

بهینه‌سازی شاخص‌های هندسی صفحه مستغرق در بستر

رسوبی کانال مستقیم با روش تاگوچی و GRA

معصومه رستم‌آبادی^۱، سید علی‌اکبر صالحی نیشابوری^{۲*}، امیررضا زراتی^۳

۱- دانشجوی دکتری هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد هیدرولیک، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

salehi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۲۷

چکیده- صفحات مستغرق، سازه‌هایی هستند که در بستر رودخانه‌ها و کانال‌ها با زاویه‌ای در برابر جریان نصب می‌شوند. این سازه‌ها معمولاً به صورت گروهی استفاده می‌شوند و کارکرد اصلی آن‌ها ایجاد جریان گردابی و تغییر الگوی جریان و بستر است. کارکرد صفحات مستغرق تحت تأثیر شاخص‌های هندسی آن‌ها است. در این پژوهش، شاخص‌های هندسی یک صفحه مستغرق در بستر رسوبی کانال مستقیم با مدل‌سازی عددی بهینه‌سازی شده است. منظور از بهینه‌سازی شاخص‌های هندسی یک صفحه در این پژوهش، تعیین هم‌زمان طول، ارتفاع و زاویه نصب صفحه در برابر جریان است، به گونه‌ای که بهترین شرایط برای عمیق کردن بستر کانال‌ها در مقابل دهانه آب‌گیرهای جانبی و انحراف رسوبات از مقابل دهانه آب‌گیرها فراهم شود. بنابراین پس از شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب پیرامون یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی کانال مستقیم با استفاده از نرم‌افزار SSIIM و واسنجی و سنجش درستی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی، شاخص‌های هندسی مؤثر بر کارکرد صفحه مستغرق بررسی شده است. هر یک از شاخص‌های طول صفحه، ارتفاع صفحه و زاویه برخورد جریان با صفحه در چهار سطح تغییر انتخاب شدند و چهار تابع پاسخ نیز برای بهینه‌سازی در نظر گرفته شد. بهینه‌سازی شامل کمینه عمق آب‌شستگی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی صفحه، کمینه ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین دست صفحه و بیشینه حجم آب‌شستگی در پایین دست صفحه است. برای کاهش تعداد مطالعات، بدون این‌که در نتایج خطای زیادی وارد شود، مطالعات با روش تاگوچی طراحی شد. برای تحلیل نتایج و بهینه‌سازی چندین تابع پاسخ از روش GRA استفاده شد. در نهایت، ترکیب بهینه شاخص‌های هندسی صفحه و نیز تأثیر هر یک از شاخص‌ها بر تابع پاسخ تعیین گردید. نتایج این تحلیل نشان داد که زاویه برخورد جریان با صفحه، بیشترین تأثیر را بر کارکرد صفحه مستغرق بر اساس توابع پاسخ مورد نظر دارد.

واژگان کلیدی: صفحه مستغرق، رسوب، تاگوچی، GRA، SSIIM.

۱- مقدمه

سازه‌ها معمولاً به صورت گروهی استفاده می‌شوند و کار اصلی آن‌ها ایجاد جریان گردابی و تغییر الگوی جریان و بستر است. کارکرد صفحات مستغرق تحت تأثیر

صفحات مستغرق، سازه‌هایی هستند که در بستر رودخانه‌ها و کانال‌ها با زاویه‌ای در برابر جریان نصب می‌شوند. این

ارتفاع صفحه به عمق جریان را بین ۰/۷-۰/۵۸ پیشنهاد کرد و نتیجه گرفت که با افزایش طول صفحه، عمق رسوب‌گذاری و فرسایش عرضی بیشتر می‌شود؛ بنابراین تعیین طول بهینه را وابسته به بررسی‌های بیشتر، با در نظر گرفتن هزینه‌های ساخت صفحات مستغرق دانست. در بررسی‌های ایشان، آب‌شستگی پیرامون صفحه که ممکن است سبب واژگونی صفحه شود و نیز لزجت سیال که عامل میرایی جریان گردابی پیرامون صفحه به پایین دست است، در نظر گرفته نشده بود، پس نتایج ایشان می‌تواند تحت تأثیر این فرضیات باشد. مطالعاتی درباره‌ی تعیین شکل‌های مختلف مانند متوازی‌الاضلاع و دوزنقه برای یک صفحه مستغرق توسط گوپتا و شارما^۸ (۲۰۰۷) و اواینگ (۲۰۰۹) انجام شده است. البته معمولاً شکل مستطیلی به خاطر سادگی ساخت، کاربرد بیشتری دارد. بنابر بررسی‌های پیشین، تاکنون بهینه‌سازی هم‌زمان طول، ارتفاع و زاویه یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی یک کانال مستقیم با در نظر گرفتن سازوکار جریان لزج و رسوب در محدوده صفحه انجام نشده است. در این پژوهش شاخص‌های هندسی یک صفحه مستغرق در بستر رسوبی کانال مستقیم با مدل‌سازی عددی بهینه‌سازی شده است. منظور از بهینه‌سازی شاخص‌های هندسی یک صفحه در این پژوهش، تعیین هم‌زمان طول، ارتفاع و زاویه نصب صفحه در مقابل جریان است، به گونه‌ای که اگر صفحات به صورت گروهی استفاده شوند، بهترین شرایط برای عمیق کردن بستر کانال در برابر دهانه آب‌گیرهای جانبی و انحراف رسوبات از جلوی دهانه آب‌گیر فراهم شود. بنابراین پس از شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب پیرامون یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی کانال مستقیم با نرم‌افزار SSIIM و واسنجی و سنجش درستی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مارلیوس و سینها (۱۹۹۸)،

شاخص‌های هندسی آن‌ها است. کاربرد گروه صفحات مستغرق در موارد مختلف، مانند احیای سواحل، عمیق کردن کانال‌های کشتیرانی (فروغی، ۱۳۷۱؛ وایزن و تانزند^۱ ۲۰۰۲؛ صمیمی بهبهان و همکاران، ۱۳۸۵)، عمیق کردن بستر کانال‌ها در برابر دهانه آب‌گیرهای جانبی برای آب‌گیری در شرایط کم‌آبی و انحراف رسوبات از جلوی آب‌گیرهای جانبی (وانگ^۲ و همکاران، ۱۹۹۶؛ نیل و ایوانز^۳، ۱۹۹۷؛ بارکدول^۴ و همکاران، ۱۹۹۹؛ ساجدی سابق و حبیبی، ۱۳۸۴؛ دهقانی، ۱۳۸۵؛ میشل^۵ و همکاران، ۲۰۰۶؛ منتصری، ۱۳۸۷؛ گوهری، ۱۳۸۸ و سید میرزایی، ۱۳۹۰) است.

مارلیوس و سینها^۶ (۱۹۹۸) برای تعیین ابعاد و زاویه بهینه یک صفحه مستغرق، الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش پیرامون یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی یک کانال مستقیم را بررسی آزمایشگاهی کردند و زاویه ۴۰ درجه را به عنوان زاویه بهینه برای صفحه مستغرق پیشنهاد کردند. رستم آبادی و صالحی نیشابوری (۲۰۰۹) با مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار فلونت، زاویه بهینه یک صفحه مستغرق در بستر کانال صلب را تعیین کردند و زاویه ۴۰ درجه را که بیشترین قدرت جریان ثانویه حول صفحه را داشت، به عنوان زاویه بهینه معرفی کردند. ایشان علاوه بر فرض بستر صلب، سایر شاخص‌های هندسی صفحه را نیز ثابت در نظر گرفتند. اواینگ^۷ (۲۰۰۹) با استفاده از تئوری ادگارد و وانگ (۱۹۹۱) و تئوری جریان غیرلزج، تأثیر ابعاد و شکل یک صفحه مستغرق بر بستر یک کانال مستقیم را با روش عددی بررسی کرد. مبنای نتیجه‌گیری آن‌ها بیشترین عمق رسوب‌گذاری و فرسایش عرضی در پایین دست صفحه بود. ایشان نسبت

- 1- Voisin and Townsend
- 2- Wang
- 3- Neill and Evans
- 4- Barkdoll
- 5- Michell
- 6- Marelus and Sinha
- 7- Ouyang

هندسه و شبکه محاسباتی برای مدل است. اگر هندسه محاسباتی ساده باشد، مانند یک بلوک مستطیلی، به راحتی می‌توان این هندسه را در پنجره نرم‌افزار ساخت و آن را شبکه‌بندی کرد. در حالتی که هندسه پیچیده باشد، یا باید از نرم‌افزارهای پیش پردازنده تولید شبکه مانند GAMBIT استفاده نمود و سپس آن را به فرم قابل خواندن برای نرم‌افزار تبدیل کرد و یا به برنامه‌نویسی پرداخت. بهترین راه تولید شبکه برای نرم‌افزار SSIM، برنامه‌نویسی است. در این پژوهش، هندسه و شبکه مدل با برنامه‌نویسی به زبان فرترن تولید شده است.

۲-۲- سازوکار جریان و رسوب پیرامون یک صفحه مستغرق

الگوی جریان و رسوب پیرامون صفحه‌ای مستغرق در بستر آبرفتی یک کانال مستقیم برای بررسی و شناخت سازوکار جریان و رسوب پیرامون صفحه، با مدل عددی شبیه‌سازی شده است. در شکل ۱، تغییرات پروفیل بستر پیش‌بینی شده در مدل عددی، جریان گردابی و نواحی کم‌فشار و پرفشار پیرامون صفحه نشان داده شده است. بر پایه‌ی این شکل، حفره آب‌شستگی پیرامون صفحه، پشته رسوبی در پایین‌دست لبه انتهایی صفحه و حفره آب‌شستگی در پایین‌دست لبه ابتدایی صفحه، پیش‌بینی شده است. از دیدگاه هیدرولیکی این الگو باید به وجود آید؛ چون برخورد جریان با صفحه سبب تقسیم جریان به دو قسمت در راستای قائم می‌شود که قسمتی به سمت بستر و قسمت دیگر به سمت سطح آب حرکت می‌کند. جریان سمت کف سبب آب‌شستگی پیرامون خود صفحه و جریان سطحی سبب تولید جریان گردابی پیرامون محور طولی صفحه در نزدیکی تاج صفحه می‌شود. این جریان گردابی که مرکز آن حدوداً در تراز ۰/۹ ارتفاع صفحه است؛

شاخص‌های هندسی مؤثر بر کارکرد صفحه مستغرق بررسی شد. هر یک از شاخص‌های طول صفحه، ارتفاع صفحه و زاویه برخورد جریان با صفحه در چهار سطح تغییر، انتخاب شدند و چهار تابع پاسخ نیز برای بهینه‌سازی، شامل کمینه عمق آب‌شستگی در لبه ابتدایی و انتهایی صفحه، کمینه ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحه و بیشینه حجم آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه در نظر گرفته شد. برای کاهش تعداد مطالعات بدون این‌که در نتایج، خطای زیادی وارد شود، مطالعات با روش تاگوچی طراحی شد. برای تحلیل نتایج و بهینه‌سازی تابع‌های پاسخ از روش GRA بهره گرفته شد. در نهایت، ترکیب معینی از شاخص‌های هندسی صفحه و تأثیر هر یک از آن‌ها بر تابع پاسخ، تعیین شد. استفاده هم‌زمان از روش تاگوچی و GRA در زمینه هیدرولیک، یکی دیگر از نوآوری‌های این پژوهش است.

۲- روش حل

۲-۱- مدل عددی

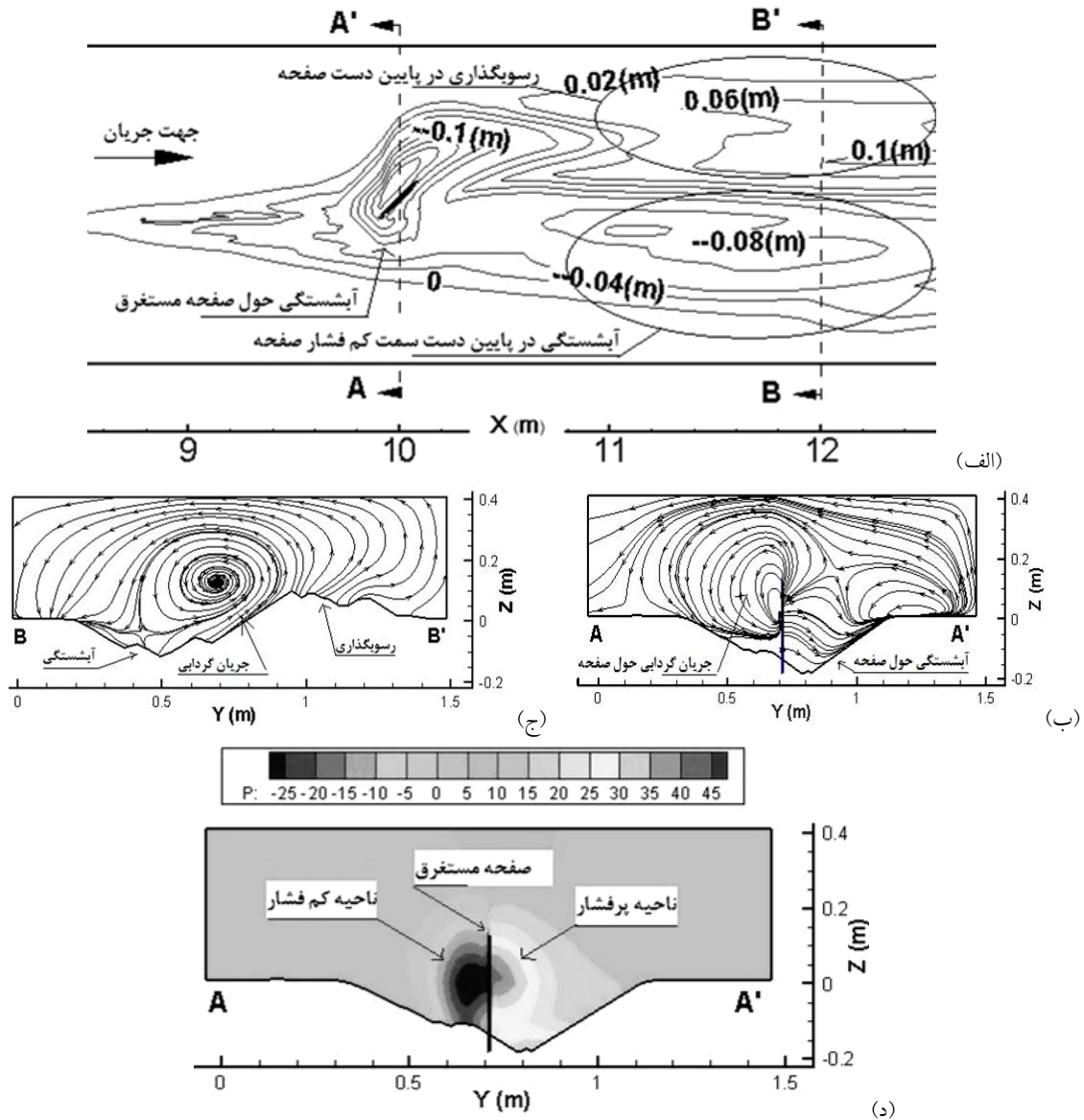
برای مدل‌سازی عددی از نرم‌افزار SSIM^۱ [اولسن^۲ (۲۰۱۱)] استفاده شده است. این نرم‌افزار با حل معادلات رینولدز (ناویر استوکس میانگین‌گیری‌شده در زمان) با روش حجم محدود و الگوی انفصال Power low یا SOU با کوپل سرعت و فشار با روش SIMPLE، میدان جریان را حل می‌کند. در این نرم‌افزار از مدل آشفتگی دو معادله‌ای k-ε در مدل‌سازی تنش‌های رینولدز استفاده شده است. برای بار معلق رسوب، معادله انتقال غلظت و برای بار بستر، روش فن راین یا روش‌های دیگر مانند انگلوند-هانسن، انیشتین و ... استفاده می‌شود.

یکی از سخت‌ترین مراحل کار با این مدل عددی، تولید

1- Simulation of Sediment movement In water Intakes with Multi block option
2- Olsen

صفحه در مقطع A-A' و نیز تشکیل حفره آب‌شستگی و پشته رسوبی در مقطع B-B' کاملاً مشخص است. سازوکار اصلی صفحه مستغرق به شکلی می‌باشد که اگر صفحات مستغرق به صورت گروهی استفاده شوند، می‌توانند در احیای سواحل، عمیق کردن کانال‌های کشتیرانی و نیز کنترل رسوب در آب‌گیرها استفاده شوند.

[گوپتا و شارما (۲۰۰۷)]، با پیش‌روی به پایین دست، سبب حرکت عرضی رسوبات می‌شود، بنابراین در پایین دست صفحه، حفره آب‌شستگی و تپه رسوبی، شکل می‌گیرد. در شکل ۱، دو مقطع عرضی در محل صفحه و در پایین دست آن نشان داده شده است. جریان گردابی [[از سمت پرفشار به سمت کم‌فشار(شکل ۱-د))]] و آب‌شستگی پیرامون



شکل (۱) نتایج پیش‌بینی شده مدل عددی SSIIM پیرامون صفحه مستغرق در بستر آبرفتی کانال مستقیم؛ الف- نمای توپوگرافی بستر ب و ج- خطوط جریان گردابی و تغییرات کف در مقاطع A-A' و B-B'- منحنی‌های هم فشار در مقطع A-A'

به ترتیب معرف طول و ارتفاع صفحه می‌باشند. در جدول ۱، ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی بالا ارائه شده است. کانال، بدون شیب در نظر گرفته شده است. محور x در راستای جریان، محور y در راستای عمود بر جریان و محور z در راستای قائم در نظر گرفته شده است. برای شبیه‌سازی، لازم است افزون بر شبکه محاسباتی، حساسیت جواب‌ها به تغییر ابعاد سلول‌های محاسباتی و تغییر زبری بستر، بررسی شود. این مدل با سه شبکه مختلف که در آن‌ها کوچک‌ترین سلول نزدیک صفحه، ابعادی به شرح جدول ۲ دارد و سه زبری متفاوت، اجرا شد. در این شبکه‌ها سلول‌های مجاور با نرخ ۱/۱ رشد داشته است.

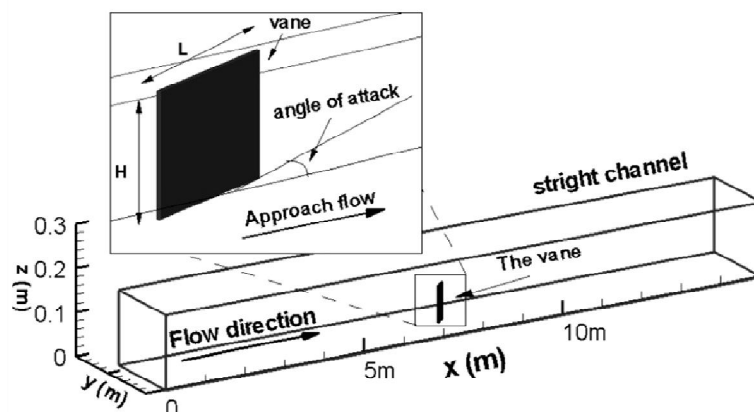
جدول (۱) ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی مدل آزمایشگاهی مارلیوس و سینها (۱۹۹۸)

۰/۲۱	Q: دبی (m^3/s)	ویژگی‌های هیدرولیکی مدل
۰/۹	d_o : قطر متوسط مصالح کف (mm)	
۰/۴	D: عمق جریان (m)	
۲۰	l: طول (m)	ویژگی‌های هندسی کانال
۱/۵۴	W: عرض (m)	
۴۰	α : زاویه برخورد با جریان (درجه)	ویژگی‌های هندسی صفحه
۰/۱۲	H: ارتفاع (m)	
۰/۲۴	L: طول (m)	
۳	t: ضخامت (mm)	

در این پژوهش، هدف بهینه کردن شاخص‌های هندسی صفحه برای کنترل رسوب ورودی به آب‌گیرها است. پس باید بیشترین حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست برای آب‌گیری در شرایط کم‌آبی و نیز کمترین ارتفاع پشته رسوبی در پایین‌دست برای جلوگیری از تجمع رسوبات در برابر آب‌گیرها حاصل شود و رسوبات به سمت پایین‌دست هدایت شوند. در بهینه‌سازی ابعاد صفحه مستغرق، علاوه بر اهمیت نوع کاربرد صفحه، پایداری سازه‌ای صفحه در بستر رسوبی نیز باید در نظر گرفته شود. بنابراین، آب‌شستگی پیرامون صفحه نیز باید کنترل شود. در این پژوهش، توابع پاسخ (هدف) عبارتند از: بیشینه‌کردن حجم آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه، کمینه‌کردن ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحه و کمینه‌کردن عمق آب‌شستگی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی صفحه مستغرق.

۲-۳- واسنجی و سنجش درستی مدل عددی

برای واسنجی و سنجش درستی مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی مارلیوس و سینها (۱۹۹۸) استفاده شده است. در این مدل، صفحه مستطیلی مستغرقی در مرکز یک کانال مستطیلی با بستر آبرفتی قرار گرفته است. شکل ۲، طرح شماتیک از مدل را نشان می‌دهد. در این شکل، H و L



شکل (۲) طرح شماتیک یک صفحه مستغرق در بستر کانال مستقیم (مارلیوس و سینها، ۱۹۹۸)

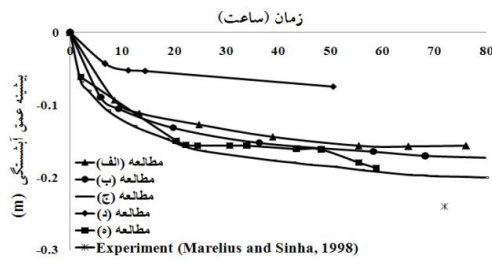
جدول (۲) ویژگی‌های شبکه‌ها و زبری‌های مختلف و زمان اجرای آن‌ها

مطالعه	شبکه	کوچک‌ترین سلول نزدیک صفحه	تعداد سلول‌ها در راستای $x \times y \times z$	زبری	زمان اجرای مدل (شبهانه روز)	درصد خطای محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی
الف	۱	۱۵ mm	$101 \times 40 \times 15$	$3/3d_0$	۵	۳۷/۵٪
ب	۲	۱۰ mm	$113 \times 48 \times 15$	$3/3d_0$	۷	۲۹/۱٪
ج	۳	۵ mm	$135 \times 62 \times 15$	$3/3d_0$	۱۲	۱۶/۶٪
د	۳	۵ mm	$135 \times 62 \times 15$	d_0	۸	۶٪
ه	۳	۵ mm	$135 \times 62 \times 15$	$5d_0$	۱۱	۱۶/۶٪

پس از اجرای مدل‌ها، شکل بستر پیش‌بینی شده در شبکه‌های مختلف بررسی شد. در مدل شبکه‌های ۱ و ۲ یعنی مدل‌های الف و ب در جدول ۲، آب‌شستگی در نزدیکی صفحه مستغرق و نیز در نزدیکی دیواره‌های کانال رخ داد، در حالی که در مدل شبکه ۳ یعنی مدل ج، تغییرات عمق حفره آب‌شستگی فقط در اطراف صفحه مستغرق و نیز در پایین دست آن رخ داد. با توجه به این که در مدل آزمایشگاهی مارلیوس و سینه‌ها (۱۹۹۸)، سرعت جریان، ۹۰ درصد سرعت جریان بحرانی برای جلوگیری از حرکت رسوبات در قسمت‌های ابتدایی کانال مستقیم در نظر گرفته شده است، آب‌شستگی در نزدیکی دیواره‌های کانال نباید رخ دهد. معیار دیگری که برای انتخاب شبکه مناسب در نظر گرفته شد، خطای محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی (اختلاف مقدار آزمایشگاهی و عددی تقسیم بر مقدار آزمایشگاهی) پیرامون صفحه است. شکل ۳، تغییرات بیشینه عمق آب‌شستگی در نزدیکی صفحه را با زمان در هر یک از شبکه‌های بالا و نیز بیشینه عمق آب‌شستگی پیرامون صفحه را در مدل آزمایشگاهی مارلیوس و سینه‌ها (۱۹۹۸) نشان می‌دهد. مطابق این شکل و جدول ۲، شبکه ۳ با زبری $3/3d_0$ (مدل ج) کمترین خطا را در محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی داشته است. ممکن است با ریزتر کردن شبکه، نتایج بهتری به دست آید، اما با توجه به زمان بسیار طولانی اجرای مدل، ریزکردن بیشتر شبکه سبب چند برابر شدن زمان اجرا می‌شود (جدول ۲). این مدل‌ها با یک سامانه CPU 2.53 GHz اجرا شده است. در مدل شبکه ۳ به ازای حدود

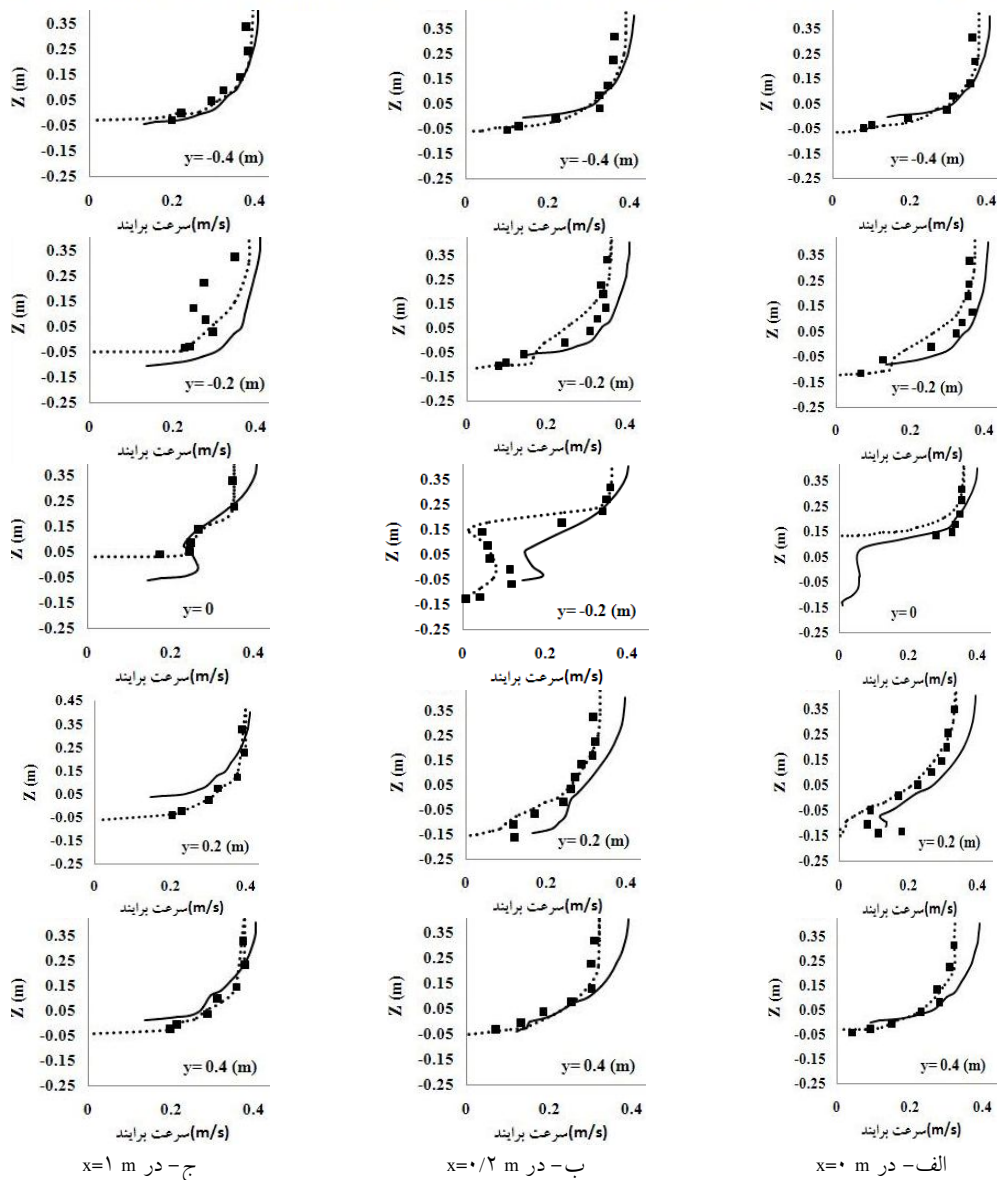
۱۲ شبهانه روز اجرای سامانه، زمان تعادل رسوب پس از حدود ۷۰ ساعت به دست آمد (شکل ۳). مدل آزمایشگاهی گفته شده در ۷۲ ساعت به تعادل رسیده است. با توجه به توضیحات بالا، ریزترین شبکه که به عنوان شبکه مناسب انتخاب شد. نتایج مدل عددی افزون بر تغییر شبکه بندی، به زبری بستر نیز وابسته است. این مدل برای زبری‌های $5d_0$ ، $3/3d_0$ ، $ks=d_0$ اجرا شد. در مدل با زبری $ks=2d_0$ خطای محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی، ۶۸ درصد و در مدل با زبری $ks=10d_0$ خطای محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی، ۱۶/۶ درصد بوده است، اما در مدل با زبری $ks=10d_0$ افزون بر آب‌شستگی پیرامون صفحه، در نزدیکی دیواره‌های کانال نیز آب‌شستگی رخ داده است. در نهایت، زبری کف، برابر $6/6d_0$ برای مطالعات بعدی انتخاب شد. در شکل ۳، تغییرات بیشینه عمق آب‌شستگی در نزدیکی صفحه به ازای تغییر زبری کف نیز نشان داده شده است.

برای سنجش درستی نتایج مدل عددی، پروفیل‌های سرعت برابند (برایند مؤلفه‌های طولی، عرضی و عمقی سرعت) پیش‌بینی شده در مقاطع مختلف (در فاصله $0/2m$ ، $0/4m$ ، $0/6m$ ، $0/8m$ ، $1m$ ، $1/2m$ ، $2m$ ، $3m$ ، $4m$ ، $5m$ ، $6m$ ، $7m$ ، $8m$ ، $9m$ ، $10m$) از مرکز صفحه به سمت پایین دست) با سرعت برابند مدل آزمایشگاهی مارلیوس و سینه‌ها (۱۹۹۸) و مدل عددی سینه‌ها و مارلیوس (۲۰۰۰) در شکل ۴ مقایسه شده است. مطابق این شکل، مدل عددی با دقت مناسبی پروفیل‌های سرعت را پیش‌بینی کرده است.



شکل (۳) تغییرات بیشینه عمق آب‌شستگی با زمان در شبکه‌ها و زبری‌های مختلف

■ Experimental (Marelius and Sinha, 1998) Numerical (Sinha and Marelius, 2000) — This Study

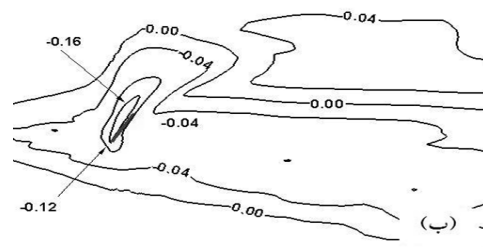
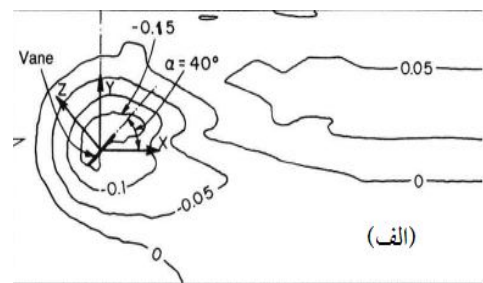


شکل (۴) مقایسه پروفیل سرعت پیش‌بینی شده در مدل عددی در مقاطع مختلف طولی و عرضی با نتایج آزمایشگاهی مارلیوس و سینها (۱۹۹۸) و نتایج عددی سینها و مارلیوس (۲۰۰۰)

۳- طراحی مطالعات و روش بهینه‌سازی

شاخص‌های هندسی صفحه بر شکل‌گیری و میزان تغییر در توپوگرافی بستر پیرامون صفحه و پایین‌دست آن مؤثر است. شاخص‌های هندسی یک صفحه مستغرق عبارتند از: طول صفحه (L)، ارتفاع صفحه (H) و زاویه برخورد جریان با صفحه (α). برای بررسی تأثیر این شاخص‌ها، هر یک در چهار سطح در نظر گرفته شده است. جدول ۳، شاخص‌های مؤثر بی‌بعد شده و سطوح تغییر آن‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول، D معرف عمق جریان است. مطابق این جدول، چهار زاویه ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه همراه چهار مقدار H/D و چهار مقدار L/H باید بررسی شود. اگر قرار باشد همه‌ی سطوح این شاخص‌ها بررسی شود باید تعداد $4 \times 4 \times 4 = 64$ (فاکتوریل کامل) مدل مختلف (به صورت عددی) در نظر گرفته شود. برای کاهش تعداد بررسی‌ها، از روش تاگوجی در طراحی مطالعات استفاده می‌شود. روش تاگوجی به جای استفاده از ترکیبات فاکتوریل کامل، ایده استفاده از ترکیبات فاکتوریل جزئی را مطرح کرده است [روی^۱ (۱۹۹۰)]. تاگوجی برای طراحی ترکیبات کمیت‌ها، از آرایه‌های متعامد^۲ استفاده کرد. آرایه متعامد، یک ماتریس فاکتوریل جزئی است که مقایسه موزون همه‌ی کمیت‌ها یا آثار متقابل کمیت‌ها را تضمین می‌کند. چون آرایه متعامد تنها کسری کوچک از همه‌ی حالات ممکن را نشان می‌دهد، ممکن است حالت بهینه در محدوده مطالعاتی که طراحی شده است نباشد. اگرچه به خاطر کم شدن تعداد مطالعات (نسبت به انجام همه‌ی مطالعات) مقداری تقریب در این روش وارد می‌شود، اما با در نظر گرفتن کاهش تعداد مطالعات و صرفه‌جویی‌های اقتصادی و زمانی به دست آمده، این تقریب قابل قبول است. روش تاگوجی در بیشتر شاخه‌های علوم به‌ویژه مهندسی

مقایسه فرم بستر پیش‌بینی شده در مدل عددی با فرم بستر آزمایشگاهی در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق این شکل، فرم بستر پیش‌بینی شده با نتایج مدل آزمایشگاهی مشابهت دارد. البته حفره آب‌شستگی حول صفحه نسبت به مدل آزمایشگاهی دارای کشیدگی بیشتری به سمت بالادست می‌باشد. خطای مدل عددی در پیش‌بینی بیشینه عمق آب‌شستگی، ۱۶/۶ درصد بوده است. از علل ایجاد خطا در مدل عددی می‌توان به استفاده از مدل آشفتگی k-ε، استفاده از معادلات و فرضیات انتقال رسوب فن راین در محاسبه بار بستر و نیز حساسیت بسیار بالای مدل به تغییرات زبری و شبکه محاسباتی اشاره کرد. اختلاف پروفیل‌های سرعت نیز مربوط به خطای پیش‌بینی گردابه‌ها است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت مدل عددی با دقت قابل قبولی جریان و فرم بستر پیرامون صفحه مستغرق را پیش‌بینی کرده است و نتایج این مدل می‌تواند با دقت قابل قبولی برای مقایسه تأثیر شاخص‌های مختلف صفحه مستغرق به کار رود.



شکل (۵) الف- توپوگرافی بستر آزمایشگاهی مارلیوس و سینها

ب- توپوگرافی بستر مدل عددی این پژوهش (۱۹۹۸)

1- Roy

2- Orthogonal array

$H/D=0/35$ ، سطح اول شاخص L/H یعنی $L/H=1/25$ و سطح سوم شاخص α یعنی $\alpha=35^\circ$ باید برای صفحه مستغرق در نظر گرفته شود؛ یعنی صفحه‌ای با نسبت ارتفاع به عمق $0/35$ و نسبت طول به ارتفاع $1/25$ با زاویه 35° در کانال قرار گیرد.

جدول (۳) شاخص‌های مؤثر و سطوح تغییر آن‌ها

شاخص‌ها	H/D	L/H	α (درجه)
۱	۰/۲۵	۱/۲۵	۱۵
۲	۰/۳۵	۲	۲۵
۳	۰/۴۵	۲/۷۵	۳۵
۴	۰/۵۵	۳/۵	۴۵

صنایع، مهندسی مواد، مهندسی مکانیک [چن و همکاران (۲۰۱۱)]، محیط زیست [مهانپور و همکاران، (۱۳۹۰)] و به تازگی در مهندسی عمران [اجلالی (۱۳۸۵)] استفاده شده است. این روش برای ارزیابی نتایج و بررسی تأثیر هر یک از کمیت‌ها بر تابع هدف، از تحلیل واریانس استفاده می‌کند. روش تاگوچی برای ۳ شاخص ۴ سطحی، آرایه L_{16} را پیشنهاد می‌کند. L_{16} یعنی به جای ۶۴ حالت، ۱۶ حالت مختلف از ترکیب شاخص‌های بالا بررسی شود. برای طراحی مطالعات و نحوه ترکیب سطوح شاخص‌های مختلف از نرم‌افزار Minitab 15 استفاده شده است. نحوه ترکیب سطوح در آرایه L_{16} در جدول ۴ نشان داده شده است. برای نمونه، در مطالعه بند ۵ جدول ۴ که ترکیب ۲-۱-۳ دارد، سطح دوم شاخص H/D یعنی

جدول (۴) ترکیب سطوح شاخص‌ها و نتایج به دست آمده از مدل عددی برای توابع پاسخ مختلف

شماره مطالعه	سطح H/D	سطح L/H	سطح α	عمق آب شستگی در لبه پایینی صفحه (m)	عمق آب شستگی در لبه بالایی صفحه (m)	عمق رسوب گذاری در پایین دست صفحه بر واحد طول صفحه (m/m)	حجم حفره آب شستگی در پایین دست صفحه بر واحد حجم صفحه (m^3/m^3)
				(۴)	(۳)	(۲)	(۱)
۱	۱	۱	۱	۰/۰۵۳	۰/۰۳۹	۰/۳۲	۱۵۹۲
۲	۱	۲	۲	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۳	۱۸۴۰/۳
۳	۱	۳	۳	۰/۱۱۳	۰/۱۴۳	۰/۳۶۴	۱۸۷۹/۴
۴	۱	۴	۴	۰/۰۹۶	۰/۱۶۶	۰/۲۸۵۷	۱۲۸۵/۷
۵	۲	۱	۳	۰/۱۴۴	۰/۱۲۸	۰/۴۵۷	۱۵۵۱/۰۲
۶	۲	۲	۴	۰/۱۶۲	۰/۱۶۷	۰/۳۵۷	۱۴۸۸/۹
۷	۲	۳	۱	۰/۰۷۵	۰/۰۷۴	۰/۱۰۴	۹۲۷/۶
۸	۲	۴	۲	۰/۰۹۶	۰/۱۵۹	۰/۲۰۴	۱۴۴۱/۷
۹	۳	۱	۴	۰/۱۹۳	۰/۱۸۸	۰/۵۳۳	۱۰۹۴/۶
۱۰	۳	۲	۳	۰/۱۴۹	۰/۱۸	۰/۲۷۸	۶۳۹/۴
۱۱	۳	۳	۲	۰/۱۰۵	۰/۱۸۳	۰/۲۰۲	۹۵۰/۲
۱۲	۳	۴	۱	۰/۰۳۶	۰/۱۳۳	۰/۰۹۵	۶۰۷/۵
۱۳	۴	۱	۲	۰/۱۶	۰/۱۳۹	۰/۲۹۱	۷۰۵/۷
۱۴	۴	۲	۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۲	۰/۱۵۹	۳۳۴/۰۲
۱۵	۴	۳	۴	۰/۲۱۱	۰/۲۱۴	۰/۱۹۸	۳۸۳/۱
۱۶	۴	۴	۳	۰/۱۵۷	۰/۲۷۵	۰/۱۵۶	۵۹۳/۲

تاگوچی و GRA تاکنون در مهندسی هیدرولیک استفاده نشده است. GRA یک فرایند دارای چند تابع پاسخ را در گام‌های ۱-GRG، ۲-GRC و ۳-GRD به یک تابع پاسخ تبدیل می‌کند [آیدن^۱ و همکاران (۲۰۱۰)]:

۱. GRG

نخست باید مقادیر توابع پاسخ اندازه‌گیری شده به صورت بی‌بعد و بین صفر تا یک مرتب شوند. هدف از این کار، دادن وزن و بعد یکسان به توابع پاسخ مختلف است. پس با توجه به معیار بهینه کردن هر تابع پاسخ، از یکی از روابط ۱ تا ۳ برای بی‌بعد کردن استفاده می‌شود:

- اگر قرار است تابع پاسخ کمینه شود:

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^o(k) - x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (1)$$

- اگر قرار است تابع پاسخ بیشینه شود:

$$x_i(k) = \frac{x_i^o(k) - \min x_i^o(k)}{\max x_i^o(k) - \min x_i^o(k)} \quad (2)$$

- اگر قرار است تابع پاسخ به یک مقدار خاص برسد:

$$x_i(k) = 1 - \frac{x_i^o(k) - x^o}{\max x_i^o(k) - x^o} \quad (3)$$

$x_i(k)$ مقدار بی‌بعد شده $x_i^o(k)$ مقدار اندازه‌گیری شده برای تابع پاسخ k ام است. $\max x_i^o(k)$ و $\min x_i^o(k)$ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار $x_i^o(k)$ در کل مطالعات انجام شده است. در این پژوهش، $k=4$ و $i=1-16$ است.

۲. GRC

GRC برای نشان دادن ارتباط بین مقادیر بی‌بعد شده تابع پاسخ، یعنی $x_i(k)$ و مقدار ایده‌آل تابع پاسخ بی‌بعد شده، یعنی $x_0(k)=1$ ، محاسبه و به صورت رابطه ۴ تعریف می‌شود:

همچنین با توجه به ترکیبات طراحی شده در جدول ۴، ۱۶ مدل از ترکیب شاخص‌های با نرم‌افزار شبیه‌سازی و مقادیر حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه (۱)، ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحه (۲) و عمق آب‌شستگی در لبه‌های ابتدایی (۳) و انتهایی صفحه (۴) از مدل‌ها استخراج شد. این مقادیر در جدول ۴ نشان داده شده است. هر چه ابعاد صفحه بیشتر باشد جریان گردابی پیرامون صفحه قوی‌تر بوده و بنابراین تغییرات بستر در پایین‌دست بیشتر است. بنابراین مقادیر حجم حفره آب‌شستگی بر حجم صفحه و ارتفاع رسوب‌گذاری در پایین‌دست بر طول صفحه، تقسیم شده است. از مقادیر این جدول برای تحلیل نتایج استفاده می‌شود.

۴- ارزیابی نتایج

روش تاگوچی تنها در مسائلی که با بهینه‌سازی یک تابع پاسخ سروکار دارد استفاده می‌شود و برای مسائل دارای چندین تابع پاسخ، کاربردی ندارد. از آن‌جا که این پژوهش چندین تابع پاسخ دارد، با روش تاگوچی به تنهایی نمی‌توان نتایج را تحلیل کرد. روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی مسائل با چندین تابع پاسخ وجود دارد [جیاپال^۱ و همکاران (۲۰۰۵)]; مانند قضاوت مهندسی، وزن‌دهی به توابع مختلف، رگرسیون چندمتغیره و روش^۲ GRA. روش GRA یکی از روش‌هایی است که می‌تواند بهینه‌سازی چندین تابع پاسخ را با داشتن اطلاعات محدود و با ساده‌ترین روش، به بهینه‌سازی یک تابع پاسخ تبدیل کند [کایداس و هاسکالیک^۳ (۲۰۰۸)]. این روش نخستین بار به وسیله‌ی دنگ^۴ (۱۹۸۹) مطرح و در بسیاری از شاخه‌های علوم استفاده شد. بر اساس مطالعات نویسندگان، بهینه‌سازی فرایندهای شامل چندین تابع پاسخ با روش

1- Jeyapaul

2- Grey Relational Analysis

3- Caydas and Hascalik

4- Deng

جدول (۵) نتایج تحلیل GRA

رتبه	G.R.D	G.R.C				G.R.G				شماره مطالعه
		(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	(۴)	(۳)	(۲)	(۱)	
۱	۰/۷۶۵	۰/۸۳۷	۱/۰	۰/۴۹۴	۰/۷۲۹	۰/۹۰۳	۱/۰	۰/۴۸۷	۰/۸۱۴	۱
۴	۰/۶۹۶	۰/۶۲۷	۰/۶۸۶	۰/۵۱۷	۰/۹۵۲	۰/۷۰۳	۰/۷۷۱	۰/۵۳۳	۰/۹۷۵	۲
۵	۰/۶۲۸	۰/۵۳۲	۰/۵۳۲	۰/۴۴۹	۱/۰	۰/۵۶	۰/۵۵۹	۰/۳۸۷	۱/۰۰۰	۳
۸	۰/۵۴۴	۰/۵۹۳	۰/۴۸۲	۰/۵۳۵	۰/۵۶۶	۰/۶۵۷	۰/۴۶۲	۰/۵۶۵	۰/۶۱۶	۴
۱۰	۰/۵۲۴	۰/۴۴۸	۰/۵۷	۰/۳۷۷	۰/۷۰۲	۰/۳۸۳	۰/۶۲۳	۰/۱۷۴	۰/۷۸۸	۵
۱۱	۰/۵۰۲	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۴۵۵	۰/۶۶۴	۰/۲۸	۰/۴۵۸	۰/۴۰۲	۰/۷۴۷	۶
۳	۰/۷۱۸	۰/۶۹۲	۰/۷۷۱	۰/۹۶۲	۰/۴۴۸	۰/۷۷۷	۰/۸۵۲	۰/۹۸	۰/۳۸۴	۷
۶	۰/۵۹۹	۰/۵۹۳	۰/۴۹۶	۰/۶۶۸	۰/۶۳۸	۰/۶۵۷	۰/۴۹۲	۰/۷۵۲	۰/۷۱۷	۸
۱۶	۰/۴۰۷	۰/۳۵۸	۰/۴۴۲	۰/۳۳۳	۰/۴۹۶	۰/۱۰۳	۰/۳۶۹	۰/۰	۰/۴۹۲	۹
۱۴	۰/۴۵۵	۰/۴۳۶	۰/۴۵۶	۰/۵۴۵	۰/۳۸۴	۰/۳۵۴	۰/۴۰۳	۰/۵۸۳	۰/۱۹۸	۱۰
۹	۰/۵۳۴	۰/۵۵۹	۰/۴۵	۰/۶۷۲	۰/۴۵۴	۰/۶۰۶	۰/۳۹	۰/۷۵۶	۰/۳۹۹	۱۱
۲	۰/۷۳۴	۱/۰	۰/۵۵۷	۱/۰	۰/۳۷۸	۱/۰	۰/۶۰۲	۱/۰	۰/۱۷۷	۱۲
۱۳	۰/۴۷۰	۰/۴۱۴	۰/۵۴۱	۰/۵۲۸	۰/۳۹۷	۰/۲۹۱	۰/۵۷۶	۰/۵۵۳	۰/۲۴۱	۱۳
۷	۰/۵۸۷	۰/۵۸۶	۰/۶۵۲	۰/۷۷۴	۰/۳۳۳	۰/۶۴۷	۰/۷۳۳	۰/۸۵۴	۰/۰	۱۴
۱۵	۰/۴۳۹	۰/۳۳۳	۰/۴۰۳	۰/۶۸	۰/۳۴۱	۰/۰	۰/۲۵۸	۰/۷۶۵	۰/۰۳۲	۱۵
۱۲	۰/۴۷۸	۰/۴۲	۰/۳۳۳	۰/۷۸۳	۰/۳۷۵	۰/۳۰۹	۰/۰	۰/۸۶۲	۰/۱۶۸	۱۶

حالت است. بدین ترتیب طبق رابطه ۵، چند تابع پاسخ تبدیل به یک تابع پاسخ می‌شود که مقدار آن عددی بین صفر و یک است. در رابطه ۵ برای همه توابع پاسخ، وزن یکسان در نظر گرفته شده است. در جدول ۵، مقادیر شاخص‌های روش GRA برای توابع پاسخ (۱) تا (۴) جدول ۵، نشان داده شده است.

در محاسبه GRG برای تابع پاسخ (۱)، یعنی حجم حفره آب‌شستگی بر واحد حجم، از رابطه (۲) (چون قرار است بیشینه شود) و برای محاسبه GRG توابع (۲)، (۳) و (۴) (که قرار است کمینه شوند) از رابطه (۱) استفاده شده است. در محاسبه GRG، ابتدا مقادیر $\Delta_{oi}(k)$ برای توابع پاسخ مختلف (۴-۱) در هر یک از مطالعات (۱۶-۱) به دست آمده و سپس از رابطه (۴)، GRG محاسبه شده است. ستون GRD نیز از رابطه (۵) و با میانگین‌گیری وزنی

$$GRC_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \cdot \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \cdot \Delta_{\max}} \quad (۴)$$

$$\Delta_{oi}(k) = \|x_o(k) - x_i(k)\|; \quad x_o(k) = 1$$

Δ_{\min} و Δ_{\max} به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار $\Delta_{oi}(k)$ است. ζ عددی بین صفر تا ۱ است که برای جلوگیری از نامعینی GRGها به کار می‌رود؛ در این پژوهش $\zeta = 0.5$ است.

۳. GRD

طبق رابطه ۵ با میانگین‌گیری از مقادیر GRC و GRD به دست می‌آید:

$$GRD_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n GRC_i(k) \quad (۵)$$

ترکیبی که بیشترین مقدار GRD را داشته باشد، مطلوبترین

تأثیر بیشتری بر GRD دارد، اما تغییرات طول صفحه کمترین تأثیر را بر نتیجه نهایی داشته است، به گونه‌ای که اختلاف بیشترین و کمترین مقدار GRD برای H/D برابر $0/165$ ، برای α ، برابر $0/228$ و برای L/H ، برابر $0/047$ است. بیشترین مقدار GRD در α_1 ، H/D_1 و L/H_4 به دست آمده است. این ترکیب (1-4-1) در بین 16 مطالعه انجام شده قرار ندارد، اما بسیار به نتیجه روش GRA یعنی ترکیب 1-1-1 نزدیک است. از طرفی مطابق نمودار شکل 6، تغییر در L/H از $1/25$ به $3/5$ ، کمتر از 5 درصد در بهبود GRD مؤثر بوده است؛ یعنی با تغییر L/H ، مقدار GRD تغییر زیادی نخواهد کرد؛ بنابراین می‌توان گفت ترکیب 1-1-1 ترکیب بهینه است. پس برای کاهش هزینه‌های اجرایی بهتر است صفحه با طول کم انتخاب گردد. بنابراین حالت بهینه با در نظر گرفتن زاویه کم یعنی 15 درجه، نسبت ارتفاع به عمق $0/25$ و نسبت طول به ارتفاع کم یعنی $1/25$ ایجاد خواهد شد.

5- نتیجه گیری

در این مقاله به بهینه‌سازی شاخص‌های هندسی یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی یک کانال مستقیم با مدل‌سازی عددی پرداخته شده است. این پژوهش مقدمه‌ای برای تحقیقات آتی برای بهینه‌کردن آرایش و ابعاد گروه صفحات مستغرق برای کنترل رسوب ورودی به آب‌گیرهای جانبی است. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار SSIIM استفاده شده است. ابتدا الگوی جریان و رسوب پیرامون یک صفحه مستغرق در بستر آبرفتی کانال مستقیم، شبیه‌سازی شده و نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی سنجش درستی شده است؛ سپس تأثیر شاخص‌های هندسی صفحه بر الگوی جریان و رسوب بررسی شده است. از آنجا که سه شاخص هندسی طول صفحه، ارتفاع صفحه و زاویه برخورد جریان

از GRGها به دست آمده است. در ستون مرتبه، مقادیر GRD از بزرگ به کوچک مرتب شده است. مطابق این جدول، مطالعه شماره 1، بیشترین مقدار GRD را دارد؛ بنابراین ترکیب مطالعه شماره 1 یعنی 1-1-1 ($H/D=0/25$ ، $L/H=1/25$ و $\alpha=15^\circ$) بهترین ترکیب برای داشتن بیشینه حجم آب‌شستگی در پایین‌دست و کمینه عمق رسوب‌گذاری در پایین‌دست و کمینه عمق آب‌شستگی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی صفحه است.

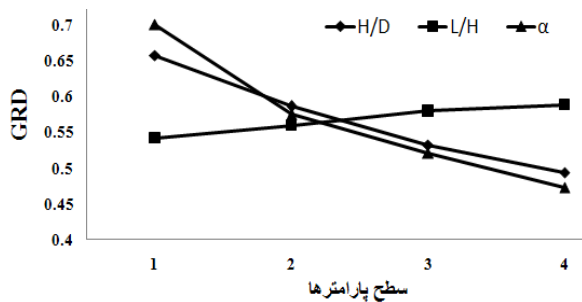
اگر در تحلیل نتایج به دست آمده از تابع واحد نهایی از روش تاگوچی استفاده شود، باید تأثیر هر یک از سطوح تغییر شاخص‌ها بر تابع هدف بررسی شود. مطابق جدول 4، در آرایه L_{16} هر سطح فاکتور 4 سطحی، در 4 حالت از 16 حالت کلی ظاهر می‌شود. برای تعیین تأثیر تغییر سطح هر یک از شاخص‌ها بر تابع هدف نهایی باید از GRD یک دسته چهارتایی از مطالعاتی که سطح مورد نظر شاخص مفروض در آن‌ها ظاهر شده است، طبق رابطه 6، میانگین‌گیری کرد.

$$GRD(F)_j = \frac{1}{nj} \sum GRD_{ij} \quad (6)$$

در این رابطه nj تعداد سطوح فاکتور F و GRD_{ij} مربوط به مطالعه شماره i است که سطح j فاکتور F در آن ظاهر شده است. برای مثال، سطح "1" شاخص L/H در مطالعات 1، 5، 9 و 13 وجود دارد، پس تأثیر $(L/H)_1$ بر GRD این گونه خواهد بود:

$$GRD(L/H)_1 = \frac{(0/765 + 0/524 + 0/407 + 0/47)}{4} = 0/542$$

به همین ترتیب می‌توان برای سایر سطوح شاخص‌های مطالعه شده، GRD را تعیین کرد. نمودار شکل 6، تأثیر تغییر سطوح شاخص‌های هندسی را بر GRD نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، تغییر در زاویه و نسبت ارتفاع به عمق،



شکل (۶) تأثیر تغییر سطوح شاخص‌های هندسی بر GRD

۶- واژگان لاتین

x, y, z	محورهای مختصات در راستای طول، عرض و ارتفاع
ks	زبری معادل ماسه
d_{90}	قطری از مصالح که ۹۰ درصد ذرات از آن کوچک‌تر است
x1, y1	اندازه اولین سلول نزدیک مرز در راستای x و y
L	طول صفحه مستغرق
H	ارتفاع صفحه مستغرق
α	زاویه برخورد جریان با صفحه مستغرق
D	عمق جریان
GRG	Grey relational generation
GRC	Grey relational coefficient
GRD	Grey relational grade
GRA	Grey relational analysis
i	تعداد مطالعات
k	تعداد توابع پاسخ
$x_i^0(k)$	مقدار اندازه‌گیری‌شده در مطالعه i ام برای تابع پاسخ k ام
$x_i^1(k)$	مقدار بی‌بعدشده $x_i^0(k)$
GRD_{ij}	مطالعه شماره i که سطح j فاکتور F در آن ظاهر شده است
F	فاکتور مؤثر
n_j	تعداد سطوح فاکتور F

۸- مراجع

[۱] فروغی، ع؛ استفاده از صفحات مستغرق در حفاظت و تثبیت سواحل رودخانه؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۱.

[2] Voisin, A; and Townsend, R.D; "Model testing of

با صفحه و هر یک در چهار سطح تغییر بررسی شده است، برای طراحی مطالعات از روش تاگوچی استفاده و به جای بررسی ۶۴ حالت مختلف، ۱۶ حالت بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی ۱۶ حالت برای توابع هدف مختلف شامل کمینه عمق آب‌شستگی در لبه‌های ابتدایی و انتهایی صفحه، بیشینه حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه و کمینه عمق رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحه، با روش GRA ارزیابی شده است. نتایج این پژوهش عبارتند از:

- نرم‌افزار SSIM با دقت مناسبی الگوی جریان و رسوب پیرامون یک صفحه مستغرق را شبیه‌سازی کرده است.
- از بین شاخص‌های هندسی صفحه [شامل طول، ارتفاع و زاویه برخورد جریان با صفحه]، بیشترین تأثیر بر کارکرد صفحه، برای داشتن کمترین عمق آب‌شستگی پیرامون صفحه، کمترین ارتفاع رسوب‌گذاری و بیشترین حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه را شاخص زاویه برخورد جریان با صفحه، سپس ارتفاع صفحه و در نهایت طول صفحه دارند.
- نتایج روش GRA محدود به حالت‌هایی است که بررسی شده است، بنابراین تحلیل نتایج روش تاگوچی در نتیجه‌گیری در نظر قرار گرفته شده است.
- برای کمینه کردن عمق آب‌شستگی پیرامون صفحه مستغرق، کمینه کردن عمق رسوب‌گذاری در پایین‌دست صفحه و بیشینه کردن حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست صفحه، مناسب است زاویه برخورد جریان، ۱۵ درجه و نسبت ارتفاع به عمق، ۰/۲۵ انتخاب شود.
- نتایج نشان داده است که تغییر نسبت طول به ارتفاع صفحه از ۱/۲۵ تا ۳/۵ کمتر از ۵ درصد در بهبود نتایج مؤثر بوده است، بنابراین برای صرفه‌جویی در هزینه ساخت صفحات مستغرق، بهتر است طول کمتری برای صفحه در نظر گرفته شود.

در آب‌گیرها با کاربرد صفحات مستغرق و آبشکن"؛ پایان‌نامه دکتری مهندسی کشاورزی، گرایش سازه‌های آبی؛ دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.

[۱۲] سید میرزایی، ح؛ "تعیین آرایش مناسب صفحه‌های مستغرق در آب‌گیری جانبی از رودخانه با استفاده از مدل ریاضی فلوئنت؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، گرایش سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.

[13] Marelius, F; and Sinha, S; "Experimental investigation of flow past submerged vanes"; Journal of Hydraulic Engineering; 124(5), 1998, 542-546.

[14] Rostamabadi, M; and Salehi Neyshabouri, S. A. A; "Numerical simulation of flow around submerged vane"; 8th international congress on civil engineering; Shiraz, Iran, 2009. .

[15] Ouyang, H; "Investigation on the dimensions and shape of a submerged vane for sediment management in alluvial channels"; Journal of Hydraulic Engineering. 135(3), 2009: 209-217.

[16] Odgaard. A. J; and Wang .Y; "Sediment management with submerged vanes. I: Theory"; Journal of Hydraulic Engineering, 117(3), 1991, 267-283.

[17] Gupta, P; Sharma, N; "Performance evaluation of tapered vane" Journal of Hydraulic Research; 45(4), 2007, 472-477.

[18] Olsen, N. R; A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movement in water intakes with multi block option; user's manual; 5. November 2011.

[19] Sinha, S; and Marelius, F; "Analysis of flow past submerged vanes". Journal of Hydraulic Research, 38(1), 2000, 65-71.

[20] Roy, R. A primer on the Taguchi method; Society of Manufacturing Engineers New York. NY, 1990.

[21] Chen Sh; Wang D; and Sun sh; "Bionic fan optimization based on Taguchi method"; Engineering Application of Computational Fluid Mechanics; 5(3), 2011, 302-314.

submerged vanes in strongly curved narrow channel bends"; Journal of Civil Engineering; 29, 2002, 37-49

[۳] صمیمی بهبهان، ت؛ بارانی، غ؛ و خانجانی، م؛ "بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر تثبیت بستر رودخانه‌ها". هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۵.

[4] Wang .Y; Odgaard. A. J; Melville, B. W; and Jain, S. C; "Sediment control at water intakes"; Journal of Hydraulic Engineering; 122(6), 1996, 353-356.

[5] Neill, C. R; and Evans, B. J; Discussion on "Sediment control at water intakes"; Journal of Hydraulic Engineering, 123(7), 1997, 670-671.

[6] Barkdoll, D; Ettema, R; and Odgaard, A.J; "Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use". Journal of Hydraulic Engineering; 125(8), 1999, 132-136.

[۷] ساجدی سابق، م؛ و حبیبی، م؛ " کاربرد صفحات مستغرق در پیشگیری از ورود رسوب به آب‌گیرها"؛ سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران ۱۳۸۴.

[۸] دهقانی، ا.ا؛ "مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آب‌گیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه"؛ پایان‌نامه دکتری مهندسی عمران گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.

[9] Michelle, F; Ettema, and R; Muste, M; "Case study: sediment control at water intake for large thermal-power station on a small river"; Journal of Hydraulic Engineering; 132(5), 2006, 440-449.

[۱۰] منتصری، ح؛ "تأثیر آرایش‌های مختلف صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آب‌گیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه؛ پایان‌نامه دکتری مهندسی عمران، گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷.

[۱۱] گوهری، س؛ "بررسی الگوی جریان و کنترل رسوب

- [25] Caydas, U; ; Hascalik, A; "Use of the grey relational analysis to determine optimum laser cutting parameters with multi-performance characteristics"; Optic and Laser Technology; 40, 2008, 987-994.
- [26] Deng, J; "Introduction to grey system"; Journal of Grey Systems; 1, 1989, 1-24.
- [27] Aydin, H; Bayram, A; Esme, U; Kazancoglu, Y; and Guven, O; "Application of grey relational analysis (GRA) and Taguchi method for the parametric optimization of friction stir welding (FSW) process"; Materials and Technology; 44, 2010, 205-211.
- [۲۲] مهرانپور، ک؛ میرنظامی، س.م؛ ربیعی ف؛ "تجزیه فوتوکالیستی آلاینده‌های رنگی آزو در پساب‌های صنعتی با استفاده از نانوذرات نقره به روش تاگوچی"؛ کنفرانس بین المللی آب و فاضلاب، تهران، ۱۳۹۰.
- [۲۳] اجلالی ا؛ "کاربرد روش تاگوچی در پیش‌بینی خواص بتن سبک‌دانه سازه‌ای ساخته‌شده از سبک‌دانه پومیس اسکندران و مقایسه نتایج حاصله با نتایج حاصله از روش انجام تمامی آزمایشات"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۸۵.
- [24] Jeyapaul, R; Shahabudeen, P; and Krishnaiah, K; "Quality management research by considering multi-response problems in the Taguchi method- a review". Int. J. Adv. Manuf. Technol; 26, 2005, 1331-1337.

Optimization of Geometric Parameters of Submerged Vane in Straight Alluvial Channel With Taguchi Method and GRA.

M. Rostamabadi¹, A.A. Salehi Neyshabouri^{2*}, A.R. Zarrati³

1- Ph.D Candidate, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University

2- Professor of Water Eng., Res. RNST., Tarbiat Modares University

3- Professor of Civil and Environmental Engineering Faculty, Amirkabir University

salehi@modares.ac.ir

Abstract:

Submerged vanes are plane structures mounted vertically on river bed with an angle to the approach flow. These structures are usually used in group. The operation of the submerged vanes is production of secondary flow around their length axis that changes the flow pattern and bed topography. The performance of a submerged vane is related to its geometric parameters such as length, height and the angle of attack of the approach flow. In this study the optimization of geometric parameters of a submerged vane in a straight alluvial flume is done numerically to achieve the best condition for increasing the scour depth of channel in front of lateral intake and deviation of sediment from lateral intakes. The SSIIM software is applied for simulating the flow and sediment pattern around a submerged vane. Verification of numerical model with experimental results is done. The effect of geometric parameters of the vane on the performance of the submerged vane is studied. Length, height and the angle of a vane are investigated in four levels and four responses including minimum scour depth near the leading edge of the vane, minimum scour depth near the trailing edge of the vane, maximum scour volume at the downstream of the vane and maximum sedimentation depth at the downstream of the vane are calculated numerically. In previous studies the scour depth at the leading and the trailing edges of the vane were not included in optimization and this is one of the innovation of this paper. The other two last responses are normalized with appropriate parameters. The maximum scour volume at the downstream of the vane is normalized with the volume of the vane and the maximum sedimentation depth at the downstream of the vane is normalized with the length of the vane. Taguchi method is used to design studies in order to minimize the number of cases without affecting the results. 16 tests are investigated instead of 64 tests. Grey Relational Analysis is used for analyzing the responses. The results of this study show that the angle of a vane has more effect on the performance of the vane than the height and the height is more effective than the length. The ratio of 0.25 for the height of the vane to the depth of flow and 15 degree for the angle of attack are proposed to obtain the optimum performance of the submerged vane. Changing the ratio of the length to the height of the vane has a little effect on the responses. So the smaller length of the submerged vanes (in this paper the ratio of 1.25 among 1.25 to 3 for the length to the height of the vane) is economical.

Keywords: Submerged vane, Sedrment, Taguchi, GRA, SSIIM