

برآورد دبی اوج ناشی از شکست سدهای خاکی بر اساس الگوهای آماری چندمتغیره

مهسا نوری^۱ - سعیدرضا خداشناس^{۲*} - حجت رضایی پژند^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲

چکیده

شکست سد و جاری شدن آب ذخیره شده در پشت آن یکی از حوادث ناگوار و غیرقابل کنترل است. بیشترین خسارت در دبی اوج (Q_p) شکست رخ می‌دهد که اگر با دقت مناسب پیش‌بینی شود، می‌توان سیلاب پایاب را با روش‌های هیدرولیکی به‌خوبی پهنه‌بندی کرد و خسارات وارد را کاهش داد. پژوهشگران مختلف روابطی برای تخمین Q_p ارائه داده‌اند. اطلاعات آن‌ها مبتنی بر ۱۴۰ سدخاکی شکسته شده در دنیا است که ۳۴ عدد از آن‌ها اطلاعات کافی دارند و قابل تحلیل هستند. روابط ارائه شده از دیدگاه آماری به‌خوبی تدوین نشده است. هدف این مقاله ارائه الگویی برتر با دقت خوب برای تخمین Q_p است. رعایت موازین آماری شامل: آزمون‌های اولیه، آسیب شناسی و کارایی از نوآوری‌های این مقاله است. الگوهای متعدد خطی و غیرخطی بر داده‌ها برازش داده شد. آزمون‌های اولیه شامل آزمون‌های ضرورت وجود متغیرهای توضیحی، تحلیل واریانس و غیره انجام شد. آسیب شناسی الگوها شامل همگنی، تثبیت واریانس، استقلال و داده پرت با آماره‌ها و نمودارهای مربوط انجام شد. تحلیل‌ها سه دسته الگوی رغیب را نشان داد که برترین الگوی هر دسته انتخاب شد. ضریب تعیین آن‌ها از ۰/۸۶ تا ۰/۸۶۴ است. کارایی نسبی با آماره RMSE محاسبه شد. نتایج نشان داد که این الگوها در مقایسه با الگوهای سایر پژوهشگران از دقت بیشتری برخوردارند. از نظر هیدرولیکی با توجه به آن که دبی عبوری Q_p متناسب با $H_w^{1.5}$ می‌باشد، نتایج نشان می‌دهد الگوی (۳) ارائه شده در این تحقیق، هم از لحاظ آماری و هم از لحاظ هیدرولیکی تخمین بهتری برای Q_p نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آسیب شناسی، دبی اوج، شکست سد، ضریب تعیین، کارایی

مقدمه

(S) و ارتفاع سد (H_d) بستگی دارد (۱). فرولیک و شمسایی و موسوی نشان دادند که دو عامل H_w و V_w بیشترین تأثیر را در تخمین Q_p دارند (۴ و ۱۰). محققین مختلف نیز روابطی برای محاسبه Q_p برحسب عوامل فوق ارائه کرده‌اند. فرولیک رابطه‌ای برای Q_p با در نظر گرفتن دو عامل H_w و V_w ارائه داد (جدول ۱) (۴). شمسایی و موسوی با بررسی روابط متعدد فوق، مدعی شدند که رابطه فرولیک دقیق‌تر از روابط دیگر است (۱۰). شمسایی و موسوی رابطه جدیدی بین Q_p و H_w و V_w با داده‌های مربوط به سدهای خاکی شکسته شده در جهان با روش‌های چندمتغیره (تحلیل ابعادی) ارائه کردند (جدول ۱). آن‌ها مدعی شدند که رابطه ارائه شده دقیق‌تر از سایر روابط است (۱۰). میانگین مربعات خطا (MSE) معیار تشخیص برتری روش‌ها بوده است. کیرک پاتریک رابطه بین Q_p و H_w را به‌دست آورد. این رابطه غیرخطی بوده و از داده‌های مربوط به شکست سدها استفاده شده است (۱۴). رابطه فوق فقط عامل H_w را در نظر گرفته است. تحلیل آماری قابل قبولی روی این الگو انجام نشده است. مک دونالد و لاگرنیچ منولیس دو رابطه برای تعیین Q_p ارائه داده‌اند که هر دو براساس H_w و V_w بنا شده‌اند (جدول ۱).

همه ساله خسارات جانی و مالی جبران ناپذیری در نواحی مختلف جهان بر اثر وقوع حوادث غیرمترقبه مانند وقوع سیل وارد می‌شود. شکست سد و بوجود آمدن امواج سیلابی ناشی از آن نیز یکی از حوادث ناگوار و غیر قابل کنترل است. بیشترین خسارت در دبی اوج (Q_p) این شکست رخ می‌دهد (۱۶). می‌توان پهنه سیلابی مربوط به این دبی اوج را در پایین دست به روش‌های هیدرولیکی و به خوبی مشخص کرد. این کار می‌تواند از خسارات سیلاب خروجی در پایین دست بکاهد (۳ و ۸). این عمل در صورتی امکان‌پذیر است که قبل از شکست سد بتوان برآورد خوبی از Q_p به‌دست آورد. Q_p حاصل از شکست سد به عوامل مهمی مانند: ارتفاع آب روی شکاف (H_w)، حجم آب روی شکاف (V_w)، سطح مخزن (A)، حجم ذخیره

۱ و ۲ - به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)
۳ - مربی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

جدول ۱- روابط مهم تخمین دبی اوج ناشی از شکست سدهای خاکی در جهان

Table 1- Important equations to estimate peak outflow caused by the dam failure in the world

| ردیف Row | نام پژوهشگر Researcher name | الگو Model |
|-------------|---|--|
| 1 | کریک پاتریک (۱۹۷۷) Crick Patrick (1977) | $Q_p = 1/26 \sqrt{H_w + 0/3}^{2/5}$ |
| 2 | مک دونالد و لاگرینج منو پلیس (۱۹۸۴) MacDonald and Langridge-Monopolis (1984) | $Q_p = 1/54 (V_w \cdot H_w)^{1/412}$ $Q_p = 3/58 (V_w \cdot H_w)^{1/411}$ |
| 3 | ایوانس (۱۹۸۶) Ivance (1986) | $Q_p = 0/72 (V_w)^{1/53}$ |
| 4 | USBR (۱۹۸۸) | $Q_p = 19/1 (H_w)^{1/85}$ |
| 5 | فرولیک (۱۹۹۵) Frolich (1995) | $Q_p = 0/607 (V_w^{1/290} \cdot H_w^{1/24})$ |
| 6 | شمسایی و موسوی (۲۰۰۴) Shamsaei and Mousavi (2004) | $Q_p = 0/0657 \sqrt{H_w^{1/703} \cdot V_w^{1/2649}}$ |

پدیده شکست سد و معادلات حاکم

شکست سد یک مسئله هیدرولیکی و ژئوتکنیکی است که در پی آن حجم آب انباشته شده در مخزن در زمان کوتاهی تخلیه و سیلاب عظیمی در پایاب ایجاد می‌کند. این پدیده به دلیل رها شدن حجم عظیمی از آب در مدت زمان کوتاه و انتشار امواج ناگهانی از سایر پدیده‌های هیدرولیکی متمایز بوده و بررسی آن اهمیت ویژه‌ای دارد (۶).

شکست سدها به علت پدیده‌های روگذری (ناتوانی ظرفیت تخلیه سرریز)، پدیده ایجاد لوله (سوراخ شدن بدنه سد به علت نفوذ آب) (۱۲)، لغزش شیب خاکریز، زلزله، روان‌گرایی، ایجاد موج ضربه‌ای (ورود توده لغزشی به داخل مخزن) یا در اثر خرابکاری صورت می‌گیرد (۱۳). پدیده شکست سد از نوع جریان غیرماندگار متغیرسریع است که از دیدگاه ریاضی بامعادلات آب‌های کم عمق تبیین می‌شود (۱۱). این معادلات در حالت یک بعدی به صورت معادلات سنت-ونانت بوده و با فرض توزیع فشار هیدرواستاتیک و یکنواختی سرعت جریان در کانالهای مستطیلی شیب‌دار بنا شده‌اند. اساس کار مبتنی بر اصل بقای جرم و اندازه حرکت است (۱۲). معادلات حاکم بر جریان‌های غیردائمی یک بعدی به صورت معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی (رابطه ۱ و ۲) است (۵ و ۱۱).

$$(1) \text{ معادله پیوستگی جریان} \quad h \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

آسیب شناسی الگو از دیدگاه آماری انجام نشده است (۷). ایوانس رابطه‌ای برای برآورد Q_p برحسب V_w به دست آورد (جدول ۱) که فقط عامل H_w در این رابطه استفاده شده است (۱۴). USBR رابطه‌ای توانی بین Q_p و H_w پیشنهاد کرد (جدول ۱) (۶). پژوهشگران فوق روش رگرسیون را برای به دست آوردن معادلات پیشنهادی استفاده کرده‌اند. رگرسیون یک فن ریاضی است که نیاز به آزمون‌های اولیه و آسیب شناسی دارد. آسیب شناسی رد و قبول الگو را رقم می‌زند (۲ و ۱۷). بررسی الگوهای فوق نشان داد که به آسیب شناسی الگوها توجه نشده است. بنابراین نمی‌توان رد و قبول الگوهای فوق را از نظر ریاضی تایید کرد. هدف و نوآوری این مقاله ارائه الگوهای جدید خطی و غیرخطی بین Q_p و سایر عوامل مانند H_w و V_w در حالت شکست سد است که بتواند خطای برآورد Q_p را کاهش دهد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و موقعیت

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از اطلاعات مربوط به ۱۴۰ سد خاکی شکسته شده در جهان به دست آمده است (۱۰ و ۱۵). بررسی و غربال نشان داد که اطلاعات فقط ۳۴ عدد از سدها در مورد پدیده دبی اوج کامل بوده که در این تحقیق استفاده شده است. داده‌های مربوط به این شکست‌ها در جدول ۲ آمده است.

افزار به صورت جدول و نمودارهای مناسب است که می‌تواند در نتایج و بحث به‌خوبی عمل کند.

نتایج و بحث

شکست سد و جاری شدن آب ذخیره شده در پشت آن سیلابی عظیم و مخرب با دبی اوج (Q_p) ایجاد می‌کند. تخمین Q_p قبل از شکست سد و تعیین پهنه سیلابی حاصل در پایین دست می‌تواند خسارات جانی و مالی را کاهش دهد. هدف این مقاله ارائه روابط جدید با خطای کمتر برای تخمین دبی اوج (Q_p) حاصل از سدهای شکسته شده بر اساس عوامل H_w و V_w است. غربال اولیه داده‌های مربوط به ۱۴۰ سد خاکی شکسته شده در جهان نشان داد که فقط ۳۴ مورد از این سدها اطلاعات کافی را برای الگوبندی $Q_p = f(V_w, H_w)$ دارند. هدف و پیکربندی نتایج و بحث این مقاله شامل: انتخاب الگوی مناسب (برازش الگو)، آزمون‌های لازم اولیه (قبول اولیه الگو)، توجه به آسیب شناسی الگو و همچنین مقایسه خطای برآورد (کارایی نسبی) الگوهای محققین دیگر با الگوهای معرفی شده است. تعداد الگوهای مناسب زیاد است که می‌توان آن‌ها را به سه دسته خطی، ضربی برحسب H_w و V_w و تبدیل یافته برحسب Q_p (غیرخطی برحسب Q_p) دسته‌بندی کرد. الگوی برتر هر دسته انتخاب و سه الگو در نهایت به‌عنوان الگوهای رقیب گزینش شدند. ضریب تعیین آن‌ها (قدرت تقریبی الگو) نزدیک به هم است. به همین دلیل مشخصات هر سه به‌طور خلاصه در نتایج و بحث آمده‌اند (جدول‌های ۳ و ۴، شکل‌های ۲ تا ۶). چون بحث رگرسیون مفصل و همراه با جداول و نمودارهای متعدد است، فقط تحلیل آماری الگوی دوم که کمترین خطا را ارائه می‌دهد به‌مشروح بیان می‌شود. روش گام به گام در تحلیل رگرسیونی استفاده شده است. قابل ذکر است که الگوهای ارائه شده برای شرایط $Q_p \leq 37360$ و $H_w \geq 0.5m$, $V_w \geq 300000m^3$ کاربرد دارند.

برازش و قبول اولیه الگوها

اولین گام تحلیل مقدماتی با رسم نمودار پراکنش ماتریسی انجام شد (شکل ۱). این شکل نشان می‌دهد که رابطه تقریبی بین Q_p و H_w خطی یا توانی است. همچنین یک داده پرت در امتداد محور طول‌ها (پرت موثر) بین Q_p و V_w به چشم می‌خورد. نمودار پراکنش H_w و V_w نیز نشان از وابستگی کم این دو متغیر توضیحی دارد. بنابراین می‌توان این دو را هم‌زمان در الگو وارد کرد. الگوهای مختلف خطی و غیرخطی برای شناخت رابطه بین Q_p و H_w و V_w با نرم افزار Spss (روش گام به گام) و با نردبان تبدیل بر داده‌ها برازش داده شد. نردبان تبدیل در بازه $[-2, 2]$ در نظر گرفته شده است.

(۲) معادله دینامیکی

$$\mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{g} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{g}(\mathbf{S}_0 - \mathbf{S}_f)$$

پارامترهای این معادلات شامل: v سرعت، h عمق جریان، x و t ابعاد فاصله و زمان، g شتاب ثقل، S_0 شیب بستر و S_f شیب خط انرژی است. S_f با رابطه مانینگ محاسبه می‌شود.

اگر چه روش‌های هیدرولیکی برای پیش‌بینی سیلاب ناشی از شکست سد با نرم افزارهای مختلف توسعه زیادی یافته است، اما با توجه به پیچیده بودن مساله و عدم امکان لحاظ کردن همه پارامترهای موثر در تحلیل هیدرولیکی، روش‌های آماری نیز در این زمینه توسعه زیادی پیدا کرده‌اند. رابطه‌ای بین پارامترهای اصلی موثر یعنی Q_p و H_w و V_w در این روش‌ها با داده‌های موجود با استفاده از فنون آماری به‌دست می‌آید. علم آمار فرض می‌کند که عملکرد معادلات حاکم در رخ داد پدیده (مشاهده یا داده) نهفته است. روش آماری منجر به تعیین معادلاتی می‌شود که می‌توان عوامل مورد نیاز را از روی مشاهدات تقریب زد. این رویکرد بیشترین توجه پژوهشگران مختلف را به خود جلب کرده است.

رگرسیون

رگرسیون چندگانه ابزاری سودمند در الگوبندی پارامترهای موثر در Q_p است. رگرسیون به‌خوبی می‌تواند جنبه‌های آماری الگو را بررسی و به نمایش بگذارد. این کار با آزمون‌های مختلف مانند: آزمون ضرورت وجود ضرایب الگو، جدول تحلیل واریانس و ایجاد فاصله اطمینان انجام می‌شود. این موارد قبول اولیه الگو را رقم می‌زند. آسیب شناسی الگوی رگرسیونی (تحلیل باقی مانده‌ها) که با محاسبه آماره‌های مختلف و آزمون‌های مربوط انجام می‌گیرد، قبول نهایی (رد نشدن) الگو را تایید می‌کند. می‌توان الگو را به‌سادگی تغییر و توانایی‌های الگوی جدید را با الگوی قبلی مقایسه کرد. قدرت رگرسیون با ضریب تعیین (R^2) آن مشخص می‌شود. این ضریب سهم نوسانات متغیر وابسته را توسط متغیرهای مستقل تعیین می‌کند (۲). رگرسیون خطی و غیر خطی (قابل تبدیل به خطی) چندگانه با k متغیر توضیحی مطابق رابطه ۳ است. β عرض از مبدا و β_1 ها ضرایب‌های ابرصفحه‌های مربوط به متغیرهای توضیحی (X_i) است. ε جمله خطاست که فرض می‌شود از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت σ^2 پیروی می‌کند. افزون بر این خطاها باید مستقل، همگن و بدون داده پرت باشند. بررسی این موارد آسیب شناسی الگو را تشکیل می‌دهد (۹).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (3)$$

تحلیل داده‌های مقاله حاضر با نرم افزار Spss.16 انجام شده است. این نرم‌افزار به‌خوبی می‌تواند خصوصیات مختلف الگوی برازشی و آزمون‌های مربوط را در جداولی ارائه دهد. خروجی این نرم

جدول ۲- اطلاعات سدهای خاکی شکسته شده در جهان

Table 2- Information of broken earthfill dams in the world

| ردیف Row | نام سد Dam Name | علت شکست Cause of failure | Q _p (m ³) | V _w (m ³) | H _w (m) |
|-------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| ۱ | Apishapa, Colo. | seepage | 6,850 | 22,200,000 | 28 |
| ۲ | Baldwin Hills, Calif. | seepage | 1,130 | 910,000 | 12.2 |
| ۳ | Davis Reservoir, Cal | seepage | 510 | 57,973,646 | 11.58 |
| ۴ | Frankfurt, Germany | seepage | 79 | 351,542 | 8.23 |
| ۵ | Fred Burr, Mont. | seepage | 654 | 750,000 | 10.2 |
| ۶ | French Landing, Mich. | seepage | 929 | 16,000,000 | 10.8 |
| ۷ | Hatch town, Utah | seepage | 3,080 | 14,800,000 | 16.8 |
| ۸ | Hell Hole, Calif. | seepage | 7,360 | 30,600,000 | 35.1 |
| ۹ | Ireland No. 5, Colo. | seepage | 110 | 160,000 | 3.81 |
| ۱۰ | Kelly Barnes, Ga. | seepage | 680 | 777,000 | 11.3 |
| ۱۱ | Lake Avalon, N.M. | seepage | 2,320 | 31,500,000 | 13.7 |
| ۱۲ | Lake Latonya, Penn. | seepage | 290 | 4,090,000 | 6.25 |
| ۱۳ | Lawn Lake, Colo. | seepage | 510 | 798,000 | 6.71 |
| ۱۴ | Lily Lake, Colo. | seepage | 71 | 92,500 | 3.35 |
| ۱۵ | Little Deer Creek, U | seepage | 1,330 | 1,360,000 | 22.9 |
| ۱۶ | Lower Latham, Colo. | seepage | 340 | 7,080,000 | 5.79 |
| ۱۷ | Lower Two Medicine, | seepage | 1,800 | 29,600,000 | 11.3 |
| ۱۸ | Prospect, Colo. | seepage | 116 | 3,540,000 | 1.68 |
| ۱۹ | Quail Creek, Utah | seepage | 3,110 | 30,800,000 | 16.7 |
| ۲۰ | Belci | overtopping | 1,200 | 2,200,000 | 15 |
| ۲۱ | Butler, Arizona | overtopping | 810 | 2,380,000 | 7.16 |
| ۲۲ | Castlewood, Colo. | overtopping | 3,570 | 6,170,000 | 21.6 |
| ۲۳ | Gissigheim | overtopping | 80 | 134,579 | 10.7 |
| ۲۴ | Goose Creek, S. Caro | overtopping | 565 | 10,600,000 | 1.37 |
| ۲۵ | Laurel Run, Penn. | overtopping | 1,050 | 555,000 | 14.1 |
| ۲۶ | Mauer | overtopping | 1,300 | 600,000 | 10 |
| ۲۷ | North Branch, Penn. | overtopping | 29.4 | 22,203 | 5.49 |
| ۲۸ | Puddingstone, Calif. | overtopping | 480 | 617,000 | 15.2 |
| ۲۹ | Sallies Oliveira, Bra | overtopping | 7,200 | 71,541,947 | 38.4 |
| ۳۰ | Sandy Run, Penn. | overtopping | 435 | 56,740 | 8.53 |
| ۳۱ | Schaeffer, Colo. | overtopping | 4500 | 4,440,000 | 30.5 |
| ۳۲ | Sepulveda | overtopping | 300 | 158,000 | 19.8 |
| ۳۳ | Buffalo Creek, W. Va | permeation | 1,420 | 483,525 | 14.02 |
| ۳۴ | Elbe-Seiten-Kan | permeation | 200 | 400000 | 13 |

و بین ۰/۸۶ تا ۰/۸۶۴ است. بنابراین نمی‌توان به خوبی الگوی برتر را مشخص کرد. معیار کارایی نسبی بر اساس جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) به منظور تعیین الگوی برتر استفاده شده است. این معیار برای الگوهای سایر پژوهشگران نیز به کار رفته است. ارائه و تحلیل آسیب شناسی هر سه الگو به علت حجم زیاد امکان پذیر نیست، لذا فقط تحلیل و آسیب شناسی الگوی شماره دو

نتایج تحلیل‌ها نشان داد که الگوهای متنوعی بر داده‌ها برازش مناسب دارند. این الگوها در سه دسته خطی، ضربی متغیرهای توضیحی و تبدیل متغیر پاسخ دسته‌بندی می‌شوند. یک الگوی شاخص از هر دسته پس از آسیب شناسی انتخاب و به‌عنوان الگوهای برتر رقیب در نظر گرفته شدند. خلاصه این سه الگو در جداول ۳ و ۴ آمده است. ضریب تعیین تصحیح شده آن‌ها ($Adj R^2$) نزدیک به هم

تایید می‌شود (شکل وسط). نمودار چندکی بر اساس فرض پیروی داده‌ها از قانون نرمال بر روی کاغذ نرمال رسم می‌شود. اگر داده‌ها روی نیمساز ناحیه اول قرار بگیرند، فرض همگنی تایید می‌شود. نتیجه این که نمودار سمت راست و وسط فرض همگنی و پیروی از قانون نرمال را تایید می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برآوردگرهای پارامترها BLUE هستند (بهترین برآوردگرهای نارایب خطی). شکل سمت چپ تثبیت واریانس باقی‌مانده‌ها را به صورت نموداری نشان می‌دهد. باقی‌مانده‌های استیودنت شده در این تحلیل استفاده شده‌اند. نمودار پراکنش باقی‌مانده‌های استیودنت شده در مقابل Q_p رسم شده است. این نمودار تثبیت واریانس را به صورت نموداری نشان می‌دهد. زیرا پراکنش نقاط تقریباً در یک نوار مستطیلی قرار دارند که نشان از تثبیت واریانس است. بنابراین نیاز به عملیات جدید برای تثبیت واریانس باقی‌مانده‌ها نیست. همچنین این نمودار داده‌های پرت احتمالی را نیز نشان می‌دهد چون کلیه داده‌ها (نقاط دایره‌ای) در بازه $[-3, 3]$ قرار دارند، بنابراین داده پرت وجود ندارد. نتیجه این که الگوی ۲ با توجه به آزمون‌های اولیه و آسیب شناسی قبول می‌شود. ضریب تعیین الگو (۰/۸۶) نیز قدرت خوب آن را نشان می‌دهد.

آزمون‌های اولیه و آسیب شناسی دو الگوی دیگر به طور مشابه تفسیر می‌شوند. جدول ۴ خلاصه آماره‌های آزمون‌های مورد نیاز را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ تا ۴ نیز نمودارهای آسیب شناسی باقی‌مانده‌ها را بیان می‌کند. موارد فوق نشان از قبول الگوهای سه‌گانه است. بیشترین ضریب تعیین مربوط به الگوی ۳ با مقدار ۰/۸۶۴ و کمترین مربوط به الگوی ۲ با مقدار ۰/۸۶ است. بنابراین قدرت هر سه الگو خوب ارزیابی می‌شود. چون این ضرایب نزدیک به هم هستند، لذا نمی‌توان الگوی برتر را در این مرحله تعیین کرد. این کار با آماره کارایی نسبی و مقایسه RMSE الگوها امکان پذیر است.

مقایسه و کارایی نسبی الگوها

روش‌های مختلف تجربی برای برآورد Q_p با تدوین الگوهای متنوع توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است (جدول ۱). تحقیق حاضر نیز سه الگو برای این پدیده ارائه داده است (جدول ۳). الگویی برتری دارد که دو معیار فیزیکی و ریاضی را به شکل مطلوبی رعایت کند و خطای کمتری در پیش بینی Q_p داشته باشد. این بخش به مقایسه کلیه الگوهای فوق و تعیین کارایی نسبی و کاراترین الگو می‌پردازد. RMSE (جذر میانگین مربعات خطاها) معیار تشخیص کارایی است. کارایی نیز براساس این آماره سنجیده می‌شود (نسبت RMSE های دو الگو مقایسه می‌شود). ابتدا RMSE الگوهای فوق و الگوهای معرفی شده توسط سایر پژوهشگران محاسبه شد (جدول ۹). RMSE هر سه الگوی ارائه شده در این مقاله از سایر الگوها کمتر است (از ۷۴۵ تا ۷۵۹). در جدول ۱۰ کارایی الگوها آمده است. کارایی

به تفصیل و در ادامه ارائه می‌شود. خلاصه این تحلیل برای دو الگوی دیگر در جداول ۳ و ۴ آمده است. تحلیل و آسیب شناسی الگوی ۲ با خروجی‌های نرم افزار Spss (روش گام به گام) به صورت جدول و نمودار ارائه شده است. خروجی‌های این الگو در جداول ۵ تا ۸ و نمودارهای شکل ۳ آمده است. سطح آزمون‌ها ۵ درصد فرض شده است. شرح این جداول و نمودارها مطابق زیر است.

جدول ۵ آماره‌های توصیفی و تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد که به ترتیب میانگین و انحراف معیار متغیرهاست. جدول ۶ حاوی خلاصه الگو شامل آماره ضریب همبستگی ($R=0.932$) و ضریب تعیین تصحیح شده $AdjR^2=0.860$ (ستون چهارم) است که نشان دهنده قدرت خوب الگوست. یعنی فقط ۱۴ درصد از نوسانات Q_p به طور مشترک توسط دو متغیر تبدیل یافته $Hw^{1/907}$ و $V_w^{1/1}$ بیان نمی‌شود. خطای استاندارد $AdjR^2$ مساوی ۵۲۴/۸۹۱ و آماره دوربین-واتسون مساوی ۱/۷۴۴ است. کران پایین (d_L) و کران بالای (d_U) جدول دوربین-واتسون با $n=34$ و $k=2$ به ترتیب ۱/۳۳۳ و ۱/۵۸۰ است. چون ۱/۷۴۴ بین d_U و $4-d_U$ قرار دارد، پس استقلال (ناهمبستگی) باقی‌مانده‌ها (خطاها) تایید می‌شود.

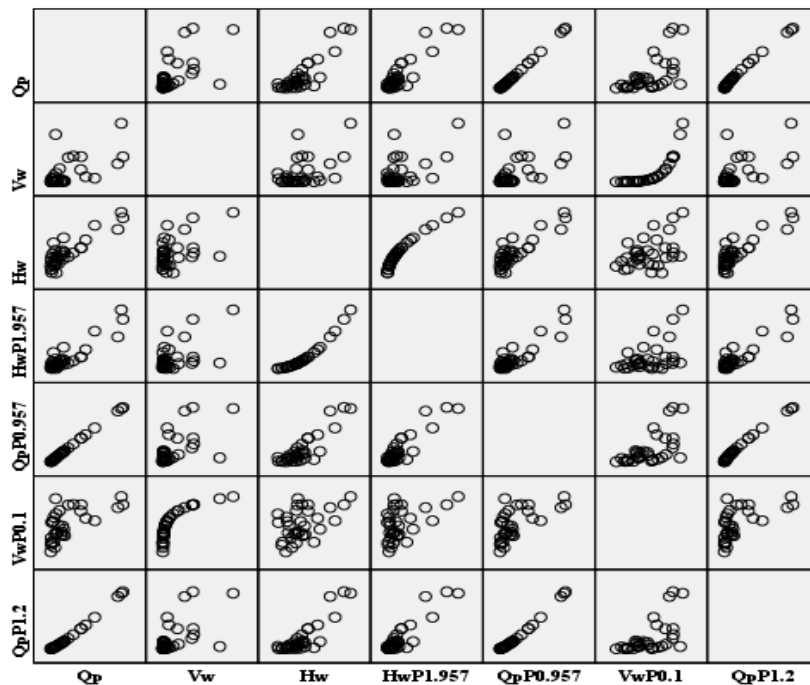
جدول ۷ تحلیل واریانس الگوی ۲ را بیان می‌کند. آماره $F=102.545$ با مقدار احتمال $sig=0.000$ همراه است. بنابراین تحلیل واریانس قبول می‌شود. یادآوری می‌شود که sig همان p -value است.

جدول ۸ ضرایب و برخی از مشخصات دیگر و الگوی قبول شده (Model 2) را نشان می‌دهد. روش گام به گام متغیرهای توضیحی (V_w و H_w) را به ترتیب وارد الگو نموده و ضرورت وجود آن‌ها را بررسی می‌کند. الگوی مناسب با متغیرهای توضیحی تبدیل شده $V_w^{1/1}$ و $Hw^{1/907}$ پذیرفته شده است (ستون اول). ضرایب الگو به همراه خطای استاندارد آن‌ها در ستون دوم و سوم آمده است. ضرورت وجود عرض از مبدا تایید می‌شود ($Sig=0.005$). ستون چهارم (Beta) دلالت بر این دارد که اهمیت متغیر تبدیل یافته $Hw^{1/907}$ تقریباً سه برابر متغیر تبدیل یافته $V_w^{1/1}$ در الگو است. این ضرایب در هر سه مورد بسیار کمتر از ۵٪ است. بنابراین ضرورت وجود این ضرایب در الگوی ۲ تایید می‌شود. حدود اطمینان ۹۵ درصد ضرایب نیز در جدول آمده است. آخرین ستون جدول بیانگر عامل تورم واریانس (VIF) است که نشان از عدم هم خطی دو متغیر تبدیل یافته $V_w^{1/1}$ و $Hw^{1/907}$ دارد. زیرا مقدار آن بسیار کمتر از ۱۰ است.

شکل ۳ نمودارهای آسیب شناسی الگوی ۲ را نشان می‌دهد. شکل‌های سمت راست همگنی باقی‌مانده‌ها (پیروی از قانون نرمال) را به صورت بافت نگار عرضه می‌کند. مستطیل‌ها نمودار تابع چگالی نمونه و منحنی رسم شده تابع چگالی نرمال است. انطباق تقریباً مناسب این دو نشان از همگنی دارد. این همگنی با نمودار چندکی نیز

الگوی ۲ دارای کمترین مقدار RMSE است ولی الگوی ۳ از نظر هیدرولیکی منطقی تر به نظر می‌رسد و RMSE آن تفاوت چندانی با الگوی ۲ ندارد، لذا این الگو به عنوان الگوی برتر انتخاب می‌شود. شکل‌های ۵ و ۶ رسم Q_p های مشاهده‌ای و برآوردی توسط سه الگوی این مقاله و سایر پژوهشگران را نشان می‌دهد. نقاط مربوط به الگوهای ۲ و ۳ نشان‌دهنده برآورد خوب دبی اوج است. الگوی شمسایی و موسوی، فرورآورد و الگوی فرولینخ، نشان از واریانس بزرگ برآورد دارد. معادله دوم مکدونالدولاگرینچ منولیس، نشان از فرابراورد دارد. این برآورد به طور چشمگیری خودنمایی می‌کند. روش‌های USBR، ایوانس، و معادله اول مکدونالد و لاگرینچ منولیس، نیز فرابراورد محسوسی را نشان می‌دهند. این تحلیل نیز نشان از برآورد معقول الگوهای ۲ و ۳ دارد (شکل ۶).

الگوی (۲) نسبت به الگوی شمسایی و موسوی برابر ۰/۱۷۶ است. ردیف مربوط به الگوی (۲) نشان می‌دهد که این الگو کاراترین است و الگوی (۳) نیز کارایی نزدیکی با الگوی (۲) دارد. از نظر هیدرولیکی می‌توان گفت که با توجه به آن که دبی عبوری به صورت $Q_p = V_w \cdot A$ می‌باشد و V_w سرعت جریان متناسب با $H_w^{0.5}$ و حجم آب بالای شکاف V_w متناسب با H_w است، بنابراین باید رابطه نهایی Q_p متناسب با $H_w^{1.5}$ باشد. نگاهی به روابط ارائه شده نشان می‌دهد که (پس از جایگذاری V_w بر اساس H_w) توان در روابط کیرک پاتریک برابر ۲/۵، مک دونالد و لاگرینچ منولیس برابر ۱/۳، ایوانس ۰/۵۳، USBR برابر ۱/۸۵، فرولینخ برابر ۱/۵۳، شمسایی و موسوی برابر ۱/۹۷، الگوی ۱ برابر ۱/۹۵، الگوی ۲ برابر ۱/۹۵ و الگوی ۳ برابر ۱/۳۱ می‌باشد. در نتیجه پس از روش فرولینخ، الگوی شماره ۳ نزدیک‌ترین مقدار را به ۱/۵ دارد. بنابراین اگر چه



شکل ۱ - نمودار پراکنش ماتریسی

Figure 1- Scatterplot (matrix)

جدول ۳- الگوهای برتر معرفی شده در این مقاله

Table 3- Top models presented in this paper

| | |
|--------------------|---|
| الگوی ۱ Model 1 | $Q_p = -210.3/711 + 5/389 H_w^{1/957} + 566/459 V_w^{-1}$ |
| الگوی ۲ Model 2 | $Q_p = (-140.3/441 + 3/691 H_w^{1/957} + 385/816 V_w^{-1})^{1/957}$ |
| الگوی ۳ Model 3 | $Q_p = -445/615 + 25/789 (V_w^{-0.7} \cdot H_w^{1/24})$ |
| توضیح Comment | $H_w \geq 3m$, $V_w \geq 30,000 m^2$ و $29/4 \leq Q_p \leq 736$ |

جدول ۴- ویژگی‌های آماری الگوهای ارائه شده

Table 4- Statistical characteristics of the proposed models

| الگو Model | ضریب تعیین Adjusted R Square | دوربین واتسون Durbin Watson | F | VIF | باقیمانده استاندارد Std. Residual | فاصله کوک Cook's Distance | دسته مرکزی Centered Leverage |
|---------------|---------------------------------|--------------------------------------|---------|-------|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 0.862 | 1.716 | 104.383 | 1.283 | [-1.975 , 2.908] | [0,0.569] | [0,0.363] |
| 2 | 0.860 | 1.744 | 102.545 | 1.283 | [-1.824 , 2.834] | [0,0.608] | [0,0.363] |
| ۳ | 0.864 | 1.687 | 211.048 | 1 | [-2.202 , 2.699] | [0,0.527] | [0,0.335] |

جدول ۵ - آماره‌های توصیفی الگوی (۲)

Table 5- Descriptive statistics of model (2)

| | میانگین Mean | انحراف استاندارد Std. Deviation | N |
|---------------|-----------------|------------------------------------|----|
| $Q_p^{0.957}$ | 1135.0 | 1403.94 | 34 |
| $V_w^{0.1}$ | 4.383 | 0.92 | 34 |
| $H_w^{1.957}$ | 229.58 | 298.96 | 34 |

جدول ۶- خلاصه الگوی (۲)

Table 6- Model (2) summary

| الگو Model | R | مربع R R Square | ضریب تعیین Adjusted R Square | خطای تخمین استاندارد Std. Error of the Estimate | دوربین واتسون Durbin-Watson |
|---------------|--------|--------------------|------------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | 0.905a | 0.819 | 0.813 | 606.972 | 1.744 |
| 2 | 0.932b | 0.869 | 0.860 | 524.891 | |

جدول ۷- تحلیل واریانس الگوی (۲)

Table 7- Model (2) ANOVA

| الگو Model | جمع مربعات Sum of Squares | df | میانگین مربعات Mean Square | F | Sig. |
|-----------------------|------------------------------|----|-------------------------------|---------|-------|
| 1 | | | | | |
| رگرسیون Regression | 5.326×10^7 | 1 | 5.326×10^7 | 144.554 | 0.000 |
| باقیمانده Residual | 1.179×10^7 | 32 | 3.684×10^7 | | |
| کل Total | 6.505×10^7 | 33 | | | |
| 2 | | | | | |
| رگرسیون Regression | 5.650×10^7 | 2 | 2.825×10^7 | 102.545 | 0.000 |
| باقیمانده Residual | 8.540×10^7 | 31 | 2.755×10^7 | | |
| کل Total | 6.505×10^7 | 33 | | | |

جدول ۸- ضرایب الگوی (۲)

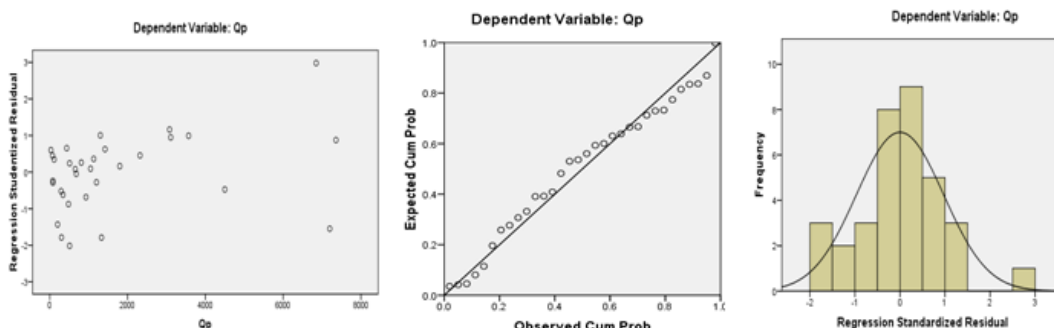
Table 8- Model (2) coefficients

| الگو Model | ضرایب غیراستاندارد Unstandardized Coefficients | خطای استاندارد Std. Error | ضرایب استاندارد Standardized Coefficients | t | Sig. | فاصله اطمینان ۹۵ درصد 95% Confidence Interval for B | | VIF | |
|---------------|--|---------------------------------|---|-------|--------|---|-----------------------------|----------|-------|
| | | | | | | کران پایین Lower Bound | کران بالا Upper Bound | | |
| 1 | ثابت (Constant) | 159.435 | 131.983 | | 1.208 | 0.236 | -109.404 | 428.275 | |
| | Hw ^{1.957} | 4.249 | 0.353 | 0.905 | 12.023 | 0.000 | 3.529 | 4.969 | 1.000 |
| 2 | ثابت (Constant) | -1403.44 | 469.244 | | 2.991 | 0.005 | -2360.4 | -446.412 | |
| | Hw ^{1.957} | 3.691 | 0.346 | 0.786 | 10.659 | 0.000 | 2.984 | 4.397 | 1.283 |
| | Vw ^{0.1} | 385.816 | 112.360 | 0.253 | 3.434 | 0.002 | 156.656 | 614.975 | 1.283 |

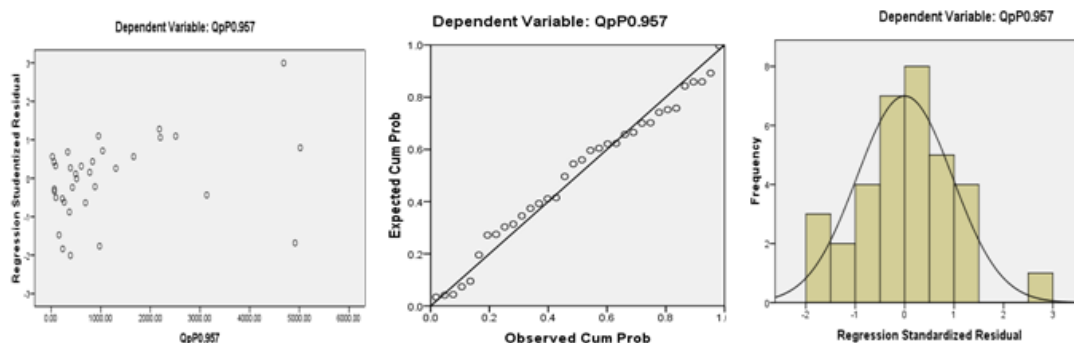
جدول ۹- RMSE - روابط تجربی و الگوهای پیشنهادی

Table 9- RMSE of the proposed models and empirical equations

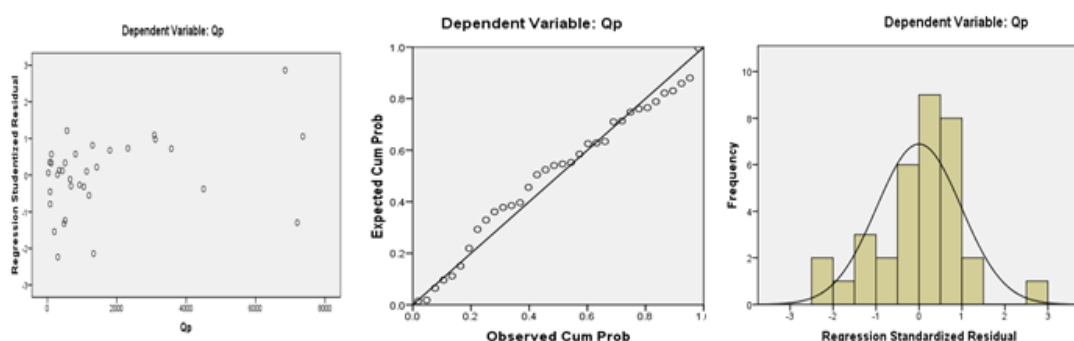
| ردیف | روش های تعیین حداکثر دبی خروجی | رابطه تخمین زده شده | RMSE |
|------|--|--|-------|
| ۱ | کیرک پاتریک (۱۹۷۷) Crick Parick (1977) | $Q_p = 1/268(H_w + 0/3)^{2/5}$ | ۱.۲۸۲ |
| ۲ | مک دونالد و لاگرینج منو پلیس (۱۹۸۴) MacDonald and Langridge- Monopolis(1984) | $Q_p = 1/54(V_w.H_w)^{-0/412}$ | ۱.۹۰۲ |
| | | $Q_p = 3/58(V_w.H_w)^{-0/411}$ | ۶.۵۴۱ |
| ۳ | ایوانس (۱۹۸۶) Ivance (1986) | $Q_p = 0/72(V_w)^{-0/53}$ | ۲.۵۱۰ |
| ۴ | روش USBR (۱۹۸۸) | $Q_p = 19/1(H_w)^{1/85}$ | ۲.۷۴۰ |
| ۵ | فرولینج (۱۹۹۵) Frllich (1995) | $Q_p = 0/607(V_w^{-0/295}.H_w^{1/24})$ | ۹.۸۶ |
| ۶ | شمسای و موسوی (۲۰۰۴) Shamsaei and Mousavi (2004) | $Q_p = 0/06577g^{-0/5}H_w^{17/53}.V_w^{-0/2649}$ | ۱.۷۷۷ |
| ۷ | الگوی (۱) Model 1 | | ۷۵۲ |
| ۸ | الگوی (۲) Model 2 | $Q_p = (-1403/441 + 3/691H_w^{1/957} + 385/816V_w^{0/1})^{-0/957}$ | ۷۴۵ |
| ۱۰ | الگوی (۳) Model 3 | | ۷۵۹ |



شکل ۲- نمودارهای آسیب شناسی الگوی ۱: بافت نگار (راست)، نمودار چندکی (وسط) و باقی مانده ها در مقابل برآوردها (چپ)
Figure 2- Diagnostics diagrams of model 1: histogram (right), crouch diagram (middle) the estimated residuals (left)



شکل ۳- نمودارهای آسیب شناسی الگوی ۲: بافت نگار (راست)، نمودار چندکی (وسط) و باقی مانده‌ها در مقابل برآوردها (چپ)
Figure 3- Diagnostics diagrams of model 2: histogram (right), crouch diagram (middle) the estimated residuals (left)



شکل ۴- نمودارهای آسیب شناسی الگوی ۳: بافت نگار (راست)، نمودار چندکی (وسط) و باقی مانده‌ها در مقابل برآوردها (چپ)
Figure 4- Diagnostics diagrams of model 3: histogram (right), crouch diagram (middle) the estimated residuals (left)

جدول ۱۰- کارایی نسبی سه الگوی معرفی شده در این مقاله (اعداد داخل جدول) و الگوهای سایر پژوهشگران

Table 10- The relative efficiency of the three models presented in this paper and models of the other researchers

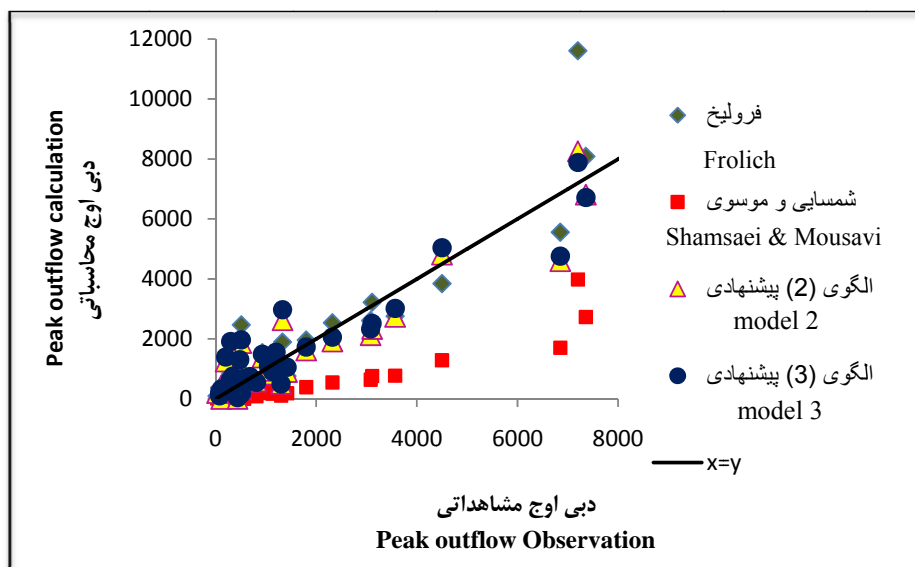
| ردیف Row | الگو Model | کبرک پاتریک (۱۹۷۷) Crick Patrick (1977) | مک دونالد و لاگرینچ منو پلیس (۱۹۸۴) (۱) (1984) | مک دونالد و لاگرینچ منو پلیس (۱۹۸۴) (۲) MacDonald and Langridge- Monopolis(1984) | ایوانس (۱۹۸۶) Ivance (1986) | روشن USB (۱۹۸۸) Frilich (1995) | فرولینخ (۱۹۹۵) Frilich (1995) | شمسایی و موسوی (۲۰۰۴) Shamsaei and Mousavi (2004) |
|-------------|---------------|--|--|--|--------------------------------------|--|--|---|
| ۱ | الگوی ۱ | 0.586 | 0.156 | 0.013 | 0.090 | 0.075 | 0.582 | 0.179 |
| ۲ | الگوی ۲ | 0.338 | 0.153 | 0.013 | 0.088 | 0.074 | 0.571 | 0.176 |
| ۳ | الگوی ۳ | 0.350 | 0.159 | 0.013 | 0.091 | 0.077 | 0.592 | 0.182 |

مناسب جهت تخمین دبی پیک ناشی از شکست سد مورد بررسی قرار گرفت. الگوهای مختلف خطی و غیرخطی با رگرسیون گام به گام و استفاده از نرم افزار Spss.16 بر داده‌ها برازش داده شد. سه الگو در نهایت بهترین رفتار را نشان دادند. آزمون‌ها نشان داد که الگوها از نظر آماری مناسب و قابل قبول می باشند.

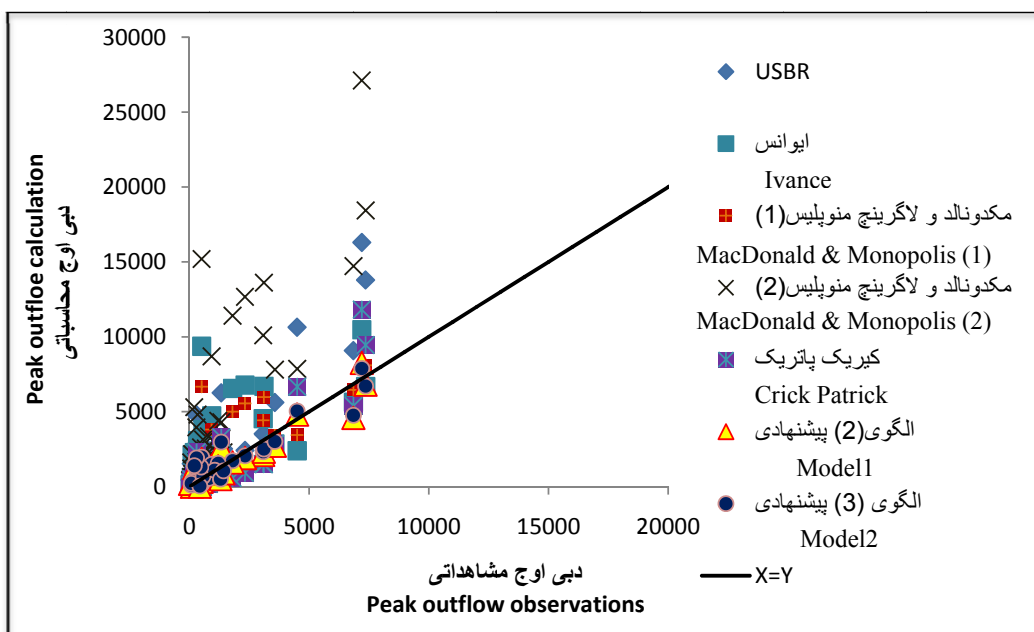
در جدول ۱۰ کارایی الگوها آمده است. کارایی الگوی (۲) نسبت به الگوی شمسایی و موسوی، برابر ۰/۱۷۶ است. ردیف مربوط به الگوی (۲) نشان می‌دهد که این الگو کاراترین است و الگوی (۳) نیز کارایی نزدیکی با الگوی (۲) دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق داده‌های ۱۴۰ سد شکسته شده برای ارائه الگویی



شکل ۵- مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای Q_p برای الگوهای ذکر شده در شکل در مقایسه با الگوی ۲ و ۳ پیشنهادی
 Figure 5- Computational and observational values of Q_p for the models listed in figure compared to the the proposed models (2, 3)



شکل ۶- رسم Q_p برآوردی و مشاهده‌ای برای الگوهای ذکر شده در شکل در مقایسه با الگوهای ۲ و ۳ پیشنهادی
 Figure 6- Computational and observational values of Q_p for the models listed in figure compared to the the proposed models (2, 3)

RMSE انجام شد. این تحقیق نشان داد که این سه الگو نسبت به سایر روش‌ها کاراترند. زیرا کمترین جذر مجموع مربعات خطا را تولید می‌کنند. نتایج این تحقیق مبین آن بود که الگوی ۳ ارائه شده در این

ضریب تعیین الگوها از ۰/۸۶ تا ۰/۸۶۴ متغیر بود که نشان از قدرت خوب آن بود. مقایسه کارایی نسبی این سه الگو و سایر الگوهای ارائه شده توسط پژوهشگران دیگر نیز بر اساس آماره

پژوهش از نظر آماری و هیدرولیکی نسبت به سایر الگوها برتری دارد
و به عنوان رابطه‌ای مناسب برای تخمین Q_p حاصل از شکست
سدها پیشنهاد می‌شود.

منابع

- 1- Aureli F., Mignosa P., Ziveri C. 2008. Dam Break Flows: Acquisition of Exoerimental Data through an Imaging Technique and 2D Numerical Modeling. ASCE.
- 2- Belsley D.A., Welsch R.E. 2004. Regression Diagnostics; John Wiley & Sons. P: 314.
- 3- Chanson H. 2009. Application of the mothod of characteristics to the dam break wave problem. Journal of Hydraulic Research, 47(1): 41-49.
- 4- Froehlich D.C. 1995. Peak Outflow Breach Embankment Dam. Journal of Water Resources planning and Management, 121(1): 97-90.
- 5- Hasanzadeh Y. 2004. Dam Failure Hydraulic. Iranian National Committee on Large Dams. Hydraulic Technical Committee. DOE. (in Persian).
- 6- Hasanzadeh Y. 2010. Effects of bed roughness on wave velocity resulting from dam failure in a hydraulic sloping model. Journal of Civil and Environmental Engineering, 40:13-20. (in Persian with English abstract).
- 7- MacDonald T.C., Langridge -Monopolis, J. 1984. Breaching Characteristics of Dam Failures. Journal of Hydraulic Engineering, 110 (5): 567-586.
- 8- Morris M. 2011. Predicting Breach. FRMRC flood risk management research consortium.
- 9- Rezaie Pazhan H., Bozorgnia A. 2002. Nonlinear regression analysis and its applications.
- 10- Shamsaie A., Mousavi Sh. 2004. Earthen dam break flood estimation and resulting routing First National Congress on Civil Engineering. Sharif University of Technology. (in Persian)
- 11- Singh V.P. 1996. Dam Breach Modeling Technology. Kleiwer Academic Publishers.
- 12- Tingsanchali T.C. 2001. Numerical modelling of dam failure due to flow overtopping. Hydrological Science. 1:46.
- 13- U.S.A.C.o Engineers. 1977. Engineering and Design hydrologic engineering requirement for reservoirs.
- 14- Wahl T.L. 1998. Prediction of Embankment Dam Breach Parameters. A Literature Review and Needs assessment. U.S. Bureau of Reclamation Dam Safety Report DSO-004-98.
- 15- Wahl T.L. 2001. The Uncertainty of Embankment Dam Breach Parameter Predictions Based on Dam Failure Case Studies. USDA/FEMA Workshop on Issues, Resolutions, and Research Needs Related to Dam Failure Analysis.
- 16- Weiming W., Wang S.Y. 2007. One-Dimensional Modeling of Dam-Break Flow over Movable Beds. Journal of Hydraulic Engineering, In ASCE, 133 (1):48-58.
- 17- Weisberg S. 2005. Applied Linear Regression; John Wiley & Sons, P: 335.

Estimating Peak Outflow of Earth Fill Dam Failures by Multivariable Statistical Models

M. Noori¹ - S.R. Khodashenas^{2*} - H. Rezaei Pazhand³

Received: 22-06-2014

Accepted: 23-05-2015

Introduction: Dam failure and its flooding is one of the destructive phenomena today. Therefore, estimating the peak outflow (Q_p) with reasonable accuracy and determining the related flood zone can reduce risks. Q_p of dam failure depends on important factors such as: depth above breach (H_w), volume of water above breach bottom at failure (V_w), reservoir surface area (A), storage (S) and dam height (H_d). Various researchers have proposed equations to estimate Q_p . They used the regression method to obtain an appropriate equation. Regression is a mathematical technique that requires initial test and diagnosis. These researchers present a new regression model for a better estimation of Q_p .

Materials and Methods: The data used in this study are related to 140 broken dams in the world for 34 of which sufficient data are available for analysis. Dam failure phenomenon is a rapidly varied unsteady flow that is explained by shallow waters equations. The equations in the one-dimensional form are known as Saint-Venant equations and are based on hydrostatic pressure distribution and uniform flow under rectangular steep assumption. Although hydraulic methods to predict the dam failure flood have been developed by different software, due to the complex nature of the problem and the impossibility of considering all parameters in hydraulic analysis, statistical methods have been developed in this field. Statistical methods determine the equations that can approximate the required factors from the observed parameters. Multiple regression is a useful technique to model effective parameters in Q_p , which can examine the statistical aspects of the model. This work is done by different tests, such as the model coefficients necessity test, analysis of variance table and it creates confidence intervals. Data analysis in this paper is done by SPSS 16 software. This software can provide fit model, various characteristics and related tests in the Tables.

Results and Discussion: This paper proposes a new relationship with better estimation of discharge peak (Q_p) based on H_w and V_w factors. Results showed how to choose the appropriate model (fitting the model) and the initial required tests, according to the diagnostic model. And it compares the estimated error (relative efficiency) of the researchers' models with the proposed models. The number of models can be classified to three convenient linear, multiplicative and transformed bases on V_w , H_w and Q_p (nonlinear terms Q_p). The best models for each of the three models were selected. Their corrected determination coefficients ($Adj R^2$) are close together and are between 0.86 until 0.864. The relative efficiency criteria based on the root mean square error (RMSE) was used to determine the best model. This standard was also used for other researchers' models. RMSE of the three models presented in this article is lower than that of other models (from 745 to 759). Diagnostics analysis of the three models is not possible due to the large volume, so some statistical analysis for the model 2 are presented in detail. The results are given in the following Tables. Test level has been assumed to be 5%. From the point view of hydraulics, it can be said that the final equation for Q_p should be proportional to $H_w^{1.5}$. So although the model (2) has the lowest RMSE, but the model (3) of the hydraulics viewpoint seems more logical and its RMSE is not very different from the model (2), so this model can be selected as the best model. Figure 1 show diagnostics diagrams of model (3). The right Figure shows the homogeneity of residuals (follow the normal law) as a histogram. This homogeneity is confirmed by the crouch graph (center Figure). The left graph shows the stabilization of residual variance. According to the preliminary and diagnostics tests results, the model (3) has been selected. Its determination coefficient (0.864) also shows good strength.

1,2- MSc Graduated of Hydraulic Structure and Associate Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

3- Instructor of Hydrology, Department of Civil, Islamic Azad University, Mashhad Branch

Table 1- Top models presented in this research

| |
|--|
| Model1 |
| Model2 |
| Model3 |
| Note: $29/4 < Q_p < 7360$, $H_w > 5^m$, $V_w > 300,000m^3$ |

Table 2- Statistical characteristics of the proposed models

| Centered Leverage | Cook's Distance | Std. Residual | VIF | F | Durbin Watson | Adjusted R Square | model |
|-------------------|-----------------|------------------|-------|---------|---------------|-------------------|-------|
| [0,0.363] | [0,0.569] | [-1.975 , 2.908] | 1.283 | 104.383 | 1.716 | 0.862 | 1 |
| [0,0.363] | [0,0.608] | [-1.824 , 2.834] | 1.283 | 102.545 | 1.744 | 0.860 | 2 |
| [0,0.335] | [0,0.527] | [-2.202 , 2.699] | 1 | 211.048 | 1.687 | 0.864 | 3 |

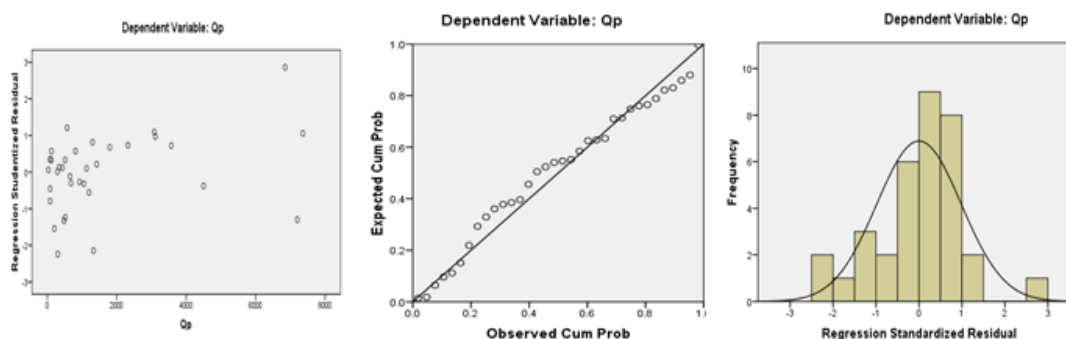


Figure 1- Model 3 diagnostics pattern diagrams: histogram (right), crouch diagram (middle) the estimated residuals (left)

Conclusion: In this study, data from 140 broken dams were used to provide an appropriate model for estimating the peak outflow of dam failure. Standard statistical principles including preliminary tests, diagnostic and the efficiency of the models are the innovations of this paper. Analysis showed that the three models are competitive, and that the best of them was selected. The determined coefficient of these models was from 0.86 to 0.864 ranges. Relative efficiency was calculated by the RMSE index. The results showed that these models are more accurate than the models presented by other researchers. The model (3) was presented in this research, the best result was estimated for Q_p and its error was less than the other models.

Keywords: Dam failure, Determined coefficient, Diagnostic, Efficiency, Peak outflow