

کاربرد صفحات هدایت جریان در حوضچه رسوب گیر برای افزایش راندمان تله اندازی

کاظم اسماعیلی^{*}، سهیلا سیفی و هدی سالاری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۷)

چکیده

حوضچه های رسوب گیر از جمله مهم ترین سازه های ضروری به منظور جدا کردن رسوبات همراه جریان ورودی به کانال های انتقال آب هستند. این سازه بعد از آبگیر و در ابتدای کانال های انتقال آب به منظور افزایش کیفیت آب احداث می شود. تاکنون مطالعات بسیاری در مورد طراحی حوضچه های رسوب گیر انجام شده و روش های مختلفی برای افزایش راندمان حوضچه رسوب گیر ارائه شده است. اما استفاده از حوضچه رسوب گیر ساده که با صرف کمترین هزینه بتواند اهداف مورد نظر را تأمین کند. هنوز مد نظر طراحان است. استفاده از صفحات هادی جریان برای افزایش طول پیمایش جریان در یک حوضچه مشخص، امکان بهبود راندمان تله اندازی را افزایش می دهد. در این مطالعه به بررسی خصوصیات هندسی صفحات و خصوصیات هیدرولیکی جریان در حوضچه بر راندمان تله اندازی حوضچه رسوب گیر پرداخته شده است. به طور کلی استفاده از صفحات هدایت کننده جریان با طول و تحت زاویه قرارگیری مناسب (در این مطالعه، اندازه مناسب تیغه ها ۲۲/۵ سانتی متر و موقعیت قرارگیری مناسب آنها تحت زاویه ۳۰ درجه بوده است)، در ماکزیمم ارتفاع آب ۳۰ سانتی متری موجب افزایش راندمان تله اندازی رسوب به میزان ۱۳/۳ درصد می شود. آنالیز حساسیت انجام شده نیز نشان داد که ارتفاع آب بیشترین تأثیر بر راندمان تله اندازی حوضچه ترسیب را خواهد داشت و بعد از آن تغییرات طول و زاویه قرارگیری تیغه ها از لحاظ مقدار، تأثیرات نسبی یکسانی بر راندمان تله اندازی حوضچه ترسیب دارند.

واژه های کلیدی: حوضچه رسوب گیر، تیغه های هدایت کننده جریان، افزایش کیفیت آب

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: esmaili@um.ac.ir

مقدمه

انحراف آب از مسیر اصلی آن برای مقاصد مختلف از جمله کشاورزی، آبرسانی شهری و تولید برق با کمک آبگیرها صورت می‌گیرد. یکی از مسائل مهم و اساسی در آبیگری از رودخانه‌ها، بحث رسوب است که مهندسین و طراحان تأسیسات آبی با آن مواجه هستند. در آبیگری از رودخانه‌ها باید میزان رسوبات ورودی به کانال آبیگر به حداقل مقدار ممکن برسد. لزوم چنین مسئله‌ای از آن جهت است که در صورت ورود رسوبات به کانال به دلیل کمتر بودن شیب کانال نسبت به رودخانه محل آبیگری، جریان نمی‌تواند تمامی آن را حمل کند و بخشی از آن در مسیر کانال ته‌نشین می‌شود که در اثر این امر شیب به هم خورده و موجب بالا آمدن رقوم کف کانال می‌شود و ظرفیت آبرسانی کاهش می‌یابد. همچنین ته‌نشینی رسوبات در شبکه‌های آبیاری باعث فرسایش و خرابی دیواره کانال‌ها و افزایش هزینه نگهداری تأسیسات می‌شود. یکی از روش‌های جداسازی رسوبات معلق استفاده از حوضچه ترسیب است. این حوضچه دارای مقاطع مستطیل و یا دوزنقه‌ای بوده که در ابتدا یا در طول مسیر کانال‌های انتقال آب ساخته می‌شود. اصول طراحی این سازه بر مبنای طول و عرض کافی برای کاهش سرعت جریان و نهشته شدن رسوبات توسط نیروی ثقل است. بدیهی است که تقریباً در تمام کانال‌های آبیاری وجود یک حوضچه رسوب‌گیر الزامی است. همچنین واضح است که هر چه ابعاد حوضچه بزرگ‌تر ساخته شود، عمل رسوب‌گیری بهتر انجام می‌گیرد، اما به نسبت بزرگی ابعاد حوضچه هزینه‌های ساخت نیز افزایش می‌یابد (۵ و ۱). بنابراین باید تلاش کرد تا با کاهش هزینه‌های ساخت حوضچه ترسیب، راندمان رسوب‌گیری را افزایش داد. در این مطالعه سعی بر آن شده است تا با استفاده از تیغه‌های هدایت‌کننده عرضی در طول‌ها و زوایای قرارگیری متفاوت راندمان حوضچه را افزایش یابد.

در حوضچه‌های آبیاری جریان با تبدیل به کار رفته کاملاً به صورت دو بعدی در می‌آید و تنوع در شکل ظاهری آنها کمتر است، تحقیقات کمتری نسبت به حوضچه‌های رسوب‌گیر

تصفیه فاضلاب در این زمینه انجام شده است.

منابع ارائه شده در این بخش شامل دو قسمت است. قسمت اول شامل مدل‌های ریاضی ارائه شده به منظور تعیین راندمان تله‌اندازی و قسمت دوم شامل مروری بر پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با طراحی حوضچه‌های ترسیب و کاربرد صفحات هدایت جریان در حوضچه‌های ترسیب به منظور افزایش راندمان است.

مدل‌های ریاضی ارائه شده تعیین راندمان حوضچه

قدیمی‌ترین مدل ریاضی در ارتباط با تعیین راندمان حوضچه ترسیب توسط هیزن در سال ۱۹۰۴ ارائه شده است (۵).

$$\eta = 1 - \left[1 + m \left(\frac{wA}{Q} \right) \right]^{-\frac{1}{m}} \quad [1]$$

η راندمان حوضچه ترسیب، w سرعت ته‌نشینی ذرات، A سطح حوضچه، Q دبی جریان ورودی و m پارامتر نشان‌دهنده کیفیت عملکرد حوضچه رسوب‌گیر است (برای حوضچه با عملکرد خوب $m=0$ و برای حوضچه با عملکرد ضعیف، $m=1$ است). کمپ در سال ۱۹۴۳ مدلی را برای برآورد راندمان حوضچه‌های ترسیب ارائه داد که شکل کلی آن به صورت رابطه (۲) است: (۱۰)

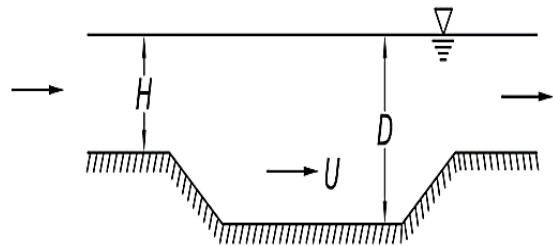
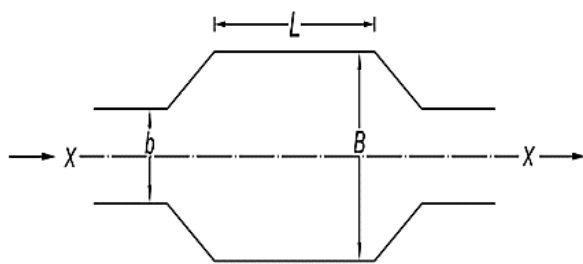
$$\eta = f \left(\frac{wA}{Q}, \frac{w}{V_0} \right) \quad [2]$$

در این رابطه V_0 سرعت برشی است که از رابطه $V_0 = \sqrt{gRS}$ به دست می‌آید که در آن R شعاع هیدرولیکی و S شیب کف حوضچه است.

کمپ در سال ۱۹۴۶، براساس کارهای دوبینز مدل دیگری را با فرضیات زیر ارائه داد:

توزیع سرعت در مقطع جریان، سهمی شکل یا یکنواخت بوده و ضریب پخش تلاطم ثابت است. به دلیل پیچیدگی روابط ریاضی مدل‌های کمپ، حل آنها با استفاده از نمودار انجام می‌گیرد (۱۱).

دفتر عمران ایالات متحده (USBR) در سال ۱۹۴۹ مدلی را



شکل ۱. معرفی پارامترهای استفاده شده در مدل Fasial Ahmad

محاسبه راندمان ارائه دادند (۱۸).

$$Re = 11 / \sqrt{\left(\frac{\omega}{U}\right)^{0.81} \left(\frac{LB}{bh'}\right)^{0.23} \left(\frac{h'}{n\sqrt{g}}\right)^{0.98}} \quad [6]$$

در این رابطه b عرض و h' عمق آب در کانال نزدیک شونده به حوضچه رسوب گیر، n ضریب زبری مانینگ، L و B به ترتیب طول و عرض حوضچه رسوب گیر هستند.

در سال ۲۰۱۶ با آنالیز و بررسی پایگاه داده‌ها، یک مدل رگرسیونی عمومی برای محاسبه راندمان تله‌اندازی رسوبات در حوضچه رسوب گیر ارائه شد. با مقایسه این مدل و مدل ارائه شده توسط راجو و همکاران و با بررسی مجدد داده‌ها این نتیجه حاصل شد که مدل ارائه شده توسط راجو و همکاران تخمین مناسبی از راندمان حوضچه رسوب گیر به دست نمی‌دهد.

مدل رگرسیونی ارائه شده به صورت رابطه (۷) است: (۷)

$$\eta_0 = 226 / 225 \left(\frac{\omega}{U}\right)^{1/55} (Fr)^{2/11} \left(\frac{L}{H}\right)^{0.58} \left(\frac{B}{b}\right)^{0.79} \left(\frac{Un}{\gamma}\right)^{-0.257} \left(\frac{d}{D}\right)^{-1/50.8} D^3 \quad [7]$$

در این رابطه ω سرعت سقوط ذره، n ضریب زبری مانینگ و d قطر ذره رسوب است. باقی پارامترها در شکل (۱) نشان داده شده است. همچنین پژوهش‌هایی به منظور تخمین راندمان حوضچه ترسیب با استفاده از شبکه‌های مصنوعی انجام شده است (۲۲).

طراحی حوضچه های ترسیب و کاربرد صفحات هدایت

جریان در افزایش راندمان

اولین مطالعات در مورد طراحی صفحات هدایت جریان در

برای برآورد راندمان حوضچه‌های ترسیب در شبکه‌های آبیاری ارائه کردند. شکل ریاضی این مدل به صورت رابطه (۳) است: (۱۷ و ۱۲)

$$\frac{m}{m_0} = \exp\left(-\frac{wL}{q}\right) \quad [3]$$

m و m_0 به ترتیب وزن رسوب در واحد حجم جریان است که وارد حوضچه شده و از حوضچه خارج می‌شود و q دبی در واحد عرض حوضچه ترسیب است. راندمان حوضچه از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$\eta = 1 - \frac{m}{m_0} = 1 - \exp\left(-\frac{wL}{q}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{wA}{Q}\right) \quad [4]$$

در واقع معادله (۴) همان معادله هیزن برای حوضچه‌های رسوب گیر با عملکرد خوب است.

در سال ۱۹۷۷، سامر با حل تحلیلی معادله پراکندگی، مدلی برای تخمین راندمان حوضچه‌های رسوب گیر ارائه کرد. در این مدل، پروفیل سرعت در مقطع جریان به صورت لگاریتمی در نظر گرفته شده و ضریب پخش تلاطم نیز متغیر است. مدل پیشنهادی به صورت رابطه (۵) است: (۲۱)

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\lambda U_* L}{15 U d}\right) \quad [5]$$

در این رابطه، U_* سرعت برشی کف حوضچه، U سرعت جریان آب در حوضچه و λ پارامتر بدون بعدی است که به کمک نسبت $\frac{w}{U_*}$ از روی نمودار به دست می‌آید.

راجو و همکاران در سال ۱۹۹۹ با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده از مدل فیزیکی، معادله (۶) را برای

ورودی حوضچه رسوب گیر دایره ای توسط ویگمن و مولر انجام شد. آنها برای از بین بردن انرژی جریان ورودی استفاده از دو دیواره متخلخل هم مرکز را پیشنهاد دادند (۲۳).

امام و همکاران با استفاده از معادله بقا رسوب، راندمان در حوضچه رسوب گیر مجهز به صفحه هدایت کننده را محاسبه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که به ازای عمق استغراق بهینه، مقدار راندمان تله اندازی نسبت به عدم وجود آن افزایش می یابد (۱۵).

در مطالعه ای دیگر با استفاده از صفحات مستغرق در یک مدل آزمایشگاهی، رسوب در دهانه آبگیر را کنترل شد (۱۶).

اتکینسون و همکاران برای طراحی ورودی حوضچه رسوب گیر از نرم افزاری به نام فونیکس استفاده کرد و برای حالت های مختلف، ورودی جریان به داخل حوضچه را مدل کرد. مدل عددی وی نشان داد که آشفتگی اضافی ایجاد شده توسط ورودی در بیشتر حالات کوچک تر از مقدار آن در مقایسه با جریان یکنواخت در حوضچه بود و آن را با استفاده از فرمول به دبی جریان و عرض حوضچه و کانال بالادست مرتبط ساخت (۸).

بارکدول و همکاران تحقیقاتی در زمینه آرایش صفحات مستغرق، ترکیب صفحات با دیواره جداکننده و اصلاح دهانه آبگیر به صورت آزمایشگاهی (مدل فیزیکی) انجام دادند (۹).

گولا و همکاران به مقایسه شبیه سازی های حاصل از مخازن استاندارد و مخازن مجهز به صفحات هدایت جریان پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند زمانی که از صفحه هدایت کننده جریان استفاده می شود راندمان حذف رسوبات از ۹۰/۴ به ۹۸/۶ افزایش می یابد (۱۳).

رادی و همکاران به بررسی امکان افزایش عملکرد حوضچه رسوب گیر مستطیلی با استفاده از تیغه هدایت کننده عرضی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که نصب تیغه هدایت کننده عرضی کفی عمودی با عمق استغراق ۲۰ درصد و در فاصله شش درصدی ابتدایی حوضچه می تواند موجب افزایش ۱۲ درصدی راندمان حوضچه رسوب گیر با رسوبات ریزدانه شود (۶).

سجادی و همکاران به بررسی نقش صفحات کفی عمودی بر عملکرد حوضچه رسوب گیر مستطیلی با طول ۳۰ و ارتفاع ۲ متر توسر مدل عددی فلوئنت پرداختند. نتایج آنها حاکی از این است که متغیرهای ارتفاع و موقعیت، افزایش راندمان تله اندازی را به همراه داشته و بهترین محل قرارگیری در فاصله یک سوم تا نیمه ابتدایی حوضچه و مناسب ترین ارتفاع معادل ۰/۴۰ عمق آب در حوضچه است (۴).

خادمی و همکاران تأثیر تیغه عمودی دو طرفه مستغرق بر راندمان تله اندازی در حوضچه رسوب گیر را با استفاده از روش آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند. نتایج آنها حاکی از آن است که در هنگام ورود جت از کانال بالادست، تغییرات شدید عرضی سرعت در حوضچه به وجود می آید و نصب تیغه در عمق استغراق ۱۵ درصد، راندمان را به میزان ۸/۵ درصد افزایش می دهد (۲).

شاهرخی و همکاران به بررسی تأثیر تعداد صفحات آرام کننده جریان بر راندمان تله اندازی حوضچه رسوب گیر به دو روش آزمایشگاهی و عددی پرداختند. نتایج حاصل از هر دو بررسی نشان داد که با افزایش تعداد صفحات در موقعیت های مناسب موجب افزایش راندمان تله اندازی حوضچه رسوب گیر می شود (۱۹).

همچنین شاهرخی و همکاران در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی شبیه سازی مشابهی به منظور بررسی تأثیر محل و موقعیت بفل بر عملکرد حوضچه های رسوب گیر اولیه انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که با فرض ورودی از پایین و ارتفاع ثابت بفل به میزان ۰/۱۷۶ عمق جریان محل مناسب بفل کفی با عملکرد بالا، کاهش انرژی جنبشی و کمترین مناطق مرده ۱۲/۵ درصد طول حوضچه به دست آمد (۲۰).

حیدری و همکاران به بررسی تأثیر زاویه صفحات آرام کننده جریان با استفاده از مدل عددی هیدرولیکی سه بعدی پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که قرارگیری صفحات آرام کننده در میانه حوضچه تحت زاویه ۶۰ درجه نسبت به جریان ورودی موجب افزایش راندمان تله اندازی

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

به منظور شناخت پارامترهای مؤثر بر راندمان تله‌اندازی و تعیین گروه‌های بی‌بعد، تحلیل ابعادی به روش پای باکینگهام انجام شد و گروه‌های بی‌بعد به صورت رابطه (۸) به دست آمد که معرف ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی جریان رسوب‌دار در حوضچه هستند.

$$\eta = f\left(\frac{B}{L}, \frac{C_v}{\rho}, \frac{h}{L}, \frac{1}{L}, \alpha, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{d_s}{L}, \frac{\rho L \omega_s}{\mu}, \frac{\rho L U}{\mu}, \frac{\rho^2 L^2 g}{\mu^2}\right) \quad [8]$$

در رابطه (۸)، η راندمان حوضچه، L و B به ترتیب طول و عرض حوضچه، h عمق آب در حوضچه، l طول تیغه‌ها، d_s قطر ذرات رسوبی، w_s سرعت سقوط ذره، U سرعت جریان در حوضچه، g شتاب جاذبه، C_v غلظت رسوب، ρ_s جرم مخصوص ذرات رسوب، ρ جرم مخصوص آب، μ لزجت آب و α زاویه قرارگیری تیغه‌ها است.

پس از حذف پارامترهای ثابت در رابطه (۸) رابطه‌ای بدون بعد به صورت زیر تعیین و از پارامترهای موجود در آن به منظور تحلیل نتایج مطالعه حاضر استفاده شد.

$$\eta = f\left(\frac{h}{L}, \frac{1}{L}, \alpha\right) \quad [9]$$

آماده‌سازی سیستم آزمایشگاهی

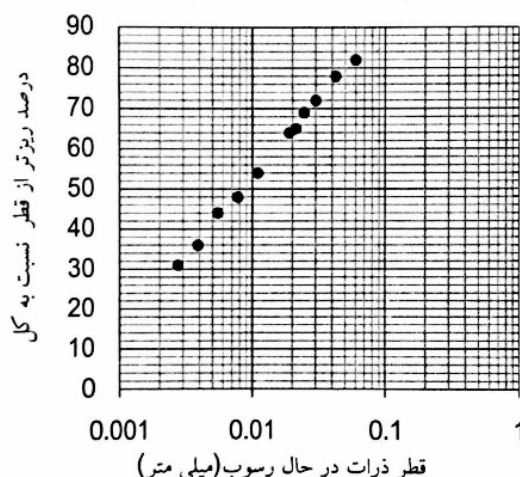
به منظور رسیدن به اهداف این مطالعه، کلیه آزمایش‌ها روی یک کانال مستطیلی به عرض ۴۵ سانتی‌متر، طول ۲۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵/۵ سانتی‌متر از جنس فایبر گلاس به عنوان حوضچه رسوب‌گیر و یک کانال با مقطع مربع به ضلع ۱۰ سانتی‌متر و طول ۱۰۰ سانتی‌متر، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. از رسوبات ریزدانه (خاک رس با قابلیت تورم‌زایی ناچیز) با قطر متوسط ۰/۰۸۸ میلی‌متر که منحنی دانه‌بندی آن در شکل ۲ آمده، استفاده شده است. از یک تبدیل خطی به طول ۳۰ سانتی‌متر برای اتصال کانال به حوضچه و توزیع یکنواخت مخلوط آب و رسوب و همچنین از چند ردیف آرام‌کننده قبل از ورود به

به میزان ۷ تا ۱۴ درصد، نسبت به حالتی که حوضچه فاقد صفحه است، می‌شود (۱۴).

حیدری و شفاعی بجستان با مطالعات آزمایشگاهی به بررسی تأثیر صفحات کفی بر راندمان رسوب‌گذاری حوضچه‌های رسوب‌گیر آبیاری پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که با کاهش زاویه صفحات کفی از حالت عمودی نسبت به جهت جریان، موجب افزایش راندمان می‌شود که بهترین زاویه با بیشترین میزان افزایش راندمان نسبت به زوایای مختلف برابر ۶۰ درجه است. آنها همچنین اثر تغییرات عمق جریان بر راندمان تله‌اندازی را بررسی کردند. نتایج نشان داد چنانچه عمق آب در حوضچه ترسیب کاهش یابد، برای هر دو حالت حوضچه بدون صفحات هادی یا با حضور صفحات راندمان تله‌اندازی تقلیل می‌یابد (۱).

در طراحی حوضچه‌ها به دلیل اینکه طول حوضچه رابطه مستقیمی با سرعت دارد، غالباً کاهش سرعت با صرفه‌تر خواهد بود. برای این منظور سطح مقطع کانال را با افزایش عرض و همچنین پایین بردن کف کانال افزایش می‌دهند. البته باید توجه داشت که پهن‌شدگی به صورت تدریجی باشد تا جریان توسط آن هدایت شود. با کاهش سرعت، تنش برشی بستر و آشفتگی نیز کاهش می‌یابد. اگر میزان کاهش سرعت و تنش برشی به حد کافی باشد، سبب توقف حرکت مواد بستر شده و بخشی از مواد معلق ته‌نشین می‌شوند. سرعت متوسط افقی مطلوب در حوضچه ته‌نشینی به عواملی همچون طول اقتصادی حوضچه و کوچک‌ترین قطر رسوبی که باید ته‌نشین شود، بستگی دارد.

با توجه به بررسی منابع موجود و همچنین طراحی حوضچه‌های مختلف در سراسر دنیا و عدم توانمندی آنها برای جداسازی ذرات رسوبی به میزان دلخواه، این‌چنین به نظر می‌رسد که شرایط برای کار و تحقیق بیشتر در این زمینه وجود دارد. در این مطالعه سعی بر آن است با شناسایی عوامل مؤثر بر راندمان تله‌اندازی و استفاده از تیغه‌های هدایت جریان در طول‌ها و زوایای قرارگیری مختلف، میزان راندمان حوضچه ترسیب را به حد مطلوبی افزایش داد.



شکل ۲. منحنی دانه بندی ذرات رسوب

$$\eta = \left(\frac{W_i - W_0}{W_i} \right) 100 \quad [10]$$

در این رابطه، W_i وزن خشک نمونه ورودی، W_0 وزن خشک نمونه خروجی و η راندمان تله اندازی است.

دبی ورودی جریان رسوب دار ۳۰ میلی لیتر بر ثانیه و غلظت جریان ورودی ثابت و برابر پنج گرم در لیتر در نظر گرفته شد.

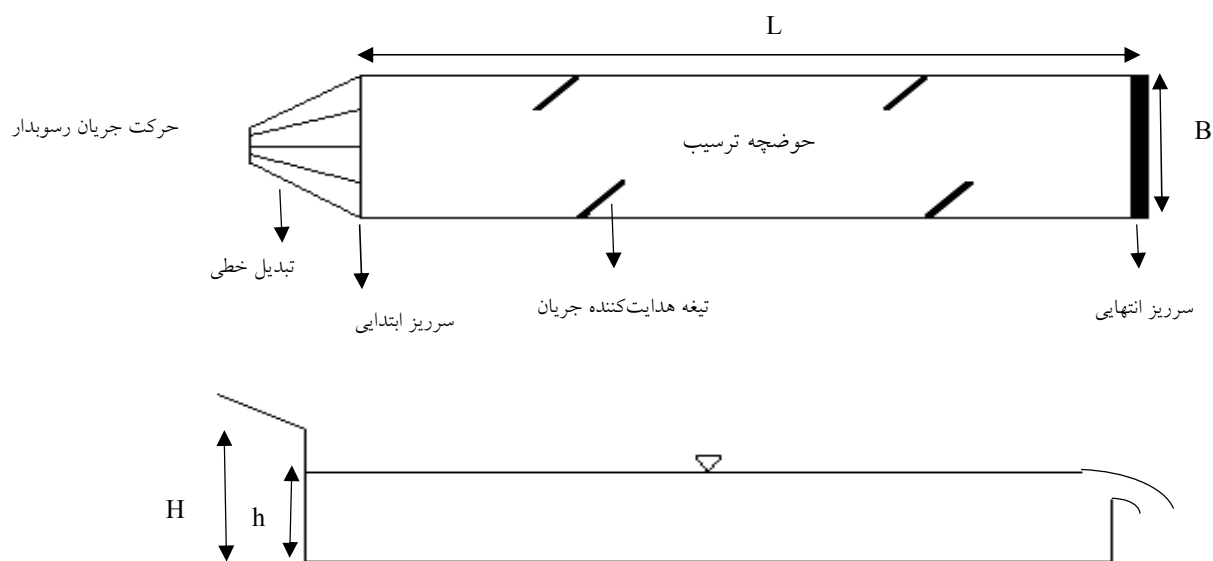
کلیه آزمایش ها برای سه ارتفاع آب در حوضچه با اندازه های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر انجام گرفته و نسبت ارتفاع آب در حوضچه به ارتفاع حوضچه $h/H = 0/22, 0/44, 0/66$ در نظر گرفته شد.

نسبت سرعت سقوط ذرات به سرعت متوسط جریان $(\frac{W_s}{U})$ ، معیار بار معلق یا بار کف بودن ذرات را نشان می دهد که برای رسوبات انتخابی و شرایط جریان در این مطالعه، در محدوده ۰/۱۴-۰/۰۶ متغیر بود که براساس نظریه انگولند حاکی از معلق بودن ذرات در شرایط انتخابی است.

برای بررسی تأثیر تیغه های هدایت جریان بر میدان جریان و راندمان تله اندازی، موقعیت اولین تیغه در فاصله ۵۰ سانتی متری نسبت به ورودی کانال قرار داده شد. در کل حوضچه از چهار تیغه با آرایشی مطابق شکل (۳) استفاده شد. مشخصات صفحات هدایت جریان در جدول (۱) آمده است.

حوضچه، برای جلوگیری از ایجاد تلاطم در هنگام ورود آب از تبدیل به داخل حوضچه، استفاده شد. به منظور یکنواخت کردن غلظت آب و رسوب در هنگام ورود آب به حوضچه، یک همزن در داخل مخزن اختلاط آب و رسوب نصب شد. جریان ورودی از طریق پمپ موجود در بالادست کانال تأمین گشته و اندازه گیری میزان دبی جریان و تنظیم عمق آب در حوضچه به وسیله سرریز بدون فشردگی جانبی در پایین دست حوضچه، انجام گرفت. برای جلوگیری از رسوب ذرات در مسیر حرکت جریان، شیب کانال زیاد در نظر گرفته شد.

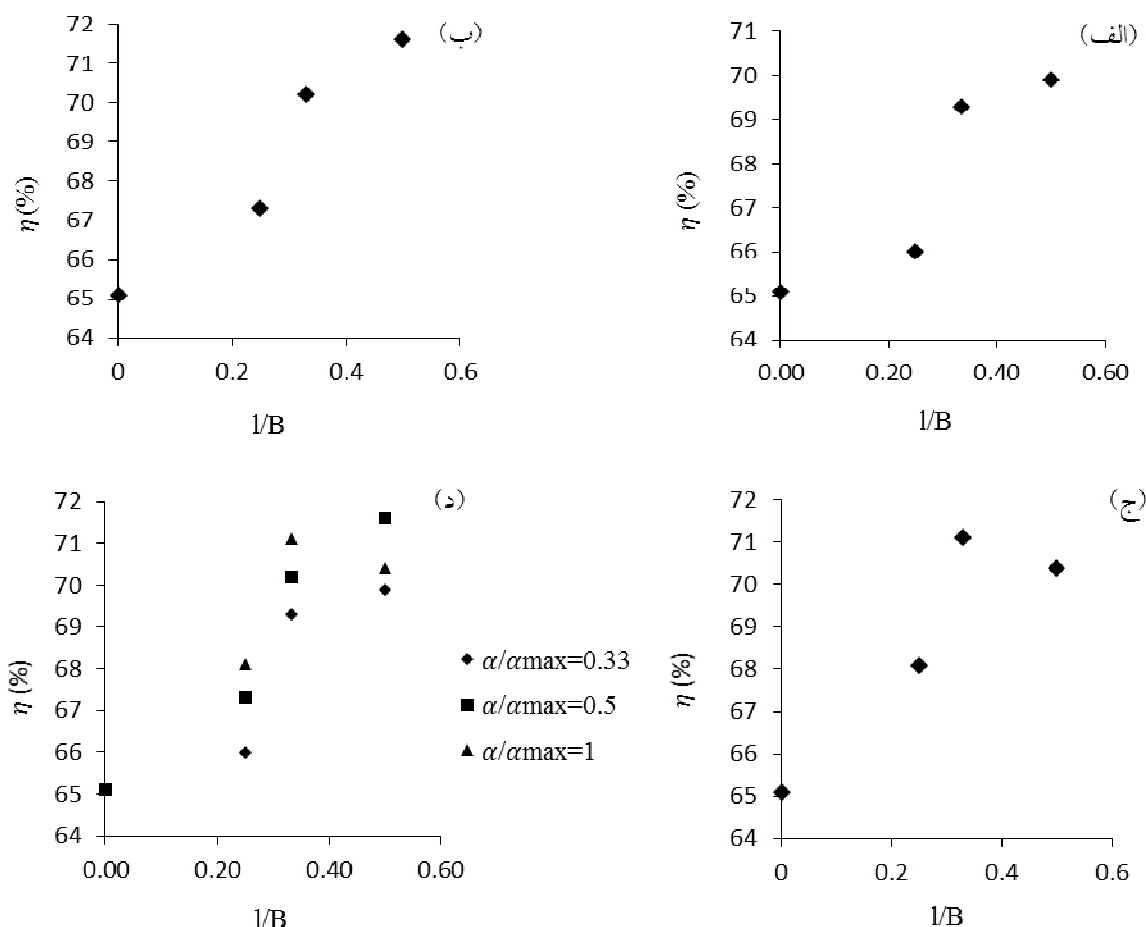
به منظور برآورد میزان رسوبات تله اندازی شده در حوضچه ترسیب، پس از ثابت شدن انتقال جریان به داخل حوضچه و نیز خروج جریان از انتهای آن، پس از مدت زمان حدود ۴۵ دقیقه (با توجه به سرعت حرکت آب در حوضچه) برای هر آزمایش پنج نمونه در دقایق ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ از ابتدای کانال که میانگین آنها به عنوان نمونه ورودی و یک نمونه با حجم بیشتر (پنج لیتر) پس از ۴۵ دقیقه از جریان خروجی از حوضچه به عنوان نمونه خروجی از حوضچه برداشت شد. پس از خشک شدن نمونه ها و توزین آنها مقدار گرم در لیتر (غلظت) ذرات رسوبی در نمونه های ورودی و خروجی به دست آمد. به منظور به دست آوردن راندمان تله اندازی از فرمول (۱۰) استفاده می شود:



شکل ۳. نمای بالا، مقطع جانبی و تصویری از مدل آزمایشگاهی با موقعیت صفحات

جدول ۱. محدوده پارامترهای هندسی صفحات هدایت‌کننده

α/a_{max}	l/B	α (درجه)	l (سانتی‌متر)
۰/۳۳	۰/۲۵	۳۰	۱۱/۲۲
۰/۵		۴۵	
۱		۹۰	
۰/۳۳	۰/۳۳	۳۰	۱۵
۰/۵		۴۵	
۱		۹۰	
۰/۳۳	۰/۵	۳۰	۲۲/۵
۰/۵		۴۵	
۱		۹۰	



شکل ۳. تأثیر طول صفحات هدایت جریان بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب. (الف) $\alpha/\alpha_{max} = 0/33$ ، (ب) $\alpha/\alpha_{max} = 0/5$ ، (ج) $\alpha/\alpha_{max} = 1$ و (د) راندمان تله‌اندازی در برابر l/B برای سه نسبت α/α_{max}

نتایج و بحث

تأثیر طول صفحات هدایت جریان بر راندمان تله‌اندازی

حوضچه ترسیب

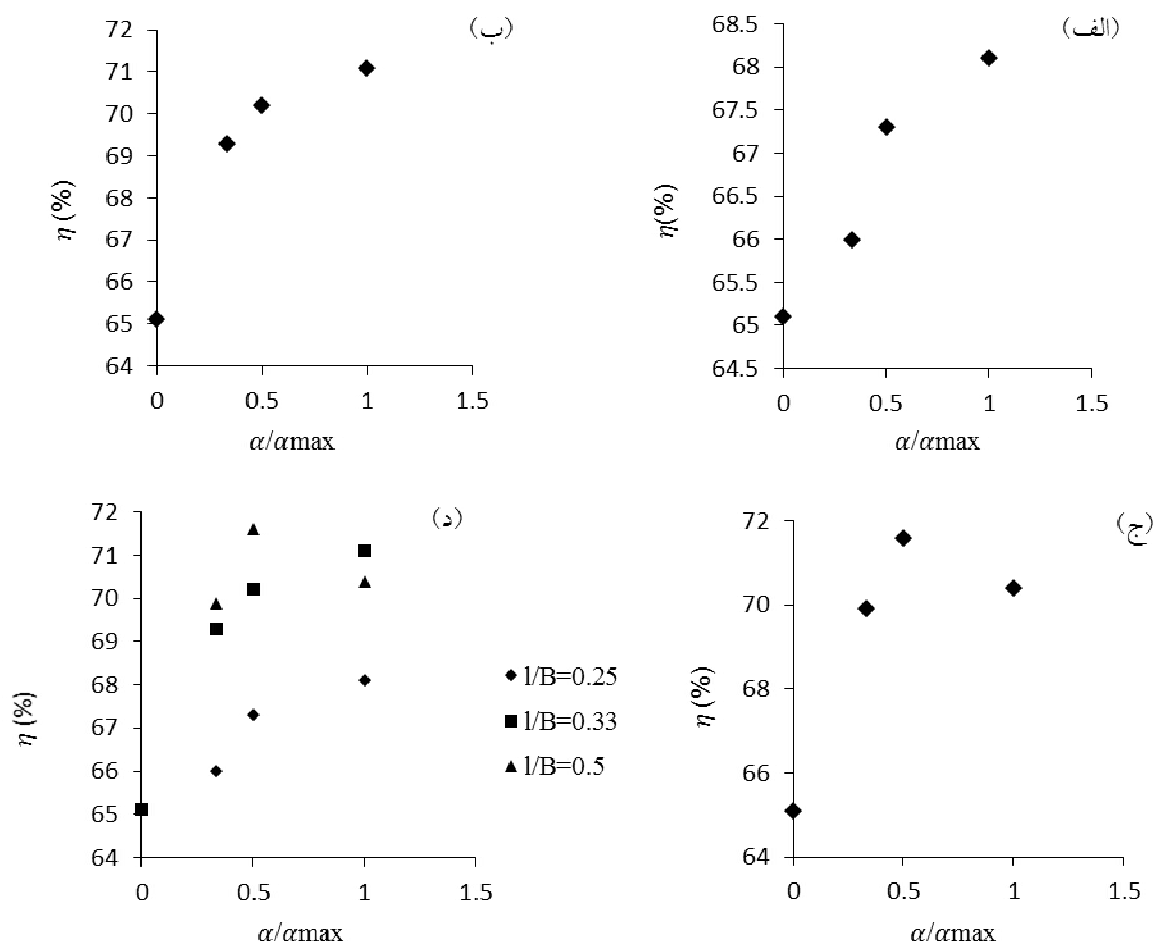
به منظور بررسی تأثیر طول صفحات هدایت جریان بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب از نسبت بی بعد l/B با چهار اندازه صفر، $0/25$ ، $0/33$ و $0/5$ استفاده شد و نتایج حاصل در شکل (۳) نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، راندمان به تدریج با افزایش طول تیغه‌ها افزایش می‌یابد. این مسئله حاکی از آن است که با افزایش طول تیغه‌ها ناحیه جریان گردابی در محدوده تیغه‌ها افزایش یافته و منجر به رسوب‌گذاری بیشتر ذرات می‌شود. اما در شکل (۳-ج) روند

تغییرات راندمان متفاوت از سایر اشکال است و علی‌رغم انتظار زمانی که l/B از $0/33$ به $0/5$ افزایش یافته، راندمان به اندازه $0/7$ درصد کاهش یافته است. به نظر می‌رسد قرارگیری تیغه با بیشترین طول و تحت زاویه 90° درجه نسبت به جریان ورودی موجب انسداد مسیر جریان و افزایش سرعت در ناحیه میدانی بین مسیر تیغه‌ها شده که این امر خود موجب کاهش میزان رسوب‌گذاری می‌شود.

تأثیر زاویه قرارگیری صفحات هدایت جریان بر راندمان

تله‌اندازی حوضچه ترسیب

به منظور بررسی تأثیر زاویه قرارگیری صفحات هدایت جریان



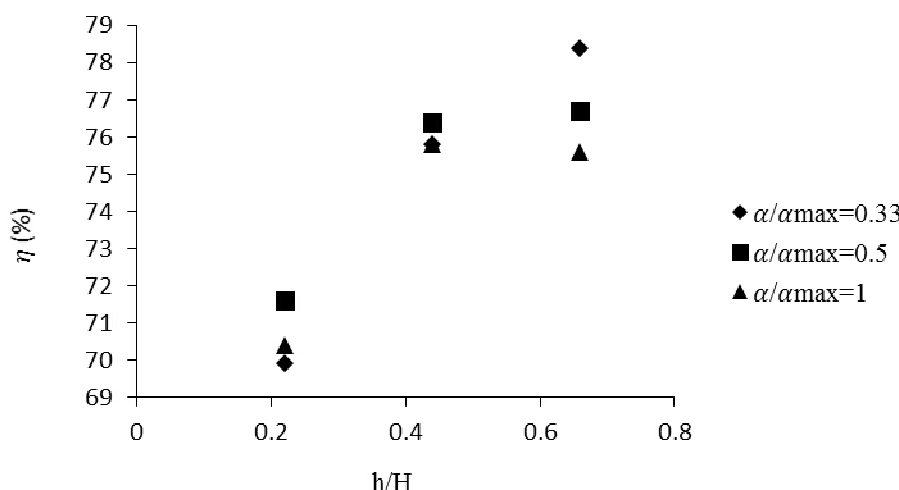
شکل ۴. تأثیر زاویه قرارگیری صفحات هدایت جریان بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب. (الف) $1/B = 0.25$.

(ب) $1/B = 0.33$ ، (ج) $1/B = 0.5$ و (د) راندمان تله‌اندازی در برابر α/α_{max} برای سه نسبت $1/B$

صفحات از ۴۵ به ۹۰ درجه راندمان کاهش می‌یابد و مناسب‌ترین زاویه بین ۴۵ تا ۹۰ درجه، است و با بررسی پژوهش حیدری و همکاران (۱۴) و پژوهش حیدری و شفاعی بجستان (۱) بهتر بود صفحات با زاویه ۶۰ درجه نسبت به جریان ورودی نصب می‌شدند و راندمان تله‌اندازی در این حالت نیز بررسی می‌شد.

با توجه به شکل (۴-د) می‌توان دریافت که درصد تغییرات از حالت $1/B = 0.25$ به $1/B = 0.33$ بیشتر از حالت بعدی یعنی از حالت $1/B = 0.33$ به $1/B = 0.5$ است این موضوع را می‌توان این چنین توجیه کرد که اگر چه افزایش طول تیغه، مسیر حرکت رسوب و در نهایت راندمان را افزایش می‌دهد اما

بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب، صفحات در سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به جریان ورودی نصب شد و برای انجام مقایسات از نسبت α/α_{max} با سه اندازه ۰/۳۳، ۰/۵ و ۱ استفاده شد و نتایج به‌دست آمده در این حالت در شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود راندمان با افزایش زاویه قرارگیری صفحات افزایش می‌یابد. اما در شکل (۴-ج)، علی‌رغم انتظار با افزایش زاویه از ۴۵ به ۹۰ درجه، راندمان به اندازه ۱/۲ درصد کاهش یافته است که این امر به دلیل انسداد مسیر جریان و افزایش سرعت در ناحیه میدانی بین تیغه‌ها بود که خود باعث کاهش میزان رسوب‌گذاری می‌شود. با توجه به اینکه با تغییر زاویه قرارگیری



شکل ۵. تأثیر عمق آب در حوضچه بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب برای صفحه با طول ۲۲/۵ سانتی‌متر

ذرات بیشتر شده و راندمان افزایش می‌یابد، اما درصد فضای ناکارآمد پشت تیغه نیز بیشتر شده و مسیر حرکت جریان رسوب‌دار کاهش می‌یابد.

آنالیز حساسیت

استفاده از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرها با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطمئناً با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان ارتباط پارامترها را با یکدیگر درک کرد و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد و بدین ترتیب کاربرد مناسب‌تری از مدل به‌منظور کارایی هرچه بیشتر آن ارائه کرد.

نمایه حساسیت زیر برای تعیین میزان حساسیت راندمان حوضچه ترسیب نسبت به تغییر در پارامترهای ورودی شامل طول تیغه، زاویه قرارگیری تیغه نسبت به جریان ورودی و عمق آب در حوضچه مورد استفاده قرار گرفت (۶).

$$S = \frac{(O_2 - O_1)}{O_{avg}} \div \frac{(I_1 - I_2)}{I_{avg}} \quad [11]$$

در این رابطه S نمایه حساسیت، I_1 و I_2 به ترتیب کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار پارامتر ورودی، I_{avg} متوسط I_1 و I_2 ، O_1 و O_2 مقادیر خروجی متناظر با I_1 و I_2 و O_{avg} متوسط O_1 و O_2 هستند.

یک عامل تنگ‌کننده مقطع جریان است که افزایش آن موجب تشدید سرعت جریان شده و تا حدودی درصد تله‌اندازی کاهش می‌یابد.

تأثیر عمق آب در حوضچه بر راندمان تله‌اندازی حوضچه

ترسیب

به‌منظور بررسی تأثیر عمق آب بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب، عمق آب را به اندازه ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر افزایش داد و به‌عنوان نمونه از صفحات هدایت‌کننده جریان با طول ۲۲/۵ سانتی‌متر که تحت سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۹۰ درجه نسبت به جریان ورودی نصب شده بودند، استفاده شد. نتایج حاصل در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عمق آب در حوضچه ترسیب، راندمان رسوب‌گذاری به دلیل افزایش سطح مقطع جریان و کاهش سرعت حرکت جریان رسوب‌دار افزایش می‌یابد. با توجه به شکل (۵) میزان تغییرات راندمان زمانی که صفحات تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به جریان ورودی نصب شده‌اند در حالت‌هایی که عمق آب در حوضچه از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر افزایش یافته است، علی‌رغم انتظار بیشتر از حالتی است که عمق آب در حوضچه از ۲۰ به ۳۰ سانتی‌متر تغییر کرده است. علت این امر ناشی از این موضوع است که اگرچه با افزایش عمق آب، درصد برخورد

جدول ۲. متغیرهای انتخابی در بررسی تحلیلی حساسیت

پارامترهای ورودی	مقادیر پارامترهای ورودی	مقادیر پارامتر خروجی (درصد راندمان)
$\alpha_{\min} (^{\circ})$	۰	۶۷/۲۷
$\alpha_{\max} (^{\circ})$	۹۰	۷۳/۱۷
$l_{\min} (\text{cm})$	۰	۶۷/۲۷
$l_{\max} (\text{cm})$	۲۲.۵	۷۴/۵۱
$h_{\min} (\text{cm})$	۱۰	۶۸/۹
$h_{\max} (\text{cm})$	۳۰	۷۵/۸۱

جدول ۳. مقادیر نمایه حساسیت پارامترهای ورودی

پارامتر	طول تیغه هدایت‌کننده جریان	زاویه قرارگیری تیغه نسبت به جریان ورودی	ارتفاع آب در حوضچه
راندمان تله‌اندازی	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۹

به‌طورکلی با توجه به نزدیک بودن مقدار نمایه حساسیت طول و زاویه قرارگیری تیغه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که این دو عامل تأثیرات به‌طور نسبی یکسانی بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب دارند.

لازم به توضیح است که نمایه‌های حساسیت محاسبه شده، تنها نمایه‌هایی در فضای ریاضی پارامترها هستند و قطعاً درک صحیحی از میزان عدم قطعیت نتایج خروجی ناشی از عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی را ارائه نمی‌دهند. بررسی این موضوع نیاز به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و یا در شکل ساده‌تر آن تغییر پارامترها در محدوده قابل وقوعشان دارد که خود پژوهش جامع دیگری را طلب می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی تأثیر صفحات هدایت‌کننده جریان و عمق آب در حوضچه بر راندمان تله‌اندازی رسوب در یک حوضچه رسوب‌گیر مستطیلی با توجه به نتایج آزمایشگاهی پرداخته شد. نتایج نشان داد راندمان تله‌اندازی تا حد زیادی به طول و زاویه قرارگیری صفحات هدایت‌کننده جریان و عمق آب در حوضچه ترسیب بستگی دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، راندمان حوضچه درحالتی که از صفحات هدایت جریان

در جدول (۲) کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار هر یک از پارامترهای ورودی و مقادیر پارامتر خروجی (درصد راندمان) متناسب با آنها آورده شده است.

مقدار صفر برای کوچک‌ترین زاویه قرارگیری و طول تیغه مربوط به حالتی است که حوضچه ترسیب فاقد صفحات هدایت‌کننده جریان است.

برای بررسی تحلیلی حساسیت نسبی هر یک از پارامترهای ورودی بر روی پارامترهای خروجی، نمایه حساسیت تعریف شده در رابطه (۹) محاسبه شد. مقادیر این نمایه برای هر یک از پارامترهای ورودی در جدول (۳) ارائه شده است.

مثبت بودن مقادیر نمایه حساسیت در جدول (۳) به معنی این است که با افزایش مقادیر پارامترهای ورودی، مقدار پارامتر خروجی نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از جدول (۳) را می‌توان به شرح زیر گزارش کرد.

تغییر در ارتفاع آب در حوضچه می‌تواند بیشترین تأثیر را بر روی راندمان حوضچه ترسیب بگذارد.

به‌غیر از ارتفاع آب در حوضچه، با توجه به مقدار نمایه حساسیت، طول تیغه‌های هدایت‌کننده جریان نسبت به زاویه قرارگیری تیغه‌ها تأثیر بیشتری بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب دارد.

بدون صفحات راندمان افزایش می‌یابد. ماکزیمم راندمان زمانی حاصل شد که عمق آب در حوضچه ۳۰ سانتی متر و طول صفحات هدایت جریان ۲۲/۵ سانتی متر و زاویه قرارگیری آنها نسبت به جریان ورودی ۳۰ درجه بوده است. استفاده از این شرایط می‌تواند راندمان را به میزان ۱۳/۳ درصد نسبت به حالتی که نسبت به حالتی که حوضچه فاقد تیغه بوده و عمق آب در حوضچه ۱۰ سانتی متر است، افزایش دهد. با انجام آنالیز حساسیت نشان داده شد که تغییرات عمق آب بیشترین تأثیر را بر تغییرات راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب دارد. به غیر از عمق آب در حوضچه ترسیب، طول تیغه هدایت‌کننده جریان و زاویه قرارگیری تیغه‌ها تقریباً تأثیر یکسانی بر راندمان تله‌اندازی حوضچه ترسیب دارد و ترکیب این دو عامل و قرارگیری تیغه‌ها با طول و تحت زاویه مناسب نسبت به جریان ورودی، می‌تواند راندمان حوضچه را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد.

استفاده می‌شود، نسبت به زمانی که حوضچه فاقد صفحات هدایت جریان است، افزایش می‌یابد. باید در نظر داشت ترکیب هر دو عامل افزایش طول و افزایش زاویه هم‌زمان نمی‌توانند تأثیری از مجموع دو عامل را نشان دهد چرا که زمانی که از بیشترین طول و بیشترین زاویه استفاده می‌شود، ناحیه میانی عبور جریان در حوضچه کاهش یافته و موجب افزایش سرعت جریان و در نتیجه کاهش رسوب‌گذاری می‌شود. بنابراین شرایط بهینه‌ای از این دو عامل باید وجود داشته باشد تا تأثیر مثبتی بر میزان راندمان تله‌اندازی حوضچه رسوب‌گیر داشته باشد. پس از بررسی تأثیر عمق آب در حوضچه این نتیجه حاصل شد که با افزایش عمق آب از ۱۰ به ۳۰ سانتی متر، درحالتی که حوضچه فاقد تیغه است راندمان به اندازه ۴/۹ درصد افزایش می‌یابد. در پژوهش حیدری و شفافی‌جستان (۱) نیز با افزایش عمق آب در حوضچه‌های رسوب‌گیر با و

منابع مورد استفاده

۱. حیدری، م. م. و م. شفافی‌جستان. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تأثیر صفحات آرام‌کننده جریان بر بهبود راندمان رسوب‌گذاری حوضچه‌های رسوب‌گیر آبیاری، نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۵۸۰-۵۶۹.
۲. خادمی، م. م. ح. امید و ع. هورفر. ۱۳۸۶. بررسی اثر تیغه هدایت‌کننده بر راندمان تله‌اندازی حوضچه‌های رسوب‌گیر با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی. مجله هیدرولیک ۲۴-۱۱.
۳. رادی، ه. م. ح. امید و ج. فرهودی. ۱۳۸۸. بررسی تیغه هدایت‌کننده عرضی در افزایش راندمان تله‌اندازی حوضچه رسوب‌گیر مستطیلی با ورودی ناگهانی. مجله آبیاری و زهکشی ایران ۱۳۴-۱۲۷.
۴. سجادی، س. م. م. شفافی‌جستان و م. بینا. ۱۳۸۷. بررسی اثر دیواره‌ی آرام‌کننده جریان بر عملکرد حوضچه رسوب‌گیر با استفاده از مدل ریاضی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه تبریز.
۵. شتاب‌بوشهری، ن.، ف. موسوی و ب. شتاب‌بوشهری. ۱۳۸۹. طراحی بهینه حوضچه‌های رسوب‌گیر در شبکه‌های آبیاری، نشریه آب و خاک ۱۰۶۱-۱۰۴۹.
۶. فتوحی، م. و م. حسینی. ۱۳۸۶. تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب و تلفات انتقال در رودخانه‌های مناطق خشک، مجله علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۲۳-۱۲.
7. Ahmad, F. 2016. Comparative analysis of sediment removal efficiency parameters of settling basin. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 5: 136-140.
8. Atkinson, E. 1992. The Design of Sluiced Settling Basins-A Numerical Approach, Rep. OD 124, Overseas Development Unit, HR Wallingford, U.K.
9. Barkdoll, B. D., R.E Ittema and A. J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancements to vane use. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 125: 862-870.
10. Camp, T. R. 1943. The effect of turbulence on retarding settling. In: *Proceeding of the 2nd Hydraulics Conference*,

- University of Iowa, USA. PP: 307-317.
11. Camp, T. R. 1946. Sedimentation and the design of settling tanks. *Trans. ASCE* 111: 895-936.
 12. Garde, R. J. and K. G. Ranga Raju. 1977. *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. Wiley Eastern Limited, New Delhi.
 13. Goula, A. M., M. Kostoglou, T. D. Karapantsios and A. I. Zouboulis. 2007. A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment case study: The influence of a feed flow control baffle. *Chemical Engineering Journal* 140: 110-121.
 14. Heydari, M. M., M. Shafai Bajestan, H. A. Kashkuli and H. Sedghi. 2013. The effect angle of baffle on the performance of settling basin. *Journal of World Applied Sciences* 21(6): 829-837.
 15. Imam, E. H., J. A. McCorquodale and J. K. Bewetra. 1983. Numerical modeling of sedimentation tanks. *Journal of Hydraulic Engineering* 12: 1740-1754.
 16. Nakato, T. 1984. Model Investigation of Intake Shoaling and Pump-vibration Problems: Iowa Generation Council Bluffs unit 3 Circulation Water Intake (IIHR Report). No 283 Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, USA.
 17. Rouse, H. 1949. *Engineering Hydraulics*. John Wiley, New York.
 18. Ranga Raju, K. G., U. C. Kothiyari, S. Srivastav and M. Saxen. 1999. Sediment removal efficiency of settling basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 125(5): 308-314.
 19. Shahrokhi, M, F. Rostami, M. A. Said, S. R. Sabagh Yazdi and S. Syafalni. 2012. The effect of number of baffles on the improvement efficiency of primary sedimentation tanks. *Applied Mathematical Modeling* 36: 3725-3735.
 20. Shahrokhi, M., F. Rostami, M. A. Said and S. Syafalni. 2013. Numerical modeling of baffle location effects on the flow pattern of primary sedimentation tanks. *Applied Mathematical Modeling* 37: 4486-4496.
 21. Sumer, M. S. 1977. Settlement of solid particles in open- channel flow. *Journal of Hydraulics* 103: 1323-1337.
 22. Singh, K., M. Pal, C. Ojha and V. Singh. 2008. Estimation of removal efficiency for settling basins using neural networks and support vector machines. *Journal of Hydraulic Engineering* 13: 146-155.
 23. Wiegmann, H. and M. Neuhaus. 1951. Particle dispersion in isotropic turbulence under stokes drag and Basset force with gravitational settling. *Journal of Fluid Mechanics* 4: 122-133.

A New Plan to Use Guide Flow Plates in Settling Basin for Increasing the Trap Efficiency

K. Esmaili*, S. Seifi and H. Salari¹

(Received: December 22-2016 ; Accepted: November 28-2017)

Abstract

Settling basins are one of the most essential structures for the separation of inflow sediments. This structure is established to enhance the water quality after the river-basins and water channels. Numerous studies have been conducted on the design of this structure and different methods have been provided to increase its efficiency. However, the use of simple settling basins with the minimum cost which can provide the ideal targets has been the focus of designers. In this study, the effect of flow-guiding plates and the angle between these and the inflow, and the impact of water depth in the basin on the trap efficiency of the settling basins were considered. For testing, 4 blades with specific length and angle were installed. This experiment was repeated for 3 different lengths and 3 angles. The results of the experiments showed that with the enhancement of the depth of water to 10 centimeters to 30 centimeters, while the basin had no flow-guiding plates, increased the trap efficiency of the basin by 4.9 percent. Also, by the use of flow-guiding plates in the suitable and best length and angle (in this study, the suitable size of blades was 22.5 centimeters and the best position was by the angle of 30 degrees); with the maximum of the water depth of 30 centimeters, the trap efficiency was increased by 13.3 percent. The sensitivity analysis done showed that the depth of water had the most effect on the trap efficiency of the basin and the changes in the lengths and angles of the blades position had the similar effects of the basin trap efficiency.

Keywords: Settling basin, Guide flow plates, Water quality enhancement

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

*: Corresponding Author, Email: esmaili@um.ac.ir