

کاربرد روش جستجوی ژنتیکی در بهینه‌سازی روابط تجربی تخمین مشخصه‌های هندسی حفره‌ی آبشستگی پائین‌دست سازه‌های تثبیت‌کننده‌ی بستر

امیر احمد دهقانی^{۱*}، مهری عبدی دهکردی^۲

۱- دانشیار مهندسی عمران، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانش آموخته مهندسی منابع آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

a.dehghani@gau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۰۵

چکیده- بخش مهمی از مطالعات صحرایی به بررسی بیشینه عمق آبشستگی پائین‌دست سازه‌های کنترلی و تثبیت‌کننده‌ی بستر مانند سریز، آب‌بند و غیره می‌پردازند؛ همچنین برخی از پژوهشگران روابط تجربی متعددی را به منظور برآورد بیشینه عمق آبشستگی در شرایط هیدرولیکی معین ارائه کردند. در این مطالعه ضرایب روابط تجربی ارائه شده به وسیله‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) برای بررسی خصوصیات بستر پائین‌دست سازه‌های کنترلی و تثبیت‌کننده‌ی بستر، با استفاده از روش جستجوی ژنتیکی بهینه شده است. به این منظور از مجموعه داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی جمع‌آوری شده به وسیله‌ی سایر پژوهشگران برای آموزش این معادلات و سنجش میزان دقت و کارایی آن‌ها استفاده شد؛ این مجموعه داده‌ها در مقیاس‌های متفاوت اندازه‌گیری شده و دارای توزیع دانه-بندی اندازه‌ی ذرات متفاوت است. دقت هر یک از روابط بهینه شده با کاربرد شاخص‌های آماری مختلف، با روابط ارائه شده توسط داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد مقادیر شاخص‌های آماری درصد خطا، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا و میانگین خطای اریبی در روابط بهینه شده به میزان قابل توجهی کاهش یافته است؛ پس روابط بهینه شده به وسیله‌ی روش جستجوی ژنتیکی نسبت به روابط تجربی موجود از دقت و کارایی بیشتری در تخمین مشخصه‌های هندسی حفره‌ی آبشستگی پائین‌دست سازه‌های کنترلی و تثبیت‌کننده‌ی بستر برخوردار است.

واژگان کلیدی: بیشینه عمق آبشستگی، سازه‌های کنترلی و تثبیت‌کننده‌ی بستر، روش جستجوی ژنتیکی.

۱- مقدمه

می‌باشد. بیشتر این پارامترها با یکدیگر مرتبط بوده و تعیین مقادیر آن‌ها دشوار است (شکل ۱). در روند فرایند تشکیل پروفیل آبشستگی جابه‌جایی محلی و نقطه‌ای رسوبات مرتب صورت می‌گیرد و با نزدیک شدن به وضعیت تعادل،

آبشستگی موضعی پائین‌دست یک سازه با عرض b و ارتفاع Z که در یک بستر آبرفتی قرار گرفته است، پدیده‌ای پیچیده و پویا بوده که تحت تأثیر پارامترهای زیادی

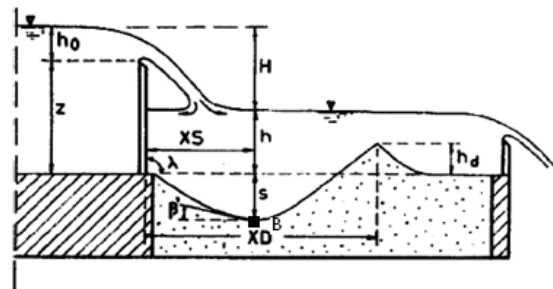
مسون و آراماگام (۱۹۸۵) مقایسه نمودند [۱]؛ ایشان با بهره-گیری از روش جستجوی ژنتیکی برای انتخاب شبکه مناسب و بهینه‌سازی وزن‌های ورودی و خروجی، شبکه پسانتشار خطا را به‌عنوان شبکه مطلوب مورد استفاده قرار دادند. جمع‌بندی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که رابطه‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روابط تجربی تخمین بیشینه عمق آبستگي به کار می‌رود. پس با توجه به آن‌که از روش جستجوی ژنتیکی برای بهینه‌سازی مسائل مهندسی استفاده می‌شود، در پژوهش حاضر ضرایب و توان‌های رابطه‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) به نحوی اصلاح می‌شود که خطای موجود بین نتایج حاصل از روابط پیشنهادی و مقادیر اندازه‌گیری شده کمینه شود.

۲- مواد و روش‌ها

در جدول ۱ معادلات تجربی ارائه شده به وسیله‌ی رز و دادیا^۱ (۱۹۵۳) [۶]، مسون و آراماگام (۱۹۸۵) [۱۰]، برمان و ژولین (۱۹۹۱) [۲] و داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) [۴]، برای برآورد بیشینه عمق آبستگي پایین‌دست سازه‌های کنترل‌کننده‌ی تراز سطح آب نشان داده شده است.

در این روابط: k_1, k_2 : مقادیر ثابت، T : زمان، Q : دبی جریان $(\frac{m^3}{s})$ ، h : عمق آب (m)، H : ارتفاع سقوط بین عمق آب بالادست و عمق پایاب (m)، g : شتاب ثقل $(\frac{m}{s^2})$ ، d_s : قطر نماینده اندازه ذرات (m)، Z : ارتفاع سازه (m)، U_0 : متوسط سرعت جریان بالادست سازه $(\frac{m}{s})$ ، β' : بیشترین زاویه طرف بالادست حفره آبستگي (rad)، λ : زاویه‌ی حفره‌ی آبستگي با سازه‌ی سرریز (rad)، y_0 : عمق جریان بروی تاج سرریز (m)، S : بیشینه عمق آبستگي (m)، B : عرض کانال (m) که ممکن است با b (عرض سرریز) متفاوت باشد، p_s : چگالی رسوبات و p : چگالی آب است.

پدیده به سمت ایجاد یک پدیده‌ی هیدرولیکی که در آن حفره‌ی ایجاد شده در نتیجه تعادل جرمی بین اجزاء فرسایش یافته و تنشین شده در حفره است، پیش می‌رود. در شرایط تعادل نرخ آبستگي بسیار کم شده و در این هنگام آبستگي بیشینه رخ می‌دهد [۴]. برآورد بیشینه عمق آبستگي در برنامه‌ریزی‌های مناسب، طراحی و مدیریت سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت زیادی برخوردار است.



شکل (۱) آبستگي پایین‌دست سازه‌ی کترلی سرریز

تعدادی از پژوهشگران مانند چی و پادیار^۱ (۱۹۶۹) [۳]، مسون و آراماگام^۲ (۱۹۸۵) [۱۰]، برمان و ژولین (۱۹۹۱) [۲]، مسا^۳ (۱۹۹۸) [۱۱] و داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) [۴]، آبستگي پائین‌دست سازه‌های کترلی و تثبیت‌کننده‌ی بستر را مطالعه کرده و براساس داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده در شرایط متفاوت از نظر جریان، زمان، نوع سازه و غیره، روابط تجربی مختلفی را برای تخمین بیشینه عمق آبستگي ارائه کرده‌اند. لیریانو و دی^۴ (۲۰۰۱) در مطالعه‌ی خود عملکرد بهتر شبکه‌ی عصبی مصنوعی نسبت به روابط تجربی در برآورد میزان آبستگي را نشان دادند [۹]؛ همچنین گون و گونل^۵ (۲۰۰۸)، توانایی شبکه‌ی عصبی مصنوعی در تخمین بیشینه عمق آبستگي را ارزیابی کردند و نتایج حاصل را با روابط داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) و

1- Chee and Padiyar
2- Mason and Arumugam
3- Mossa
4- Liriano and Day
5- Guven and Gunel

6- Rouse and Doddiah

جدول (۱) معادلات تجربی برآورد بیشینه عمق آبستگي در پایین دست سازه‌های کنترل کننده تراز سطح آب

معادله‌ی تجربی	نام محقق
$\frac{S}{h} = k_1 + k_2 \text{Log} \left(\frac{QT}{bZ^2} \right)$	دادیا و همکاران (۱۹۵۳)
$\frac{S}{\left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}} = (6.42 - 3.1H^1)g^{-H/600} \times \left(\frac{gH^3}{q^2}\right)^{200+H/600} \left(\frac{H}{d_s}\right)^{1/10} \left(\frac{h}{H}\right)^{3/20}$	مسون و آراماگام (۱۹۸۵)
$S = \left[\frac{0/611}{[\text{Sin}(0.436 + \beta')^{0.8} q^{0.6} \frac{U_0}{g^{0.8} d_{90}^{0.4} \text{Sin} \beta'}]} \right] - Z$	برمان و ژولین (۱۹۹۱)
$\beta' = 0.316 \text{Sin} \lambda + 0.15 \text{Ln} \left(\frac{Z + h_0}{h_0} \right) + 0.13 \text{Ln} \left(\frac{h}{h_0} \right) - 0.05 \text{Ln} \left(\frac{U_0}{\sqrt{gh_0}} \right)$	
$\frac{S}{Z} = 0.54 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.593} \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.126} (A_{50})^{0.544} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-0.856} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.751}$	داگوستینو و فروو (۲۰۰۴)

وسيله‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) جهت محاسبه بیشینه عمق آبستگي، فاصله افقی بین تاج سازه و محل وقوع حداکثر عمق آبستگي، فاصله افقی بین تاج سازه و محل وقوع حداکثر رسوب‌گذاری و ارتفاع پشته ایجاد شده بهینه گردد؛ بدین منظور از داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی جمع‌آوری شده از پژوهش‌های پیشین استفاده شد.

۲-۱- مجموعه داده‌های مورد استفاده

برای واسنجی معادله مربوط به محاسبه بیشینه عمق آبستگي از داده‌های آزمایشگاهی که نتیجه مطالعات ورونیز (۱۹۳۷) [۱۳]، برمان و ژولین (۱۹۹۱) [۲]، داگوستینو (۱۹۹۴) [۵] و مسا (۱۹۹۸) [۱۱] بود، استفاده شد و به‌منظور آزمون کارایی معادله‌ی پیشنهادی نیز از داده‌های جمع‌آوری شده به وسیله‌ی لنزی و همکاران (۲۰۰۰) [۸]، مطالعه‌ی انجام شده در رودخانه میسیاگا به نقل از داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) [۴]، فالسییای و گیاکومین (۱۹۷۸) [۷]، مطالعات صحرایی در مقیاس بزرگ (ورونیز (۱۹۳۷) [۱۳]، اسکیمی^۱ (۱۹۳۹) [۱۲] و ویتیکر و اسکلیس^۲ (۱۹۸۴) [۱۴] و شهابی (۲۰۱۰) [۱۵] استفاده شد. در جدول ۲ مقیاس مطالعه و پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر یک از این پژوهش‌ها ذکر شده است. همچنین در جدول

در سال‌های اخیر رابطه‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) که بر پایه‌ی تئوری تشابه فردی ناقص استوار است، نسبت به سایر معادلات تجربی از کارایی بیشتری در برآورد بیشینه عمق آبستگي برخوردار است. ایشان مقدار عمق آبستگي را به‌صورت تابعی از مقادیر پارامترهای مختلف در نظر گرفتند و با انجام آنالیز ابعادی π باکینگهام، مقادیر بیشینه عمق آبستگي (S)، فاصله افقی تاج سازه تا محل بیشینه آبستگي (X_S)، فاصله افقی تاج سازه تا نوک پشته (X_D) و بیشترین ارتفاع پشته ایجاد شده (h_D) را به‌صورت تابعی از گروه‌های بدون بعد در نظر گرفته و معادلات زیر را به‌منظور برآورد مقادیر فوق ارائه کردند.

$$\frac{S}{Z} = a_1 \left(\frac{b}{Z}\right)^{a_2} \left(\frac{h}{H}\right)^{a_3} (A_{50})^{a_4} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{a_5} \left(\frac{b}{B}\right)^{a_6} \quad (۱)$$

$$\frac{X_S}{Z} = a_1 \left(\frac{b}{Z}\right)^{a_2} \left(\frac{h}{H}\right)^{a_3} (A_{90})^{a_4} \left(\frac{b}{B}\right)^{a_5} \quad (۲)$$

$$\frac{X_D}{Z} = a_1 \left(\frac{b}{Z}\right)^{a_2} \left(\frac{h}{H}\right)^{a_3} (A_{50})^{a_4} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{a_5} \left(\frac{b}{B}\right)^{a_6} \quad (۳)$$

$$\frac{h_D}{Z} = a_1 \left(\frac{h}{H}\right)^{a_2} (A_{90})^{a_3} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{a_4} \left(\frac{b}{B}\right)^{a_5} \quad (۴)$$

در روابط فوق a_1 تا a_6 ضرائب ثابت بوده که براساس مطالعات آزمایشگاهی تعیین می‌شوند [۴].

در مطالعه‌ی حاضر سعی شده است با به‌کار بردن الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک ضرائب روابط ارائه شده به

1- Scimemi

2- Whittaker and Schleiss

۳ محدودی هر یک از پارامترها ارائه شده است.

سازی است. این روش، ابتدا با یک نگاشت مناسب و معکوس‌پذیر، استراتژی‌های ممکن برای حل مسأله را به رشته‌هایی کد شده (معمولاً دودویی) می‌نگارد، به این ترتیب مسأله‌ی یافتن پاسخ مناسب، معادل می‌شود با یافتن یک رشته خاص.

۳- روش جستجوی ژنتیکی

روش جستجوی ژنتیکی تلاشی برای شبیه‌سازی و به-کارگیری برخی خصوصیات و توانایی‌های تکامل در بهینه-

جدول (۲) مجموعه داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر

نام محقق	تعداد داده	عمق آبستنگی (m)	پارامترهای مورد استفاده	مقیاس مطالعه
مطالعات آزمایشگاهی				
داگوستینو (۱۹۹۴)	۱۱۴	۰/۰۴۵-۰/۲۸۵	B, z, h ₀ , d ₅₀ , d ₉₀ , h, q	آزمایشگاهی
برمان و ژولین (۱۹۹۱)	۸۸	۰/۱-۱/۴	B, z, h ₀ , d ₅₀ , d ₉₀ , h, q, λ	آزمایشگاهی در مقیاس بزرگ
لنزی و همکاران ^۱ (۲۰۰۰)	۱۳	۰/۰۱۶-۰/۰۵۳	B, z, h ₀ , d ₅₀ , h, q	آزمایشگاهی در مقیاس کوچک
مسا (۱۹۹۸)	۱۹	۰/۰۳۵۲-۰/۱۴۵	B, z, h ₀ , d ₅₀ , h, q, λ	آزمایشگاهی
ورونیز ^۲ (۱۹۳۷)	۳۶	۰/۰۵۵-۰/۲۲	B, z, h ₀ , d _m , h, q	آزمایشگاهی
شهابی (۲۰۱۰)	۱۹	۰/۱۴۴-۰/۲۱۱	B, z, h ₀ , d ₅₀ , d ₉₀ , h, q	آزمایشگاهی
مطالعات صحرایی				
فالسبیای و گیاکومین ^۳ (۱۹۷۸)	۲۹	۰/۴-۳/۵	B, z, h ₀ , d ₅₀ , h, q	صحرایی
رودخانه میسیاگا ^۴	۱۳	۰/۱۵-۰/۶۵	B, z, h ₀ , d ₅₀ , h, q	صحرایی
مطالعات در مقیاس بزرگ	۳	۳-۲۸	B, z, h ₀ , d ₅₀ , h, q	صحرایی در مقیاس بزرگ

جدول (۳) محدوده تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در مطالعات پیشین

نام محقق	B (m)	z (m)	d ₅₀ (mm)	d ₉₀ (mm)	q (m ² /s)	h ₀ (m)	h (m)
داگوستینو (۱۹۹۴)	۰/۵	۰/۴۱ ، ۰/۷۱	۱۱/۵ ، ۴/۱	۱۷/۶ ، ۷	۰/۱۶۷-۰/۰۱۶۷	۰/۰۴۳-۰/۲۰۶	۰/۰۸۳-۰/۴۳۵
برمان و ژولین (۱۹۹۱)	۰/۹۱	۰/۳۸-۰/۰۵	۰/۴۵-۰/۳	۱/۷۱-۱/۵۸	۲/۵-۰/۳	۱/۳۶-۰/۱۱	۱/۶۵-۰/۲۴
لنزی و همکاران (۲۰۰۰)	۰/۶	۰/۰۸۳-۰/۰۱۸	۸/۵	۸/۵	۰/۰۲۹۲-۰/۰۰۶۷	۰/۰۷-۰/۰۲	۰/۰۷۷-۰/۰۳
مسا (۱۹۹۸)	۰/۳	۰/۰۹	۲	۲	۰/۰۱۴۸-۰/۰۰۴۵	۰/۰۵۶-۰/۰۲۱	۰/۰۸۶-۰/۰۲۵
ورونیز (۱۹۳۷)	۰/۵	۱/۱۴۲-۰/۹۸۲	۳۶/۱۴،۲۱،۲/۹،۲/۱	۳۶/۱۴،۲۱،۲/۹،۲/۱	۰/۰۸۲۸-۰/۰۱۲۳	۰/۱۲۷-۰/۰۳۶	۰/۲۵-۰/۰۵
شهابی (۲۰۱۰)	۰/۵۸	۰/۱۴-۰/۰۸	۱/۵	۱/۵	۰/۰۲۴-۰/۰۰۹	۰/۱۹-۰/۱۳	۰/۱۱۲-۰/۰۴۵
فالسبیای و گیاکومین (۱۹۷۸)	۲۵-۳/۳	۶/۲-۰/۳	۰/۱-۰/۰۱۹	۰/۱-۰/۰۱۹	۱۳/۴-۱/۲	۳/۹۶۱-۰/۷۹۳	۴/۹۹۶-۱/۱۲۸
رودخانه میسیاگا	۱۰/۸-۷/۵	۱/۳۵-۰/۵۵	۶۰	۱۵۵	۰/۵۳۱-۰/۳۶۹	۰/۴۶-۰/۳۶۱	۰/۶۶۹-۰/۴۸۲
مقیاس بزرگ	۵۸-۱۱/۶	۵۷-۱۲/۹	۷۵-۱۰۰	۱۵۰-۳۱۵۰	۲۷۵-۴/۵۷	۲۹/۶۹-۲	۴۰-۵

1- Lenzi et al.

2- Veronese

3- Falciai and Giacomini

4- Missiaga

نحوه تغییر ژن‌ها بستگی به فضای تعریف شده الگوریتم دارد. از آنجایی که در این پژوهش، از سیستم دودویی استفاده شده است، پس در صورتی که ژن، حاوی مقدار صفر باشد، به یک تبدیل می‌شود و بالعکس. انتخاب ژن‌ها در مجموعه بر اساس میزان جهش انجام می‌شود و مقدار بهینه‌ی آن بستگی به نوع تابع و اندازه جامعه دارد. به منظور توزیع یکنواخت در انتخاب ژن‌ها، ابتدا کروموزوم مربوطه و سپس ژن مورد نظر به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. در روش جستجوی ژنتیکی یافتن جواب بهینه از نقاط مختلف میدان حل آغاز می‌شود پس کمتر درون چاله‌های موضعی قرار می‌گیرد [۱۶].

۴- نتایج و بحث

۴-۱- محاسبه بیشینه‌ی عمق آبستگی

برای استفاده از الگوریتم ژنتیک لازم است در ابتدا تابع هدف تعیین شده و سپس در طی مراحل بهینه‌سازی مقدار آن حداقل و یا حداکثر گردد. در مطالعه‌ی حاضر مجموع مربعات خطای مقادیر مشاهده شده و برآورد شده از هر یک از روابط به‌عنوان تابع هدف منظور شد. علاوه بر این تعداد افراد جمعیت اولیه ۵۰۰ نفر و نرخ عملگر جهش ۰/۰۱ در نظر گرفته شد. سپس در هر مرحله با تغییر ضرائب، مقدار تابع هدف حداقل شد. این مراحل آنقدر تکرار شد تا مقدار تابع هدف در طی ۲ مرحله متوالی ثابت باقی ماند، در این هنگام ضرائب به‌دست آمده به عنوان ضرائب بهینه در نظر گرفته شدند. به این ترتیب معادله‌ی برآورد بیشینه‌ی عمق آبستگی ارائه شده به وسیله‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) (۶-الف) به صورت رابطه‌ی (۶-ب) بهینه شد.

$$\frac{S}{Z} = 0.54 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.593} \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.126} (A_{50})^{0.544} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-0.856} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.751} \quad (6)$$

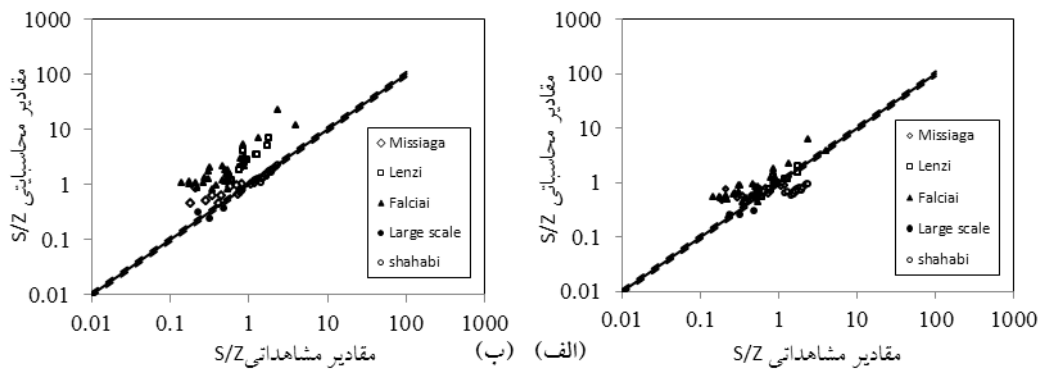
به این منظور با انتخاب مجموعه‌ای تصادفی از رشته‌ها، جمعیتی از پاسخ‌های بالقوه برای این مسأله‌ی ایجاد می‌کند، آنگاه افراد این جمعیت براساس تابع هدف که معیار سنجش کارایی آن رشته است، برای بقا و ایجاد پاسخ‌های جدید و بهتر با یکدیگر رقابت می‌کنند و به این ترتیب در نسل‌های متوالی با استفاده از عملگرهای سه‌گانه انتخاب، ترکیب و جهش، کمیت و کیفیت پاسخ‌های مناسب افزایش پیدا می‌کند و این روند تا همگرایی الگوریتم و یافتن پاسخ نهایی ادامه می‌یابد.

کدبندی: روش جستجوی ژنتیک بکار رفته در این تحقیق بر اساس یک سیستم دودویی شامل (۰ و ۱) می‌باشد. در این حالت پارامترهای مدل به مبنای ۰ و ۱ انتقال یافته و به عبارت دیگر رمزارد می‌شوند. چنانچه محدوده تغییرات هر پارامتر (a,b) باشد و میزان دقت اعداد (Δni) برابر با ۰/۰۰۱ باشد، می‌توان با استفاده از رابطه‌ی زیر تعداد ژن‌ها (ni) را محاسبه کرد:

$$2^{ni} \geq \left(\frac{b_i - a_i}{\Delta n_i} + 1\right), \quad a_i \leq x_i \leq b_i \quad (5)$$

عملگر ترکیب: به منظور جستجو و بررسی در فضای تعریفی پارامترها برای تعیین مقادیر بهینه، دو کروموزوم از مجموعه‌ی قبل انتخاب شده و کروموزوم‌های جدید را تشکیل می‌دهند. بدین ترتیب که ابتدا محلی برای برش مشخص شده و سپس بخش‌های سمت راست محل برش با هم جابجا می‌شود. انتخاب محل برش بصورت تصادفی بوده و می‌تواند شامل یک و یا چند موقعیت باشند؛ در این تحقیق، عمل دورگه شدن با یک موقعیت برش در نظر گرفته شده است.

عملگر جهش: این روش برای افزایش تنوع در جامعه و گسترش فضای جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ در نتیجه امکان دستیابی به نقاط بهینه‌ی مطلق افزایش می‌یابد.



شکل (۲) مقایسه بین مقادیر محاسباتی نسبت بیشینه عمق آبستگي در مقابل مقادير مشاهده شده؛ الف) رابطه ی ۶-الف و ب) رابطه ی ۶-ب

گرفتن رابطه ی بهینه شده به دلیل کمتر شدن اختلاف بین مقادير مشاهده شده و مقادير برآورد شده، پراکندگی نقاط در اطراف خط ۴۵ درجه کاهش یافته است.

جدول (۴) مقایسه کارایی معادلات ۶-الف و ۶-ب در تخمین بیشینه عمق آبستگي

شاخص های آماری				
CORR	RMSE	MBE	PE	
۰/۷۶	۲/۷۱	۱/۶۲	۱۲/۸۱	رابطه ۶-الف
۰/۹۳	۱/۴۷	۰/۵۸	۴۶/۰۹	رابطه ۶-ب

۴-۲- محاسبه محل وقوع بیشینه میزان آبستگي

محل وقوع بیشینه ی میزان آبستگي (X_S)، برای تعیین شیب بالادست حفره آبستگي از اهمیت فراوانی برخوردار است. داگوستینو و فروو (۲۰۰۴)، با تجزیه و تحلیل آماری بر روی داده های مسا (۱۹۹۸)، داگوستینو (۱۹۹۴) و برمان و ژولین (۱۹۹۱) رابطه ی ۷-الف را به منظور تعیین فاصله افقی تاج سرریز تا محل وقوع بیشینه ی میزان آبستگي ارائه نمودند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک این رابطه به صورت رابطه ی ۷-ب بهینه شد.

$$\frac{X_S}{Z} = 1.616 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.662} \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.117} A_{90}^{0.455} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.478} \quad (7\text{-الف})$$

$$\frac{S}{Z} = 0.317 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.434} \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.286} (A_{50})^{0.524} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-0.049} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.043} \quad (6\text{-ب})$$

مقایسه دو رابطه نشان می دهد توان های پارامترهای بدون بعد b/B و d_{90}/d_{50} کاهش یافته است، که نشان دهنده ی تاثیر کم این پارامترها در مقایسه با پارامترهای دیگر برای محاسبه ی بیشینه ی عمق آبستگي است.

به منظور بررسی کارایی این دو رابطه، از شاخص های آماری درصد خطا^۱، میانگین خطای اریبی^۲، ریشه ی میانگین مربعات خطا^۳ و ضریب همبستگی^۴ استفاده شد؛ مقادیر این شاخص های آماری در مجموعه داده های آزمون در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد رابطه ی ۶-ب بیشینه ی عمق آبستگي را با درصد خطای کمتری برآورد می نماید؛ همچنین مقدار شاخص RMSE که بزرگی خطا را نشان می دهد و شاخص MBE که نشانگر میزان انحراف از خط نیمساز است، در رابطه ی بهینه شده از مقادیر کمتری برخوردار است.

در شکل ۲ مقادیر مشاهده شده نسبت بیشینه ی عمق آبستگي به ارتفاع سازه در مقابل مقادیر تخمین زده شده از روابط ۶-الف و ۶-ب برای مجموعه داده های آزمون ترسیم شده است. همان گونه که مشاهده می شود با در نظر

- 1- Percent Error
- 2- Mean Bias Error
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Correlation Coefficient

۴-۳- خصوصیات مربوط به پشته‌های ایجاد شده در اثر پدیده‌ی آبستگی

داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) به منظور ارائه روابط ۸-الف و ۹-الف برای تخمین محل وقوع بیشینه‌ی میزان رسوب‌گذاری و ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری، از داده‌های جمع‌آوری شده به وسیله‌ی داگوستینو (۱۹۹۴) استفاده نمودند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک، روابط ۸-ب و ۹-ب با ضرایب بهینه به دست آمد:

$$\frac{X_D}{Z} = 5.828 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.341} \left(\frac{h}{H}\right)^{0.041} \quad (۸-الف)$$

$$A_{50}^{0.508} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-1.077} \left(\frac{b}{B}\right)^{0.057} \quad (۸-ب)$$

$$\frac{X_D}{Z} = 4.014 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.36} \left(\frac{h}{H}\right)^{0.039} \quad (۸-ب)$$

$$A_{50}^{0.495} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-0.344} \left(\frac{b}{B}\right)^{0.438} \quad (۸-ب)$$

$$\frac{h_D}{Z} = 2.78 \left(\frac{h}{H}\right)^{0.061} \quad (۹-الف)$$

$$A_{90}^{0.764} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-2.489} \left(\frac{b}{B}\right)^{0.794} \quad (۹-الف)$$

$$\frac{h_D}{Z} = 1.91 \left(\frac{h}{H}\right)^{0.066} \quad (۹-ب)$$

$$A_{90}^{0.783} \left(\frac{d_{90}}{d_{50}}\right)^{-1.91} \left(\frac{b}{B}\right)^{1.439} \quad (۹-ب)$$

نتایج ارزیابی کارایی روابط ارائه شده با استفاده از داده‌های شهابی (۲۰۱۰) در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول (۶) مقایسه کارایی معادلات ۸-الف و ۸-ب در تخمین محل وقوع بیشینه‌ی رسوب‌گذاری و معادلات ۹-الف و ۹-ب در تخمین حداکثر ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری

شاخص‌های آماری				
CORR	RMSE	MBE	PE	
۰/۸	۰/۴۱	۰/۳۹	۱۵/۲۳	رابطه ۸-الف
۰/۸۱	۰/۲۸	۰/۲۷	۱۰/۲۸	رابطه ۸-ب
۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۲۸	۱۹۴/۴۶	رابطه ۹-الف
۰/۵۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۱۱۸/۰۵	رابطه ۹-ب

در شکل ۴، مقادیر مشاهده شده نسبت محل وقوع بیشینه

$$\frac{X_S}{Z} = 1.622 \left(\frac{b}{Z}\right)^{0.41} \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.173} \quad (۷-ب)$$

$$A_{90}^{0.602} \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.066}$$

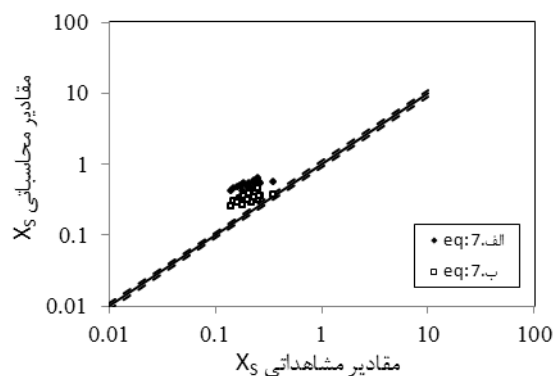
نتایج مربوط به کاربرد شاخص‌های آماری به منظور مقایسه‌ی میزان دقت این روابط براساس داده‌های شهابی (۲۰۱۰)، در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌های آماری درصد خطا، میانگین خطای اریبی و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا در رابطه‌ی ۷-ب از مقادیر کمتری برخوردار است که نشان دهنده‌ی افزایش دقت برآوردها است.

جدول (۵) مقایسه کارایی معادلات ۷-الف و ۷-ب در تخمین محل

وقوع بیشینه‌ی آبستگی

شاخص‌های آماری				
CORR	RMSE	MBE	PE	
۰/۶۳	۰/۳	۰/۳	۲۷/۷۳	رابطه ۷-الف
۰/۵۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۱۱/۷۸	رابطه ۷-ب

در شکل ۳ مقادیر محاسباتی نسبت محل وقوع بیشینه‌ی عمق آبستگی به ارتفاع سازه در مقابل مقادیر مشاهده شده برای مجموعه داده‌های آزمون ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود استفاده از رابطه‌ی ۷-ب، پراکندگی نقاط در اطراف خط ۴۵ درجه را کاهش می‌دهد.



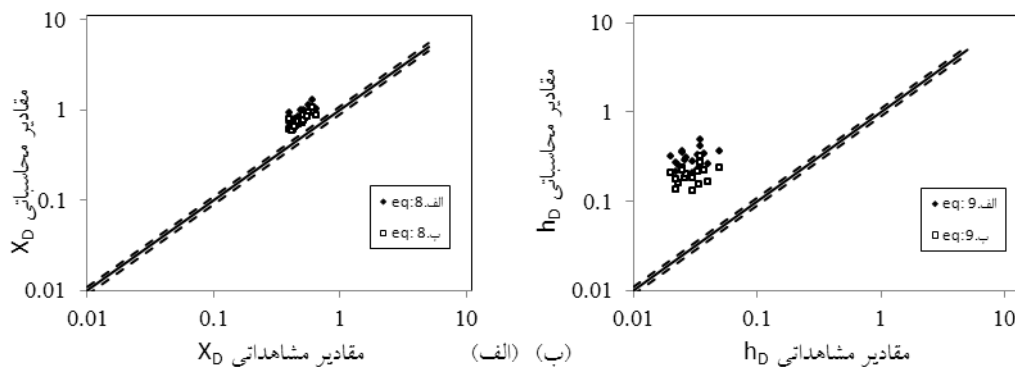
شکل (۳) مقایسه بین مقادیر محاسباتی نسبت محل وقوع بیشینه‌ی آبستگی به ارتفاع سازه در مقابل مقادیر مشاهده شده با کاربرد روابط ۷-الف و ۷-ب

معادلات استفاده شد؛ این مجموعه داده‌ها در مقیاس‌های متفاوت برداشت شده و دارای توزیع دانه‌بندی اندازه‌ی ذرات متفاوت می‌باشند. کارایی و دقت هر یک از معادلات بر-اساس شاخص‌های آماری درصد خطا، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریبی و ضریب همبستگی و با استفاده از مجموعه داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی مستقل از داده‌های آموزش، بررسی شد و با نتایج به‌دست آمده از معادلات ارائه شده به وسیله‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد مقادیر شاخص‌های آماری ریشه‌ی میانگین مربعات خطا که نشان دهنده‌ی بزرگی خطا است و میانگین خطای اریبی که میزان انحراف از خط نیمساز را نشان می‌دهد، در روابط بهینه شده کاهش یافته است؛ همچنین روابط بهینه شده با کاربرد روش الگوریتم ژنتیک برای محاسبه‌ی بیشینه‌ی عمق آبستنگی، بیشینه‌ی ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری، فاصله افقی تاج سریز تا محل وقوع بیشینه‌ی رسوب‌گذاری و بیشینه‌ی ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری با داشتن مقادیر درصد خطای کمتر (۴۶/۰۹، ۱۱/۷۸، ۱۰/۲۸ و ۱۱۸/۰۵) نسبت به روابط ارائه شده توسط داگوستینو و فروو (۱۲۸/۱، ۲۷/۷۳، ۱۵/۲۳ و ۱۹۴/۴۶) با دقت و اطمینان بیشتری قادر به تخمین و برآورد هر یک از پارامترهای مذکور است.

رسوب‌گذاری و ارتفاع پشته به ارتفاع سازه و مقادیر محاسباتی از روابط داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) و روابط بهینه شده برای مجموعه داده‌های آزمون ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که نتایج روابط به دست آمده با استفاده از روش جستجوی ژنتیکی نسبت به روابط داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) بهتر در اطراف خط ۴۵ درجه پراکنده شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای بررسی خصوصیات بستر پایین‌دست سازه‌های کنترل‌کننده‌ی تراز سطح آب در زمان آبستنگی، روش جدیدی جایگزین روش مرسوم رگرسیون غیرخطی شده است؛ این روش بر مبنای روش جستجوی ژنتیکی استوار است. با به‌کار بردن این روش، معادلات ارائه شده به وسیله‌ی داگوستینو و فروو (۲۰۰۴) برای محاسبه پارامترهای مختلف مانند بیشینه عمق آبستنگی (S)، فاصله افقی تاج سریز تا محل وقوع بیشینه آبستنگی (X_D)، فاصله افقی تاج سریز تا محل وقوع بیشینه رسوب‌گذاری (X_D) و بیشینه ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری (h_D) بهینه شده‌اند. به این منظور از مجموعه داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی جمع‌آوری شده به وسیله‌ی سایر پژوهشگران برای آموزش این



شکل (۴) مقایسه بین مقادیر محاسباتی محل وقوع بیشینه‌ی رسوب‌گذاری و حداکثر ارتفاع پشته‌ی رسوب‌گذاری و مقادیر مشاهده شده با کاربرد الف) روابط ۸-الف و ۸-ب و ب) روابط ۹-الف و ۹-ب

۶- منابع

- [10] Mason, P. J. and Arumugam, K; Free jet scour below dams and flip buckets; *Journal of Hydraulics Engineering, ASCE*; 1985, 111(2), 220-235.
- [11] Mossa, M; Experimental study on the scour downstream of grade-control structures. In: Proc., 26th Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, September, 1998, 3, 581-594.
- [12] Scimemi, E; Sulla relazione che intercede fra gli scavi osservati nelle opere idrauliche originali e nei modelli. *Energy Elettrotecnica*; 1939, 16(11), 3-8 (in Italian).
- [13] Veronese, A; Erosioni di fondo a valle di uno scarico. *Annal. Lavori Pubbl*; 1937, 75(9), 717-726 (in Italian).
- [14] Whittaker, J. G. and Schleiss, A; Scour related to energy dissipaters for high head structures. *Mitt. Nr. 73 VAW/ETH, Zurich*. 1984.
- [15] شهابی، م؛ "آبشستگی موضعی پایین دست سازه ترکیبی سرریز دریچه." پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران- واحد بین الملل دانشگاه شیراز؛ ۱۳۸۹؛ ۱۲۰ صفحه.
- [16] دهقانی، ا. ا.، منتظر، غ.، نصیری، ف. و قدسیان، م؛ "استفاده از الگوریتم ژنتیکی و شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی مقاطع سدهای وزنی بتنی"; *فنی و مهندسی مدرس*؛ ۱۳۸۵، ۲۵، ۹۹ - ۱۱۲.
- [1] Aytac Guven, A. and Gunal, M.; Prediction of scour downstream of grade-control structures using neural networks; *Journal of Hydraulics Engineering*. 2008; 134(11), 1656-1660.
- [2] Bormann, N. E. and Julien, P. Y; Scour downstream of gradecontrol structures; *Journal of Hydraulics Engineering, ASCE*; 1991, 117(5), 579-594.
- [3] Chee, S. P. and Padiyar, P. V; Erosion at the base of flip buckets. *Engineering Journal*; 1969, 52(111), 22-24.
- [4] D'Agostino, V., and Ferro, V; Scour on alluvial bed downstream of grade-control structures; *Journal of Hydraulics Engineering*; 2004, 130(1), 24-37.
- [5] D'Agostino, V; Indagine sullo scavo a valle di opere trasversali mediante modello fisico a fondo mobile. *Energ. Elettr*; 1994, 71(2), 37-51 (in Italian).
- [6] Doddiah, D., Albertson, M. L. and Thomas, R; Scour from jets. *Proc., 5th Congr. Int. Assoc. for Hydraulic Res., Minneapolis*, September, 1953; 161-169.
- [7] Falciati, M. and Giacomini, A; Indagine sui gorghi che si formano a valle delle traverse torrentizie. *Italia Forestale Montana*; 1978, 23(3), 111-123 (in Italian).
- [8] Lenzi, M. A., Marion, A., Comiti, F. and Gaudio, R; Riduzione dello scavo a valle di soglie di fondo per effetto dell'interferenza tra le opere. In Proc., 27th Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, September, 2000, 3: 271-278 (in Italian).
- [9] Liriano, S.L. and Day, R. A; Prediction of scour depth at inlets using neural networks; *Journal of Hydroinformatics*; 2001, 3, 231-238.

«Research Note»

Application of genetic algorithms in the optimization of empirical relations to estimate of geometrical characteristics of the scour hole downstream of grade control structures

A.A. Dehghani^{1*}, M. Abdi Dehkordi²

1- Associated Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and natural Resources

2- MSc graduated, Gorgan University of Agricultural Sciences and natural Resources

a.dehghani@gau.ac.ir

Abstract:

Grade-control structures are aimed at preventing excessive channel-bed degradation in alluvial channels and at the outlet of a grassed waterway to stabilize the waterway outlet. The erosive action of the weir overflow may, however, cause significant local scour downstream and may endanger the stability of these structures. The scour process can be split up into different time phases. In the beginning the development of scour is very fast, and eventually an equilibrium situation is reached depending on clear water or live bed flow condition.

Appropriate design of grade-control structures requires estimate geometric characteristics of the downstream scour. The local scour downstream of a grade-control structure located on an alluvial bed is a very complex and dynamic phenomenon which is influenced by many parameters. Most of these parameters are related to each other and determination of them is difficult. The estimation of maximum scour depth is very important in planning, design and management of hydraulic structures.

Therefore, there is a great need to develop good prediction methods for geometric characteristics of scour hole downstream of grade control structures. Some of researchers studied scour downstream of grade-control structures and presented different empirical equations for estimation of maximum scour depth based on experimental data. The results of literatures show that the equation of D'Agostino and Ferro (2004) can be used as one of the most important empirical equations to estimate the maximum scour depth.

In this study, coefficients of D'Agostino and Ferro (2004) equation to estimate of the maximum scour depth, horizontal distance between the weir crest and the maximum scour depth position, horizontal distance between the weir crest and sand deposition and maximum height of sediment deposition, were optimized by applying genetic algorithm.

For this purpose, the field and laboratory data of Veronese (1937), Bormann and Julien (1991), D'Agostino(1994), Mossa (1998), Lenzi et al. (2000), Missiaga stream (2004), Falciai and Giacomini (1978), Some large-scale data ((Veronese 1937), Scimemi (1939), Whittaker and Schleiss (1984)) and shahabi (2010) were used for training and validation of the equations.

The efficiency and accuracy of each equations were examined based on statistical Analyses such as percent error, root mean square error, mean bias error and correlation

coefficient using independent data sets of training data and were compared with the results obtained from the equations proposed by D'Agostino and Ferro (2004).

The results show that the value of percent error, root mean square error, mean bias error and correlation coefficient for maximum scour depth, horizontal distance between the weir crest and the maximum scour depth position, horizontal distance between the weir crest and sand deposition and maximum height of sediment deposition were 46.09, 11.78, 10.28 and 118.05, respectively. The corresponding values are 128.1, 27.73, 15.23 and 194.46 by using D'Agostino and Ferro relation.

The results showed that the root mean square error and mean bias error are decreased by using proposed equations and the accuracy of obtained results by presented equations is higher than D'Agostino and Ferro (2004) equations. So it is recommended to use the proposed relations for assessing the characteristics of scour hole downstream of grade control structures.

Keywords: Scouring, Control structures, Experimental studies, Field studies, Genetic algorithm.