

ارائه و بهبود روابط تخمین چاله آبخستگی شکل گرفته به وسیلهی جتهای دیواره‌ای با استفاده از الگوریتم فراکاوشی PSO

مجتبی مهرآیین^{*}، سید حامد معراجی^۲

۱- استادیار گروه عمران- دانشگاه خوارزمی

۲- استادیار گروه عمران دانشگاه خلیج فارس

mehraein@khu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۱۲/۲۰]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۵/۷/۱۹]

چکیده

در این مقاله با استفاده از یک مدل بهینه‌یابی، به تعیین بهترین ضرایب موجود در رابطه تخمین ابعاد حفره آبخستگی پرداخته شود. از این رو برای تعیین بهترین ضرایب و توان‌های مجهول در روابط پیشنهادی، از الگوریتم فراکاوشی PSO با همسایگی فراگیر و همسایگی محلی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد جواب به دست آمده از این مدل‌ها از دقت بسیار بالاتری برخوردار بوده و برآزش با حداقل انحراف، حاصل شده است. همچنین با تحلیل حساسیت بر پارامترهای موثر بر روش PSO مشخص شده که در میان این دو مدل، جواب‌های حاصل از مدل با همسایگی محلی از کیفیت بهتری برخوردار است. همچنین تحلیل حساسیت بر تعداد جمعیت و تعداد نقاط همسایگی‌شان نشان می‌دهد که روش PSO به ازای مقادیر مختلف آنها می‌تواند به جواب‌های نزدیک به بهینه مختلفی دست یابد که در بین آنها یک جواب به عنوان بهترین آنها انتخاب می‌شود، پس انجام فرآیند تحلیل حساسیت در مطالعات بهینه‌سازی لازم است. تحلیل حساسیت انجام شده در مورد تاثیر پارامترهای مختلف بر ابعاد حفره آبخستگی نشان داد که عدد رینولدز، قطر متوسط بی‌بعد شده مصالح و شکل بی بعد شده زمان نسبت به سایر پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبخستگی در شرایط تعادل حفره آبخستگی در درجه دوم اهمیت قرار دارند. از این رو این پارامترها را می‌توان از بین پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد چاله آبخستگی حذف کرده بدون اینکه تغییر چندانی در دقت رابطه ارایه شده نهایی ایجاد شود. در شرایطی که حفره آبخستگی به شرایط تعادل نرسیده تنها پارامتر عدد رینولدز جت بر ابعاد حفره آبخستگی تاثیر کمتری دارد چنانچه حذف آن دقت رابطه اصلی را تنها در پیش‌بینی بیشینه عمق حفره آبخستگی ۱٪، در ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبخستگی ۱٪ و در محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی کمتر از ۱٪ کاهش می‌دهد و می‌توان این پارامتر را از میان پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبخستگی حذف کرد.

واژگان کلیدی: آبخستگی، جت دیواره‌ای، ابعاد حفره آبخستگی، الگوریتم بهینه سازی PSO

۱- مقدمه

هرکدام از پارامترها ابعاد چاله آبخستگی را تخمین بزنند مورد

توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است [1-13]

تاثیر عدد فرود مصالح بر ابعاد حفره آبخستگی زیاد بوده

بررسی تاثیر میدان جریان و پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد

حفره آبخستگی و نیز ارایه روابطی که بتواند با توجه به تاثیر

بررسی است، برای اکتشاف در فضای جستجو استفاده می- کند.

دو گونه از الگوریتم PSO توسعه داده شد، یکی PSO با همسایگی فراگیر و دیگری PSO با همسایگی محلی. در گونه همسایگی فراگیر، هر Particle به سوی بهترین موقعیت خود در گذشته و همچنین بهترین موقعیت بهترین Particle در کل Swarm، (Gbest) حرکت می-کند، ولی در گونه همسایگی محلی، هر Particle به سوی بهترین موقعیت خود در گذشته و بهترین موقعیت بهترین Particle در همسایگی خود، (Lbest) حرکت می-کند [17]. جزئیات بیشتر در مورد این روش ها در مراجع ارایه شده است [14,17].

۳- آنالیز ابعادی و معرفی داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

اگر χ را به عنوان یکی از ابعاد چاله آبشستگی در نظر بگیریم هرکدام از ابعاد چاله آبشستگی می‌تواند تحت تاثیر پارامترهای مختلف باشد که در رابطه (۷) ارایه شده است.

$$\chi = f(u, D, d_{50}, \sigma, s, Y_t, \nu, t, B, g) \quad (1)$$

در این رابطه u سرعت جت، D قطر جت، d_{50} قطر متوسط مصالح، $\sigma = \frac{d_{84}}{d_{16}}$ انحراف معیار مصالح، d_m قطری از مصالح که m درصد مصالح از آن ریزتر است، s نسبت چگالی مصالح به چگالی آب، Y_t عمق پایاب، ν لزجت سینماتیکی سیال، t زمان از ابتدای آزمایش، B عرض کانال و g شتاب ثقل است. با استفاده از آنالیز ابعادی، رابطه (۲) از رابطه (۱) قابل استخراج است.

$$\frac{\chi}{D} = f \left(\left[\text{Re} = \frac{uD}{\nu}, \frac{D}{d_{50}}, \sigma, \log \left(\frac{ut}{D} \right) \right], \left[Fr_d = \frac{u}{\sqrt{gd_{50}(s-1)}}, \frac{Y_t}{D}, \frac{B}{D} \right] \right) \quad (2)$$

در این رابطه Re عدد رینولدز جت و Fr_d عدد فرود مصالح است. یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد چاله آبشستگی ناشی از جت‌های دیواره‌ای، عدد فرود مصالح است [5].

با توجه به آنالیز ابعادی انجام شده، داده‌های در دسترس

چنانچه تعدادی از پژوهشگران تنها با استفاده از این پارامتر روابطی برای تخمین ابعاد حفره آبشستگی ارایه کردند [5]. پژوهش‌های متنوعی در مورد تاثیر عمق پایاب بر ابعاد حفره آبشستگی انجام شده است. جمع‌بندی نتایج بدست آمده از پژوهش‌های پیشین نشان داده است که تغییرات عمق پایاب در شرایطی که عمق پایاب زیاد است بر ابعاد حفره آبشستگی تاثیر چندانی نخواهد داشت [6].

بررسی‌های انجام شده در مورد تاثیر غیر یکنواختی مصالح نیز نشان می‌دهد که ابعاد چاله آبشستگی روندی نزولی با افزایش غیر یکنواختی مصالح خواهد داشت [5]. در بسیاری از پژوهش‌های پیشین، در شرایطی که عدد رینولدز جت بزرگتر از چند هزار بوده از این پارامتر در روابط ارایه شده در تخمین ابعاد چاله آبشستگی چشم‌پوشی شده است. تاکنون روابط متعددی برای تخمین ابعاد حفره آبشستگی ناشی از جتهای دیواره‌ای ارایه شده است که از جمله آنها می‌توان به مراجع [5,9] اشاره کرد. در این پژوهش با توجه به اطلاعات موجود و در دسترس، از روش‌های فراکاوشی برای کمینه کردن خطاها و کالیبراسیون ضرایب و توان‌های مجهول در روابط استفاده می-شود. دانشمندان متعددی، قوانین ضروری حاکم بر گروه پرنده‌گان و ماهیان را مطالعه کردند و آنها را شبیه سازی نموده- اند [15,16]. یک نظریه کلی وجود دارد و موارد بی شماری که از طبیعت گرفته شده است هم روی این نظریه تاکید می کنند و آن هم این است که، تسهیم دسته جمعی اطلاعات در میان اعضای یک جمعیت، ممکن است که یک فرآیند تکاملی برتری را فراهم آورد. این نظریه، ایده اصلی و پشتیبان توسعه PSO است [17].

۲- روش بهینه سازی Particle Swarm

روش بهینه سازی Particle Swarm (PSO)، اولین بار به وسیله ی Eberhart و Kennedy در سال ۱۹۹۵ معرفی شد [14]. اساس PSO، شبیه سازی یک رفتار دسته جمعی است که از آن برای نشان دادن حرکت گروه پرنده‌گان و ماهیان استفاده می شود. PSO نیز مانند سایر تکنیک‌های محاسبات تکاملی، از یک جمعیت که شامل راه حل‌های بالقوه مسئله تحت

بدست می‌آید.

$$Minimize \left(SE = \sum_{i=1}^{i=N_o} \left[\left(\frac{X_i}{D} \right)_o - \left(\frac{X_i}{D} \right)_p \right]^2 \right) \quad (4)$$

که در آن $\left(\frac{X_i}{D} \right)_o$ مقادیر مشاهده شده و $\left(\frac{X_i}{D} \right)_p$ مقادیر پیشبینی شده از رابطه (۳) و N_o تعداد داده‌های مشاهده شده است. همچنین برای بررسی نتایج، مقدار میانگین قدرمطلق خطاها (AAE) نیز محاسبه شده است.

۸۰٪ داده‌های در دسترس برای کالیبراسیون توان‌ها و ضرایب و ۲۰٪ باقی مانده داده‌ها برای آزمایش نتایج بدست آمده استفاده شد. ضرایب و توان‌های بدست آمده برای هرکدام از ابعاد حفره آبستگي در شرایط تعادل و تغییرات زمانی آن در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است.

در جدول‌های (۲ و ۳)، y_s بیشینه عمق حفره آبستگي، h_m بیشینه برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبستگي، x_d فاصله قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتها حفره آبستگي تا دهانه خروجی جت و R^2 توان دوم ضریب همبستگی بین داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی از روابط است.

از سایر پژوهشگران برای استخراج روابط مناسب برای تخمین ابعاد حفره آبستگي، بررسی چگونگی تاثیر هرکدام از پارامترها و آنالیز حساسیت مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های استفاده شده در این پژوهش و محدوده تغییرات آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

۴- ارایه روابط برای تخمین ابعاد حفره آبستگي

با توجه به آنالیز ابعادی انجام شده رابطه (۳) را می‌توان برای دو سری داده‌های موجود برای تخمین ابعاد حفره آبستگي استفاده کرد.

$$\frac{X}{D} = k_1 (k_2 + Fr_d)^{a_1} \cdot \left(\log \left(\frac{ut}{D} \right) \right)^{a_2} \cdot (\sigma)^{a_3} \cdot \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{a_4} \cdot \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{a_5} \cdot \left(\frac{B}{D} \right)^{a_6} \cdot (Re)^{a_7} \quad (3)$$

$$X = \{y_s, h_m, x_d\}$$

در رابطه (۳)، ضرایب k_1, k_2 و توان‌های a_1 تا a_7 می‌تواند از طریق حل یک مساله بهینه‌سازی نامقید، تعیین شود. بنابراین با در نظر گرفتن ضرایب k_1, k_2 و توان‌های a_1 تا a_7 به عنوان متغیرهای تصمیم، با کمینه سازی مجموع توان ۲ خطاها (SE)، رابطه (۴) بهترین ضرایب برای رابطه (۳)

جدول ۱. داده‌های استفاده شده در این پژوهش و محدوده تغییرات آنها

Number of data	Re	D/d ₅₀	σ	Y _t /D	B/D	log(ut/D)	Fr _d	Parameter researcher
1	6300	16	1.3	1	8.13	5.97	8.48	Rajaratnam and Macdougall (1981)
14	3100-32000	1-10	1.3	15-106	12-87	6.3-8.17	4.4-14	Rajaratnam (1983)
6	28000	62.2	1.3	1.32	13.1	3.97-5.4	4.76	Ali and Lim (1986)
19	7350	14.14	1.2	76.6	51.72	4.22-7	5.5	Ali and Salehi (1991)
10	8720	10.2	1.28	6.5	30.5	4.4-7.62	6.92	Balachandar and Kells (1997)
32	5400-30660	0.74-21.74	1.32-3.13	12-60	12.8-64	5.88-8.2	2.79-29.5	Ade and Rajaratnam (1998)
638	9500-44800	12.21	1.33	1-29	15.74	1.9-7.2	2.02-9.62	Ahsan (2003)
6	29000	11.81	1.3	4-20	15.74	4.7-7.7	6.21	Deshpande (2004)
16	25000	11.63	1.28	20	16	4.7-7.6	5.36	Bey et al. (2008)
742	2800-44800	0.74-62.2	1.2-3.13	1-106	8-51.72	1.9-8.2	2.02-29.5	Summary

Table (1)- The data used in present study and the range of their changes

جدول ۲. ضریب و توان های بدست آمده رابطه (۳) با استفاده از روش PSO برای داده های شرایط تعادل حفره آبشستگی

AAE		R ²		a ₇	a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁	k ₂	k ₁	
te	tr	te	tr										
24	20	0.9	0.94	0.014	0.24	-0.05	0.26	-0.64	0.01	1.19	0.52	0.15	y _s /D
25	22	0.92	0.95	0.01	0.13	-0.04	0.37	-0.6	0.01	1.2	1.95	0.1	h _m /D
20	17	0.89	0.92	0.01	0.54	0.01	-0.16	-0.47	0.01	0.7	-1.63	4.05	x _d /D

training data: tr •

test data: te •

Table (2)- coefficient and power obtained by relation (3) using PSO for equilibrium conditions scour hole data

جدول ۳. ضریب و توان های بدست آمده رابطه (۳) با استفاده از روش PSO با استفاده از تمامی داده ها

AAE		R ²		a ₇	a ₆	a ₅	a ₄	a ₃	a ₂	a ₁	k ₂	k ₁	coefficient Parameter
te	tr	te	tr										
23	20	0.91	0.97	0.01	0.1	-0.14	0.23	-0.52	1.33	0.85	-0.22	0.05	y _s /D
26	22	0.93	0.95	0.01	0.1	-0.1	0.27	-0.6	1.26	0.95	0.45	0.03	h _m /D
21	17	0.88	0.92	0.01	0.5	-0.1	-0.1	-0.52	1.31	0.92	0.08	0.2	x _d /D

Table (3)- coefficient and power obtained by relation (3) using PSO all data

عمق حفره آبشستگی، بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبشستگی و فاصله محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی تا دریچه بالادست تابعی نزولی از D/d_{50} است. با افزایش زمان و سرعت جت نیز، ابعاد افزایش می یابد. از این رو می توان انتظار داشت که مطابق توان مثبت ارایه شده در جداول (۲ و ۳) ابعاد حفره آبشستگی توابعی صعودی از $\log (ut/D)$ است. با افزایش عدد رینولدز جت نیز، ابعاد حفره آبشستگی با نرخ بسیار کمی افزایش می یابد. جداول (۴ و ۵) نشان دهنده دقت روابط بدست آمده با حذف هر کدام از پارامترها در گام های ۱ و ۲ است. لازم به گفتن است که اگر مقادیر AAE و R^2 بین جدول (۲ و ۴) و نیز بین جداول (۳ و ۵) تغییر چندانی نداشت یعنی این پارامترها بر ابعاد حفره آبشستگی تاثیر چندانی ندارند اما اگر با حذف پارامتری به خصوص از بین پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبشستگی مقدار AAE افزایش زیادی داشته و یا R^2 کاهش شدید داشت، نشان می دهد که ابعاد حفره آبشستگی وابستگی جدی به پارامتر حذف شده داشته و نمی توان آن پارامتر را از بین پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبشستگی حذف کرد. از نظر مفهوم فیزیکی مقدار R^2 نشان دهنده میزان همبستگی بین داده های پیش بینی شده و اندازه گیری شده بوده و AAE میزان اختلاف بین داده های اندازه گیری شده و پیش بینی شده را نشان می دهد. مقادیر

با توجه به توان های هر کدام از پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبشستگی که در جداول (۲ و ۳) ارایه شده است ابعاد حفره آبشستگی روندهای متفاوتی خواهند داشت. به عنوان نمونه بیشینه عمق حفره آبشستگی و ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبشستگی به صورت توابعی افزایشی از عدد فرود مصالح، عمق پایاب، B/D و عدد رینولدز جت است در حالی که این پارامترها به صورت توابعی نزولی از غیر یکنواختی مصالح و D/d_{50} است. در مورد دلایل روندهای مشاهده شده در مورد تاثیر هر کدام از پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفره آبشستگی می توان گفت با افزایش عدد فرود مصالح نسبت نیروی اینرسی به نیروی شناوری افزایش یافته و از این رو با افزایش این پارامتر بیشینه عمق حفره آبشستگی، بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبشستگی و فاصله محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبشستگی تا دریچه بالادست افزایش یافت.

برای اینکه در اعماق پایاب یکسان و عدد فرود مصالح یکسان به بررسی تاثیر D/d_{50} بپردازیم اگر اندازه ذرات کاهش یابد یعنی D/d_{50} افزایش یافته اما برای اینکه عدد فرود مصالح ثابت باشد باید سرعت جریان کاهش یابد در نتیجه تنش برشی وارد بر بستر کاهش یافته و از قدرت جریان برای آبشستگی کاسته می شود. در نتیجه چنین روندی

از پژوهشگران پیشین نیز تایید شده که دلیل آن را می توان تاثیر کم عدد رینولدز بر توسعه جت در شرایطی که عدد رینولدز جت بزرگتر از ۱۰۰۰۰ است، دانست [13]. از آنجایی که در این پژوهش ۹۷٪ آزمایش ها در شرایطی که عدد رینولدز جت بزرگتر از ۱۰۰۰۰ بوده انجام شده، پس نتایج تحلیل حساسیت نیز موید این مطلب است. بنابر این توصیه می شود، از روابط ساده تر زیر که از حذف پارامترهای کمتر تاثیر گذار بر ابعاد حفره آبستگي بدست آمده اند، برای شرایط تعادل روابط (۵-۷) و در شرایطی که به صورت زمانی تغییر خواهد کرد روابط (۸-۱۰) استفاده شود.

بزرگ R^2 و کوچک AAE نشان دهنده همبستگی بهتر و اختلاف کمتر بین داده های اندازه گیری شده و پیشبینی شده به وسیله ی روابط است.

می توان انتظار داشت با تغییرات پارامتر $\log (ut/D)$ ، تغییر چندانی در ابعاد حفره آبستگي ایجاد نشود. از این رو این پارامتر بر ابعاد حفره آبستگي در شرایط تعادل حفره آبستگي تاثیر چندانی نداشته و می توان از تاثیر آن بر ابعاد حفره آبستگي تعادل یافته چشم پوشی کرد. عدد رینولدز جت نیز یکی از پارامترهایی است که بر ابعاد حفره تاثیر چندانی نخواهد داشت. این مطلب به وسیله ی بسیاری

جدول ۴. تعیین میزان تاثیر حذف هر کدام از پارامترها بر ابعاد حفره آبستگي در شرایط تعادل

Main Eq. accuracy	Re	B/D	D/d ₅₀	Y _t /D	σ	Log (ut/D)	Fr _{d50}	Scour dimensions	Eliminated parameter / accuracy
23	25	37	24	62	36	23	1116	y _s /D	AAE
15	19	37	17	62	29	15	92	h _m /D	
20	23	462	20	52	28	20	261	x _d /D	
0.92	0.91	0.88	0.9	0.81	0.81	0.92	0.62	y _s /D	R ²
0.94	0.94	0.94	0.94	0.78	0.85	0.94	0.65	h _m /D	
0.85	0.85	0.3	0.85	0.84	0.8	0.85	0.18	x _d /D	

Table 4. the effect of each parameter elimination on scour hole dimensions in asymptotic condition

جدول ۵. تعیین میزان تاثیر حذف هر کدام از پارامترها بر ابعاد حفره آبستگي به صورت زمانی

Main Eq. accuracy	Re	B/D	D/d ₅₀	Y _t /D	σ	Log (ut/D)	Fr _{d50}	Scour hole dimensions	Eliminated parameter / accuracy
20	23	63	26	82	29	1165	553	y _s /D	AAE
27	28	35	28	63	32	92	58	h _m /D	
14	19	267	21	22	21	935	223	x _d /D	
0.97	0.96	0.91	0.43	0.8	0.87	0.75	0.165	y _s /D	R ²
0.94	0.93	0.93	0.93	0.75	0.92	0.75	0.72	h _m /D	
0.9	0.9	0.79	0.9	0.89	0.75	0.58	0.557	x _d /D	

Table 5. The effect of each parameter elimination on temporal variations of scour hole dimensions

$$\frac{y_s}{D} = 0.052 (-0.22 + Fr_d)^{0.85} \left(\log \left(\frac{ut}{D} \right) \right)^{1.33} \quad (۸)$$

$$(\sigma)^{-0.52} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{0.23} \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{-0.14} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.1}$$

$$\frac{h_m}{D} = 0.03 (0.45 + Fr_d)^{0.95} \left(\log \left(\frac{ut}{D} \right) \right)^{1.26} \quad (۹)$$

$$(\sigma)^{-0.6} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{0.27} \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{-0.1} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.1}$$

$$\frac{y_s}{D} = 0.15 (0.52 + Fr_d)^{1.19} (\sigma)^{-0.64} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{0.26} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.24} \quad (۵)$$

$$\frac{h_m}{D} = 0.1 (1.95 + Fr_d)^{1.2} (\sigma)^{-0.6} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{0.37} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.13} \quad (۶)$$

$$\frac{x_d}{D} = 4 (-1.63 + Fr_d)^{0.7} (\sigma)^{-0.47} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{-0.16} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.54} \quad (۷)$$

به رابطه (۱۱) ارایه داده است چرا که در این پژوهش $R^2=0/95$ است و برای پیش‌بینی بیشینه عمق حفره آبستگي مناسب است. لازم به گفتن است برای بررسی میزان دقت رابطه (۱۱) از آنجایی که این رابطه تنها برای شرایط تعادل حفره آبستگي ارایه شده است تنها داده‌های مربوط به شرایط تعادل حفره آبستگي در این مقایسه استفاده شده است. روابط محدودی در مورد پیش‌بینی ابعاد بیشینه عمق حفره آبستگي به صورت زمانی ارایه شده است که از جمله می‌توان به رابطه زیر اشاره کرد [8].

$$\frac{y_s}{R} = 0.09 \left(\frac{ut}{R} \right)^{0.33} \quad (12)$$

که در این رابطه R شعاع هیدرولیکی جت است. مقایسه داده‌های زمانی با رابطه ارایه شده به وسیله رابطه (۱۲) نشان داد که دقت این رابطه $AAE=225, 52/0$ $R^2=0/95$ است. شکل (۳) که دقت آن نسبت به رابطه ارایه شده در این پژوهش کمتر است. بنابراین یکی دیگر از مزیت‌های رابطه ارایه شده در این پژوهش پیش‌بینی زمانی بیشینه عمق حفره آبستگي با دقت بالا است. روابط محدودی برای پیش‌بینی سایر ابعاد حفره آبستگي (بیشینه ارتفاع برآمدگی و محل بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبستگي) تاکنون ارایه شده است که از معروفترین آنها می‌توان به روابط ارایه شده در جدول (۶) اشاره کرد. این روابط تنها برای تخمین ابعاد حفره آبستگي در شرایط تعادل ارایه شده‌اند و دقت پایین‌تری نسبت به روابط ارایه شده در این پژوهش دارند از این رو روابط ارایه شده در این پژوهش برای تخمین بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبستگي و محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی در انتهای حفره آبستگي نتایج بهتری نسبت به روابط پیشین ارایه داده‌اند و می‌توانند تغییرات زمانی ابعاد حفره آبستگي را نیز با دقت خوبی پیش‌بینی کنند.

مقایسه داده‌های زمانی با رابطه (۱۲) نشان داد

$$\frac{x_d}{D} = 0.2(0.08 + Fr_d)^{0.92} \left(\log \left(\frac{ut}{D} \right) \right)^{1.3} \quad (10)$$

$$(\sigma)^{-0.52} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{-0.1} \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{-0.1} \left(\frac{B}{D} \right)^{0.5}$$

با توجه به شکل‌های (۱ الف - ج) همبستگی خوبی بین داده‌های برداشت شده و پیش‌بینی شده وجود دارد و از این رو این روابط می‌توانند ابعاد حفره آبستگي را با دقت مناسب پیش‌بینی کنند.

بیشتر روابط ارایه شده بر مبنای محدوده داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده قابل کاربرد بوده و تنها رابطه ارایه شده به وسیله مرجع [2] با ترکیب داده‌های گذشته به رابطه - ای جامع‌تر برای پیش‌بینی بیشینه عمق حفره آبستگي رسیده است. در پژوهش اشاره شده نیز مقایسه‌ای بین داده‌ها و روابط موجود ارایه شده است که نشان دهنده بهتر بودن رابطه ارایه شده به وسیله مرجع [2] نسبت به پژوهش‌های گذشته است. از این رو اگر دقت رابطه ارایه شده در این پژوهش نسبت به رابطه مرجع [2] بهتر باشد می‌توان نتیجه گرفت رابطه ارایه شده در این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین از دقت بیشتری برخوردار است. رابطه مرجع [2] به صورت رابطه (۱۱) است.

$$\frac{y_s}{D} = 3Fr \left(1 - \tanh \left(\frac{0.013L}{D} \right) \right) K_{\sigma} K_D K_{Y_t} \quad (11)$$

$$\begin{cases} K_{\sigma} = 1, \sigma < 2.2 \\ K_{\sigma} = 1.2\sigma^{-2.4}, \sigma > 2.2 \end{cases} \begin{cases} K_D = 1, \frac{d_{50}}{D} < 0.6 \\ K_D = 0.6 \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{-1}, \frac{d_{50}}{D} > 0.6 \end{cases}$$

$$\begin{cases} K_{Y_t} = 1, \frac{Y_t}{D} \geq 6 \\ K_{Y_t} = 0.01 \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{2.6}, \frac{Y_t}{D} < 6 \end{cases}$$

در این رابطه Fr عدد فرود جت است. مقایسه بین داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به وسیله رابطه (۱۱) نشان داد که در این رابطه $AAE= 42, R^2=0/46$ شکل (۲).

رابطه ارایه شده در این پژوهش نتایج مناسب‌تری نسبت

شکل ۲. مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی از

رابطه ۱۷ ارایه شده به وسیله مرجع [2]

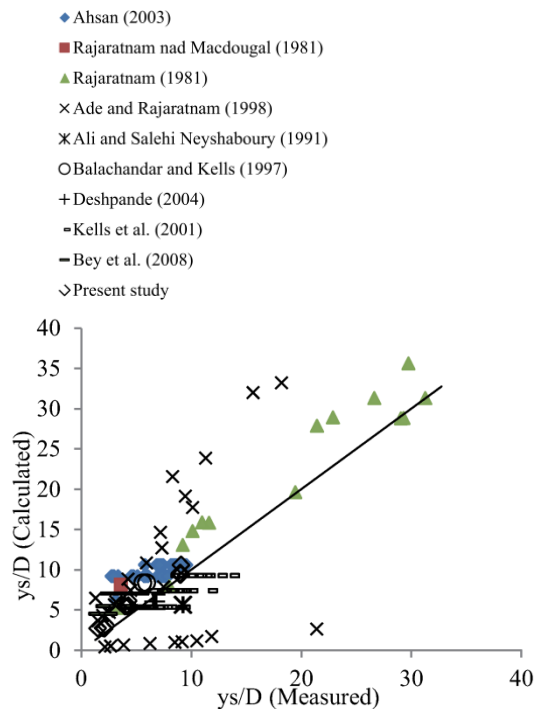


Fig. 2. Comparison between measured and predicted values using the equation [17]

شکل ۳. مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی از

رابطه (۱۲) ارایه شده توسط مرجع [8]

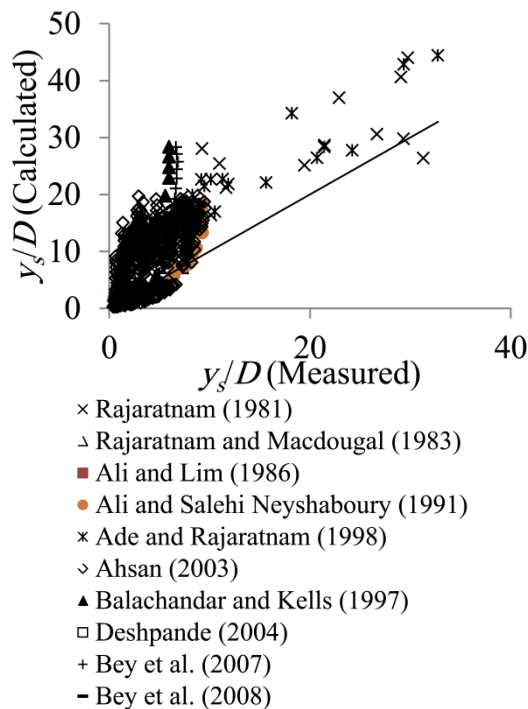


Fig. 3. Comparison between measured and predicted values using the equation [12]

که $R^2 = 0.52$ و $AEE = 225$ است شکل (۳) که دقت آن نسبت به رابطه ارایه شده در این پژوهش کمتر است. بنابراین یکی دیگر از مزیت‌های رابطه ارایه شده در این پژوهش پیش‌بینی زمانی بیشینه عمق حفرة آبستگي با دقت بالا است.

شکل ۱. بررسی میزان هماهنگی داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های اندازه-

گیری شده الف- عمق حفرة آبستگي، ب- بیشینه ارتفاع برآمدگی تشکیل

شده در انتها حفرة آبستگي و ج- فاصله محل قرارگیری بیشینه ارتفاع

برآمدگی تشکیل شده در انتها حفرة آبستگي تا دریچه

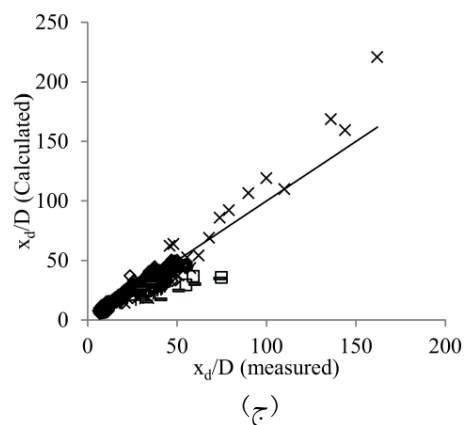
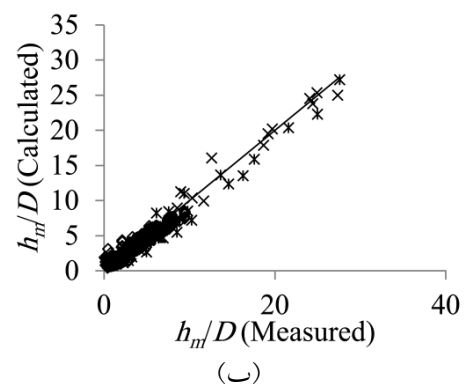
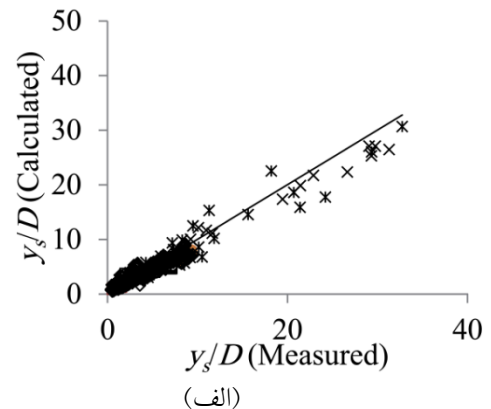


Fig. 1. The adjustment of measured and calculated values: a) depth of scour hole, b) ridge height, c) the distance of maximum ridge height position from upstream wall

۵- حساسیت سنجی الگوریتم PSO

در ابتدا برای بررسی اثر تعداد جمعیت در همگرایی جواب‌ها به جواب بهینه، مدل GPSO با تعداد تکرار کل برابر با ۱۰۰، اجرا شده و نتایج آن در شکل (۵) ارائه شده است. همان گونه که دیده می‌شود، روش GPSO با افزایش تعداد جمعیت به دلیل جستجوی بهتر فضای جوابها، به جواب‌های بهینه نزدیکتر می‌شود.

جدول ۶. تعدادی از روابط ارائه شده برای تعیین ابعاد حفره آبشستگی

Rajaratnam (1981)	$\frac{h_m}{D} = 2 / 5 (Fr_{d\Delta} - 3) \quad (13)$
Ahsan (2003)	$\frac{h_m}{D} = 0.02 \left[Fr_{d\Delta} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{1/4} \right]^2 + 0.021 Fr_{d\Delta} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{1/4} + 0.44 \quad (14)$
	$\frac{x_d}{D} = 0.02 \left[Fr_{d\Delta} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{1/4} \right]^2 + 3 / 64 Fr_{d\Delta} \left(\frac{Y_t}{D} \right)^{1/4} - 1 / 29 \quad (15)$
Ade and Rajaratnam (1998)	$\frac{h_m}{D} = -4 / 32 + 2 / 7 Fr_{d\Delta} \quad (16)$
	$\frac{x_d}{D} = -17 / 3 + 15 / 56 Fr_{d\Delta} \quad (17)$

Table 6. A set of previous equations to predict the scour hole dimensions

همچنین مشاهده می‌شود که برای جمعیت بالاتر از ۱۰۰ در تعیین جواب بهینه پیشرفت چندانی حاصل نمی‌شود. بنابراین می‌توان برای جستجوی فضا، با اطمینان از تعداد جمعیت ۱۰۰ استفاده نمود و نیاز به تعداد بیشتر رفع می‌شود. در ادامه برای بررسی اثر تعداد تکرار کل در همگرایی جواب‌ها به جواب بهینه، مدل GPSO با جمعیت برابر با ۱۰۰ اجرا شده و نتایج آن در شکل (۶) ارائه شده است. همان گونه که دیده می‌شود، روش GPSO با افزایش تعداد تکرار به دلیل جستجوی بهتر فضای جوابها، به جواب‌های بهینه نزدیکتر می‌شود. برای درک بهتر شکل (۶) اثر تعداد تکرار بر میزان تابع هدف و R^2 بین داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های پیش‌بینی شده ارائه شده است.

برای بررسی مدل LPSO اثر تعداد همسایگی در همگرایی جواب‌ها به جواب بهینه با تعداد تکرار کل برابر با ۲۰۰ و تعداد جمعیت ۱۰۰ اجرا شده و نتایج آن در شکل (۷) ارائه شده است.

همان گونه که دیده می‌شود، روش LPSO با تغییر تعداد همسایگی به جواب‌های مختلف دست می‌یابد. همان گونه که مشاهده می‌شود در مدل LPSO به دلیل وجود نقاط جاذب متعدد و فرار از نقاط بهینه محلی، با جستجوی بهتر فضای جستجوی مساله، نتایج بهتر از مدل GPSO ارائه داده است که بهترین جواب در حالت تعداد همسایگی برابر با $n=35$ حاصل شده است که ضرایب مربوط به رابطه نیز است.

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های در دسترس، به بررسی و ارائه روابطی برای تخمین ابعاد حفره آبشستگی ناشی از جت‌های دیواره‌ای صفحه‌ای پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد با وجود اینکه روابط بسیار زیادی برای تخمین ابعاد حفره آبشستگی ارائه شده است، اما با توجه به ضعف این روابط در تخمین ابعاد حفره آبشستگی نیاز به ارائه رابطه‌ای با دقت بیشتر و برای محدوده وسیعتری از پارامترهای بی‌بعد وجود دارد. از این رو از الگوریتم فراکاوشی PSO برای تعیین رابطه‌ای با حداقل خطا استفاده شد.

نتایج رابطه بدست آمده توسط این الگوریتم نشان داد که عمق حفره آبشستگی و ارتفاع برآمدگی تشکیل شده در انتهای حفره آبشستگی بصورت تابعی صعودی از عمق پایاب، عدد فرود مصالح، عدد رینولدز جت و نسبت بی‌بعد شده عرض کانال است در حالی که همین پارامترها تابعی نزولی از میزان غیر یکنواختی مصالح و نسبت بی‌بعد شده ضخامت جت به قطر متوسط مصالح است. روند اشاره شده در بالا برای فاصله محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی تا دریچه بالادست نیز مشاهده شد به جز تاثیر عمق پایاب که با افزایش عمق پایاب فاصله محل قرارگیری بیشینه ارتفاع برآمدگی تا دریچه بالادست کاهش می‌یابد.

شکل ۴. میزان دقت روابط ارایه شده پیشین در تخمین ابعاد حفره آبستگي الف- مقایسه با رابطه ۱۹ و ب- مقایسه با رابطه ۲۰، ج- مقایسه با رابطه ۲۲، د- مقایسه با رابطه ۲۱ و ه- مقایسه با رابطه ۲۳

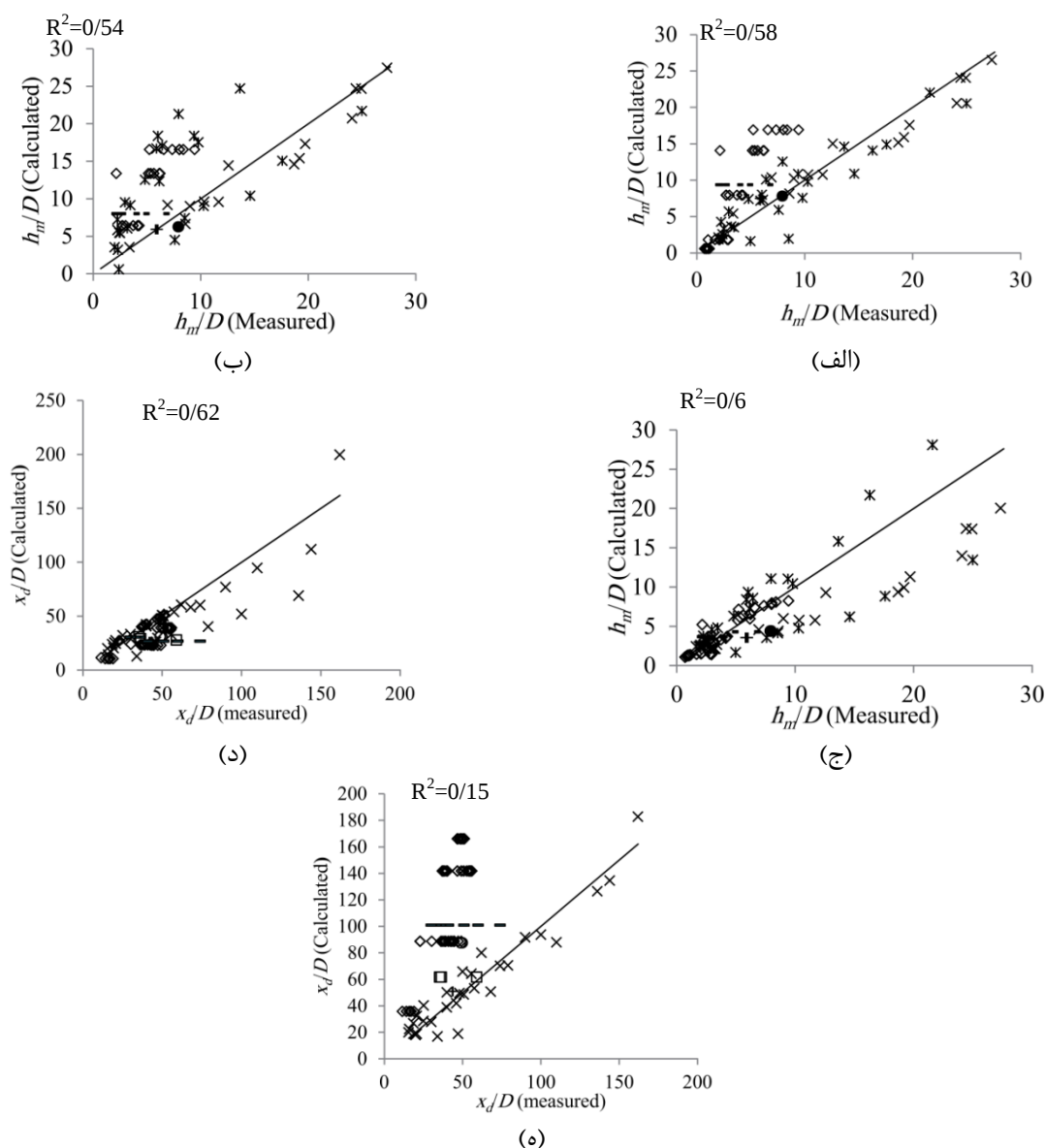


Fig. 4. The accuracy of the previous equations to predict the scour hole dimensions a) comparison with eq.19, b) comparison with eq.20, c) comparison with eq. 22, c) comparison with eq. 21 and d) comparison with Eq. 23

شکل ۶. اثر تعداد تکرار کل بر میزان SE در مدل GPSO

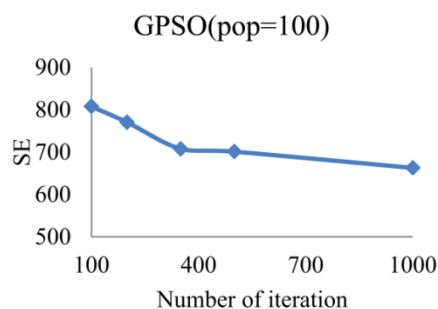


Fig. 6. The effect of the number of iteration on SE in GPSO model

شکل ۵. اثر تعداد جمعیت بر میزان SE در مدل GPSO

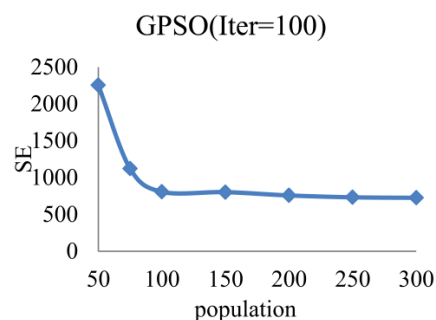


Fig. 5. The effect of the population on SE in GPSO model

city, 33-49.

[2] Mellville, B., Lim, S. Y. (2014). Scour caused by 2D horizontal jets. *Journal of hydraulic engineering*, 140(2), 149-155.

[3] Rajaratnam, N., Macdougall, R. (1981). Erosion by plane wall jets with minimum tailwater. *Journal of hydraulic engineering*, 109(7), 1061-1064.

[4] Rajaratnam, N. (1983). Erosion by plane turbulent jets. *Journal of hydraulic research*, 19(4), 339-358.

[5] Aderibigbe, O. and Rajaratnam, N. (1998). Effect of sediment gradation on erosion by plane turbulent wall jets. *Journal of hydraulic engineering*, 124(10), 1024-1042.

[6] Bey, A., Faruque, M.A.A. and Balachandar, R. 2008. Effects of varying submergence and channel width on local scour by plane turbulent wall jets. *Journal of hydraulic research*, 46(6), 764-776.

[7] Rajaratnam, N. and Mazurek, K. (2003). Erosion of sand by circular impinging water jets with small tailwater. *Journal of hydraulic engineering*, 129(3), 225-229.

[8] Ali, K. H. M., Lim, S. Y. (1986). Local scour caused by submerged wall jet. *Proceeding institution of civil engineers*, 81, 607-645.

[9] Ahsan, M. D. (2003). Submergence effects on local scour. Msc Thesis, University of Windsor.

[10] Ali, K.H.M., and SalehiNeyshaboury, S.A. (1991). Localized scour downstream of a deeply submerged horizontal jet. *Proceeding institution of civil engineers*. 91(2), 1-18.

[11] Deshpande, N. (2004). Effects of submergence and test start up conditions on local scour by plan turbulent wall jets. Msc Thesis, University of Windsor.

[12] Balachandar, R., and Kells, J.A. (1997). Local channel scour in uniformly graded sediments: the time-scale problem. *Canadian journal of civil engineers*. 24, 799-807.

[13] Rajaratnam, N. (1976). *Turbulent jets*. Elsevier scientific publishing company.

[14] Kennedy, J., and Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of the International Conference on Neural Networks*, IEEE. 1942-1948.

[15] Reynolds, C., Flocks, H., and Schools. (1987). A Distributed Behavioral Model. *Computer Graphics*, 21(4), 25-34.

[16] Heppner, F., and Grenander, U. (1990). A stochastic nonlinear model for coordinate bird flocks.

[17] Eberhart, R.C., Simpson, P., and Dobbins, R. (1996). *Computational Intelligence PC Tools*. Academic Press, 212-226.

[18] Shi, Y., and Eberhart, R. (1998). Parameter selection in Particle Swarm Optimization. In: Porto VW, Saravanan N, Waagen D and Eiben AE (eds) *Evolutionary Programming VII*, 611-616.

[19] Shi, Y., and Eberhart, R. (1998). A modified Particle Swarm Optimizer. *Proceedings of the 1998 IEEE Conference on Evolutionary Computation*.

[20] Carlisle, A., and Dozier, G. (2001). An Off-The-Shelf PSO. *Proceedings of the Particle Swarm Optimization Workshop*, 1-6.

[21] Kennedy, J. (1998). The behavior of particles. In: Porto VW, Saravanan N, Waagen D and Eiben AE (eds) *Evolutionary Programming VII*, 581-590.

شکل ۷. اثر تعداد همسایگی بر میزان SE در مدل LPSO

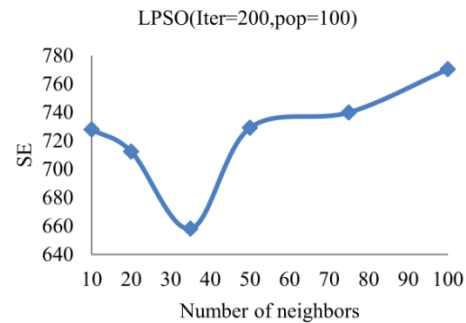


Fig. 7. The effect of the number of neighbors on SE in LPSO model

آنالیز حساسیت نشان داد که در بین پارامترهای تاثیرگذار بر ابعاد حفرة آبشستگی تاثیر پارامترهای عدد رینولدز جت و D/d_{50} نسبت به سایر پارامترها کمتر است از این رو می توان با حذف این پارامترها از روابط پیشنهادی به رابطه ای ساده تر دست پیدا کرد بدون اینکه تغییر چندانی در دقت رابطه نهایی ارایه شده وجود داشته باشد.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که جواب به دست آمده از روش PSO با همسایگی فراگیر و محلی از دقت بسیار بالایی برخوردار بوده و برازش با کمینه انحراف، حاصل می شود. همچنین با تحلیل حساسیت بر پارامترهای موثر بر روش PSO مشخص شد که در میان این دو مدل، جواب های حاصل از مدل با همسایگی محلی از کیفیت بهتری برخوردار است. همچنین تحلیل حساسیت بر تعداد جمعیت و تعداد نقاط همسایگی شان نشان داد که روش PSO به ازای مقادیر مختلف آنها می تواند به جواب های نزدیک به بهینه مختلفی دست یابد که در بین آنها یک جواب به عنوان بهترین آنها انتخاب می شود، پس این مطالعه نشان می دهد که انجام فرآیند تحلیل حساسیت در مطالعات بهینه سازی امری ضروری است.

References

۷- مراجع

[1] Rouse, H. (1939). Criteria for similarity in the transportation of the sediment. *Bull*, 20, University of Iowa

Application of PSO Algorithm in estimating the formation of scour holes caused by 2D wall jets

Mojtaba Mehraein¹, Seyyed Hamed Meraji²

1. Assistant Prof. Kharazmi University, Tehran- Iran(Corresponding author)

2. Assistant Prof. Persian Gulf University, Boushehr- Iran

mehraein@khu.ac.ir

Abstract:

Interaction between jets and loose beds may cause scour hole formation. The scour hole developments may cause structural instability and increase the probability of structural damage. Hence, estimating the scour hole's dimensions is an important subject for engineers. Many researches have been conducted to recognize the effective parameters in determining the dimensions of the scour holes caused by plane wall jets. It has been resulted in presenting many different equations which many of them may be accurate in specific quantitative ranges for the effective parameters. In reference to the available experimental information, appropriate equations are developed in this paper. Using the dimensional analysis, effective parameters including non dimensional parameters such as Froude densimetric, Reynolds number, non-dimensional form of the sediment size, standard deviation of the sediment mixture, tail water depth, non dimensional form of the channel width and non dimensional form of the time are obtained. Following an optimization procedure, new metaheuristic methods are used to find the optimum effective parameters and their quantitative ranges. Particle swarm optimization (PSO) is a biologically inspired algorithm originated from animal social dynamics, e.g., bird flocking. PSO algorithm is used to find the unknown exponents and coefficients for the parameters leading to the best proposed equations. Two different algorithms including Local Particle Swarm Optimization (LPSO) and Global Particle Swarm Optimization (GPSO) are used to find unknown coefficients and exponents. Performing a sensitivity analysis, the algorithm proposed different coefficients and exponents for different population values. Among the proposed coefficients and exponents, there is a best set with minimum error. Comparison between the experimental data and previous proposed equations confirms strong scatter. Hence, using the metaheuristic algorithm and sensitivity analysis in this type of problems are recommended. According to the results, depth of the scour hole caused by plane wall jets, is increasing functions of densimetric Froude number, tail water depth, time, and non dimensional form of the channel width. However, this parameter is a decreasing function of sediment gradation and non dimensional form of the sediment size. Similar trends were also observed for maximum ridge height formed at the downstream of the scour hole. Distance of the maximum height of the ridge is also an increasing function of densimetric Froude number, time, non dimensional form of the channel width, and Reynolds number of the jet. However this parameter is a decreasing function of standard deviation of the sediment mixture and tailwater depth. Sensitivity analysis on the effective parameters determining the scour hole's dimension is conducted to find the more effective parameters. The latter shows that Reynolds number, non dimensional form of the sediment size and non dimensional form of time has secondary effects on the dimensions of the scour hole caused by plane wall jets. However, the jet Reynolds number has the secondary effect on temporal variations of scour hole's dimensions. This parameters are omitted from the effective parameters, where no significant decrease in the equation accuracy is guaranteed.

Keywords: Scour, Plane wall jets, PSO Algorithm