

بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق انحنا دار با قطاع ۶۰ درجه بر راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی

مجتبی صانعی^{۱*}، مهدی اژدری مقدم^۲ و امین حاجی احمدی^۳

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی شهید نیک‌بخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان و ^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شهید نیک‌بخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۵

چکیده

یکی از شیوه‌های کنترل رسوب در سازه‌های آبی استفاده از حوضچه‌های رسوبگیر گردابی است. حوضچه‌های رسوبگیر گردابی نسبت به سایر سازه‌های رسوبگیر مرسوم عمل جداسازی را در سرعت بالا انجام می‌دهد. از مشکلات این سازه رسوبگیر، ته‌نشین شدن درصدی از رسوبات در کف حوضچه و عدم خروج آن‌ها از روزنه تحتانی است که باعث اختلال در عملکرد این سازه می‌شود. بنابراین، برای کنترل تجمع رسوبات در کف و خارج کردن آن‌ها از حوضچه رسوبگیر گردابی برای اولین بار از صفحات مستغرق انحنا دار در کف حوضچه رسوبگیر گردابی استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی حوضچه رسوبگیر گردابی، راندمان و رسوب‌شویی از کف حوضچه با استفاده از ترکیب مختلف صفحات مستغرق انحنا دار، مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در حوضچه‌ای به قطر ۲۰۶ و ارتفاع ۹۶ سانتی‌متر انجام گرفت. درون این مدل از صفحات مستغرق انحنا دار برای اصلاح و افزایش قدرت گردابه از آرایش‌های مختلف در قطاع ۶۰ درجه استفاده شد. آزمایش‌ها با دو دبی ۴۵ و ۳۷ لیتر بر ثانیه و سه قطر روزنه تحتانی ۳۶ و ۴۶ و ۵۹ میلی‌متر و شش آرایش صفحات ($R_2, R_3, R_4, R_{23}, R_{34}, R_{234}$) انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان دادند که وجود صفحات مستغرق در کف حوضچه گردابی با آرایشی مناسب، ضمن ثابت نگه داشتن راندمان کل، سبب رسوب‌شویی کف حوضچه شده و با هدایت این بخش از رسوبات به سمت روزنه باعث خروج آن‌ها از سیستم رسوبگیر می‌شود. پژوهش حاضر نشان داد که بهترین راندمان برای آرایش‌های R_3 و R_4 و R_{34} است که در فاصله دورتر از روزنه قرار دارند. همچنین، تغییرات دبی و قطر روزنه، در کارایی صفحات مستغرق انحنا دار موثر است. در حالت بهینه آرایش صفحات مستغرق انحنا دار، ۲۵/۵۶ درصد رسوب‌شویی از کف حوضچه رسوبگیر گردابی بیشتر از حالت بدون کاربرد صفحات، اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: جریان گردابی، دبی، رسوب‌شویی، سازه رسوبگیر، کارایی صفحات مستغرق

مقدمه

رسوبات موجود در جریان‌ها می‌باشد. چرا که جریان‌های طبیعی به علت جاری بودن بر بسترهای غیرصلب خاک، با توجه به شرایط حاکم بر جریان و خصوصیات بستر آبراهه، همواره مقداری رسوبات را با

مسئله‌ای که همواره در استفاده از جریان رودخانه‌ها مورد توجه بوده است، مسئله کنترل

در اطراف روزنه مرکزی و یک گردابه دیگر از نوع آزاد در قسمت بیرونی گردابه مرکزی حوضچه است (Athar و همکاران، ۲۰۰۲). در این نوع رسوبگیرها جریان به صورت کاملاً مماسی به داخل حوضچه هدایت شده و ضمن چرخش حول مرکز حوضچه از روی سرریز فوقانی آن خارج می‌شود.

پدیده ته‌نشینی و حرکت رسوبات به سمت روزنه به وسیله جریان‌های ثانویه رخ می‌دهد. ذرات رسوبی که وارد حوضچه می‌شوند، در امتداد مسیر مارپیچی به سمت مرکز حوضچه حرکت می‌کنند (Ziaei، ۲۰۰۰). بنابراین، در چنین سامانه‌ای امتداد مسیر ته‌نشینی رسوبات چند برابر بیشتر از ابعاد حوضچه می‌باشد. از مزایای این روش در کنترل رسوب نسبت به سایر روش‌ها می‌توان به تلفات کم آب، اقتصادی بودن آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها، دائمی بودن این سیستم برخلاف سایر رسوبگیرها، عدم نیاز به لایروبی کوتاه‌مدت و سرانجام ابعاد کوچک‌تر آن برشمرد (Paul و همکاران، ۱۹۹۱).

تحقیقات گسترده‌ای بر روی حوضچه رسوبگیر گردابی انجام شده است. محققین زیادی با تغییر ابعاد و شکل حوضچه سعی در افزایش کارایی آن داشتند. Sakaguchi و Ogihara (۱۹۸۴) طرحی را ارائه کردند که تفاوت آن با طرح‌های دیگر در وضعیت جریان خروجی از سرریز بود. بدین صورت که در این حوضچه یک سرریز لاله‌ای درون حوضچه برای انتقال آب صاف استفاده شد. Mashauri (۱۹۸۶) طرحی ارائه نمود که ورودی و خروجی جریان به وسیله یک صفحه افقی از هم جدا شده بود. Paul و همکاران (۱۹۹۱) طرحی ارائه دادند که از یک صفحه نعلی شکل (دفلکتور^۲) که در فاصله‌ای به اندازه یک سوم عمق جریان در کانال ورودی به حوضچه نصب شد، تشکیل می‌شد. این صفحه برای جلوگیری از تداخل جریان گردابی (جریان حاوی ذرات رسوبی) و جریان گذرنده از روی سرریز (آب صاف) استفاده شد.

Saneie و همکاران (۱۹۹۹) پارامترهای هیدرولیکی جریان گردابه‌ها در درون حوضچه رسوبگیر گردابی را مورد بررسی قرار دادند. Ziaei

خود منتقل می‌کنند. عدم کنترل رسوبات ورودی به آبگیرها موجب انتقال آن به داخل کانال‌های آبیاری و تاسیسات شده و مشکلات زیادی را در نتیجه حمل رسوبات و یا ته‌نشین شدن آن‌ها در قسمت‌های مختلف به وجود می‌آورد. جریان پرسرعت و گل‌آلود، خسارت زیادی به تاسیسات وارد می‌کند؛ خصوصاً در مواردی که از وسایل مکانیکی مانند پمپ و توربین استفاده شود. در نیروگاه‌های هند، به دلیل وجود ماسه در آب صدمات جبران ناپذیری (بعد از گذشت دو تا سه هزار ساعت از عملکرد توربین‌ها) به پره‌های توربین وارد شده است (Ranga Raju و همکاران، ۱۹۹۹).

در انتقال آب به‌ویژه در شبکه‌هایی که آب به صورت ثقلی منتقل می‌شود، به دلیل آن‌که سرعت حرکت آب کم است، جریان آب توانایی نگهداری ذرات رسوبی در حالت معلق را نداشته و به مرور زمان باعث ته‌نشینی و تجمع ذرات رسوبی در طول بستر کانال می‌شود. این فرایند باعث بروز مشکلاتی از قبیل جمع شدن رسوبات در کانال و کاهش عمق آزاد و ظرفیت کانال، هزینه زیاد لایروبی کانال‌های آبیاری، فرسایش دیواره کانال‌ها و سازه‌های آبی، به وجود آمدن شرایط مناسب در کف کانال‌ها برای رشد گیاهان و تغییر ضریب زبری می‌شود. این‌گونه مسائل و مشکلات، بسیاری از متخصصان سازه‌های آبی را بر آن داشته تا با اتخاذ تدابیری مناسب و کارآمد از همان ابتدا از ورود رسوبات به داخل شبکه‌های انتقال و توزیع آب تا حد ممکن جلوگیری به عمل آورند.

یکی از این راه‌های جداسازی رسوبات استفاده از حوضچه‌های رسوبگیر گردابی است. در این نوع از رسوبگیرها، از جریان گردابه‌ای برای جداسازی رسوبات از جریان آب استفاده می‌شود. این روش، بر خلاف حوضچه‌های رسوبگیر کلاسیک که با کاهش سرعت و با استفاده از نیروی ثقل، جداسازی در آن صورت می‌گیرد، یک راه‌حل برای جداسازی جامد از مایع با سرعت بالا می‌باشد. گردابه ایجاد شده در این حوضچه‌ها یک گردابه از نوع رانکین^۱ بوده که شامل یک گردابه از نوع فشرده (اجباری) در مرکز حوضچه و

² Deflector¹ Rankin

حوضچه و کاهش رسوبات ته‌نشین شده در کف می‌شود. Salakhov (۱۹۷۵) افزایش شیب کف حوضچه را تا دو درصد پیشنهاد کرد. Paul و همکاران (۱۹۹۱) و Ziaei (۲۰۰۰) پیشنهاد کردند که می‌توان با تعبیه دو ورودی برای جریان و تغییر جریان از ساعت‌گرد به پاد ساعت‌گرد و بالعکس رسوبات ته‌نشین شده در کف را شستشو داد.

صفحات مستغرق اولین بار در دهه ۱۹۸۰ برای مقابله با فرسایش خارجی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت و در اوایل دهه اخیر کاربرد این سازه‌ها برای کنترل رسوب در آبیگرها با توجه به نتایج موفقیت‌آمیز، توسعه یافته است. صفحات مستغرق، صفحاتی هستند که کاربرد موثر آن‌ها تا کنون در تغییر الگوی جریان و تنش برشی بستر به‌منظور کنترل فرسایش موضعی و تغییر در الگوی حرکت رسوب، مورد مطالعه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در ابتدا Odgaard و Kennedy (۱۹۸۳) و Odgaard و Spoljaric (۱۹۸۶) به طراحی صفحات مستغرق مبادرت کردند.

در ادامه، مطالعات وسیعی در زمینه کاربرد صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود بار بستر به درون آبیگر توسط Barkdoll و همکاران (۱۹۹۹)، Nakato و Ogden (۱۹۹۸)، Wang و همکاران (۱۹۹۶) و همچنین، برای کنترل فرسایش سواحل رودخانه توسط Odgaard و Wang (۱۹۹۱a,b)، Marelius و Voisin (۲۰۰۱)، Townsend (۲۰۰۲) صورت گرفته است. با توجه به تحقیقات گسترده برای طراحی این صفحات در زمینه‌های ذکر شده، تاکنون در زمینه کاربرد صفحات مستغرق و همچنین، ابعاد و آرایش بهینه برای حوضچه‌های رسوبگیر گردابی پژوهش و نظریه‌ای ارائه نشده است.

Asefi و همکاران (۲۰۱۱) برای رسوب‌زدایی کف حوضچه از صفحات مستغرق مسطح استفاده کرد و این صفحات را با زاویه‌ای ۲۵ درجه نسبت به مماس بر دایره‌های کف حوضچه و به‌سمت روزنه تحتانی قرار داد و همچنین، تاثیر این صفحات را در آرایش‌ها و قطاع‌های مختلف مورد بررسی قرار داد. Nguyen (۲۰۱۱) برای بیشتر کردن زمان ماندن رسوبات در کف و افزایش راندمان رسوب‌شویی کف حوضچه از

(۲۰۰۰) مدل جدیدی از حوضچه‌های رسوبگیر گردابی را ارائه کرد که در واقع ترکیبی از دو ورودی برای جریان ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد بود. Athar و همکاران (۲۰۰۲) دو مدل دیگر از حوضچه رسوبگیر گردابی ارائه دادند که در حوضچه اول محل ورود و خروج جریان روبروی هم و کاملاً در یک امتداد قرار داشت، در حالی که در حوضچه دوم ورودی و خروجی جریان در دو سمت حوضچه با اختلاف ۱۸۰ درجه نسبت به هم قرار گرفته بود. آن‌ها مدعی بودند که حوضچه نوع دوم، دارای راندمان تله‌اندازی بیشتری نسبت به حوضچه نوع اول می‌باشد.

Chyan و Quang (۲۰۱۰) با استفاده از مدل آزمایشگاهی و با ایجاد تغییر در شعاع روزنه، ضریب آگذری را برای روزنه تعیین کرده‌اند. Niknia و همکاران (۲۰۱۱) در آزمایش‌های خود به بررسی ساختار جریان زیر دفلکتور و مقایسه آن با ساختار جریان در حالت بدون دفلکتور برای جریان ورودی پادساعت‌گرد به حوضچه گردابی پرداختند. برای محاسبه راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی Ziaei (۲۰۰۰) از روش نمونه‌گیری استفاده کرد. به‌گونه‌ای که نمونه‌ها را از خروجی سرریز و روزنه تحتانی حوضچه می‌گرفت و سپس راندمان حوضچه را با استفاده از غلظت نمونه‌ها، محاسبه می‌کرد. Keshavarzi و Gheisi (۲۰۰۶) و Athar (۲۰۰۰) روش دیگری برای محاسبه راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی استفاده می‌کردند. آن‌ها رسوبات خارج شده از سرریز و روزنه تحتانی حوضچه جمع‌آوری و خشک می‌کردند و در نهایت با توجه به وزن رسوبات جمع‌آوری شده، راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی را به‌دست می‌آوردند.

یکی از مشکلات حوضچه‌های رسوبگیر گردابی ته‌نشین شدن مقداری از رسوبات در کف حوضچه می‌باشد که انجام بررسی‌ها و تحقیقات لازم برای ارائه روشی برای خروج یا کاهش این رسوبات را ضروری می‌سازد. در دانشگاه صنعتی استانبول (IUT) محققینی مانند Cecen و Akmandor (۱۹۷۳)، Curi و همکاران (۱۹۷۹) و Cecen و Bayazit (۱۹۷۵) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که وجود یک شیب شعاعی در کف به‌سمت روزنه باعث عملکرد بهتر

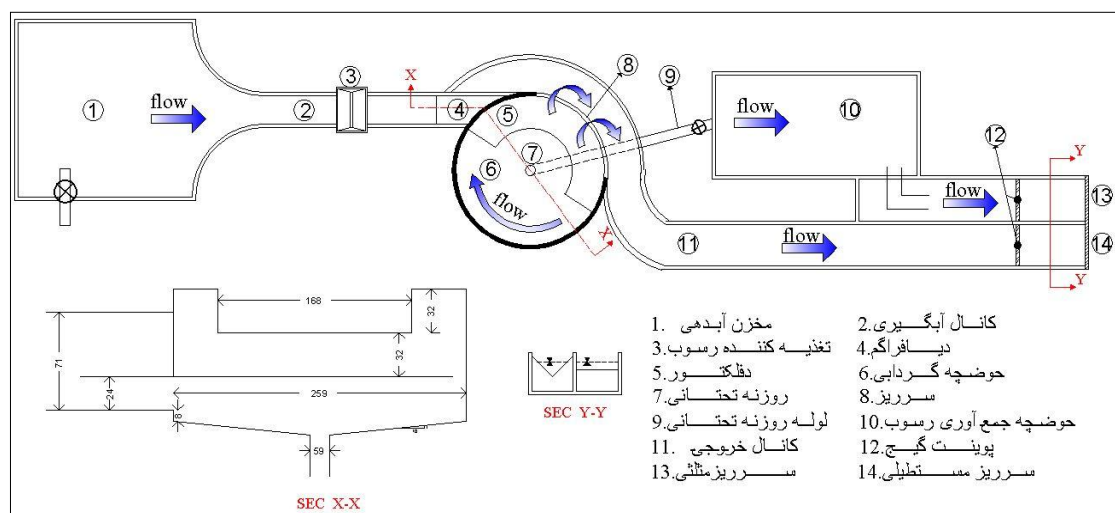
حوضچه رسوبگیر گردابی موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ایران انجام گرفت. در شکل ۱، پلان مدل فیزیکی حوضچه رسوبگیر گردابی ارائه شده است. در جدول ۱ نیز مشخصات مدل ذکر شده است.

در این حوضچه یک دفلکتور در زیر سرریز و یک پرده دیافراگم در دهانه کانال ورودی تعبیه شده است. سازه دفلکتور به صورت افقی و مسطح و نیم‌دایره می‌باشد و برای جلوگیری از خارج شدن ذرات رسوبی در بدو ورود به حوضچه تحت تأثیر جت جریان خروجی از روی سرریز تعبیه شده است. دفلکتور باعث افزایش زمان ماند جریان حاوی رسوب در داخل حوضچه شده و در نهایت رسوبات تحت چرخش بیشتری قرار خواهند گرفت.

دفلکتور در آرایش‌های مختلف و با ترکیب یک و دو و سه دفلکتور استفاده کرده است. با توجه به عدم استفاده از صفحات مستغرق انحنادار، در پژوهش حاضر تاثیر این‌گونه صفحات در رسوب‌شویی رسوبات از کف مورد بررسی قرار گرفت. این طرح شامل کاربرد یک دسته صفحات مستغرق انحنادار با آرایش‌های مختلف در کف حوضچه رسوبگیر گردابی می‌باشد. هدف از کارگذاری صفحات مستغرق انحنادار در کف حوضچه، اصلاح شکل جریان گردابی و تقویت جریان گردابی برای حرکت رسوبات به سمت تحتانی و افزایش رسوب‌شویی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل فیزیکی: آزمایش‌ها بر روی مدل فیزیکی



شکل ۱- پلان مدل آزمایشگاهی حوضچه رسوبگیر گردابی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

جدول ۱- مشخصات حوضچه رسوبگیر گردابی

ارتفاع ورودی حوضچه (سانتی‌متر)	ارتفاع سرریز (سانتی‌متر)	طول سرریز حوضچه (سانتی‌متر)	شیب کف حوضچه (درصد)	قطر روزنه تحتانی (میلی‌متر)	قطر حوضچه (سانتی‌متر)	ارتفاع حوضچه (سانتی‌متر)
۲۰	۳۲/۱۴	۱۶۸	۱۰	۵۹	۲۰۶	۹۰

حوضچه و بهتر شدن شکل هسته هوای مرکزی (Keshavarzi و Gheisi, ۲۰۰۶) است. در پایین دست حوضچه رسوبگیر گردابی دو کانال که یکی برای انتقال آب عبوری از روی سرریز حوضچه گردابی و دیگری برای انتقال آب حوضچه ته‌نشینی مستطیلی،

دیافراگم در حوضچه رسوبگیر دارای کارکردهایی از جمله: (۱) بهتر شدن شکل و هدایت جت جریان ورودی به حوضچه، (۲) به وجود آمدن جریان گردابی و افزایش نیروی گریز از مرکز برای دفع رسوبات معلق در حوضچه گردابی، (۳) افزایش راندمان هیدرولیکی

$$\eta_T = \eta_O + \eta_B \quad (1)$$

$$\eta_O = W_O / W_T \quad (2)$$

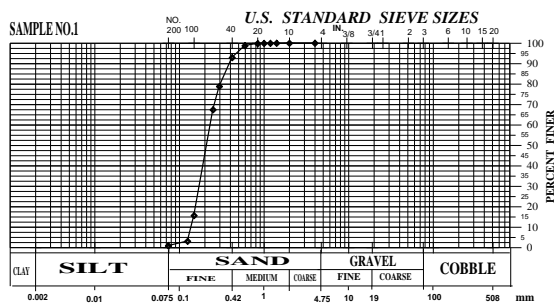
$$\eta_B = W_B / W_T \quad (3)$$

که در آن‌ها، η_T راندمان رسوبگیری کل، η_O راندمان رسوبگیری کف حوضچه، W_T وزن کل رسوبات ورودی به حوضچه، W_O وزن رسوبات ورودی به روزنه تحتانی و W_B وزن رسوبات کف حوضچه می‌باشد. همچنین، برای نشان دادن میزان رسوب‌شویی کف از پارامتر G' استفاده می‌شود.

$$G' = ((\eta'_B - \eta_B) / \eta'_B) \times 100 \quad (4)$$

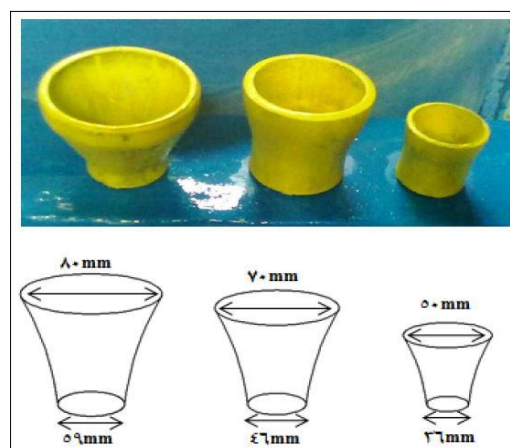
که در آن، G' راندمان رسوب‌شویی از کف، η'_B راندمان رسوبگیری کف حوضچه بدون صفحات مستغرق انحنادار و η_B راندمان رسوبگیری کف حوضچه با صفحات مستغرق انحنادار می‌باشد. همچنین، برای نشان دادن میزان تلفات دبی حوضچه در حالت‌های مختلف از Q_t / Q_0 استفاده می‌شود که Q_0 دبی خروجی از روزنه تحتانی و Q_t کل دبی ورودی به حوضچه می‌باشد. در ابتدا آزمایش‌های مقدماتی بدون صفحه در کف و همراه با رسوب انجام شد. این آزمایش‌ها با دو دبی ۴۵ و ۳۷ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. این دو آزمایش به‌عنوان معیاری برای مقایسه و بررسی و تعیین میزان کارایی صفحات مستغرق انحنادار نسبت به حالت بدون صفحه می‌باشد.

تزریق رسوب: در این پژوهش از مصالحی با دانه‌بندی یکنواخت استفاده شد. بنابراین در آزمایش‌ها از ماسه‌ای با $d_{50} = 0.22$ میلی‌متر، (شکل ۳) استفاده شد. وزن مخصوص خالص رسوبات اندازه‌گیری شد.



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی رسوبات تزریقی به حوضچه رسوبگیر گردابی با $d_{50} = 0.22$ mm

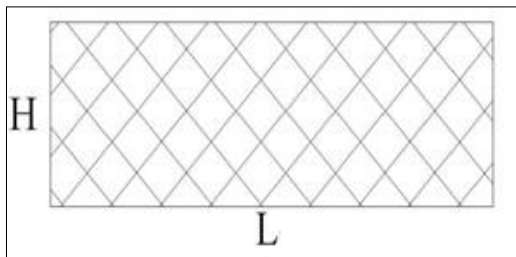
بعد از ته‌نشین شدن رسوبات وجود دارد که هر دوی آن‌ها دارای عرض ۶۰ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر می‌باشند. برای شروع آزمایش‌ها ابتدا آب به‌وسیله پمپاژ وارد سیستم می‌شود. جریان آب از کانال ورودی وارد حوضچه رسوبگیر گردابی می‌شود. پس از ثابت شدن جریان و تنظیم دبی تغذیه رسوب شروع می‌شود که این عمل با دبی ثابت در زمان مشخص انجام شد. سپس با اتمام رسوبات هم‌زمان پمپ خاموش (جریان آب ورودی به حوضچه قطع می‌شود) و شیر تخلیه روزنه بسته می‌شود. سپس رسوبات درون حوضچه گردابی و رسوبات خارج شده از روزنه و سرریز به‌صورت جداگانه جمع‌آوری و خشک و توزین شدند. در این آزمایش‌ها از سه روزنه تحتانی با قطرهای ۴۶، ۳۶ و ۵۹ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۲).



شکل ۲- روزنه‌های تحتانی استفاده شده در آزمایش‌ها

مواد رسوبی در این سیستم به سه بخش اصلی تقسیم می‌شوند. دسته اول رسوباتی هستند که از روزنه تحتانی همراه با درصدی از آب به خارج از حوضچه منتقل می‌شوند. دسته دوم رسوباتی است که در کف حوضچه گردابی ته‌نشین می‌شوند و به مرور زمان سبب ایجاد اختلال در عملکرد رسوب‌گیری سازه می‌شوند. در نهایت دسته سوم که درصد ناچیزی از رسوبات را شامل می‌شوند که از طریق سرریز گردابی همراه با جریان آب از آن خارج می‌شوند. برای محاسبه راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی با توجه به داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده، از پارامترهای η_T ، η_O و η_B استفاده شده است که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

انحنا می‌باشند. انحنا ی هر صفحه برابر با میزان قوس دایره قرار گرفته شده روی محیط آن می‌باشد. بنابراین، با توجه به فاصله شعاعی صفحات از یکدیگر، صفحات در شش نوع انحنا ی متفاوت با شعاع‌های ۲۷/۹۵، ۴۰/۴۵، ۵۲/۹۵، ۶۵/۴۵، ۷۷/۹۵ و ۹۰/۴۵ سانتی‌متر استفاده شدند (شکل ۶).



شکل ۵- شکل اولیه صفحات مستغرق انحنادار



شکل ۶- شش نوع صفحه مستغرق انحنادار

برای قرارگیری صفحات در کف حوضچه و دستیابی به آرایشی منظم و بهینه شرایط مختلفی در نظر گرفته شد.

الف- کف حوضچه رسوبگیر گردابی به قطعه‌هایی با زاویه یکسان (۶۰ درجه) تقسیم‌بندی شد. سپس صفحات مستغرق انحنادار بر روی این قطعه‌ها و مماس بر دایره مربوطه قرار داده شد (شکل ۷).

ب- برای بررسی فاصله شعاعی صفحات از روزنه تحتانی، کف حوضچه به چهار دایره متحدالمرکز با فاصله یکسان تقسیم شد. شکل ۸ دایره‌ها را با شماره نواحی در نظر گرفته شده برای آن‌ها نشان داده است.

پ- برای اینکه صفحات جریان گردابه را بیشتر تحت تاثیر قرار دهد، بین صفحات، صفحه‌ای دیگر قرار داده شد. فاصله شعاعی صفحات از هم مقدار ثابت $\delta=3H$ (Kennedy و Odgaard، ۱۹۸۳) در نظر گرفته شد.

ت- آزمایش‌های مقدماتی تزریق رسوب در حالت

ماسه‌های مورد استفاده شسته شده و فاقد ریزدانه‌های رسی و سیلتی می‌باشد. تزریق رسوب به‌وسیله یک دستگاه تزریق (شکل ۴) که در فاصله ۱/۵ متری کانال بالادست حوضچه رسوبگیر گردابی قرار داشته، به‌صورت خشک و یکنواخت و با حجم مشخص (۲۲ گرم بر ثانیه) انجام گرفت. با توجه به مطالعات پیشین (Athar و همکاران، ۲۰۰۲؛ Keshavarzi و Gheisi، ۲۰۰۶ و Niknia و همکاران، ۲۰۱۱) در این زمینه و بررسی روش‌های آن‌ها در تزریق رسوبات، روش Keshavarzi و Gheisi (۲۰۰۶) برای تزریق رسوبات به کانال بالادست حوضچه انتخاب شد.



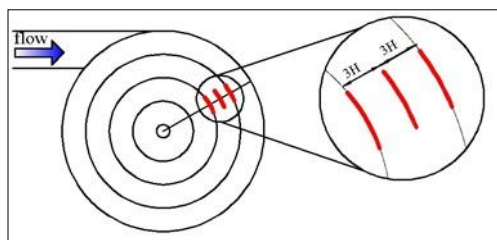
شکل ۴- دستگاه تزریق رسوب

صفحات مستغرق: ابعاد صفحات بر اساس توصیه Odgaard و Kennedy (۱۹۸۳) و با در نظر گرفتن عمق جریان (پایین افتادگی جت جریان در دهانه ورودی به حوضچه رسوبگیر گردابی)، محاسبه شد. صفحات مستغرق از جنس ورق گالوانیزه و شکل اولیه مستطیلی و ضخامت دو میلی‌متر می‌باشند (شکل ۵). در جدول ۲ ابعاد صفحات مستغرق آورده شده است.

جدول ۲- محاسبه ابعاد صفحات مستغرق انحنادار

پارامتر	ارتفاع صفحه مستغرق H (سانتی‌متر)	طول صفحه مستغرق L (سانتی‌متر)
توصیه Odgaard و Kennedy (۱۹۸۳)	$0.12 < H/d < 0.15$	$3H < L < 4H$
مقدار به‌کار رفته	$0.15 = H/d$	$L = 3H$
ابعاد صفحات	۴	۱۲

صفحات کار گذاشته شده در کف حوضچه دارای



شکل ۹- فاصله شعاعی صفحات از هم



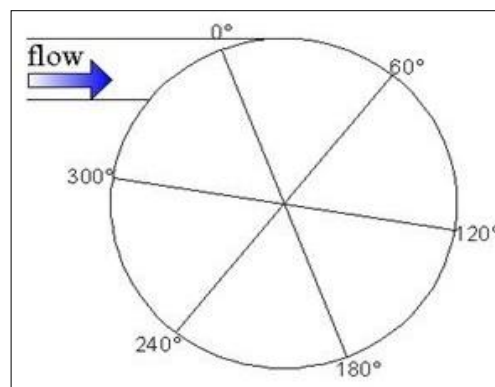
شکل ۱۰- آزمایش‌های مقدماتی تزریق رسوب در حالت بدون صفحه

ث- برای بررسی تاثیر قطر روزنه تحتانی بر روی عملکرد صفحات مستغرق انحنا دار از سه روزنه تحتانی با قطرهای ۳۶، ۴۶ و ۵۹ میلی‌متر استفاده شد (شکل ۱۱).

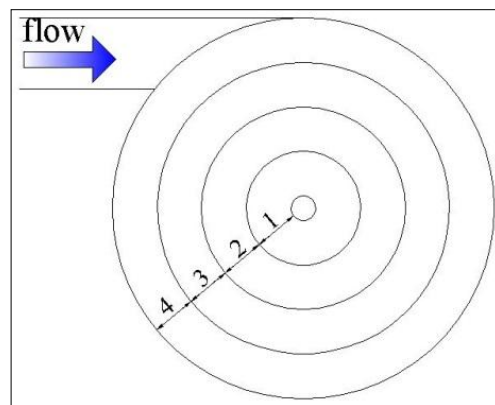
نتایج و بحث

تاثیر صفحات مستغرق انحنا دار بر پارامترهای راندمان حوضچه رسوبگیر گردابی: کارگذاری صفحات مستغرق در کف حوضچه رسوبگیر گردابی باعث تغییر در راندمان رسوبگیری کل حوضچه (η_T)، راندمان رسوبگیری کف حوضچه (η_B)، راندمان رسوبگیری روزنه تحتانی (η_0) و تلفات دبی شده است. در نتایج ارائه شده R_0 معرف آزمایش‌های بدون صفحات مستغرق انحنا دار می‌باشد و یا به عبارتی بدون آرایش است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نتایج کارایی صفحات مستغرق انحنا دار در شش آرایش و دو جریان ورودی با عدد فرود (Fr) ۰/۰۸۴ و ۰/۱۲۵ به حوضچه و همچنین، نسبت قطر روزنه به قطر حوضچه (D/d) ۰/۱۷۴ و ۰/۲۲۳ و ۰/۲۸۶ بر روی پارامترهای رسوبی و هیدرولیکی ارائه شده است.

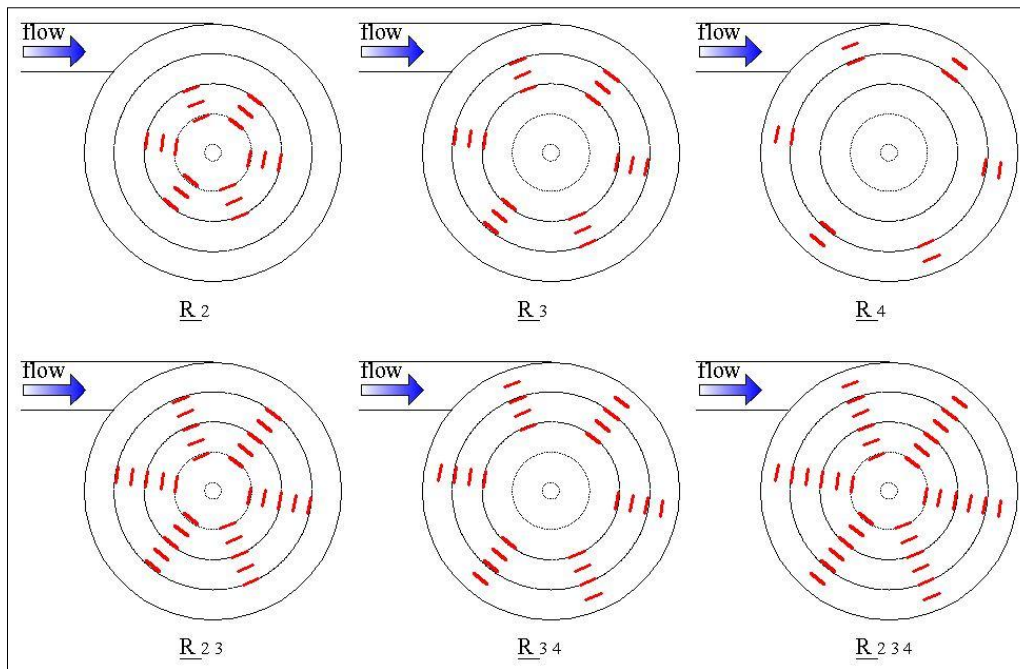
بدون صفحه بیانگر آن بود که در فاصله ۰/۲۵ ابتدای شعاع اطراف روزنه (ناحیه ۱)، رسوبی در کف حوضچه به جا نمی‌ماند. این در حالی است که در فاصله ۰/۷۵ بعدی شعاع حوضچه گردابی (ناحیه ۲، ۳ و ۴) بیشترین رسوب‌گذاری صورت گرفته است (شکل ۱۰). بنابراین از کارگذاری صفحات در ناحیه ۱ صرف‌نظر شده است. صفحات مستغرق در شش آرایش کارگذاری شد. هر آرایش با توجه به ناحیه قرارگیری صفحات نام‌گذاری شده است. از آنجا که کارگذاری چند صفحه مستغرق در کنار یکدیگر می‌تواند ناحیه وسیع‌تری را تحت تاثیر قرار دهد، بنابراین در ابتدا صفحات را در یک دایره با دسته‌های سه‌تایی به صورت مجزا در ناحیه ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به نام‌های R_3 ، R_2 ، R_4 روی قطاع مورد نظر جای‌گذاری شد. سپس در ادامه با ترکیب قرارگیری صفحات در دایره‌ها (آرایش‌های R_{23} ، R_{34} ، R_{234}) باعث گسترش بیشتر ناحیه تحت تاثیر صفحات شده و اثر این افزایش پهنا بر راندمان رسوب‌زدایی مورد بررسی قرار داده شد. در شکل ۱۱ آرایش‌های به کار رفته نشان داده شده است.



شکل ۷- قطاع‌های کارگذاری صفحات



شکل ۸- نواحی قرارگیری صفحات در کف حوضچه



شکل ۱۱- آرایش‌های صفحات مستغرق انحنادار

قدرت گردابه را می‌توان از ابعاد هسته هوای شکل گرفته تشخیص داد، به‌گونه‌ای که با بزرگ شدن ابعاد هسته هوا قدرت گردابه افزایش و کوچک شدن ابعاد هسته هوا قدرت گردابه کاهش می‌یابد (Asefi و همکاران، ۲۰۱۱). در هنگام استفاده از آرایش‌های R_3 ، R_4 و R_{34} ابعاد هسته هوا بزرگ و در آرایش‌های R_2 ، R_{23} و R_{234} ابعاد هسته هوا کوچک شد. در شکل ۱۴ ابعاد هسته هوا برای آرایش‌های R_2 و R_4 نشان داده شده است.

در شکل ۱۲، مشاهده می‌شود که در بین آرایش‌ها، آرایش R_3 ، R_4 و R_{34} کارایی بهتری دارند. زیرا این آرایش‌ها باعث کاهش سهم رسوبات ته‌نشین شده در کف حوضچه گردابی و افزایش سهم رسوبات تخلیه شده از روزنه تحتانی شده است. در این حالات راندمان کف حوضچه کاهش و راندمان روزنه افزایش یافته است. با توجه به آزمایش‌های بدون صفحه انجام شده تا حدودی مطلوب بودن چنین آرایش‌هایی قابل پیش‌بینی بود، به‌طوری‌که بیشتر رسوبات ته‌نشین شده در کف حوضچه رسوبگیر گردابی در حالت بدون صفحه در نواحی R_3 و R_4 بوده است (شکل ۹).

بنابراین قرارگیری صفحات در این دو ناحیه میزان رسوب‌شویی از کف را افزایش خواهد داد. در بین آرایش‌های R_3 ، R_4 و R_{34} ، آرایش R_{34} به نسبت دو

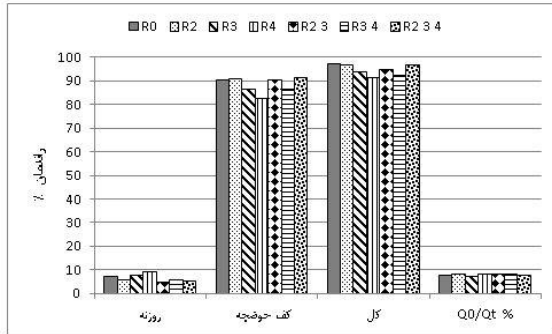
در شکل ۱۲ با توجه به تغییر قطر روزنه تحتانی و میزان جریان ورودی مشاهده شد که صفحات مستغرق انحنادار تاثیر چندانی در راندمان کل رسوبگیری حوضچه رسوبگیر گردابی ندارد و تا اندازه‌ای راندمان کل ثابت بوده است.

بنابراین استفاده از صفحات مستغرق انحنادار تاثیر زیادی در عملکرد کلی حوضچه رسوبگیر گردابی نخواهد داشت. اما نتایج نشان داد که کارگذاری صفحات مستغرق انحنادار در کف حوضچه رسوبگیر گردابی باعث تغییرات قابل توجهی در راندمان روزنه و راندمان کف حوضچه شده، به‌گونه‌ای که این صفحات در آرایش‌های R_2 ، R_{23} و R_{234} باعث افزایش راندمان کف و کاهش راندمان روزنه شده است که این نوع آرایش‌ها مطلوب نمی‌باشد. در آرایش‌های R_3 ، R_4 و R_{34} راندمان کف کاهش و راندمان روزنه افزایش یافته است.

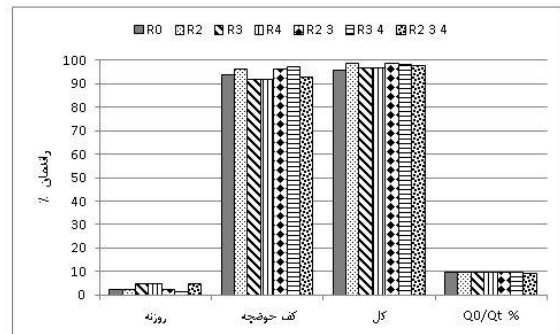
بنابراین در این آرایش‌ها هدف که رسوب‌شویی از کف حوضچه بوده، تامین شده است. علت این تغییر در سهم رسوب‌گیری را می‌توان به جریان گردابه‌ای که بر اثر صفحات مستغرق به‌وجود می‌آید، نسبت داد. صفحات مستغرق در آرایش‌های R_2 ، R_{23} و R_{234} باعث کاهش و در آرایش‌های R_3 ، R_4 و R_{34} باعث افزایش قدرت جریان گردابی می‌شوند. این کاهش و افزایش

این کاهش را می‌توان تاثیر صفحات در جلوگیری از جریان‌های ثانویه که در کف حوضچه رسوبگیر گردابی به سوی روزنه رخ می‌دهد، جستجو کرد.

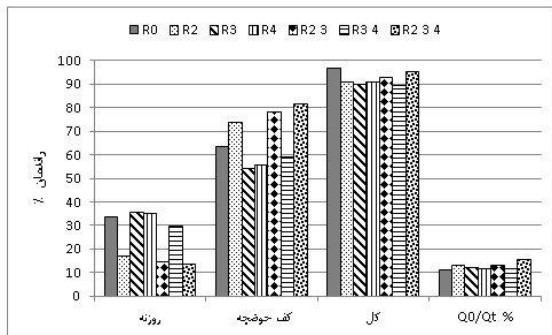
آرایش دیگر در شرایط متفاوت بازده کمتری در رسوب‌شویی دارد. صفحات مستغرق انحنا دار در بعضی از آرایش‌ها، رسوب‌شویی از کف را کاهش داده‌اند که



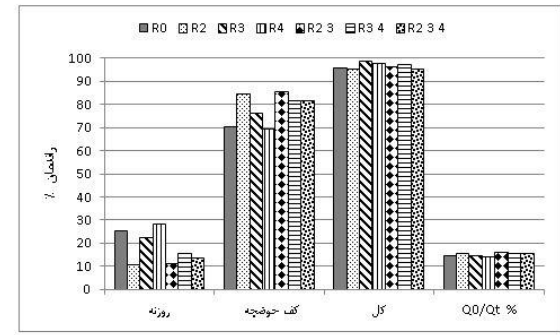
ب- $D/d=0.174, Fr=0.125$



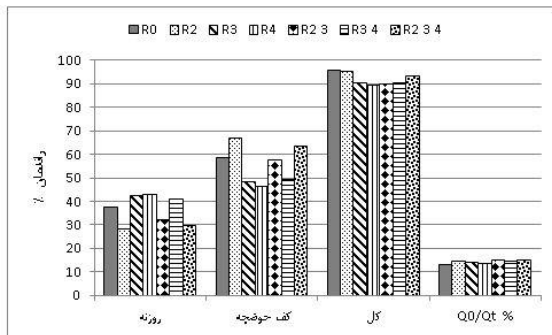
الف- $D/d=0.174, Fr=0.084$



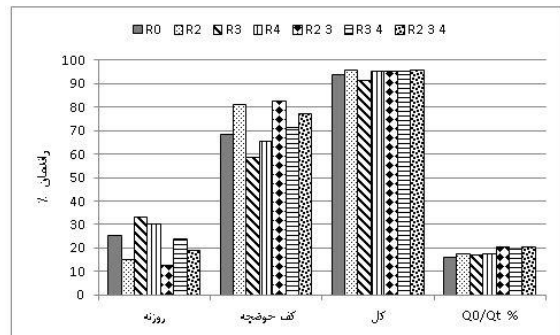
ت- $D/d=0.223, Fr=0.125$



پ- $D/d=0.223, Fr=0.084$

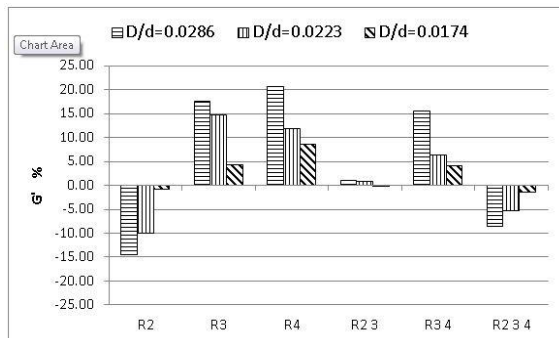


ج- $D/d=0.286, Fr=0.125$

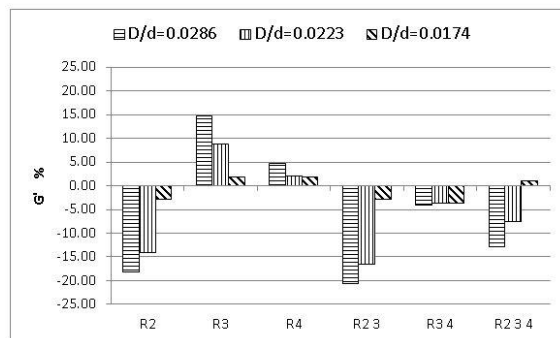


ث- $D/d=0.286, Fr=0.084$

شکل ۱۲- راندمان کل، روزنه، کف و تلفات دبی حوضچه رسوبگیر گردابی در آرایش‌های مختلف



ب- $Fr=0.125$



الف- $Fr=0.084$

شکل ۱۳- تغییرات پارامتر G' در آرایش‌های مختلف

Fr=۰/۰۸۴ آرایش‌های R_3 ، R_4 و R_{34} عملکرد مناسبی نشان نمی‌دهد؛ بنابراین، در این حوضچه‌ها هر چه عدد فرود جریان ورودی به آن بیشتر باشد، عملکرد بهتری دارند. علت بهتر عمل کردن حوضچه رسوبگیر گردابی در عدد فرود بالا، افزایش قدرت جریان گردابی درون حوضچه است. پژوهش حاضر نشان داد که افزایش قطر روزنه با افزایش Q_t / Q_0 ، ضمن ثابت نگه‌داشتن راندمان کل، باعث افزایش راندمان روزنه و کاهش راندمان کف شده است. بنابراین، در این نوع حوضچه ها می‌توان با افزایش قطر روزنه و پذیرفتن تلفات دبی بیشتر، سهم رسوبات ته‌نشین شده در کف حوضچه را بدون کاهش راندمان رسوبگیری کل، کاهش داد. دلیل این امر افزایش قدرت گردابه مرکزی به واسطه افزایش قطر روزنه می‌باشد.

تأثیر صفحات مستغرق انحنادار بر پارامتر رسوب‌شویی G' : پارامتر G' در آرایش‌های R_3 و R_4 و در هر دو نوع جریان ورودی مقدار مثبتی دارد (شکل ۱۳). ولی عکس‌العمل این دو آرایش در دو جریان ورودی متفاوت بوده، به‌گونه‌ای که در جریان ورودی با Fr=۰/۰۸۴ آرایش R_3 و در جریان ورودی با Fr=۰/۱۲۵ آرایش R_4 عکس‌العمل بهتری را از خود نشان می‌دهد. آرایش R_{34} هم در رسوب‌شویی از کف در جریان ورودی با Fr=۰/۱۲۵ موفق بوده، ولی مقدار آن نسبت به آرایش R_3 و R_4 کمتر بوده است. کاهش رسوب‌شویی (G') در جریان ورودی با Fr=۰/۰۸۴ برای کلیه آزمایش‌ها رخ داده که علت آن در جریان‌های ورودی با فرود کمتر کاهش قدرت گردابه و کاهش سرعت بوده؛ زیرا این حوضچه‌ها در سرعت‌های بالا راندمان بهتری دارند.

بنابراین، هنگامی که جریان ورودی کم باشد، رسوبات تحت تأثیر جریان‌های گردابی درون حوضچه قرار نگرفته و بر اثر نیروی ثقل خود در کف حوضچه شروع به ته‌نشین شدن می‌کنند. پس، در این نوع حوضچه افزایش جریان ورودی باعث افزایش قدرت گردابه و به‌دنبال آن افزایش کارایی صفحات در حوضچه می‌شود. همچنین، مشاهده می‌شود که در حالت‌های ساده و ترکیبی که R_2 دخالت داشته است، مقدار پارامتر G' منفی شده است و نه تنها عمل رسوب‌زدایی اتفاق نیفتاده بلکه باعث افزایش رسوب در



الف- آرایش R_2



ب- آرایش R_4

شکل ۱۴- هسته هوا شکل گرفته در اثر آرایش‌های صفحات مستغرق انحنادار

همچنین، نتایج بیانگر آن است که در آرایش‌هایی که R_2 دخالت دارد، صفحات مستغرق انحنادار عملکرد مناسبی نداشته و باعث کاهش راندمان روزنه و افزایش راندمان کف می‌شوند. بر اساس آزمایش‌های Chapokpour (۲۰۰۹) جریان‌های ثانویه‌ای در کف و نزدیک به روزنه شکل می‌گیرند. این جریان‌ها به سمت روزنه بوده و با قرارگیری صفحات در ناحیه نزدیک به روزنه، مانع از حرکت جریان‌های ثانویه خواهند شد و بیشتر رسوبات به‌وسیله صفحات نزدیک روزنه در کف، تله‌اندازی شده و راندمان کف را افزایش و راندمان روزنه را کاهش خواهند داد.

بنابراین، استفاده از آرایش‌هایی در نواحی نزدیک به روزنه (R_2) مناسب نخواهد بود. این پژوهش نشان داد که تغییرات دبی جریان ورودی تأثیر چندانی بر روی راندمان کل حوضچه نداشته، اما باعث تغییر در سهم رسوبگیری در هر قسمت حوضچه رسوبگیر گردابی شده است. همچنین، جریان ورودی با Fr=۰/۱۲۵ باعث کاهش راندمان کف و افزایش راندمان روزنه می‌شود. ولی جریان ورودی با Fr=۰/۰۸۴ باعث افزایش راندمان کف و کاهش راندمان روزنه می‌شود. از طرفی جریان ورودی با

افزایش رسوب گذاری در کف (آرایش R_2 , R_{23} و R_{34}) و در فاصله شعاعی زیاد (ناحیه های ۳ و ۴)، با هدایت رسوبات کف به سمت روزنه تحتانی، رسوب زدایی از کف را انجام داده است (آرایش های R_3 , R_4 و R_{34}). بنابراین، استفاده از صفحات مستغرق انحنادار در آرایش های R_3 , R_4 و R_{34} ، هدف پژوهش را که رسوب شویی از کف حوضچه رسوبگیر گردابی بود، تأمین کرد. این پژوهش برای بهترین راندمان رسوب زدایی از کف در جریان ورودی با $Fr=0/125$ و آرایش R_3 , R_4 و R_{34} را پیشنهاد می کند که در آن میزان رسوب زدایی از کف (G') به ترتیب به اندازه ۱۷/۶۰، ۲۰/۵۶ و ۱۵/۵۸ درصد می باشد و همچنین، این آرایش ها راندمان روزنه تحتانی را در جریان ورودی با $Fr=0/125$ و نسبت قطر روزنه به قطر حوضچه $D/d=0/286$ به ترتیب ۴/۹، ۵/۶ و ۳/۹ درصد افزایش داده است. بنابراین، استفاده از صفحات مستغرق انحنادار در آرایش های پیشنهادی مذکور می تواند مانع از ورود رسوبات به درون کانال های آبگیر و تأسیسات آبی و مکانیکی شود و از ایجاد خسارت به این سازه ها جلوگیری کند.

کف حوضچه شده است. همان طور که در شکل ۱۴ مشاهده می شود، افزایش قطر روزنه در هنگام استفاده از صفحات باعث افزایش بیشتر قدرت گردابه نسبت به حالت بدون صفحه شده، در نتیجه میانگین عملکرد صفحات در رسوب زدایی از کف، افزایش یافته است. بنابراین میزان عملکرد صفحات در رسوب زدایی از کف می تواند به شدت تحت تأثیر اندازه قطر روزنه قرار گیرد. همچنین، Ghafari (۲۰۰۰) در تحقیقاتش به این نتیجه رسید که با افزایش قطر روزنه، رسوب کمتری در کف قرار می گیرد؛ استفاده از صفحات مستغرق انحنادار این میزان را به صورت چشمگیری کاهش خواهد داد.

بنابراین، مشاهده شد که کارگذاری صفحات مستغرق انحنادار در کف حوضچه باعث تغییر در سهم رسوبات وارد شده به روزنه و رسوبات ته نشین شده در کف حوضچه نسبت به حالت بدون صفحه شد. نحوه عملکرد این صفحات (رسوب گذاری یا رسوب گیری از کف) که وابسته به محل قرارگیری صفحات نسبت به روزنه است، در فاصله شعاعی کم (ناحیه های ۱ و ۲) با جلوگیری از حرکت رسوبات به سمت روزنه باعث

منابع مورد استفاده

1. Asefi, M., M. Saneie, K. Esmaeili and A.N. Ziaei. 2011. Experimental studies on increasing sedimentation efficiency of vortex settling basing by using of submerge vane. MSc Thesis, Ferdowsi University, 140 pages (in Persian).
2. Athar, M., U.C. Kothiyari and R.J. Garde. 2002. Sediment removal efficiency of vortex chamber type sediment extractor. Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 128(2): 1051-1059.
3. Athar, M. 2000. Study of vortex chamber type extractor. PhD Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India.
4. Barkdoll, B.D., R. Ettema and J. Odgaard. 1999. Sediment control at lateral diversion: limits and enhancements to vane use. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(8): 862-870.
5. Cecen, K. and N. Akmandor. 1973. Circular settling basins with horizontal floor. MAG Rep. No. 183, TBTAk, Ankara, India.
6. Cecen, K., and M. Bayazit. 1975. Some laboratory studies of sediment controlling structures. Proceedings of 9th Congress of ICID, Moscow, Soviet Union, 107-111.
7. Chapokpour, J. 2009. Sediment extraction efficiency and flow structure of vortex settling basin. MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. 165 pages (in Persian).
8. Chyan, D.J. and T. N. Quang. 2010. Discharge coefficient for a water flow through a bottom orifice of a conical hopper. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 136(8): 567-572.
9. Curi, K.V., I.I. Esen and S.G. Velioglu. 1979. Vortex type solid liquid separator. Progress in Water Technology, 7(2): 183-190.
10. Ghafari, R. 2000. Effects sediment size and flow on the efficiency of vortex-type settling basin. MSc Thesis, Department of Irrigation and Hydraulic Structures, University of Tarbiat Modares, Iran, 175 pages (in Persian).
11. Keshavarzi, A.R. and A.R. Gheisi. 2006. Trap efficiency of vortex settling chamber for exclusion of fine suspended sediment particles in irrigation canals. Irrigation and Drainage, 55: 419-434.

12. Marelius, F. 2001. Experimental investigation of submerged vanes as means of beach protection. *Coastal Engineering*, 42: 1-16.
13. Mashauri, D.A. 1986. Modelling of a vortex settling basin for primary clarification of water. PhD Thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finland.
14. Nakato, T. and F.L. Ogden. 1998. Sediment control at water intakes along sand-bed Rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(6): 589-596.
15. Nguyen, Q.T. 2011. Effect of deflectors on removal efficiency of a deep-depth vortex chamber sediment extractor. 12th Conference on Science and Technology, Ho chi Minh, Vietnamese.
16. Niknia, N., A.R. Keshavarzi and E.Z. Hosseini-pour. 2011. Improvement the trap efficiency of vortex chamber for exclusion of suspended sediment in diverted water. Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress, ASCE, California, USA, 4124-4134.
17. Odgaard, A.J. and J.F. Kennedy. 1983. Bed-river bank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109(8): 1161-1173.
18. Odgaard, A.J., A. Spoljaric. 1986. Sediment control by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 112(2): 1164-1181.
19. Odgaard, J. and Y. Wang. 1991a. Sediment management with submerged vanes, I: theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(3): 267-283.
20. Odgaard, J. and Y. Wang, 1991b. Sediment management with submerged vanes, II: applications. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(3): 284-302.
21. Ogihara, H. and S. Sakaguchi. 1984. New system to separate the sediments from the water flow by using the rotating flow. Proceedings of 4th Congress of the Asian and Pacific Division, IAHR, Chiang Mai, Thailand, 753-766.
22. Paul, T.C., S.K. Sayal, V.S. Sakhuja and G.S. Dhillon. 1991. Vortex-settling basin design considerations. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(2): 172-189.
23. Ranga Raju, K.G., U.C. Kothiyari, S. Srivastav and M. Saxena. 1999. Sediment removal efficiency of settling basins. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 125(5): 308-314.
24. Salakhov, F.S. 1975. Rational designs and methods of hydraulic calculations of load-controlling water intake structures for Mountain Rivers. Proceedings of 9th Congress of ICID, Moscow, Soviet Union, 151-161.
25. Saneie, M., M. Habibi, H. Sedghi and M.J. Abedi. 1999. Experimental studies on increasing sedimentation efficiency of vortex settling basing. PhD Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Researches, 146 pages (in Persian).
26. Voisin, A. and R.D. Townsend. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends. *Canadian journal of Civil Engineering*, 29: 37-49.
27. Wang, Y., J. Odgaard, B.W. Melville and S.C. Jain. 1996. Sediment control at water intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 122(6): 353-356.
28. Ziaei, A.N. 2000. Study on the efficiency of vortex settling basin (VSB) by physical modeling. MSc Thesis, Shiraz University, 123 pages.

Experimental investigation of the effect of curvature submerge vane with 60 degree radial section on the efficiency of vortex settling basin

Mojtaba Saneie^{*1}, Mahdi Azhdarimoghadam² and Amin Hajiahmadi³

¹ Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran, ² Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Iran and ³ MSc Student, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Iran

Received: 06 July 2013

Accepted: 20 November 2013

Abstract

One of the sediment controlling methods in the hydraulics structures is application of the vortex settling basin. Such basins represent the higher speed in sediment separation in comparison with other usual settling structures. One of the problems of such settling structure is the settlement of a portion of the sediments on the basin floor as a result of disruption on the structure operation caused by remaining loads. Therefore, the curvature submerged vane was introduced by this research in order to solve the problem. Several curvature vanes patterns was applied in an experimental model of the vortex settling basin to investigate the efficiency and sediment removal from the basin floor. Experiments were carried out in a basin with diameter of 96 cm and a height of 206 cm. In this model, curvature submerge vanes were used for modification and their different arrangement in 60 degree diameter section for increasing in vortexes power. Experiments were continued by 45 and 37 Ls^{-1} water discharge, flushing orifice diameters of 36, 46 and 59 mm and six different arrangement of vane (R_2 , R_3 , R_4 , R_{23} , R_{34} , R_{234}). Results showed that application of submerged vane on the vortex basin floor with suitable arrangement resulted in sediment removal from basin floor and in replacement of sediments toward the orifice. Present research showed that the best efficiency was obtained from R_3 , R_4 and R_{34} arrangements which were located in the farther distance from orifice. Furthermore, results showed that variation in water discharge and orifice diameter is an effective factor in the efficiency of curvature submerged vane. In the most optimum case of curvature submerged vane arrangement, 25.56 percent of the sediment was removed from the floor of vortex settling basin.

Key words: Sediment, Settling basin, Submerge vane, Vortex flow, Efficiency

* Corresponding author: mojtbasaneie@yahoo.com