

## بررسی تأثیر تعداد صفحات مستغرق بر ضرایب اختلاط عرضی در کانال مستطیلی

یاسمن بلادی<sup>۱\*</sup> و محمود شفاعی بجستان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۵

### چکیده

از مشخصه‌های جریان روباز در کنترل آلودگی، ضرایب پخشیدگی هستند. افزایش این ضرایب عامل رقیق‌سازی و افزایش تبادل مواد با جریان و به‌طور کلی باعث کاهش طول اختلاط کامل می‌شود. برای افزایش اختلاط عرضی و کاهش طول اختلاط روش‌های مختلفی وجود دارد که در این طرح از صفحات مستغرق با تعداد متغییر در عرض فلوم استفاده شد. آزمایش‌ها در کانالی شیشه‌ای به طول ۱۵ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر در ۵ حالت مختلف بدون وجود صفحات و با وجود صفحات مستغرق (۳ تا ۵ تا ۷ تا ۹ تا) در شرایط جریان ثابت انجام گرفت. با تزریق محلول سدیم کلرید به‌عنوان ماده ردیاب از مرکز کانال (با دبی ثابت) به کمک دستگاه EC سنج، میزان EC در ۴ مقطع پایین دست محل استقرار صفحات مستغرق اندازه‌گیری شدند و نتایج آزمایش‌ها در سناریوهای مختلف باهم مقایسه شدند. این نتیجه حاصل شد که وجود صفحات مستغرق ۷ تا ۹ بیش‌ترین تأثیر را روی ضریب اختلاط عرضی دارد به‌طوری‌که در این حالت ضریب ۱/۸ برابر حالت بدون وجود سازه تعیین شد. همچنین صفحات مستغرق باعث کاهش طول اختلاط کامل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: صفحات مستغرق، ضریب اختلاط عرضی، طول اختلاط

### مقدمه

صفحات مستغرق هستند. صفحات مستغرق، سازه‌های کوچک اصلاح الگوی جریان هستند که به‌صورت قائم و با زاویه‌ای کم نسبت به جریان نزدیک‌شونده در بستر آبراهه نصب می‌شوند. با استقرار یک صفحه‌ی مستغرق جریان‌های ثانویه در دو طرف صفحه تولید می‌شوند که با امتداد یافتن در جهت پایین دست جریان چرخشی بزرگ‌تری را ایجاد می‌نمایند (شفاعی بجستان، ۱۳۹۱). در تحقیقی دیگر ماریوس و سینها الگوی جریان پیرامون یک صفحه مستغرق در زاویه‌های بزرگ را مورد بررسی قرار دادند. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز با مطالعه‌ی آزمایشگاهی الگوی جریان در زوایای مختلف نصب صفحات در یک کانال مستطیلی با بستر فرسایشی حاصل شد. مرحله اول آزمایش‌ها با هدف تعیین زاویه‌ی بهینه نصب صفحات بود، زاویه‌ای که در آن جریان‌های ثانوی قوی‌تری تشکیل شود. در زاویه‌ی بهینه‌ی صفحات مشخص گردید که الگوی جریان عامل اصلی جابه‌جایی عرضی رسوبات است. همچنین تفاوت‌های بین الگوی جریان در مجاورت صفحات مستغرق در زاویه‌های نصب بزرگ و کوچک مشخص شد. در زاویه‌های بزرگ‌تر دو سری گردابه تشکیل شد درحالی‌که در زوایای کوچک یک گردابه تشکیل شد. در این تحقیق نشان داده شد، که در زاویه‌ی نصب ۴۰ درجه، جریان‌های چرخشی قوی‌تری است. آزمایش‌های این تحقیق در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیل شکل به طول ۲۰ متر و عرض ۱/۴۵ متر انجام شد. عمق جریان در ۰/۴ متر ثابت نگه‌داشته شد (Marelius and

مشکلات زیست‌محیطی ناشی از خشک‌سالی اهمیت مطالعه در زمینه آلودگی آب‌های سطحی را بیش‌تر می‌کند. در نتیجه به‌منظور حفظ سلامت عمومی، حفاظت و پاک‌سازی کانال‌های آبیاری، همواره آلودگی آب‌های سطحی مورد توجه است. توانایی در تخمین و شبیه‌سازی جریان، انتقال آلودگی‌ها و رسوب در کانال‌ها، برای برنامه‌ریزی منابع آب اهمیت دارد؛ زیرا موجب کاهش خطر خسارت به محیط زیست می‌شود. همچنین برای انتقال سریع‌تر و پخشیدگی بهتر کودشیمیایی در کانال‌های آبیاری می‌توان به اهمیت این موضوع پی برد. از سازه‌های حفاظت ساحل که در کارهای مهندسی رودخانه استفاده می‌شود می‌توان انواع آبسکن‌ها، صفحات مستغرق و صفحات متصل به ساحل را نام برد. با توجه به الگوی جریانی که در اطراف این سازه‌ها شکل می‌گیرد می‌توان از آن‌ها به‌عنوان سازه‌هایی که باعث افزایش ضریب اختلاط عرضی می‌شود نیز در کانال‌ها و به‌طور کلی مجاری باز استفاده کرد. از سازه‌های کاربردی در این زمینه،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

(Beladi536@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول

سانتی متر بود. نتایج نشان داد که در کانال غیرمستطیلی مقادیر ضریب اختلاط عرضی بین ۰/۲۳ تا ۰/۵۶ سانتی مترمربع بر ثانیه افزایش برای سطوح مختلف زبری و دبی به دست آمده و در زبری‌های ثابت با افزایش دبی و همچنین در دبی‌های ثابت با افزایش زبری این ضریب افزایش یافته است (Zebardast et al., 2015). قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثر ارتفاع تاج تلماسه بر ضریب اختلاط عرضی در کانال مستطیلی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که تلماسه به میزان زیادی به اختلاط عرضی آلاینده کمک کرده و سرعت اختلاط را افزایش داده است. طباطبایی و همکاران ضریب اختلاط عرضی را در حالت وجود پوشش گیاهی کناره‌ها و تلماسه‌ها در کف مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وجود تعامل پوشش گیاهی در کناره‌ها و تلماسه‌ها در کف باعث افزایش زبری به میزان ۳/۱۲ برابر شده است (Tabatabaei et al., 2013). سعادت‌پور و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی تغییرات نسبت عرض به عمق بر ضریب اختلاط عرضی پرداختند. آن‌ها روی فلومی با طول ۷ متر و عرض ۰/۳۳ متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر به کمک محلول ردیاب کار کردند. این بررسی در ۴ مقطع و در هر مقطع در ۲۷ نقطه انجام شد و اعلام کردند که با زیاد شدن نسبت عرض به عمق، انتقال از طریق جریان ثانویه افزایش را بدنبال دارد و این کار خود موجب افزایش سرعت پخش شد. همچنین با ثابت بودن سرعت و افزایش عمق جریان، ضریب اختلاط عرضی افزایش یافت. قاسمی و همکاران (۱۳۹۰) روی تاثیر برهم‌کنش پوشش گیاهی و شکل بستر کار کردند، که در اثر این برهم‌کنش با کاهش نسبت ظرفیت، ضریب اختلاط عرضی کاهش را بدنبال داشت. آن‌ها با آزمایش روی ۱۰ تلماسه با شیب بالادست ۲۸ درجه و طول ۱ متری و ارتفاع متوسط ۸ سانتی متری و با دبی ثابت ۴۳/۷ لیتر بر ثانیه به کمک ساقه برنج با قطر متوسط ۲/۷ میلی‌متر و تراکم ۴۰۰ ساقه در هر متر در دیواره کانال و همچنین مقایسه دو حالت بستر صاف و حالت تلماسه در کف کانال به این نتیجه رسیدند که طول اختلاط کامل در شکل بستر در مقایسه با بستر صاف ۱/۳ برابر شده و بهترین راندمان در مقایسه این دو حالت با حالت اثر پوشش گیاهی در دیواره، به حالت وجود تلماسه در کف اختصاص یافت. در حالی که قبلاً اثر پوشش گیاهی در دیواره کانال‌ها بر ضریب پخشیدگی طولی موثر شناخته شده بود (Perucca et al., 2009). بر اساس نظر فیشر و همکاران  $L_0$  فاصله بین محل تزریق ماده ردیاب (منبع) تا مقطعی که در آن‌جا ماده در جهت‌های جانبی و عمقی کاملاً مخلوط شد (که از آن مقطع به بعد انتقال فقط تحت فرآیند پراکندگی طولی است) از رابطه ۱ قابل محاسبه است (محمودیان شوشتری، ۱۳۸۷)

$$L_0 = 0.1 \frac{w^2 * U}{e_z} \quad (1)$$

(Sinha., 1998). فیشر و همکاران برای اولین بار مبحث تاثیر پدیده اختلاط بر پخش و کاهش غلظت پساب‌ها در رودخانه را مطرح کردند (Fischer et al., 1979). شارما و احمد در فلومی مستطیلی به عرض ۱ متر و طول ۱۹ متر تاثیر یک تا چهار ردیف صفحات مستغرق ۹ تایی با زاویه ۳۰ درجه را بر ضریب اختلاط عرضی مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌ها در عمق ثابت ۱۰/۳۳ سانتی متر و با سازه‌هایی به ابعاد ۴×۱۰ سانتی متر انجام شد و همچنین از ماده رودامین به عنوان ردیاب استفاده شد و تغییرات غلظت به روش عکس‌برداری و دیجیتالیزر<sup>۱</sup> کردن (تبدیل گراف به عدد) مورد محاسبه قرار گرفت و افزایش ۲ الی ۱۱ برابری اختلاط عرضی در حضور صفحات نسبت به حالت بدون صفحات را به دنبال داشت (sharma- and ahmad., 2012). سعادت‌پور و همکاران (۱۳۸۷) وجود زبری‌ها در هر مقطعی را عامل افزایش آشفستگی و جریان‌های عرضی و در نهایت افزایش ضریب اختلاط عرضی دانستند و اعتقاد داشتند که با افزایش فاصله زبری‌ها از منبع آلودگی تاثیر این زبری‌ها بر ضریب اختلاط عرضی و به تبع آن طول اختلاط کامل کاهش می‌یابد. آن‌ها آزمایش خود را در کانالی به طول ۲۰ متر و عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام دادند. گودرزی و همکاران ضریب اختلاط عرضی، برای رودخانه‌ها و فلوم‌های آزمایشگاهی را برآورد کردند. در این مطالعه ضمن معرفی روش‌های اندازه‌گیری ضریب اختلاط عرضی در رودخانه‌ها، با استفاده از ۱۹ داده هیدرولیکی، معادلات مناسب و متعددی برای برآورد این ضریب توسعه دادند و دقت این معادلات در مقایسه با معادلات فیشر بررسی شد (Goudarzi et al., 2015). حمیدی‌فر و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی اثر عمق نسبی جریان بر ضریب اختلاط عرضی در کانال با مقطع مرکب نامتقارن پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ تا ۰/۳۵ ضریب اختلاط عرضی در کانال اصلی افزایش را بدنبال دارد. انگمان اثر خم کانال را بر روی اختلاط عرضی بررسی کرد. این تحقیق در یک کانال با طول و عرض ۱۹ و ۰/۷۶ متر عرض انجام شد و رودامین به عنوان ردیاب به کار برده شد. محل تزریق ردیاب در مرکز عرض و عمق کانال در نظر گرفته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود خم افزایش جریان‌های ثانویه و در نتیجه افزایش ضریب اختلاط عرضی نسبت به کانال‌های مستقیم را به همراه دارد (Engman., 1986). در تحقیقی دیگر آزمایشی در کانال مستطیلی در زمینه‌ی تاثیر ضریب اصطحکاک و نسبت عرض به عمق انجام گرفت و این نتیجه حاصل شد که با افزایش زبری، مقدار ضریب اختلاط عرضی افزایش یافت (Lau and Krishnappan., 1977). زبردست و همکاران به بررسی تاثیر دبی و زبری بر ضریب اختلاط عرضی در کانال غیرمستطیلی پرداختند. این کانال با طول، عرض و عمقی به ترتیب برابر با ۵۰، ۱۰۰ و ۳۰

است و چون صفحات از جنس پی‌وی‌سی بودند،  $n = 0.011$  در نظر گرفته شد.

### تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها درون فلومی شیشه‌ای به طول ۱۵ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر انجام گرفت (شکل ۱). این فلوم شامل قسمت‌های مختلفی از جمله مقطع اصلی فلوم، دریچه کشویی در مقطع ورودی، دریچه کشویی تنظیم سطح آب در مقطع خروجی، مخزن تامین فشار، آرام‌کننده جریان، کانال هدایت‌کننده خروجی آب و مخزن تامین آب است. برای آرام و یکنواخت کردن جریان سطح آب، صفحه کائوچویی روی آن قرار گرفت. دبی آب ورودی توسط دستگاه دبی‌سنج فلومتر با دقت یک‌صدم لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد و عمق آب به کمک مترهای پارچه‌ای که روی دیواره‌ی شیشه‌ای فلوم نصب‌شده بودند با دقتی برابر با  $\pm 1$  میلی‌متر، اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- نمایش کلی از فلوم ۸۰ سانتی‌متری

صفحات مستغرق به ابعاد ۵ در ۱۰ سانتی‌متری (ارتفاع صفحات یک سوم عمق آب و طول صفحات دو برابر ارتفاع صفحه در نظر گرفته شد. این ابعاد مطابق با معیارهای توصیه‌شده اوگارد، تعیین شد (شفاعی بجزستان، ۱۳۹۱)) از جنس پلکسی گلاس طراحی شدند که در فاصله ۲/۵ متری از ابتدای فلوم که جریان توسعه یافته است نصب شد و به دلیل شفاف بودن در آب، رنگ شدند تا کاملا واضح باشند. دلیل استفاده از صفحات پلکسی گلاس این است که به دلیل محکم بودن در مسیر جریان دچار شکستگی و خم‌شدگی نشده و ضخامت آن‌ها نیز برای برش دادن با لیزر مناسب است. برای این‌که صفحات به راحتی به کف فلوم چسبانده شوند کل کف فلوم با صفحه‌ای از جنس پی‌وی‌سی پوشانده شد. همچنین محل قرارگیری صفحات مستغرق روی صفحه پی‌وی‌سی، توسط برش‌های لیزری، خارج شد (با زاویه‌ی ۳۰ درجه نسبت به افق). فاصله بین برش‌ها در عرض فلوم متناسب با تعداد صفحات مستغرق ۳، ۵، ۷ و ۹ تایی بود (شکل ۲). محلول ردیاب، سدیم کلرید انتخاب شد که ترکیبی از نمک (با

که در این معادله  $L_0$  طول اختلاط کامل (برحسب cm)،  $U$  سرعت متوسط جریان برحسب  $W$ ،  $(cm/s)$  عرض فلوم مورد آزمایش  $(cm)$  و  $e_z$  ضریب اختلاط عرضی جریان  $(cm^2/s)$  است. می‌توان مقادیر واریانس غلظت را از طریق داده‌های غلظت محاسبه و نمودار واریانس توزیع غلظت نسبت به فاصله طولی  $x$  را رسم کرد و شیب‌خط مستقیم برازش داده شده به‌عنوان شیب واریانس توزیع غلظت  $\frac{d\sigma^2}{dx}$  به‌دست آمده را در رابطه ۲ قرار داد و ضریب اختلاط عرضی را در هر آزمایش بدست آورد.

$$e_z = \frac{U d\sigma^2}{2 dx} \quad (2)$$

مروری بر منابع گذشته نشان می‌دهد که از سازه‌های مختلفی می‌توان جهت افزایش ضریب اختلاط عرضی و کاهش طول اختلاط کامل و کنترل رسوبات استفاده کرد؛ که در این تحقیق، از صفحات مستغرق استفاده شده است چراکه سازه‌ایست که توانایی تولید جریان ثانویه را داراست. از این رو هدف اصلی این مطالعه تاثیر صفحات مستغرق بر ضریب پراکندگی عرضی است. به‌همین منظور در این مطالعه یک ردیف ۳، ۵، ۷ و ۹ صفحه‌ای از صفحات مستغرق با زاویه ۳۰ درجه با حالت بدون حضور صفحه مستغرق مورد مقایسه قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

### روابط تجربی برآورد سرعت برشی

داده‌های سرعت توسط سرعت‌سنج الکترومغناطیس JEF برداشت شدند و داده‌ها از حالت خام درآمده و به سه مولفه  $U, V, W$  سرعت تبدیل شدند. سپس به کمک روابط ۳ تا ۷ میزان سرعت برشی محاسبه (سوزه‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) و نتایج در جدول ۲ آورده شد.

$$\tau_{bx} = \frac{\rho * g}{c^2} * U * \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho * g}{c^2} * V * \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2} \quad (5)$$

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad (6)$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} \quad (7)$$

که  $\tau_{bx}$  تنش برشی بستر در راستای  $X$  و  $\tau_{by}$  تنش برشی بستر در راستای  $Y$  و  $U, V$  متوسط عمقی سرعت در راستای  $X$  و  $Y$  اند.  $\rho$  و  $g$  جرم مخصوص سیال و نیروی گرانش زمین است.  $c$  و  $R$  به ترتیب ضریب سزی و شعاع هیدرولیکی هستند.  $n$  ضریب مانینگ



شکل ۳- نمایی از مخزن ردیاب و همزن برقی



شکل ۴- نمایی از لوله‌های I شکل برای انتقال ماده ردیاب



شکل ۵- نمایی از ۸ سنسور تیغه EC سنج

روند انجام آزمایش به گونه‌ای بود که بعد از حصول جریان یکنواخت با دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه و عمق آب ۱۵ سانتی‌متری (توسط دریچه انتهایی ثابت نگه‌داشته شد)، ماده ردیاب با همان سرعت جریان به درون لوله L شکل از ترازوی بالاتر از مخزن ردیاب در مرکز فلوم به صورت دائمی تزریق شد سپس ۵ سری داده‌ی غلظت توسط دستگاه EC سنج در ۴ مقطع که به فاصله ۱/۵ متری، ۳ متری، ۴/۵

مقدار اندازه‌گیری شده توسط ترازو) و آب با غلظت نمک محلول بیش از ۲۵ گرم در یک لیتر آب (این مقدار با توجه به مروری بر تحقیقات مشخص شده است) مشخص بود همچنین برای مشاهده چگونگی پخشیدگی آن در طول جریان، از پرمنگنات پتاسیم جهت رنگی شدن محلول ردیاب (بنفش‌رنگ) استفاده شد. این مواد (آب، نمک و پرمنگنات) در مخزنی جدا توسط همزن برقی (شکل ۳) کاملاً حل شدند تا نمک در حین تزریق ته‌نشینی نداشته باشد و بعد این محلول توسط پمپ آکواریومی که در مخزن ردیاب گذاشته شده بود با سرعتی برابر با سرعت جریان به درون لوله L شکل که در مرکز فلوم تعبیه شده بود هدایت شد. (شکل ۴)



شکل ۶- نمایی از محل قرارگیری صفحات مستغرق ۷ تایی در صفحه پی‌وی‌سی

برای اندازه‌گیری غلظت در عرض، از دستگاه EC سنج استفاده شد که در عرض شامل ۷ تیغه بود که یکی در وسط فلوم و بقیه در دو طرف آن‌ها قرار داشتند و فاصله بین تیغه‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. قسمتی از تیغه که در عمق آب قرار گرفت دارای ۸ سنسور بود (شکل ۵)، فاصله عمقی بین سنسورها ۲ سانتی‌متر بود یعنی در یک مقطع، در راستای عرضی به طور هم‌زمان امکان برداشت ۵۶ داده وجود داشت که این کار در ۴ مقطع انجام گرفت که مقاطع به ترتیب از محل تزریق ماده ردیاب ۱/۵، ۳، ۴/۵، ۶ متر فاصله داشتند (این فاصله‌ها در حالت شاهد وقتی تزریق انجام گرفت و پخشیدگی کامل رخ داد تخمین زده شد).

برای اندازه‌گیری سرعت از دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس JEF ALEC استفاده شد. به کمک این سرعت‌سنج، مؤلفه سرعت در سه بعد را می‌توان ثبت کرد. به این منظور داده‌های سرعت، در ۴ مقطع از کانال که محل داده‌برداری غلظت بود در مرکز کانال برداشت شدند. (یعنی در هر عمق از مرکز کانال ۱۰ داده سرعت اندازه‌گیری شدند). از این داده‌ها برای محاسبه سرعت برشی استفاده شد.

با توجه به داده‌های جدول ۲ بیش‌ترین تاثیر در دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه در صفحات مستغرق ۷ تایی و ۵ تایی رخ داده است که دلیل آن را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که شرایط آزمایشگاهی و جریان آشفته موجود در فلوم توانسته باعث ایجاد خطای آزمایشگاهی شود و همچنین سبب شود که این دو حالت قابل تمایز نباشند. بعد از این دو حالت به ترتیب ۹ تایی و ۳ تایی بیش‌ترین تاثیر را داشتند. دلیل اینکه ۹ صفحه‌ای به نسبت ۵ و ۷ تایی تاثیر کم‌تری به همراه داشته است این است که وقتی صفحات در عرض زیاد می‌شوند احتمال وجود ماندابی پیش از این صفحه‌ها زیاد می‌شود که همین امر موجب کاهش گردابه‌های ناشی از صفحات مستغرق و کاهش پخشیدگی می‌شود. نتایج جدول ۲ به‌وضوح در شکل ۸ قابل‌درک است. در شکل ۸، صفر نشانگر آزمایش شاهد است که بدون حضور صفحات انجام گرفته است.

داده‌های سرعت برشی همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها گفته شد به کمک روابط سرعت برشی محاسبه شدند و در جدول ۳ آورده شد. مطابق این داده‌ها وجود صفحات مستغرق باعث افزایش سرعت برشی شده است.

جدول ۱- معادله خطوط برازش داده شده شکل ۷

ردیف	تعداد صفحات مستغرق	معادله خط
۱	۰	$y = 0.14x + 302.26$
۲	۳	$y = 0.1499x + 340.78$
۳	۵	$y = 0.2459x + 304.87$
۴	۷	$y = 0.2501x + 312.4$
۵	۹	$y = 0.1798x + 368.63$

همچنین متناسب با ستون آخر جدول ۲، طول اختلاط کامل از طریق معادله ۱ محاسبه شد و این نتیجه حاصل شد که وجود صفحات مستغرق باعث افزایش ضریب اختلاط عرضی شدند، و بدنبال آن طول اختلاط کامل کاهش یافته است، یعنی در فاصله کم-تری از ورود آلاینده‌ها به جریان، اختلاط کامل رخ داده است. دلیل این امر این است که هر چه گردابه‌های بیش‌تر و قوی‌تری به وجود بیایند، ردیاب با سرعت بیش‌تری در جهات مختلف فلوم پخش می‌شود. همچنین در این راستا بوجد آمدن سرعت ثانویه ناشی از وجود صفحات مستغرق بی‌تاثیر نیست. در نتیجه این دو عامل باهم موجب می‌شوند که پخشیدگی سریع‌تر و در فاصله کم‌تری رخ دهد تا جایی که غلظت ردیاب به ۱٪ مقدار اولیه برسد که در این شرایط می‌گوییم اختلاط کامل رخ داده است (مطابق با ضرایب اختلاط عرضی محاسبه‌شده و معادله رادرفورد (Rutherford., 1994)). برای مثال در حالت شاهد طول اختلاط کامل ۹۱/۴ متر است درحالی‌که با ایجاد صفحات مستغرق این طول به ۵۱/۲ متر کاهش می‌یابد. پس

متری و ۶ متری از محل تزریق قرار داشتند ذخیره شد. دلیل ذخیره ۵ سری داده این بود که به دلیل جریان آشفته، داده‌های غلظت مدام در حال تغییر بودند، پس ۵ سری داده برداشت شد و در نهایت میانگین‌گیری انجام شد تا درصد خطای آزمایش کاهش یابد. این روند ابتدا در حالت بدون وجود صفحه (آزمایش شاهد) و سپس در حالت وجود صفحه با تعداد ۳، ۵، ۷ و ۹ تایی انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### توزیع غلظت ماده ردیاب

داده‌های غلظت قبل و بعد از تزریق ماده ردیاب توسط EC-سنج برداشت شد و در هر مقطع بعد از تزریق نمایش سه‌بعدی توزیع ماده ردیاب در کانال توسط نرم‌افزار سورفر ۱ رسم گردید (شکل ۶). در شکل ۶ توزیع غلظت ماده ردیاب در دو حالت شاهد و ۷ صفحه‌ای در ۴ مقطع در طول فلوم مقایسه شدند (در هر مقطع به‌صورت رودررو در دبی ثابت ۲۴ lit/s). با توجه به شکل ۶ دیده شد که در حالتی که صفحات مستغرق در مسیر جریان قرار گرفته است نسبت به حالت شاهد، پیشروی غلظت ماده رنگی یکنواخت‌تر و منظم‌تر بوده است به‌گونه‌ای که غلظت ماده ردیاب در مقطع آخر در حالت وجود سازه کم‌تر از حالت عدم وجود سازه (شاهد) است، یعنی وجود سازه توانسته است طول اختلاط کامل را کاهش دهد.

### محاسبه ضرایب اختلاط عرضی

داده‌های غلظت در نرم‌افزار اکسل<sup>۲</sup> ذخیره شدند و به ترتیب قبل و بعد از تزریق میانگین‌گیری انجام گرفت و مقادیر غلظت در هر مقطع در مجذور فاصله عرضی سنسورها نسبت به مرکز کانال ضرب شدند و در هر مقطع مجموع غلظت‌ها و مجموع مجذور فاصله×غلظت‌ها محاسبه شد و نسبت (مجذور فاصله×غلظت) بر (مجموع غلظت‌ها) در ۴ مقطع به‌دست آمد. این نسبت‌ها در مقابل فاصله طولی مقاطع نسبت به محل تزریق ماده ردیاب رسم شد تا شیب واریانس در هر حالت به دست بیاید. نتیجه حاصل در شکل ۷ با حالت شاهد مقایسه شده است (معادله خطوط در جدول ۱ آورده شده است). همان‌گونه که مشاهده می‌شود متناسب با جدول ۱ میزان شیب‌خط واریانس در سناریوهای وجود صفحات، بیش‌تر از حالت شاهد یا بدون صفحه است که نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار ضریب اختلاط عرضی است.

سپس به کمک داده‌های شیب‌خط واریانس و رابطه ۲ میزان ضریب اختلاط عرضی برای ۵ حالت تشریح‌شده در مراحل قبلی محاسبه شد و نتایج در جدول ۲ گزارش شده است.

1- Surfer

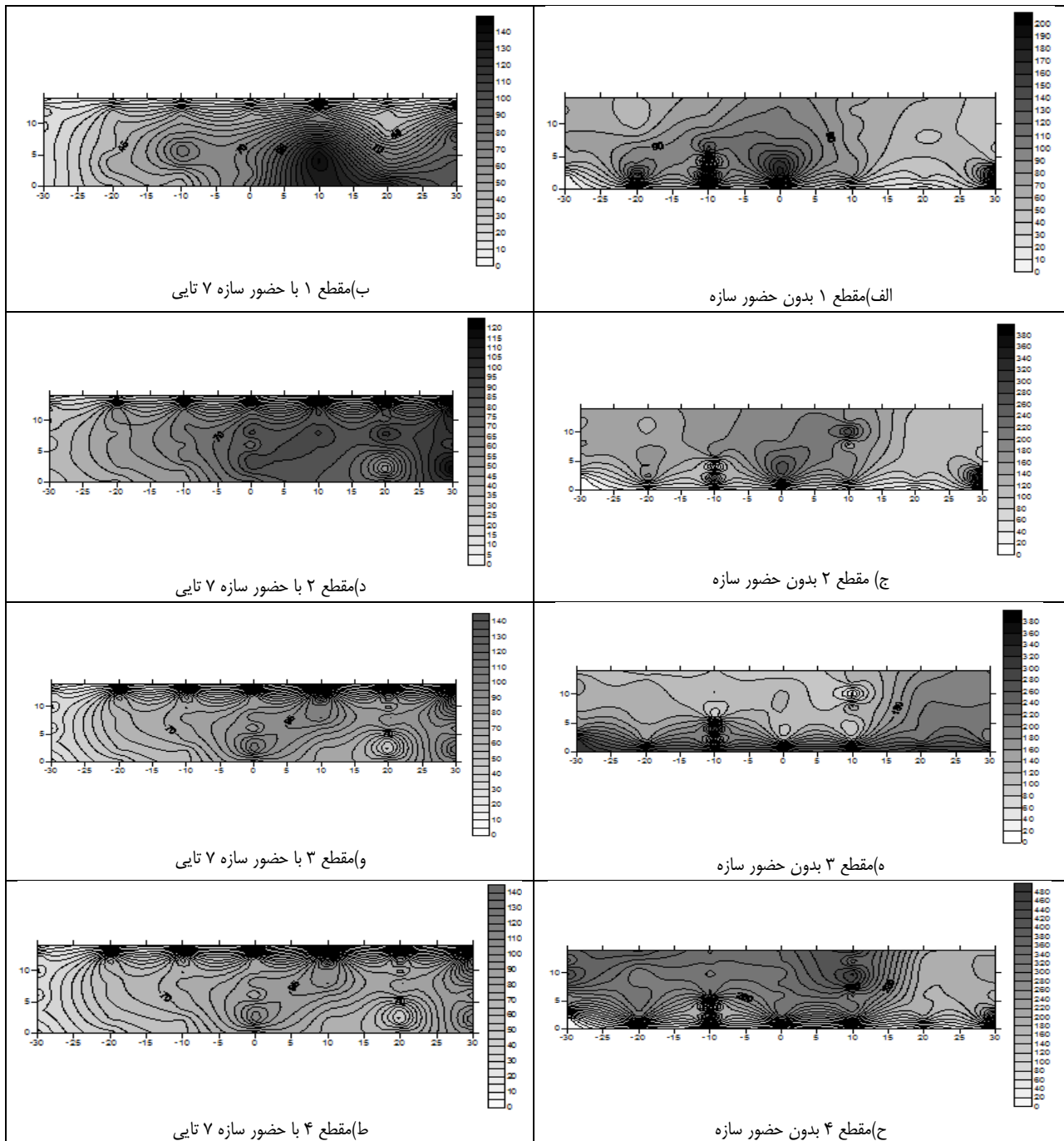
2- Excel

تغییرات  $h$  و  $e_z/u^*$  متناسب با گفته رادرفورد بین  $0/1-0/26$  است که داده‌های این تحقیق در رنج خوبی نسبت به رنج بهینه فرار گرفته‌اند (Rutherford., 1994). همچنین تغییرات  $h$  و  $e_z/u^*$  در مقابل  $u/u^*$  در شکل ۹ رسم شد. با توجه به این نمودار این برداشت می‌شود که ایجاد صفحات مستغرق باعث افزایش تنش برشی و ایجاد سرعت ثانویه می‌شود که افزایش سرعت پخشیدگی را به همراه دارد.

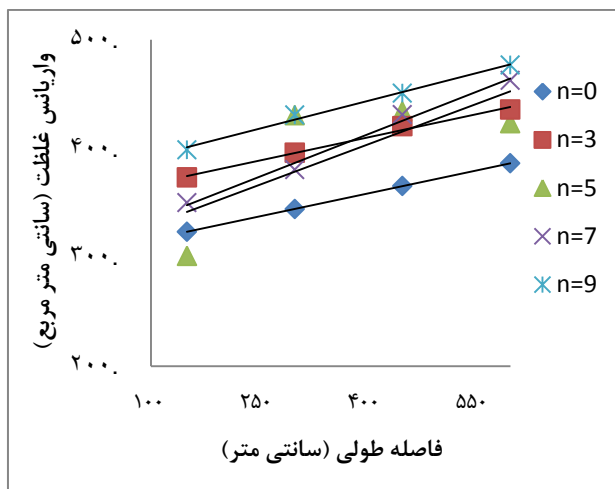
هر چه ضریب اختلاط عرضی ( $e_z$ ) افزایش یابد طول اختلاط کم می‌شود. پس طول اختلاط کامل ۷ تایی کم‌تر از ۵ تایی، ۹ تایی و ۳ تایی است.

### مقایسه با سایر تحقیقات

در نهایت نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج چند تن از محققین در جدول ۴ گردآوری شد تا تاثیر صفحات مستغرق بررسی شود. رنج



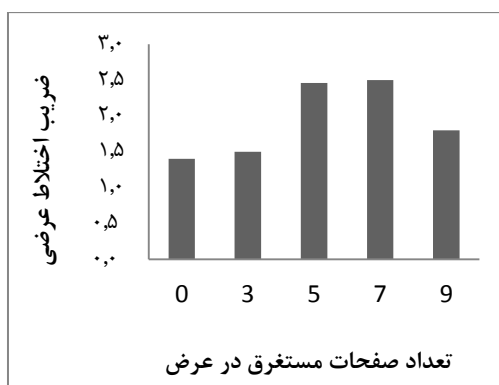
شکل ۶- خطوط کنتور توزیع غلظت در مقاطع پایین دست محل تزریق ردیاب



شکل ۷- واریانس توزیع غلظت در همه حالات ( $Q=24 \text{ lit/s}$ )

جدول ۲- ضرایب اختلاط عرضی و درصد تغییرات آنها

دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه	ضریب اختلاط عرضی با سازه	ضریب اختلاط عرضی شاهد	درصد تغییرات ضریب اختلاط عرضی
سازه ۳ تایی	۱/۵	۱/۴	۷/۱
سازه ۵ تایی	۲/۴	۱/۴	۷۵/۷
سازه ۷ تایی	۲/۵	۱/۴	۷۸/۵
سازه ۹ تایی	۱/۸	۱/۴	۲۸/۵



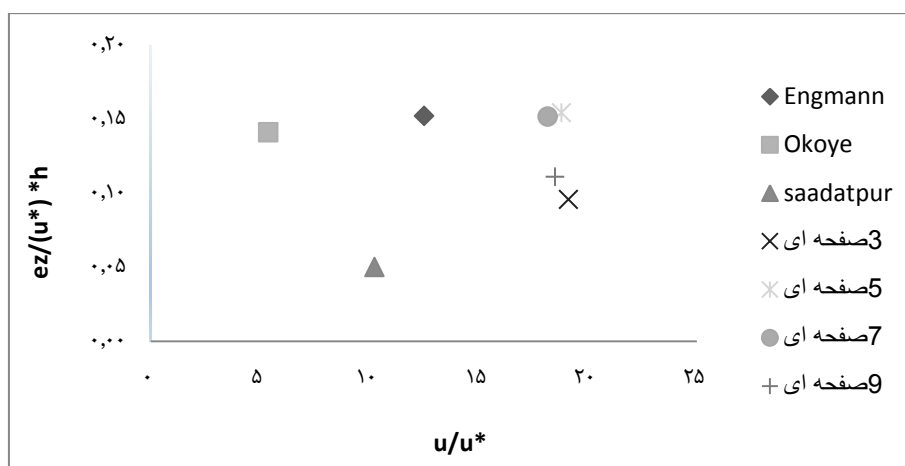
شکل ۸- تغییرات ضریب اختلاط عرضی با افزایش تعداد صفحات

جدول ۳- خلاصه‌ای از نتایج آزمایشگاهی طول اختلاط

دبی	سرعت (u)	سرعت برشی ( $u^*$ )	شیب واریانس	ضریب اختلاط عرضی	$u/u^*$	طول اختلاط کامل
(lit/s)	(cm/s)	(cm/s)	(cm)	( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	(بدون بعد)	(m)
۲۴	۲۰	۱/۰۴	۰/۱۴	۱/۴	۱۹/۲۳	۹۱/۴
۲۴	۲۰	۱/۰۴۵	۰/۱۴۹۹	۱/۴۹۹	۱۹/۱۴	۸۵/۴
۲۴	۲۰	۱/۰۶۳	۰/۲۴۵۹	۲/۴۵۹	۱۸/۸۱	۵۲/۱
۲۴	۲۰	۱/۱	۰/۲۵۰۱	۲/۵۰۱	۱۸/۱۸	۵۱/۲
۲۴	۲۰	۱/۰۸	۰/۱۷۹۸	۱/۷۹۸	۱۸/۵۲	۷۱/۲

جدول ۴- مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج سایر تحقیقات

نام نویسنده	سرعت متوسط جریان (u) (cm/s)	سرعت برشی (u*) (cm/s)	u/u*	ez/(u*) .h بدون بعد
Engmann (1974)	۱۹/۶۶	۱/۵۷	۱۲/۵۲	۰/۱۵
Okoye (1970)	۲۵/۹	۴/۸۱	۵/۳۸	۰/۱۴
سعادت پور و همکاران (۱۳۸۷)	۳۳/۲	۳/۲۴	۱۰/۲۵	۰/۰۵
۳ صفحه ای	۲۰	۱/۰۵	۱۹/۱۴	۰/۱
۵ صفحه ای	۲۰	۱/۰۶	۱۸/۸۱	۰/۱۵
۷ صفحه ای	۲۰	۱/۱	۱۸/۱۸	۰/۱۵
۹ صفحه ای	۲۰	۱/۰۸	۱۸/۵۲	۰/۱۱



شکل ۹- مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین

وجود این صفحات باعث کاهش طول اختلاط کامل می شود (طول اختلاط کامل ۷ تایی کمتر از ۵ تایی، ۹ تایی و ۳ تایی است) و در نهایت می توان گفت ایجاد این صفحات در مسیر جریان تاثیر مثبتی روی اختلاط عرضی می گذارد و حتی باعث افزایش ۷۸ درصدی ضریب اختلاط عرضی شده است. که این نتیجه با نتایج تحقیق شارما و احمد که بر روی صفحات مستغرق انجام گرفت، همخوانی دارد و نتیجه مطلوبی به حساب می آید (sharma and ahmad., 2012).

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می شود.

### منابع

حمیدی فرج، امید.م.ح.، کشاورزی.ع. ۱۳۹۴. بررسی اثر پوشش گیاهی مستغرق و غیرمستغرق پهنه سیلابی بر ضریب اختلاط

همان طور که از شکل ۹ پیداست نتایج آزمایش های ۵ و ۷ صفحه ای بسیار نزدیک به نتایج انگمان است (Engmann, 1974). که این دو حالت به عنوان موثرترین حالات در این مطالعه به حساب آمدند.

### نتیجه گیری

این تحقیق نشان داد که وجود صفحات مستغرق افزایش پخشیدگی و یکنواختی غلظت ماده ردیاب در طول کانال را به همراه دارد.

همچنین باعث افزایش شیب خط واریانس غلظت نسبت به حالت شاهد و به دنبال آن افزایش ضریب اختلاط عرضی تا ۱/۸ برابر می شود که دلیل آن ایجاد جریان های ثانویه و به تبع آن ایجاد گردابه های چرخشی حاصل از وجود صفحات است.

در یک دبی ثابت با متغیر قرار دادن تعداد صفحات مستغرق در عرض این نتیجه حاصل شد که تعداد ۷ تایی از این سازه متناسب با شرایط آزمایشگاهی این تحقیق (یعنی ثابت نگه داشتن عمق، طول و عرض فلوم) بالاترین تاثیر را روی ضریب اختلاط عرضی دارد و بعد از آن به ترتیب ۵ تایی، ۹ تایی و ۳ تایی تاثیر بسزایی داشتند.



- Engmann, J.E.O and Kellerhals, R. 1974. Transverse mixing in an ice-covered river. *Water Resources Research*. 10.4:775-784.
- Engmann, E.O. 1986. Effect of Channel Bends on Transverse Mixing. *Nigerian Journal of Technology*. 10 : 57-72
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J and Brooks, N. 1979. *Mixing in inland and coastal waters* Academic Press. New York. 229-242.
- Goudarzi, H., Brahmmand, N., Jael, A. 2015. Estimation of Transverse Mixing Coefficient in Rivers and Experimental Flume. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 9.2: 172-180.
- Lau, Y.L., Krishnappan, B.G. 1977. Transverse dispersion in rectangular channels. *Journal of Hydraulics Division*. 103: 1173-89 .
- Marelius, F., Sinha, S.K. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. *Journal of hydraulic engineering*. 124.5:542-545.
- Okoye, J.K. 1970. Characteristics of transverse mixing in open-channel flows.
- Perucca, E., Camporeale, C., and Ridolfi, L. (2009). Estimation of dispersion coefficient in rivers with riparian vegetation. *Advances in Water Resource*, 32:78-87.
- Rutherford, J. 1994. *River mixing*. John Wiley and Sons, England, 347pp.
- Sharma, H and Ahmad, Z. 2012. A new technique for enhancing transverse mixing of pollutants in streams. In *International Conference on Environmental Research (ICER-2012)*, University of Terrenganu, Kuala Terrenganu, Malaysia.
- Tabatabaei, S.H., Heidarpour, M., Ghasemi, M and Hoseinipour, E.Z. 2013. Transverse Mixing Coefficient on Dunes with Vegetation on a Channel Wall. p. (1903-1911). In *World Environmental and Water Resources Congress*.
- Zebardast S., Tabatabaei, S.H., Abbasi, F., Heidarpour, M., Gualtieri, C., Hosseinipour, E.Z and Asgari, K. 2015. Analysis of complete mixing length in a non-rectangular channel. P. (1998-2003). In *World Environmental and Water Resources Congress*.
- عرضی آلاینده‌ها. مجله علمی پژوهشی هیدرولیک. ۱۰: ۱۳-۳۳.
- سعادت پور، ع.، حیدرپور، م.، پورآبادی، م. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر فاصله زبری موضعی از محل تزریق آلودگی بر ضرایب اختلاط عرضی و طول اختلاط در کانال مستطیلی. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب.
- سعادت پور، ع.، حیدرپور، م.، پورآبادی، م. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات نسبت عرض به عمق بر ضرایب اختلاط عرضی. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه صنعت آب و برق.
- سعادت پور، ع. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر زبری موضعی بر ضرایب اختلاط عرضی در یک کانال باز مستطیلی. پایان نامه کارشناسی ارشد. ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی.
- سوزه پور، ع.، شفاعی بجستان، م.، قدوی، ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه تند کانال مستطیلی. دانش آب و خاک. ۲۳: ۲۶۸-۲۵۷.
- شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۱. اصلاح رودخانه و مدیریت رسوب توسط صفحات مستغرق، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۳۰۸ صفحه.
- قاسمی، م.، حیدرپور، م.، افضلی مهرج، خوش‌روش، م. ۱۳۹۰. اثر برهم کنش پوشش گیاهی و شکل بستر بر ضرایب اختلاط عرضی در یک کانال مستطیلی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه گیلان.
- قاسمی، م.، حیدرپور، م.، اسماعیل زاده، م. ۱۳۹۰. اثر ارتفاع تاج تلماسه بر ضرایب اختلاط عرضی در یک کانال مستطیلی. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقی.
- محمودیان شوشتری، م. ۱۳۸۷. اصول جریان در مجاری روباز، جلد دوم، صفحه ۷۵۱-۸۰۶. فصل ۱۵. پخشیدگی و پراکندگی در مجاری باز. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

## Investigation of the Effect of Number of Submerged Vanes on Transverse Mixing Coefficient in a Rectangular Channel

y. beladi<sup>1\*</sup>, M. Shafai Bejestan<sup>2</sup>

Received: Jul.16, 2017

Accepted: Agu.16, 2017

### Abstract

One of the characteristics of the open channel in controlling of the pollutants are the dispersion coefficients. These coefficients are the main factor for diluting and increasing the exchange of pollutants with flow which in general reduces the mixing length. To increase the transverse coefficient and so reducing the mixing length many techniques have been applied and in this study the submerged vanes are used with variable numbers in flume widths. Tests are carried out at a glass wall rectangular channel with length of 15 m, 80 cm wide and 80 cm in Height in 5 different scenarios of without submerged vanes and with vanes in different number (3, 5, 7 and 9 vanes) and constant flow condition. The sodium chloride was injected in the channel center in constant discharge as tracer. The electric conductivity of the flow was measured by special instrument at four cross sections downstream of the vanes and the results are compared. The results show that generally the vanes are distribute the tracer across the section in a shorter length and the scenario with 7 vanes are more effective in which the transverse coefficient are 1.8 times with the case of no vanes.

**Keywords:** Mixing length, Submerged vanes, Transverse mixing coefficient

1- Student of Water Structures Engineering, Department of Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2- Professor, Department of Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(\* - Corresponding Author Email: Beladi536@yahoo.com)