد غلظت به دست آمد.

نهایتاً با ترسیم واریانس‌های مقاطع روی یک محور طولی، مطابق شکل ۲، شیب واریانس‌ها به دست آمد و با استفاده از این شیب و معادله زیر میزان ضریب اختلاط عرضی در هر آزمایش به دست آمد که در آن \bar{u} سرعت متوسط جریان، e_z ضریب اختلاط عرضی و $d\sigma^2/dx$ شیب واریانس توزیع غلظت در طول کانال است.

$$\bar{e}_z = \frac{1}{2} \bar{u} \frac{d\sigma^2}{dx} \quad (4)$$

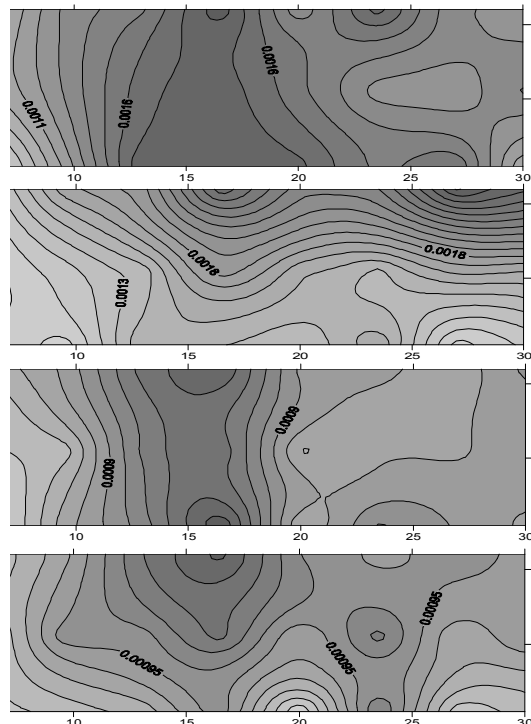
اندازه‌گیری‌های پخشیدگی با استفاده از محلول کلرید سدیم به عنوان ردیاب انجام شد. پس از حصول جریان توسعه یافته در کانال، در تراز بالاتر از لبه کانال از یک مخزن هوایی حاوی محلول رقیق شده کلرید سدیم با غلظت 25 گرم در لیتر و ارتفاع ثابت به عنوان ماده ردیاب استفاده شد. این غلظت به این دلیل انتخاب شد که چگالی ماده ردیاب باید حدوداً برابر چگالی سیال باشد چرا که توسعه‌ی معادلات پخش و استخراج آنها بر اساس همین فرض انجام شده است. یک لوله انعطاف‌پذیر نیز ماده ردیاب را از مخزن مذکور دریافت کرده و در مرکز سطح جریان ورودی به صورت دائمی تزریق می‌کرد. سرعتی که ماده ردیاب به داخل آب وارد می‌شد، طوری تنظیم شد که برابر سرعت میانگین جریان در کانال به دست آید. محل تزریق نقطه‌ای ماده ردیاب در فاصله‌ای حدود $1/5$ متر از ابتدای کانال در نظر گرفته شد. در این موضع، جریان کاملاً توسعه یافته و نوسانات سطح آب به حد تعادل رسیده بود.

در چهار مقطع به فاصله $3/5$ ، $4/5$ ، $5/5$ و $6/5$ متر از ابتدای کانال (شکل ۱)، پخش عرضی ردیاب در مسیر جریان اندازه‌گیری شد. در هر مقطع سه تراز عمقی سطح، مرکز و کف کانال و در هر تراز، ۹ نقطه در عرض کانال نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری توسط یک لوله شیشه‌ای L شکل که حدود 10 سانتی‌متر از آن به صورت افقی در قاعده قرار دارد، انجام گرفت. لوله با یک

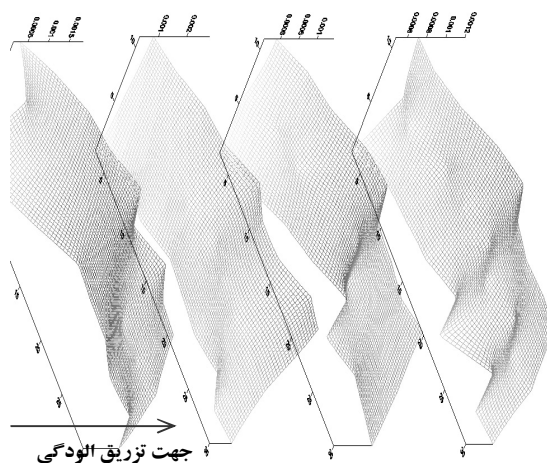


شکل ۱- پلان کانال آزمایشگاهی

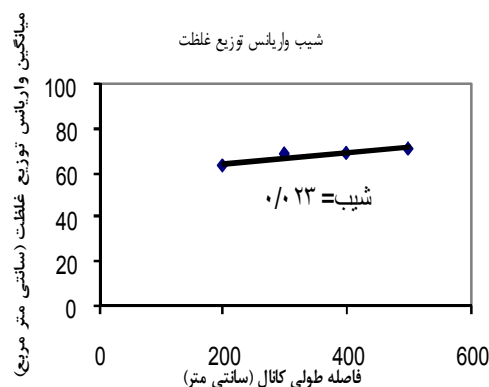
می‌یابد که باعث افزایش سرعت پخش گردید. در نتیجه، در سرعت ثابت ۰/۳۳ متر بر ثانیه، مقدار ضریب اختلاط عرضی با افزایش عمق جریان برای کانال مورد نظر کاهش یافت.



شکل ۳ - نحوه توزیع آلودگی در ۴ مقطع کانال در فواصل ۳/۵، ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ متر از ابتدای کانال به ترتیب از پایین به بالا



شکل ۴ - نمایش ۳ بعدی پخش آلودگی در ۴ مقطع کانال در فواصل ۳/۵، ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ متر از ابتدای کانال به ترتیب از چپ به راست



شکل ۲ - نمایش شیب واریانس توزیع غلظت در آزمایش با عمق ۱۱/۴ سانتی متر

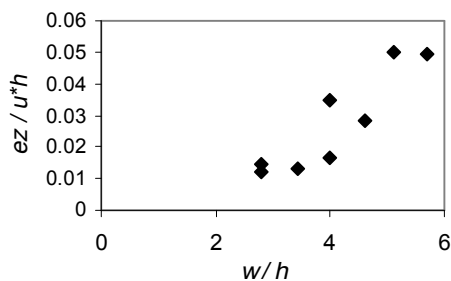
نتایج و بحث

تغییرات ضریب بدون بعد اختلاط عرضی ($\bar{\theta} = \bar{e}_z / u_* h$) با نسبت عرض به عمق ($\lambda = w/h$)

شکل ۳ نحوه توزیع آلودگی در ۴ مقطع به صورت دو بعدی و شکل ۴ به صورت سه بعدی در آزمایش با عمق ۱۱/۴ سانتی متر در کانال با عرض ۳۲ سانتی متر، جهت درک بهتر از نحوه توزیع را نشان می‌دهد. در شکل ۵ پروفیل غلظت بدون بعد عرضی در هر عمق در مقاطع مختلف آزمایش با عمق ۱۱/۴ سانتی متر در کانال با عرض ۳۲ سانتی متر جداگانه رسم شده است تا روند حرکت آلودگی در مقاطع و عمق‌های مختلف بیشتر مشخص شود.

همان طور که گفته شد، ضریب اختلاط عرضی جریان بر طبق معادله ۴ به دست می‌آید. اولین قدم برای به دست آوردن \bar{e}_z ، تعیین مقدار واریانس توزیع غلظت (σ^2) و سپس محاسبه شیب این واریانس در طول کانال می‌باشد ($d\sigma^2/dx$). شکل ۶ نسبت‌های w/h در مقابل ضرایب اختلاط عرضی بدون بعد مربوط به آنها را در آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد.

شکل ۶ نشان می‌دهد که مقدار $\bar{e}_z / u_* h$ با نسبت عرض به عمق افزایش می‌یابد. بررسی تغییرات ضریب اختلاط عرضی بدون بعد ($\bar{e}_z / u_* h$) در مقابل نسبت بدون بعد عرضی به عمق نشان داد که با افزایش نسبت عرض به عمق، انتقال از طریق جریان‌های ثانویه افزایش



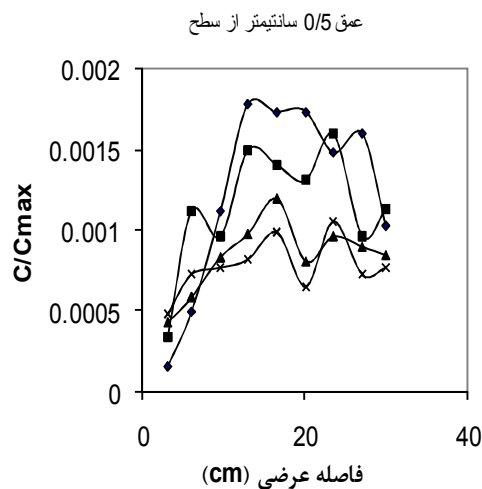
شکل ۶- تغییرات e_z/u_*h در مقابل w/h

افزایش e_z/u_*h با w/h ممکن است به صورت زیر نیز توضیح داده شود: هرچه بعد تلاطم در جهت جانبی بزرگتر باشد، گستردگی عرضی توده ماده ردیاب بیشتر است. بنابراین اگر عمق جریان h ثابت باشد، e_z/u_*h با افزایش مقدار w هنگامی که بعد جانبی می‌تواند افزایش یابد، افزایش می‌یابد. بنابراین e_z/u_*h با افزایش $w/h = \lambda$ افزایش و با کاهش λ کاهش می‌یابد. هنگامی که $\lambda \rightarrow 1$ ، تحلیل جریان به این شکل قابل بررسی نمی‌باشد، زیرا جریان به شدت سه بعدی می‌شود. هنگامی که $\lambda \rightarrow 0$ ، عرض کانال دیگر طول مشخص عرضی نمی‌باشد و انتظار می‌رود که ضریب بدون بعد اختلاط عرضی θ به مقدار ثابت برسد (اوکویه، ۱۹۷۰).

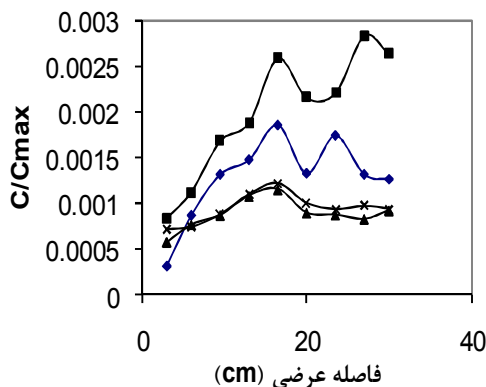
شکل ۷ نشان می‌دهد که در سرعت و عرض ثابت کانال، با افزایش عمق جریان، e_z کاهش می‌یابد. تغییر از عمق‌های کمتر به بیشتر، به همراه افزایش ابعاد تلاطم و کاهش u_* و بنابراین کاهش در شدت آشفتگی^۱ می‌باشد. می‌توان مشاهده کرد که در هر مورد، e_z با افزایش عمق کاهش می‌یابد. واضح است که افزایش در ابعاد بر انتقال پخشنده به اندازه کاهش در شدت تلاطم تأثیر نمی‌گذارد. نتیجه نهایی افزایش عمق به صورت کاهش در انتقال پخشنده آشفتگی^۲ مشخص است.

1- Turbulence intensity

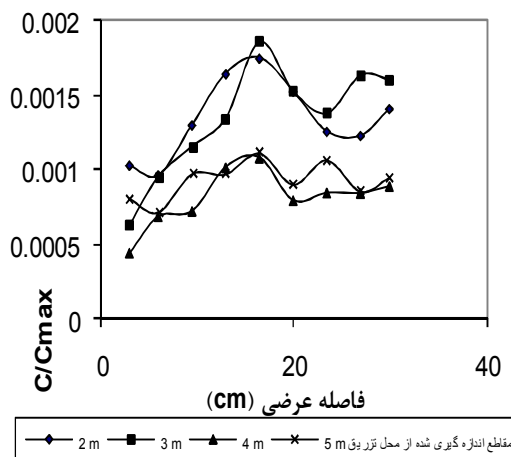
2- Turbulent diffusive transport



عمق ۱۱ سانتیمتر از سطح

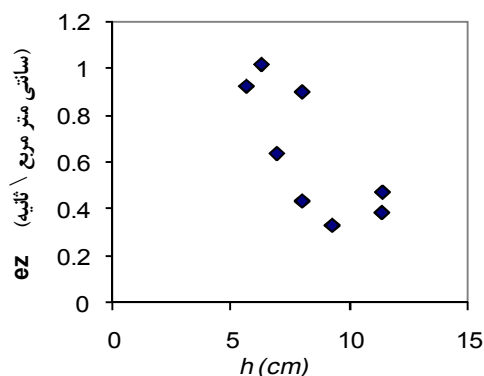


عمق ۵/۵ سانتیمتر از سطح



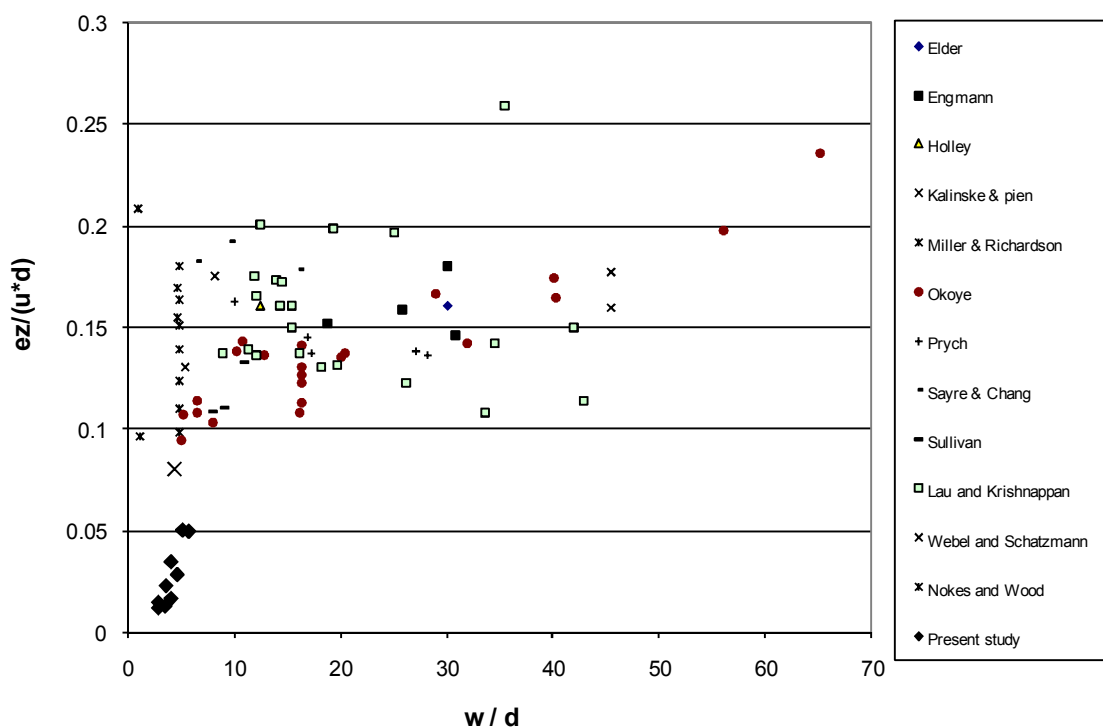
شکل ۵- مقایسه پروفیل‌های غلظت بدون بعد (C/C_{max}) برای مقاطع مختلف در اعماق ۰/۵، ۵/۵ و ۱۱ سانتی‌متر

صورت نمی‌پذیرد. به دلیل عمق نسبتاً زیاد و نیز سرعت برشی قابل توجهی که در این مطالعه به دست آمده، مقادیر بی‌بعد حاصل شده نسبتاً کوچک است. با این حال، مقادیر ضریب بعددار اختلاط عرضی در آزمایش‌های انجام شده (با توجه به عرض و سرعت برشی کانال) در محدوده نتایج دیگر محققین می‌باشد. اگرچه بسیاری از محققین مقدار ثابت 0.23 را برای این ضریب استفاده کرده‌اند ولی بدون در نظر گرفتن شکل جریان، از شکل ۵ مشخص است که $e_z / u_* h$ حتی برای کانال‌های مستقیم مستطیلی ثابت نیست. ضرایب اختلاط عرضی به دست آمده از این تحقیق همانند داده‌های اوکویه (۱۹۷۰) با افزایش نسبت عرض به عمق روند افزایشی نشان داده و مخالف با روند کاهشی داده‌های لو و کریشناپان (۱۹۷۵) می‌باشد. لذا می‌تواند تأییدی بر شبهه ایجاد شده روی کیفیت داده‌های لو و کریشناپان (۱۹۷۵) باشد. مقادیر بدون بعد اختلاط عرضی در این آزمایش مابین 0.121 و 0.05 تغییر می‌کند.



شکل ۷- تغییرات e_z در مقابل h در عرض و سرعت ثابت

جهت مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج سایر محققین، داده‌های موجود از منابع قابل دسترس جمع آوری شده و به همراه نتایج به دست آمده از تمامی آزمایش‌های این مطالعه در شکل ۸ به صورت بی‌بعد ارائه شده است. همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در مورد مقادیر بی‌بعد ضریب اختلاط عرضی، با کاهش مقدار w/h ، پارامتر مذکور در بعضی موارد افزایش یافته و در موارد دیگری نیز تغییر زیادی



شکل ۸- مقایسه نتایج اختلاط عرضی بدون بعد در برابر w/h با نتایج دیگر محققین

- 10-Jirka G.H. Bleninger T. Burrows R. and Larsen T. 2004. Environmental quality standard in the EC-water frame work direction: consequences for water pollution control for point sources. Official Publication of the European Water Association (EWA).
- 11-Jobson H.E. and Sayre W.W. 1970. Vertical transfer in open channel flow. J. Hyd. Div. 96:703-724.
- 12-Lau Y.L. and Krishnappan B.G. 1977. Transverse dispersion in rectangular channels. J. Hyd. Div. 103:1173-1189.
- 13-Miller A.C. and Richardson E.V. 1974. Diffusion and dispersion in open channel flow. J. Hyd. Div. 100:159-171.
- 14-Murphy E. 2006. Longitudinal dispersion in vegetated flow. MSc., Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology.
- 15-Murphy E. Ghisalberti M. and Nepf H. 2007. Model and laboratory study of dispersion in flows with submerged vegetation. Water Resour. Res. 43:W05438.
- 16-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, CA.
- 17-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, CA.
- 18-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, 77 p.
- 19-Shiono K. and Feng T. 2003. Turbulence measurements of dye concentration and effects of secondary flow on distribution in open channel flows. ASCE, J. Hyd. Eng. 129:373-384.
- 20-Sullivan P.J. 1968. Dispersion in a turbulent shear flow. PhD Thesis, Churchill College, University of Cambridge, Cambridge, England.

نتیجه‌گیری

- نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که:
- ۱- در سرعت ثابت جریان، مقدار ضریب اختلاط عرضی با افزایش عمق جریان در کانال بررسی شده کاهش می‌یابد.
 - ۲- بررسی تغییرات ضریب بدون بعد اختلاط عرضی (ez/u^*h) در مقابل نسبت بدون بعد عرض به عمق نشان داد که با افزایش نسبت عرض به عمق، انتقال از طریق جریان‌های ثانویه افزایش می‌یابد که باعث افزایش سرعت پخش گردیده است.
 - ۳- در سرعت ثابت، مقدار ضریب اختلاط عرضی با افزایش عمق جریان برای کانال مورد نظر افزایش یافت.

منابع

- 1- Beltaos S. 1980. Transverse mixing tests in natural stream. ASCE, J. Hyd. Div. 106(10): 1607-1625.
- 2- Boxall J.B. and Guymer I. 2000. Estimating transverse mixing coefficients. Water and Maritime Eng. 4:263-275.
- 3- Boxall J. B. and Guymer I. 2003. Analysis and prediction of transverse mixing coefficients in natural channels. J. Hydr. Eng. 129:129-139.
- 4- Chanson H. 2004. Environmental hydraulics of open channel flow. Chapter 7, Elsevier, N.Y.
- 5- Chau K.W. 2000. Transverse mixing coefficient measurements in an open rectangular channel. Adv. in Environ. Res. 4: 287-294.
- 6- Chu V.H. and Babarutsi S. 1988. Confinement and bed-friction effects in shallow turbulent mixing layers. J. Hyd. Eng. 127:919-927.
- 7- Elder J.W. 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. J. Fluid Mech. 5: 544-560.
- 8- Engman E.O. 1974. Discussion of diffusion and dispersion in open channel flow. J. Hyd. Div. 100:1850-1851.
- 9- 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.