

# Sensitivity Analysis of the Stage-Discharge Parameters Using the Concept of Isovel Contours

Farid Jamifar<sup>1</sup>, Bahareh Pirzadeh<sup>2\*</sup>, Mahmoud Faghfour Maghrebi<sup>3</sup>

1- PhD student, Civil Eng. Department, University of Sistan and Baluchestan.

2- Associate Professor, Civil Eng. Department, University of Sistan and Baluchestan.

3- Professor, Civil Eng. Department, Ferdowsi University of Mashhad.

\* [b\\_pirzadeh@eng.usb.ac.ir](mailto:b_pirzadeh@eng.usb.ac.ir)

Received: 13 September 2024

Accepted: 23 December 2024

Discussion: 21 March 2026



J. Hydraul.

Iranian Hydraulic Association

Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** In recent years, numerous studies have been conducted to evaluate discharge. A practical approach in this regard is to evaluate the discharge at different water levels using the available information on a reference water level. Using the stage-discharge curve, the discharge rate at other levels can be predicted and evaluated if the discharge is known at one surface level. Maghrebi et al. presented a method to develop the stage-discharge relationship. This relationship compares the discharge at two different levels of a cross-section. Therefore, using the discharge collected at level  $i$  as reference point, the discharge values at other levels can be calculated. Therefore, the current study considered the effect of changing these powers on the discharge evaluation error.

**Methodology:** A reasonable value for the powers must first be considered to study the effect of changing the stage-discharge relationship's powers on the amount of discharge evaluation error. Then, in different examples, coding should be done so that the powers are changed and for each power, the discharge evaluation error is calculated and reported separately. Then, it is checked whether the error has been reduced or not. The error relations and the Maghrebi relation are coded in MATLAB environment software for the cross-section of Figure 2. The discharge Flow evaluation error values for FCF-Series 10 were calculated separately for the levels specified in Figure 3 by considering the interval  $[-2,2]$  for each power of the Maghrebi relationship and its changes are shown in Figures 5 to 10. In these figures, the horizontal dashed line shows the error value in Maghrebi relation to evaluate discharge.

**Results and Discussion:** In Figures 5 to 10, the reduction of the discharge evaluation error can be seen in some ranges of the power change interval. The maximum error reduction can be seen in Figure 10, Case C, which shows a reduction of about 4%. The error reduction ranges are given in Table 3.

Figures 5 to 10 and the results presented in Table 3 show that it is possible to improve the performance of the Maghrebi relation by changing the relationship powers within the suggested range. On the other hand, it was stated earlier that up to a 4% reduction in discharge evaluation error can be achieved.

**Conclusion:** Finally, this study provides a suggested range for each power. The most important result of the present paper is that changing the powers of the stage-discharge relation can reduce the discharge evaluation error. The results show that changing the powers reduce the discharge evaluation error by

more than 5%.

**Keywords:** Stage-discharge relation, evaluation of discharge in different levels, discharge in laboratory specimens, discharge in natural rivers.

**Conflict of Interest:** The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article.

**Funding:** The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

**Data Availability Statements:** All information and results are presented in the text of the article. The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

**Authors' contribution:**

**First Author:** Data Analysis, Writing draft of paper.

**Second Author:** Supervisor, Data analysis, review and editing.

**Third Author:** Conceptualization, Supervisor, Data analysis.

# بررسی حساسیت فراسنجه‌های رابطه دبی-اشل مبتنی بر خط ترازهای هم سرعت

فرید جامی فر<sup>۱</sup>، بهاره پیرزاده<sup>۲\*</sup>، محمود فغفور مغربی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۳- استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\* b\_pirzadeh@eng.usb.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳، نقد و بررسی: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱ ☞ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** رابطه دبی-اشل که توسط مغربی و همکاران (۲۰۱۷) ارائه گردید، یکی از دقیق‌ترین روابطی است که برای تخمین منحنی دبی-اشل هم در مقاطع آزمایشگاهی ساده و مرکب و هم در رودخانه‌های طبیعی پیشنهاد شده است. در این رابطه، دبی در دو تراز مختلف با یکدیگر مرتبط می‌شود. عبارتی به کمک دبی برداشت شده در یک تراز، مقادیر دبی در سایر ترازها محاسبه می‌گردد. رابطه مزبور از چند پارامتر بدون بعد تشکیل شده که هر پارامتر دارای توان مخصوص به خود است. از طرفی با توجه به اینکه ارزیابی دبی سایر ترازها همواره با مقداری خطا همراه است، بررسی این نکته که آیا تغییر توان‌های پیشنهادی (Maghrebi et al. (2017 می‌تواند خطای محاسبات را کاهش دهد، موضوعی است که دانش پاسخ به آن می‌تواند مورد توجه محققین مختلف باشد. لذا در مقاله حاضر، محدوده‌ای منطقی برای توان‌های رابطه مذکور در نظر گرفته شد و بررسی گردید که تغییرات توان‌ها در محدوده تعریف شده چه تاثیری بر خطای ارزیابی دبی دارد. برای این منظور، از سه رابطه متداول محاسبه خطا بهره‌گیری شد و مقادیری برای هر یک از توان‌ها پیشنهاد گردید. مهم‌ترین نتیجه آن بود که تغییر توان‌های رابطه دبی-اشل توانست خطای ارزیابی دبی را کاهش دهد بطوریکه تغییر توان‌ها کاهش بیش از ۵ درصدی خطای ارزیابی دبی را نتیجه داد.

**کلیدواژگان:** رابطه دبی-اشل، ارزیابی دبی در ترازهای مختلف، دبی در مقاطع آزمایشگاهی، دبی در رودخانه‌های طبیعی.

## ۱- مقدمه

مرزها امری رایج بوده و نیز هندسه مقطع پیچیده است. Aronica et al. (1998) به بررسی عدم قطعیت جریان دو بعدی به کمک روش GLUE پرداختند. Vrugt et al. (2003) در پژوهش خود بیان کردند، تحلیل عدم قطعیت در شبیه‌سازی و برآورد نتایج هر مدل الزامی است چون الگوریتمی که برای مدل‌سازی فرض می‌شود با آنچه که در واقعیت موجود است، تفاوت دارد. آپریل و نایت با استفاده از روش المان محدود به بررسی رابطه دبی-اشل در رودخانه‌های طبیعی پرداختند. Abril and Knight (2004) در روش خود از سه ضریب هیدرولیکی مقاومت جریان محلی، لزجت گردابه‌ای عرضی و سرعت میانگین‌گیری شده، برای واسنجی استفاده کردند.

تاکنون پژوهش‌های چندی با هدف ارزیابی دبی انجام شده است. یک رویکرد کاربردی در این زمینه، ارزیابی دبی در ترازهای مختلف سطح آب به کمک اطلاعاتی است که از یک سطح مقطع مرجع در دسترس می‌باشد. به کمک منحنی دبی-اشل اگر در یک تراز از سطح، دبی جریان معلوم باشد، دبی در ترازهای دیگر را نیز می‌توان پیش‌بینی و ارزیابی کرد. Knight and Demetriou (1983) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند، تعیین میزان دبی در مقطع‌های سیلاب‌دستی دشوار است زیرا که در این مقطع‌ها، توزیع متفاوت زبری در

دبی-اشل بدست می‌آید که عدم قطعیت کمتری را در دامنهی خروجی مدل خواهد داشت. مرور ادبیات در زمینه ارزیابی دبی نشان می‌دهد، رابطه دبی-اشل که توسط مغربی و همکاران ارائه شده، رابطه‌ای کاربردی و پر استناد است (Maghrebi et al., 2017). آنان در این رابطه از روش نیوتن چند متغیره برای بررسی تفاوت بین داده‌های مشاهده شده و برآورد شده بهره‌گیری کردند و به کمک آن مقدار توان فراسنجه‌های حاکم را تعیین کردند. هدف این پژوهش، بررسی تغییر توان‌های رابطه مغربی و همکاران جهت کاهش خطای ارزیابی دبی و دستیابی به پاسخ‌های مناسب‌تر است. آنچه در ادامه به آن پرداخته می‌شود روشی است که برای این بررسی به کار گرفته شده و ارائه نتایجی است که از حل مثال‌های کاربردی از این بررسی به دست آمده است.

## ۲- برآورد رابطه دبی-اشل

(Maghrebi et al., 2017) روشی برای تعیین رابطه دبی-اشل ارائه کردند. این رابطه به شرحی که در ادامه می‌آید به دست آمده است. همان طور که بیان شد (Maghrebi 2006) روشی برای تعیین کنتور هم سرعت منظور برآورد دبی بر مبنای اندازه‌گیری یک نقطه سرعت (Single Point Measurement) SPM را گزارش کرده بود. آن‌گاه در پژوهش دیگری به کمک خطوط کنتور هم سرعت منحنی رتبه را ایجاد کرد. همان گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، مقطع آبراهه مرکب با شبکه‌ای از اجزای مثلثی پوشیده شده است. اثرات مرزی در مرکز هر مثلث محاسبه می‌شود. ممکن است برای افزودن بر دقت روش پیشنهادی نیاز به افزایش شمار اجزای مثلثی در نزدیکی مرزهای جامد و سطح آب وجود داشته باشد (Maghrebi et al., 2017). Chen (1991) نشان داد که توزیع سرعت قانون توانی را می‌توان از یک معادله دیفرانسیل جزئی که جریان آشفته یکنواخت یک سیال در یک لوله یا یک آبراهه باز را توصیف می‌کند به دست آورد:

$$\frac{u}{u_*} = c \left( \frac{y}{k_s} \right)^m \quad (1)$$

(Montanari 2005) روش GLUE را بررسی و ارزیابی کرد و به این نتیجه رسید فرضیه‌هایی که در این روش قرار می‌گیرد به شدت در برآورد عدم قطعیت نهایی تاثیرگذار است. (Hsu et al., 2006) در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که اگر تغییرپذیری ضریب زبری مانینگ مورد نظر قرار گیرد امکان برآورد تراز آب در پیش‌بینی سیل دقت خیلی بالایی خواهد داشت.

(Rahimpour and Maghrebi 2005) برای برآورد خط ترازهای بدون بعد سرعت یک رابطه ساده در آبراهه‌های روباز ارائه کردند که در برآورد منحنی دبی-اشل کاربرد فراوان دارد. پس از آن (Maghrebi 2006) روش کنتورهای بدون بعد سرعت را ارائه کرد. در این پژوهش مغربی بیان کرد که توزیع سرعت در مقطع عبوری جریان می‌تواند از دو قانون توانی یا لگاریتمی سرعت پیروی کند. در ادامه مغربی و همکاران بر پایه روش کنتورهای بدون بعد سرعت با بهره‌گیری از فراسنجه‌های هندسی مقطع مانند مساحت، پیرامون مرطوب و عرض سطح آزاد آب، یک رابطه برای منحنی دبی-اشل پیشنهاد کردند (Maghrebi et al., 2017). بررسی نتایج نشان داد که منحنی دبی-اشل به دست آمده از رابطه پیشنهادی مغربی در مقایسه با دیگر روش‌های موجود دقت بالایی داشته است. (Mohammadi and Maghrebi 2023) به صحت سنجی روشی جدید و مبتنی بر کنتورهای بدون بعد سرعت در بررسی منحنی دبی اشل در رودخانه طبیعی با جریان غیر دائمی پرداختند و رابطه‌ای جدید ارائه کردند که خطای روش پیشنهادی در برآورد دبی کمتر از ۴ درصد می‌باشد. (Vatanchi and Maghrebi 2018) به بررسی رابطه دبی اشل مغربی بر روی رودخانه مین در ایرلند پرداختند و خطای ناشی از آن را ارزیابی کردند. در پژوهش آنان نتایج به دست آمده با روش (conveyance estimation system) CES مقایسه و همچنین برای تحلیل عدم قطعیت از رابطه ارزیابی خطای MAPE استفاده شد. (Jamifar et al., 2020) به بررسی تحلیل عدم قطعیت منحنی دبی-اشل در رودخانه مین پرداختند و این نتیجه بیان شد که چنانچه داده‌های مشاهده‌ای از تراز میانی انتخاب شود، نتیجه مطلوب‌تری نسبت به دیگر نقاط مرجع برای برآورد منحنی

می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$f(r) = u_* \left( c_2 r^m \right) \quad (4)$$

در این رابطه  $c_2$  به زبری مرزی و طبیعت جریان وابسته است. با جایگذاری رابطه ۴ در رابطه ۳ و تعریف ضریب  $c_3$  به صورت  $C_3 = C_1 C_2 u_*$  و در نظر گرفتن  $m=7$  رابطه ۳ به صورت زیر درمی آید (Mohammadi and Maghrebi, 2023):

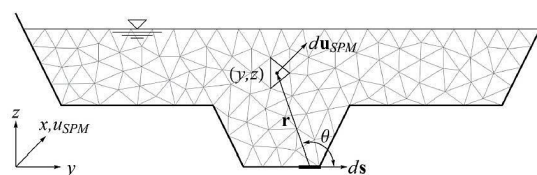
$$u_{SPM}(y, z) = \int_{boundary} c_3 \left( r^{\frac{1}{7}} \right) \sin \theta ds \quad (5)$$

(Rahimpour and Maghrebi, 2006) به بررسی اثر زبری بر روی خطوط هم سرعت در مجراهای مستطیلی پرداختند. آنان دریافتند که برای مرزهای مختلف با زبری متفاوت، نسبت وزنی  $c_3$  معادله فوق نقش مهمی ایفا می کند. به عنوان مثال، اگر ضریب زبری مانینگ برای مرز صاف  $n = 0.015$  و برای سطح زبر  $n = 0.0327$  باشد، آنگاه  $c_3$  ممکن است به ترتیب مقادیرهای ۱ و ۲/۱۸ را برای سطح های مربوطه به خود بگیرد. اگر کل ناهمواری مرزها صاف یا ناهموار باشد، استفاده از  $c_3$  برابر با ۱ یا ۲/۱۸ به نتایج همانندی منجر می شود.

رابطه دبی-اشل مغربی و همکاران برای هر نوع مقطع جریان قابل اعمال است. در این روش زبری آبراهه اصلی با کانال های سیلاب دشتی یکسان در نظر گرفته شد. لازم به یادآوری است که هر نوع زبری غیر یکنواخت در طول مقطع آبراهه با روش معرفی شده مغربی قابل شبیه سازی است. مقدار میانگین  $u_{SPM}$  را در سطح مقطع که با  $U_{SPM}$  نشان داده می شود می توان به صورت زیر به دست آورد (Mohammadi and Maghrebi, 2023):

$$U_{SPM} = \frac{\int_A u_{SPM}(y, z) dA}{A} \quad (6)$$

در این رابطه،  $dA$  سطح مقطع هر مش مثلثی است و  $A$  سطح مقطع عرضی جریان است. شایان یادآوری است  $U_{SPM}$  سرعت متوسط مقطع نیست و سرعت متوسط مقطع به صورت زیر به دست می آید:



**Fig. 1** The geometry of the elements to determine the speed of an arbitrary point with  $(y, z)$  coordinates in the cross section of the compound channel (Maghrebi, 2006)  
 شکل ۱ هندسه المان ها برای تعیین سرعت یک نقطه دلخواه با مختصات  $(y, z)$  در مقطع کانال مرکب (Maghrebi, 2006)

که در آن  $u$  سرعت محلی میانگین گیری شده زمانی در فاصله نرمال  $y$  از دیوار،  $u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$  سرعت برشی مرزی بوده که در آن  $\tau_0$  تنش برشی مرزی و  $\rho$  چگالی جرمی سیال است،  $k_s$  زبری معادل ماسه ای نیکورادزه است،  $c$  ضریبی است که با عدد رینولدز کلی جریان برای جریان های هیدرولیکی صاف یا با زبری نسبی کلی برای جریان به کلی ناهموار تغییر می کند و توان  $m$  به پیشنهادین به طور معمول، بسته به شدت آشفستگی بین ۴ تا ۱۲ متغیر است (Yen, 2002). با این حال، مقدار  $\gamma$  به خوبی با تعداد زیادی از اندازه گیری های تجربی فایل های سرعت آشفته برای مرزهای صاف همخوانی دارد (Chen, 1991). همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده، محیط تر شده مقطع به عناصر کوچک  $ds$  تقسیم می شود. تأثیر  $ds$  از محیط تر شده بر سرعت در یک نقطه دلخواه با مختصات  $(y, z)$  می تواند از یک معادله برداری که به صورت زیر نشان داده شده است محاسبه شود (Maghrebi, 2006):

$$du_{SPM} = f(r) \times c_1 ds \quad (2)$$

اثر مرز بر روی هر المان به صورت زیر انتگرال گیری می شود (Maghrebi et al., 2017):

$$u_{SPM}(y, z) = \int_{boundary} c_1 f(r) \sin \theta ds \quad (3)$$

در این رابطه،  $c_1$  ثابتی است که به تنش برشی مرزی، شدت آشفستگی و زبری نسبی وابسته است.  $\theta$  زاویه بین بردار موقعیتی  $r$  و بردار عنصر مرزی  $ds$  و  $f(r)$  تابع سرعت غالب بر حسب  $r$  است. رابطه قانون توانی سرعت به طور معمول برای برازش نیمرخ های سرعت در مجاری بسته و یا آبراهه های باز استفاده می شود. بنابراین، معادله ۱ را

پیشنهاد کردند:

$$\frac{Q_e}{Q_r} = \left(\frac{A_e}{A_r}\right)^{a_1} \left(\frac{P_e}{P_r}\right)^{a_2} \left(\frac{(P_t)_e}{(P_t)_r}\right)^{a_3} \left(\frac{(U_{SPM})_e}{(U_{SPM})_r}\right)^1 \left(\frac{n_e}{n_r}\right)^{-1} \quad (10)$$

در این رابطه، لندیس‌های  $e$  و  $r$  به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقادیرهای ارزیابی شده (برآوردی) و برداشت شده (مرجع) است. در ادامه با در نظر گرفتن یک رابطه خطا و بهره‌گیری از رابطه نیوتن چند متغیره توان‌های رابطه ۱۰ را به شکل زیر پیشنهاد کردند:

$$\frac{Q_e}{Q_r} = \left(\frac{A_e}{A_r}\right)^{0.972} \left(\frac{P_e}{P_r}\right)^{-1.268} \left(\frac{(P_t)_e}{(P_t)_r}\right)^{0.832} \left(\frac{(U_{SPM})_e}{(U_{SPM})_r}\right)^1 \left(\frac{n_e}{n_r}\right)^{-1} \quad (11)$$

این رابطه، دبی در دو تراز مختلف از یک مقطع عرضی را با یکدیگر مقایسه می‌کند. از این رو اگر فرض شود به کمک دبی برداشت شده در تراز  $i$  ام، دبی در دیگر نقطه‌های سطح ارزیابی شده‌اند، آرمانی‌ترین حالت ممکن زمانی است که اختلاف دبی‌های ارزیابی شده با دبی‌های برداشت شده مرجع صفر باشند. واضح است که حالت آرمانی هیچوقت رخ نخواهد داد. بنابراین توان‌های  $a_1$ ،  $a_2$  و  $a_3$  در دقت ارزیابی دبی اثرگذار هستند. از این رو در این پژوهش اثرگذاری تغییر این توان‌ها در خطای ارزیابی دبی بررسی شده است.

### ۳- فرآیند بررسی اثر توان‌های رابطه دبی-اشل

همان‌گونه که در بخش پیش بیان شد، هدف از بررسی توان‌ها مشخص شدن این مطلب است که آیا تغییر توان‌های رابطه مغربی می‌تواند سبب کاهش خطای ارزیابی دبی شود و امکان پاسخ‌گیری بهتر را فراهم آورد. به منظور بررسی اثرگذاری تغییر توان‌های رابطه دبی-اشل در میزان خطای ارزیابی دبی، در آغاز بایستی مقداری منطقی برای توان‌ها لحاظ شود. آن‌گاه در مثال‌های مختلف کد نویسی به گونه‌ای انجام شود که توان‌ها تغییر کند و برای هر توان، خطای ارزیابی دبی به صورت جداگانه محاسبه و گزارش

$$V = \lambda U_{SPM} \quad (7)$$

که در آن  $\lambda$  یک ضریب ساده کننده است که برای تبدیل  $U_{SPM}$  به سرعت متوسط واقعی  $V$  استفاده می‌شود. مقدار واقعی  $\lambda$  را نمی‌توان از دیدگاه تئوری به دست آورد. با این حال، با انجام کارهای آزمایشی یا اندازه‌گیری‌های میدانی می‌توان مقدار دقیق  $\lambda$  را به دست آورد.

به منظور برآورد منحنی دبی-اشل، در مرحله اول همه متغیرهای درگیر باید در نظر گرفته شوند. تأثیر متوسط همه مقادیرهای کنتور هم سرعت در  $U_{SPM}$  گنجانده شده است. باور بر این است که  $U_{SPM}$  منجر به تخمین بهتر دبی خواهد شد. با تعیین متغیرهای موثر شامل  $U_{SPM}$  و همچنین متغیرهای هندسی و هیدرولیکی، دبی  $Q$  را می‌توان با رابطه زیر بیان کرد (Maghrebi et al., 2017):

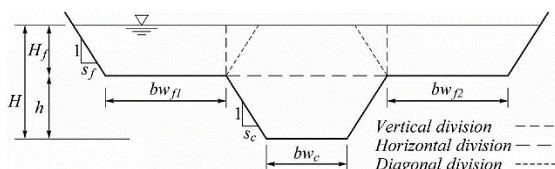
$$Q = f(A, P, T, U_{SPM}, n, S_0) \quad (8)$$

که در آن  $P$  محیط مرطوب،  $T$  طول سطح آزاد آب،  $n$  ضریب زبری مانینگ و  $S_0$  شیب بستر آبراهه می‌باشد. با تعریف محیط کلی سطح مقطع عرضی  $P_t = P + T$  متغیرهای موثر بر میزان دبی به صورت زیر خواهد بود:

$$Q \propto A^{a_1} P^{a_2} P_t^{a_3} U_{SPM}^{a_4} n^{a_5} S_0^{a_6} \quad (9)$$

فراسنجه شکل  $P_t$  به متغیرها اضافه شده تا بتوان اثر جریان‌های به شدت آشفته را نیز مدل‌سازی کرد. مغربی و همکاران در ادامه بیان کردند، متغیرهایی که نقش اصلی را در این نسبت بازی می‌کنند باید از متغیرهایی که در همه سطح‌های ثابت می‌مانند و می‌توانند از فرآیند محاسبه‌ها حذف شوند، متمایز شود. به عنوان مثال وقتی توزیع زبری در امتداد مرز یکنواخت است، تغییر سطح آب در مقطع جریان بر زبری معادل تأثیر نمی‌گذارد، یعنی زبری یکنواخت باقی می‌ماند. این در مورد شیب جریان نیز صادق است. بنابراین توان  $a_6$  برابر با صفر قرار داده می‌شود. همچنین می‌توان توان  $a_5$  را نیز بسته به مسئله مورد بررسی برابر با صفر در نظر گرفت. از آنجایی که هدف اصلی، یافتن یک رابطه کلی بین مقادیرهای دبی در دو تراز مختلف بوده از این رو می‌توان این مطلب را در قالب یک نسبت توصیف کرد، (Maghrebi et al., 2017) رابطه زیر را

می‌باشند. جدول ۱ شرایط آزمایش را نشان می‌دهد. در این جدول  $n_c$  و  $n_f$  به ترتیب ضریب مانینگ در کانال اصلی و در سیلاب دشت می‌باشند. مقادیرهای بیشینه نیز در جدول ۲ ارائه شده است.



**Fig. 2** The channel geometry parameters for Knight problem (Knight, 1992)

**شکل ۲** فراسنجه‌های هندسی کانال برای مسئله نایت (Knight, 1992)

**جدول ۱** شرایط آزمایش نایت برای مقطع FCF-Series 10 (Knight, 1992)

**Table 1** The knight test conditions for FCF-Series 10 section (Knight, 1992)

Test	$S_0$	$n_c$	$n_f/n_c$	$s_c$	$s_f$
	1.027	0.01	1	2	1
FCF-Series 10	$bw_c(m)$	$bw_{f1}(m)$	$bw_{f2}(m)$	$h(m)$	$H_f(m)$
	1.5	2.25	2.25	0.15	0.15

مقدارهای برداشت شده (مرجع) دبی بر حسب ارتفاع را در شکل ۳ می‌توان یافت. نقطه‌های P03 و P09 برای مقایسه انتخاب شده‌اند. مقدارهای نسبی مورد نیاز بر حسب ارتفاع برای مقطع‌های مختلف به صورت بدون بعد در شکل ۴ ترسیم شده است.

برای مقطع شکل ۲، رابطه‌های خطا و رابطه مغربی در نرم افزار متلب کدنویسی شده است. مقدارهای خطای ارزیابی دبی برای FCF-Series 10 برای ترازهای مشخص شده در شکل ۳ با لحاظ کردن بازه  $[-2, 2]$  برای هر یک از توان‌های رابطه مغربی به صورت جداگانه محاسبه و نمودار تغییرپذیری‌های آن در شکل‌های ۵ تا ۱۰ ارائه شده است. در این شکل‌ها، خط چین افقی مقدار خطایی که رابطه مغربی در ارزیابی دبی داشته است را نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۵ تا ۱۰ در محدوده‌هایی از بازه تغییر توان، کاهش خطای ارزیابی دبی مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار کاهش خطا در شکل ۱۰ مورد  $c$  دیده می‌شود که در حدود ۴ درصد کاهش را نشان می‌دهد. محدوده‌هایی

شود. آن‌گاه بررسی شود که کاهش خطا صورت گرفته یا خیر.

بر کاربردترین رابطه‌های آماری که برای محاسبه خطا کاربرد دارند، NSE، NRMSE و MAPE می‌باشند:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N ((Q_r)_i - (Q_e)_i)^2}{\sum_{i=1}^N ((Q_r)_i - \bar{Q}_r)^2} \quad (12)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((Q_r)_i - (Q_e)_i)^2}}{(Q_r)_{\max} - (Q_r)_{\min}} \quad (13)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{(Q_r)_i - (Q_e)_i}{(Q_r)_i} \right| \quad (14)$$

در این رابطه‌ها،  $N$  شمار کل نقطه‌های مورد بررسی،  $(Q_r)_i$  دبی برداشت شده در تراز  $i$ ،  $(Q_e)_i$  دبی ارزیابی شده در تراز  $i$ ،  $(Q_r)_{\max}$  مقدار بیشینه دبی برداشت شده،  $(Q_r)_{\min}$  مقدار کمینه دبی برداشت شده و  $\bar{Q}_r$  میانگین دبی برداشت شده می‌باشند. هر اندازه رابطه‌های ۱۳ و ۱۴ دارای مقدار کمتری باشند، خطای دبی‌های ارزیابی شده کمتر است. اما مقدار NSE هر چقدر بیشتر باشد، خطای دبی‌های ارزیابی شده کمتری را نشان می‌دهد.

بررسی‌های تجربی در مثال‌های مختلف نشان می‌دهد که بازه  $[-2, 2]$ ، محدوده‌ای منطقی برای توان‌های رابطه است. از این رو در ادامه، محدوده تغییر توان‌ها بازه بیان شده لحاظ می‌شود. همچنین برای بررسی بهتر، مثال‌ها شامل مقطع‌های آزمایشگاهی و رودخانه طبیعی می‌باشد.

### ۳-۱- ارزیابی خطای رابطه دبی-اشل با اطلاعات

#### مقطع نایت

در آغاز، مسئله ارزیابی خطای محاسبه دبی به کمک یک مقطع مرکب که از بررسی‌های تجربی (Knight 1992) از FCF انتخاب شده است، انجام می‌شود. فراسنجه‌های هندسی در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود،  $bw_c$ ،  $s_f$ ،  $s_c$ ،  $H_f$  و  $h$  شیب جانبی آبراهه اصلی، شیب جانبی سیلاب دشت، عرض آبراهه اصلی، عرض سیلاب دشت در سمت چپ و راست، عمق آبراهه اصلی و سیلاب دشت

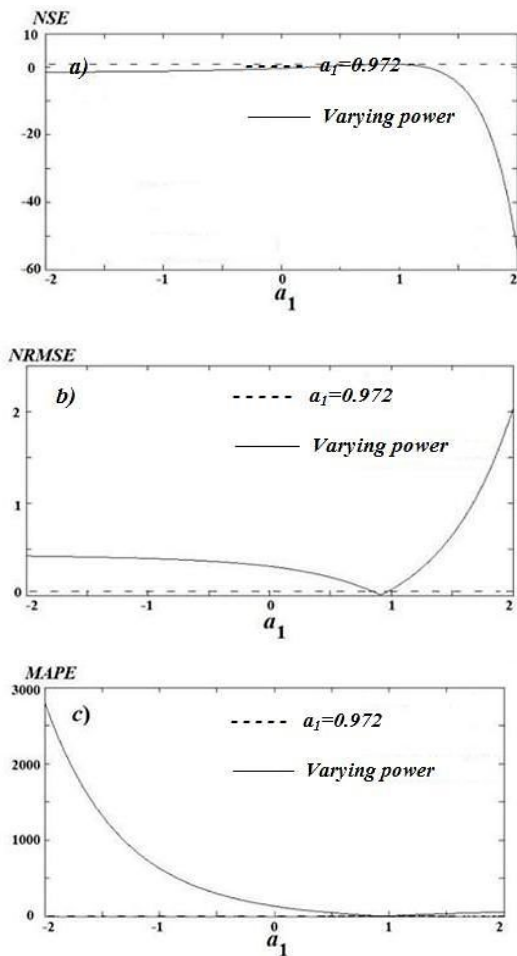


Fig. 5 The effect of changing the  $a_1$  power on the discharge evaluation error FCF-series10 – reference point P03

شکل ۵ اثرگذاری تغییر توان  $a_1$  در خطای ارزیابی دبی در FCF-Series 10 – نقطه مرجع P03

شکل‌های ۵ تا ۱۰ و نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهند، با تغییر توان‌های رابطه در محدوده پیشنهادی، امکان بهبود عملکرد رابطه مغربی و همکاران وجود دارد. از طرفی بیان شده بود که تا ۴ درصد کاهش خطای ارزیابی دبی قابل دستیابی است.

که کاهش خطا را رقم زده‌اند، در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲ مقدارهای بیشینه فراسنجه‌های 10 FCF-Series (Knight, 1992)

Table 2 Maximum values of different parameters - FCF-Series 10 (Knight, 1992)

Test	$H_{max}(m)$	$A_{max}(m^2)$	$P_{max}(m)$
	0.29	1.213	7.066
FCF-Series 10	$(P_i)_{max}(m)$	$(USPM)_{max}$	$Q_{max}(m^3/s)$
	13.946	1.257	1.1

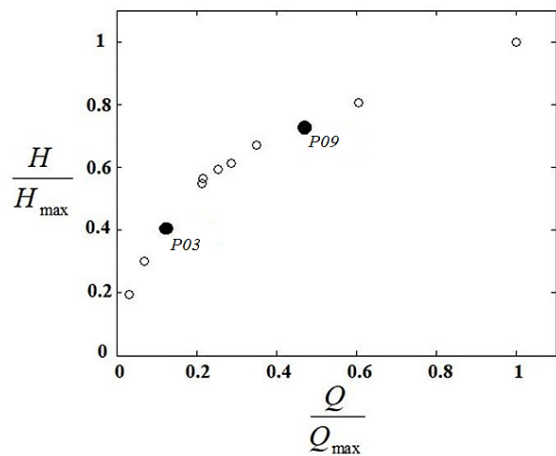


Fig. 3 Discharge values reference FCF-Series 10 (Knight, 1992)

شکل ۳ مقدارهای برداشت شده (مرجع) دبی FCF-Series 10 (Knight, 1992)

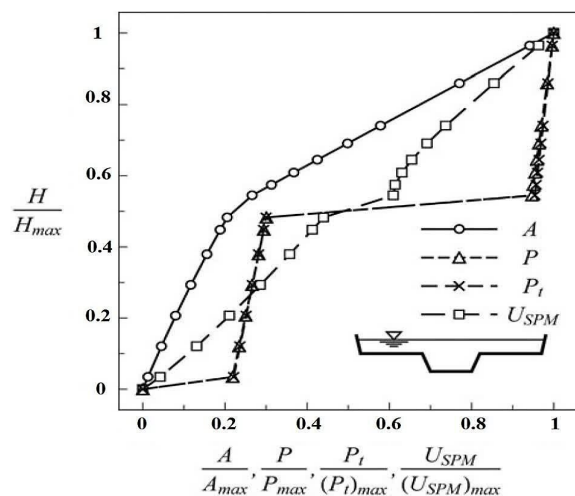
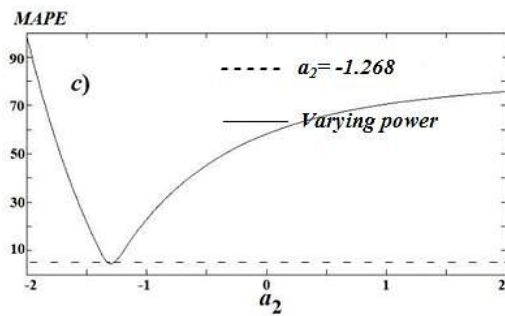
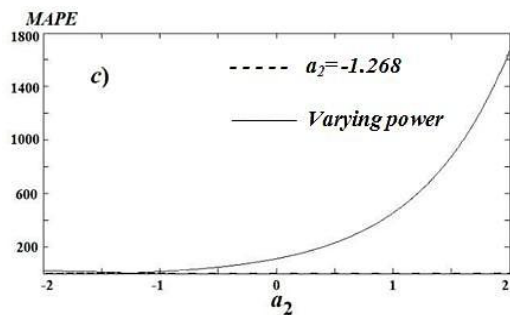
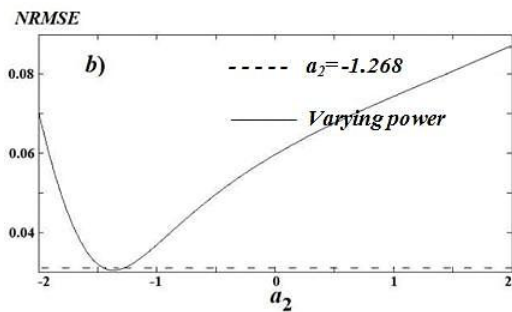
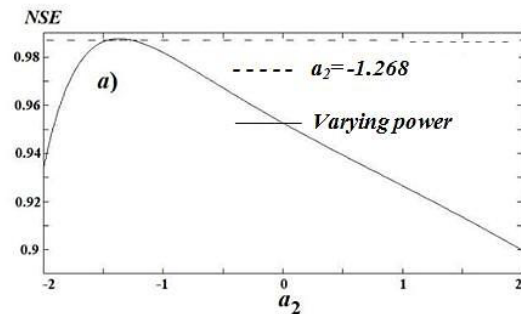


Fig. 4 Changing the relative values of the parameters of equation (10) for FCF-Series (Knight, 1992)

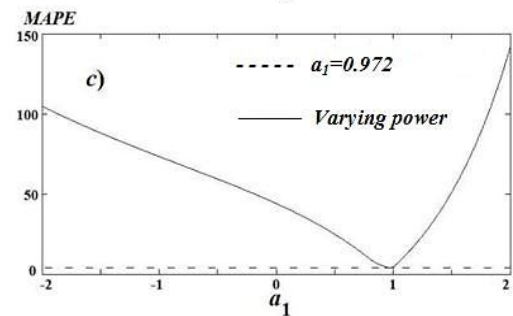
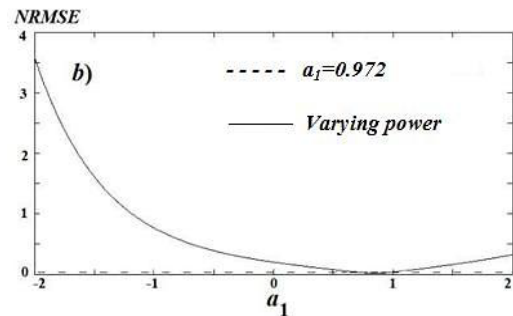
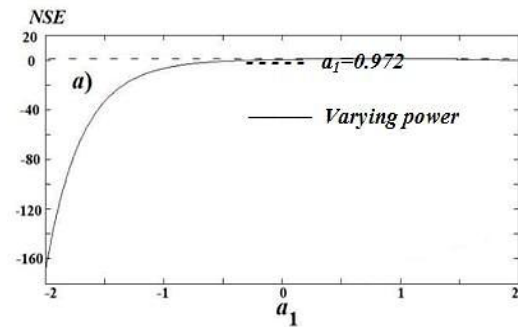
شکل ۴ تغییر مقدارهای نسبی پارامترهای معادله (۱۰) برای FCF-Series 10 (Knight, 1992)



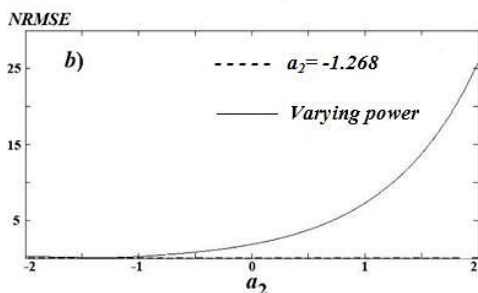
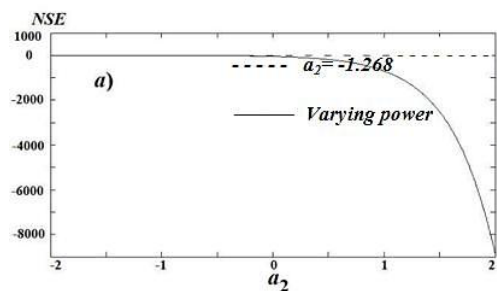
**Fig. 7** The effect of changing the  $a_2$  power on the discharge evaluation error  
FCF-series10 – reference point P03  
شکل ۷ اثرگذاری تغییر توان  $a_2$  در خطای ارزیابی دبی در  
P03 – نقطه مرجع FCF-Series 10



**Fig. 8** The effect of changing the  $a_2$  power on the discharge evaluation error  
FCF-series10 – reference point P09  
شکل ۸ اثرگذاری تغییر توان  $a_2$  در خطای ارزیابی دبی در  
P09 – نقطه مرجع FCF-Series 10



**Fig. 6** The effect of changing the  $a_1$  power on the discharge evaluation error  
FCF-series10 – reference point P09  
شکل ۶ اثرگذاری تغییر توان  $a_1$  در خطای ارزیابی دبی در  
P09 – نقطه مرجع FCF-Series 10



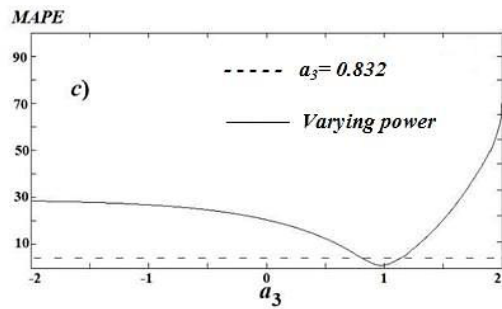


Fig. 10 The effect of changing the  $a_3$  power on the discharge evaluation error FCF-series10 – reference point P09

شکل ۱۰ اثرگذاری تغییر توان  $a_3$  در خطای ارزیابی دبی در FCF-Series 10 – نقطه مرجع P09

### ۲-۳- ارزیابی خطای رابطه دبی-اشل با اطلاعات رودخانه لاسوئلا

اطلاعات برداشت شده از رودخانه لاسوئلا در Knight et al. (2018) موجود است. با این حال، شکل تقریبی مقطع رودخانه، مقدارهای برداشت شده دبی بر حسب ارتفاع و مقدارهای نسبی مورد نیاز بر حسب ارتفاع در شکل‌های ۱۱ الی ۱۳ ترسیم شده است. مقدارهای بیشینه نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

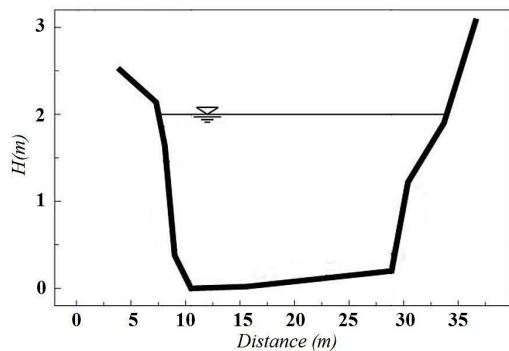


Fig. 11 Cross-section of La Suela River (Knight et al., 2018)

شکل ۱۱ مقطع رودخانه لاسوئلا (Knight et al., 2018)

جدول ۴ مقدارهای بیشینه پارامترهای مختلف برای رودخانه لاسوئلا (Knight et al., 2018)

Table 4 Maximum values of different parameters – La Suela River (Knight et al., 2018)			
Test	$H_{max}(m)$	$A_{max}(m^2)$	$P_{max}(m)$
	2	42.4	27.6
La Suela	$(P_i)_{max}(m)$	$(USPM)_{max}$	$Q_{max}(m^3/s)$
	54.1	10.6	60

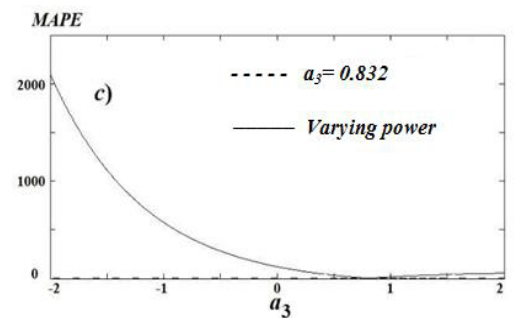
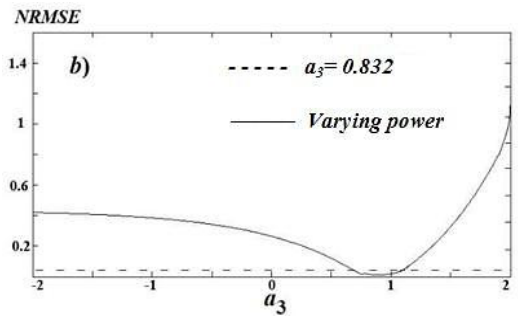
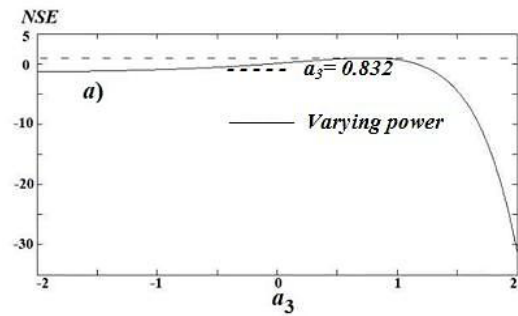
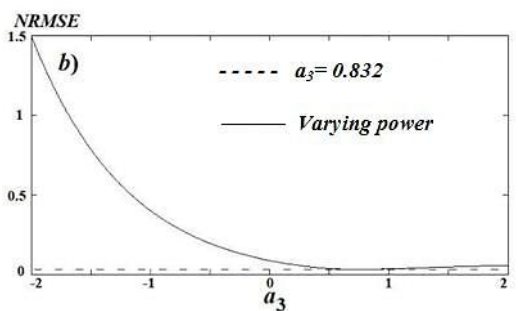
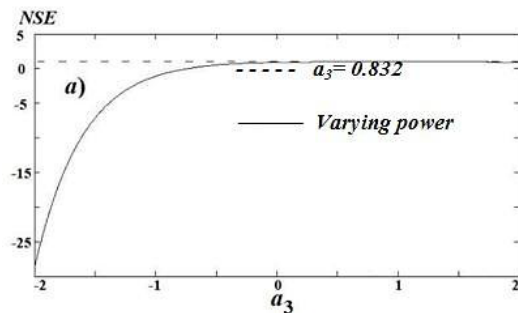


Fig. 9 The effect of changing the  $a_3$  power on the discharge evaluation error FCF-series10 – reference point P03

شکل ۹ اثرگذاری تغییر توان  $a_3$  در خطای ارزیابی دبی در FCF-Series 10 – نقطه مرجع P03



جدول ۳ محدوده توان با قابلیت بهبود خطای ارزیابی دبی برای FCF-Series 10

**Table 3** The power range with the ability to reduce the discharge evaluation error – FCF-series 10

Recommended power range	Power range found	Error calculation relationship	The power and point under investigation
[0.896 , 0.978]	[0.848 , 0.978]	NSE	power $a_1$ Reference point p03
	[0.848 , 0.978]	NRMSE	
	[0.896 , 0.978]	MAPE	
[0.942 , 0.978]	[0.732 , 0.978]	NSE	power $a_1$ Reference point p09
	[0.732 , 0.978]	NRMSE	
	[0.942 , 0.980]	MAPE	
[-1.472 , -1.272]	[-1.472 , -1.272]	NSE	power $a_2$ Reference point p03
	[-1.472 , -1.272]	NRMSE	
	[-1.474 , -1.272]	MAPE	
[-1.482 , -1.272]	[-1.482 , -1.272]	NSE	power $a_2$ Reference point p09
	[-1.482 , -1.272]	NRMSE	
	[-1.484 , -1.22]	MAPE	
[0.776 , 1.132]	[0.688 , 1.132]	NSE	power $a_3$ Reference point p03
	[0.688 , 1.132]	NRMSE	
	[0.776 , 1.132]	MAPE	
[0.826 , 1.128]	[0.676 , 1.128]	NSE	power $a_3$ Reference point p09
	[0.676 , 1.128]	NRMSE	
	[0.826 , 1.188]	MAPE	

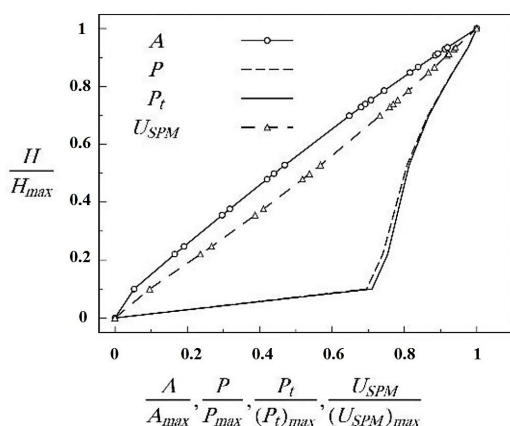


Fig. 13 Changing the relative values of the parameters of equation (10) for La Suela River (Knight et al., 2018)

شکل ۱۳ تغییر مقادیر نسبی فراسنجه‌های معادله ۱۰  
(Knight et al., 2018) - رودخانه لاسوئلا

می‌دهد. محدوده‌هایی که کاهش خطا را رقم زده‌اند، در جدول ۵ آورده شده است.

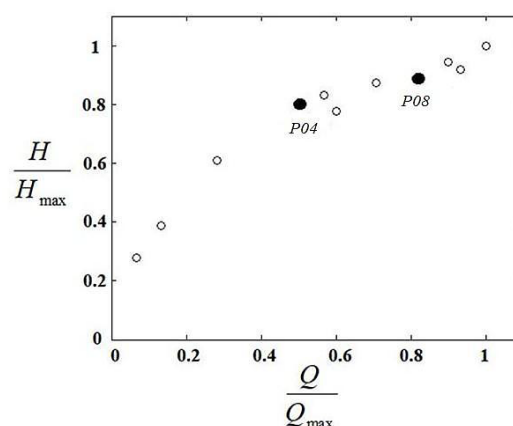


Fig. 12 Collected values (reference) discharge – La Suela River (Knight et al., 2018)

شکل ۱۲ مقادیر برداشت شده (مرجع) دبی - رودخانه لاسوئلا (Knight et al., 2018)

در شکل‌های ۱۴ تا ۱۹ مشاهده می‌شود که در محدوده‌هایی از بازه تغییر توان، کاهش خطای ارزیابی دبی ظاهر می‌شود. بیشترین مقدار کاهش خطا در شکل ۱۶ مورد a دیده می‌شود که در حدود ۱۷ درصد کاهش را نشان

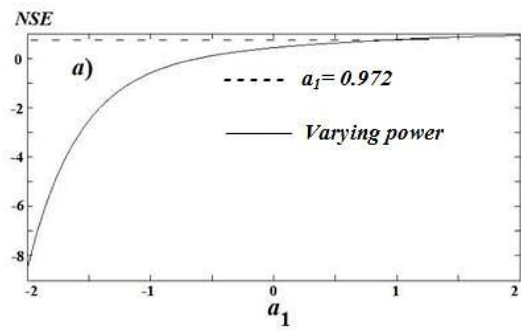
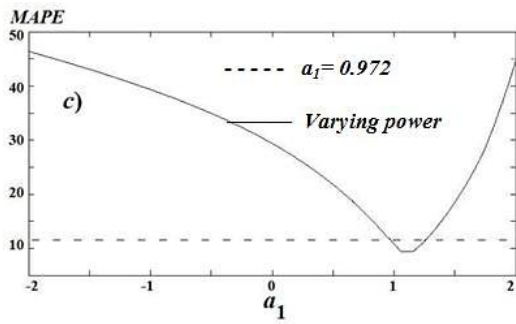


Fig. 15 The effect of changing the  $a_1$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P08

شکل ۱۵ اثرگذاری تغییر توان  $a_1$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسونلا- نقطه مرجع P08

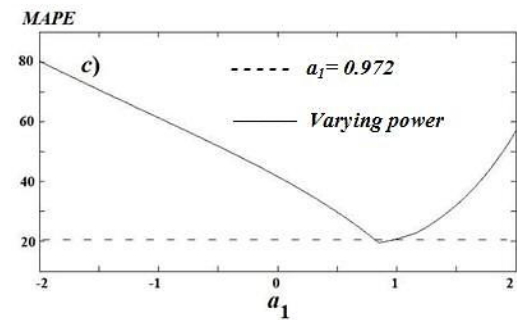
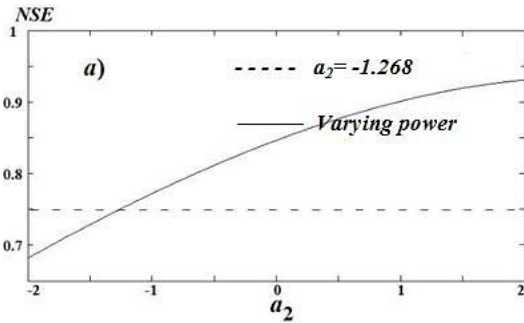
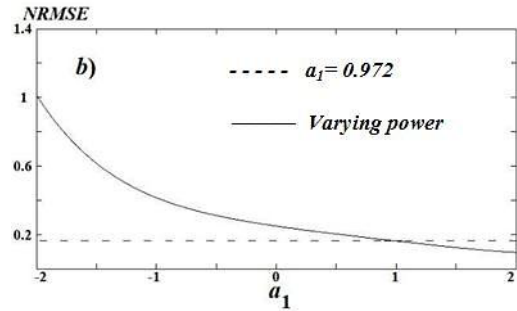


Fig. 14 The effect of changing the  $a_1$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P04

شکل ۱۴ اثرگذاری تغییر توان  $a_1$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسونلا- نقطه مرجع P04

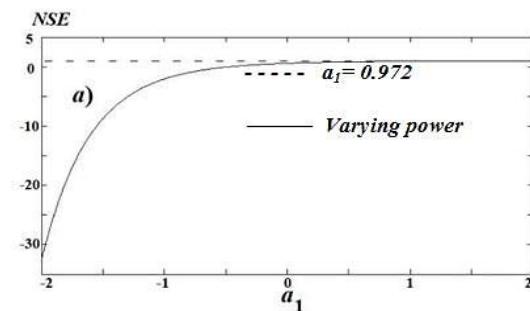
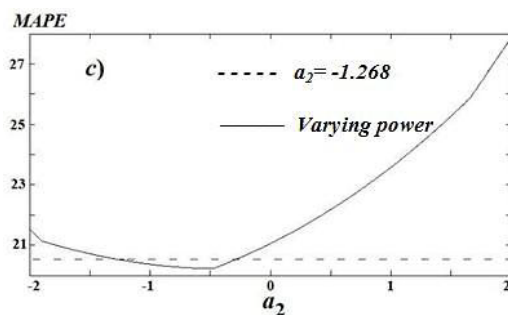
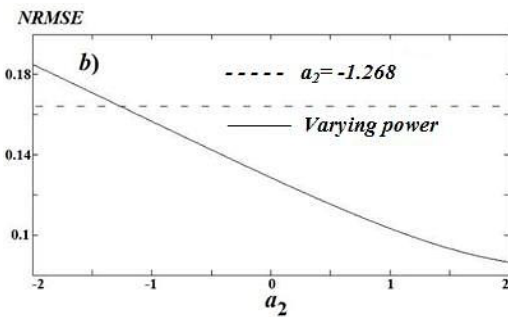
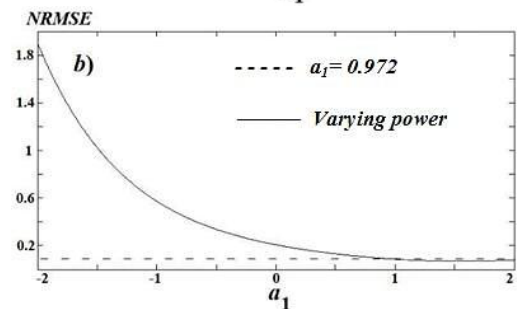
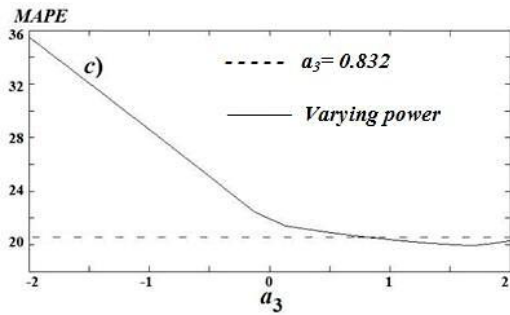


Fig. 16 The effect of changing the  $a_2$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P04

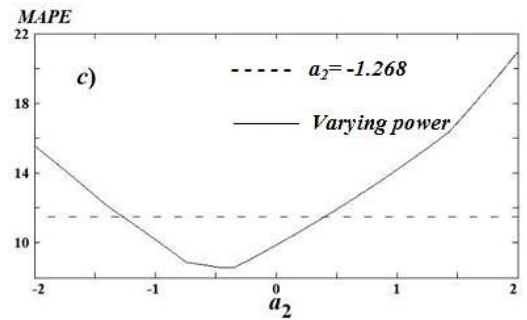
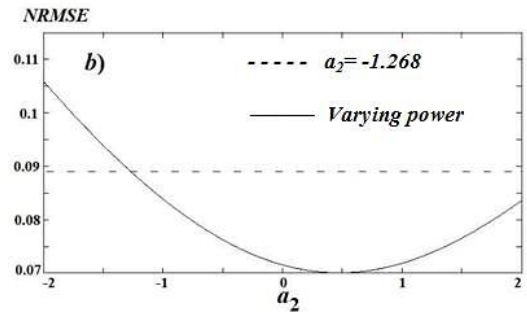
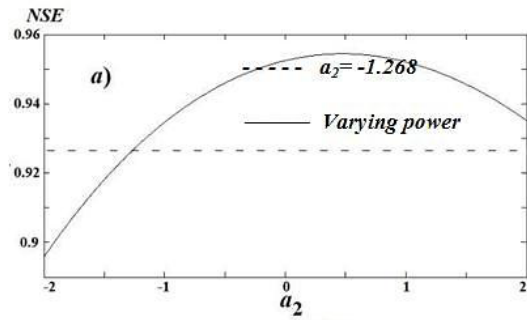
شکل ۱۶ اثرگذاری تغییر توان  $a_2$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسونلا- نقطه مرجع P04





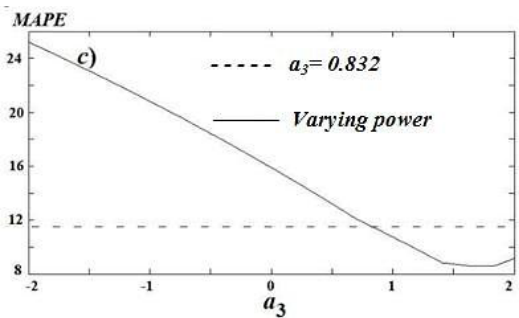
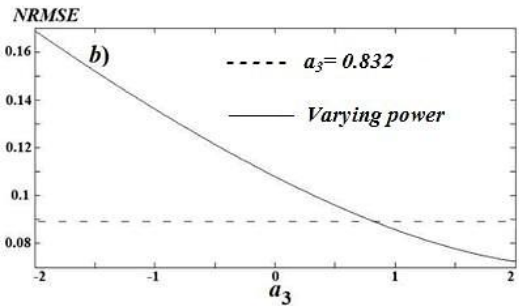
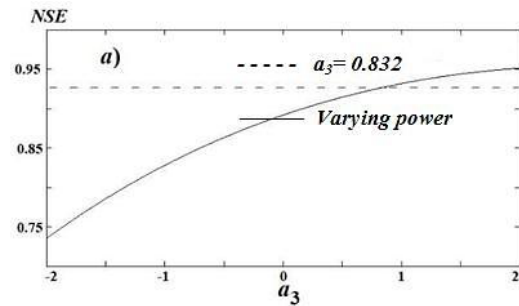
**Fig. 18** The effect of changing the  $a_3$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P04

شکل ۱۸ اثرگذاری تغییر توان  $a_3$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسوئلا- نقطه مرجع P04



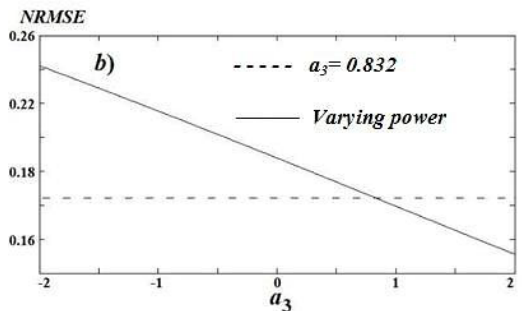
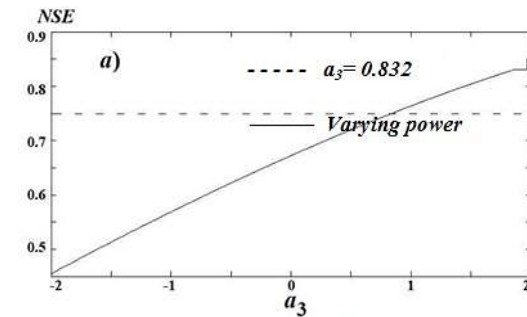
**Fig. 17** The effect of changing the  $a_2$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P08

شکل ۱۷ اثرگذاری تغییر توان  $a_2$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسوئلا- نقطه مرجع P08



**Fig. 19** The effect of changing the  $a_3$  power on the discharge evaluation error for La Suela River – reference point P08

شکل ۱۹ اثرگذاری تغییر توان  $a_3$  در خطای ارزیابی دبی در رودخانه لاسوئلا- نقطه مرجع P08



منطقی برای توان‌ها لحاظ شد. آن‌گاه در مثال‌های مختلف کد نویسی به گونه‌ای انجام شد که توان‌ها تغییر کند و برای هر توان، خطای ارزیابی دبی به صورت جداگانه محاسبه و گزارش شود. شایان یادآوری است برای محاسبه خطا سه نمونه از مشهورترین رابطه‌های آماری استفاده شد.

در پایان از طریق مثال‌های مختلفی شامل مقطع آرمانی و مقطع طبیعی رودخانه لاسونولا امکان کاهش خطا بررسی شد. در نتایج به دست آمده برای هر یک از توان‌ها محدوده‌هایی با قابلیت کاهش خطای ارزیابی دبی تا بیش از ۵ درصد مشاهده شد. رابطه مغربی و همکاران، یکی از دقیق‌ترین رابطه‌های برآورد منحنی دبی-اشل است که به کمک دبی برداشت شده در تراز مشخصی از جریان، دبی را در سایر سطوح ارزیابی می‌کند. نتیجه به دست آمده در این پژوهش از این جهت ارزشمند است که نشان می‌دهد بهبود پاسخ‌های این رابطه امکان‌پذیر است.

شکل‌های ۱۴ تا ۱۹ و نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهند، با تغییر توان‌های رابطه در محدوده پیشنهادی، امکان بهبود عملکرد رابطه مغربی و همکاران وجود دارد. از طرفی بیان شده بود که بیش از ۱۷ درصد کاهش خطای ارزیابی دبی قابل دست‌یابی است. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول‌های ۳ و ۵ می‌توان محدوده‌ای برای هر یک از توان‌ها تعیین نمود که قابلیت بهبود رابطه ۱۱ را دارند. محدوده پیشنهادی اشاره شده در جدول ۶ آورده شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، رابطه دبی-اشل مغربی و همکاران بررسی شد. هدف از بررسی این رابطه مشخص کردن امکان بهبود عملکرد آن در ارزیابی دبی است. رابطه یادشده تشکیل شده از چند کسر می‌باشد که هر کسر دارای توان مخصوص به خود است. برای این منظور، در آغاز مقداری

جدول ۵ محدوده توان با قابلیت بهبود خطای ارزیابی دبی برای رودخانه لاسونولا

Table 5 The power range with the ability to reduce the discharge evaluation error for La Suela River

Recommended power range	Power range found	Error calculation relationship	The power and point under investigation
[0.966 , 0.978]	[0.966 , 2]	NSE	power $a_1$ Reference point p04
	[0.966 , 2]	NRMSE	
	[0.824 , 0.978]	MAPE	
[0.966 , 1.256]	[0.966 , 2]	NSE	power $a_1$ Reference point p08
	[0.966 , 2]	NRMSE	
	[0.966 , 1.256]	MAPE	
[-1.474 , 0.288]	[-1.474 , 2]	NSE	power $a_2$ Reference point p04
	[-1.474 , 2]	NRMSE	
	[-1.474 , 0.288]	MAPE	
[-1.474 , 0.4]	[-1.474 , 2]	NSE	power $a_2$ Reference point p08
	[-1.474 , 2]	NRMSE	
	[-1.474 , 0.4]	MAPE	
[0.836 , 2]	[0.836 , 2]	NSE	power $a_3$ Reference point p04
	[0.836 , 2]	NRMSE	
	[0.836 , 2]	MAPE	
[0.836 , 2]	[0.836 , 2]	NSE	power $a_3$ Reference point p08
	[0.836 , 2]	NRMSE	
	[0.836 , 2]	MAPE	

جدول ۶ محدوده پیشنهادی برای توان‌های رابطه دبی-اشل با قابلیت کاهش خطای ارزیابی دبی

Table 6 The proposed range for the powers of the stage-discharge relationship with the ability to reduce the discharge evaluation error

Proposed range	The proposed power of relation 11	Power under investigation
[0.966 , 0.978]	0.972	$a_1$
[-1.472 , -1.272]	-1.268	$a_2$
[0.836 , 1.128]	0.832	$a_3$

### ۵- فهرست نشانه‌ها

$u$	سرعت محلی		
$u_*$	سرعت برشی مرزی	$A$	سطح مقطع عرضی جریان ( $m^2$ )
$u_{SPM}$	سرعت میانگین در روش مغربی	$a_{1,2,3}$	توان های رابطه مغربی
$U_{SPM}$	مقدار میانگین $u_{SPM}$ در روش مغربی	$bw_c$	عرض آبراهه اصلی (m)
$V$	سرعت متوسط ( $ms^{-1}$ )	$bw_{f1}$	عرض سیلاب دشت در سمت چپ (m)
	<b>نشانه‌های یونانی:</b>	$bw_{f2}$	عرض سیلاب دشت در سمت راست (m)
$\rho$	چگالی ( $kgm^{-3}$ )	$C$	ضریب وابسته به عدد رینولدز
$\theta$	زاویه بین بردار موقعیتی و بردار عنصر مرزی	$C_{1,2,3}$	ثابت مرتبط با زبری و آشفستگی جدار
		$F(r)$	تابع سرعت
$\lambda$	ضریب تبدیل $U_{SPM}$ به سرعت متوسط واقعی	$H$	مجموع عمق آبراهه اصلی و سیلاب دشت (m)
$\tau_0$	تنش برشی مرزی ( $Nm^{-2}$ )	$h$	عمق آبراهه اصلی (m)
	<b>زیر نویس‌ها:</b>	$H_f$	عمق سیلاب دشت (m)
$e$	ارزیابی شده	$k_s$	زبری معادل ماسه‌ای
$r$	برداشت شده	$m$	ضریبی وابسته به شدت آشفستگی
$max$	مقدار بیشینه	$n$	ضریب زبری مانینگ
		$N$	شمار کل نقطه‌های مورد بررسی
	<b>تضاد منافع نویسندگان</b>	$n_c$	ضریب مانینگ در کانال اصلی ( $ms^{-1/3}$ )
	نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.	$n_f$	ضریب مانینگ در سیلاب دشتی ( $ms^{-1/3}$ )
		$P$	محیط مرطوب (m)
		$P_t$	محیط کلی سطح مقطع عرضی (m)
		$Q$	دبی جریان ( $m^3s^{-1}$ )
		$(Q_e)_i$	دبی ارزیابی شده در تراز $i$ ( $m^3s^{-1}$ )
		$\bar{Q}_r$	میانگین دبی برداشت شده ( $m^3s^{-1}$ )
		$(Q_r)_i$	دبی برداشت شده در تراز $i$ ( $m^3s^{-1}$ )
		$(Q_r)_{max}$	بیشینه دبی برداشت شده ( $m^3s^{-1}$ )
		$(Q_r)_{min}$	کمینه دبی برداشت شده ( $m^3s^{-1}$ )
		$S_0$	شیب بستر آبراهه
		$S_c$	شیب جانبی آبراهه اصلی
		$S_f$	شیب جانبی سیلاب دشت
		$T$	طول سطح آزاد آب (m)

### منابع مالی

نویسنده (نویسندگان) هیچ گونه حمایت مالی برای تحقیق، تالیف و انتشار این مقاله دریافت نکردند.

### دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است. مجموعه داده‌های تولید شده و یا تحلیل شده در طول مطالعه حاضر، در صورت درخواست معقول، از نویسنده

Knight, D.W., Hazlewood, C., Lamb, R. & Samuels, P.G. (2018). Practical channel hydraulics: Roughness, conveyance and afflux. CRC Press.

Maghrebi, M.F. (2006). Application of the single point measurement in discharge estimation, *Advances in Water Resources*, 29, 1504-1514.

Maghrebi, M., Kavousizadeh, A., Maghrebi, R. & Ahmadi, A. (2017). Stage-discharge estimation in straight compound channels using isovel contours, *Hydrol. Process.*, 31(22), 3859-3870.

Mohammadi, M. & Maghrebi, M.F. (2023). Estimating stage-discharge curves in unsteady flows using the concept of isovel contours in natural rivers, *Journal of Hydraulics*, 18(2), 1-20,

Montanari, A. (2005). Large sample behaviors of the generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE) in assessing the uncertainty of rainfall-runoff simulations, *Water Resour. Res.*, 41(8), 1-13.

Rahimpour, M. & Maghrebi, M.F. (2005). Application of a new method discharge estimation in rectangular channels with non-uniform roughness, 5<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conf., Kerman. (In Persian)

Rahimpour, M. & Maghrebi, M.F. (2006). Prediction of stage-discharge curves in open-channels using a fixed-point velocity measurement. *Flow Measurement and Instrumentation*, 17, 276-281.

Vatanchi, S. & Maghrebi, MF. (2018). Investigation accuracy of Manning's roughness coefficient in estimating stage-discharge curve using the concept of isovel contours, 17<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conf., Shahrekord. (In Persian)

Vrugt, J., Gupta, J., Bouten, W. & Sorooshian S. (2003). A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters, *Water Resour. Res.*, 39(8), <https://doi.org/10.1029/2002WR001642>.

Yen, B.C. (2002). Open channel flow resistance. *Journal of hydraulic engineering*, 128, 20-39.

مسئول در دسترس هستند.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تجزیه و تحلیل داده ها، نگارش اولیه مقاله.

نویسنده دوم: راهنما، تجزیه و تحلیل داده ها، ویرایش مقاله.

نویسنده سوم: ایده اولیه، راهنمایی در تجزیه و تحلیل داده‌ها.

### ۶- منبع‌ها

Abril, J.B. & Knight, D.W. (2004). Stage-discharge prediction for rivers in flood applying a depth-averaged model. *Journal of Hydraulic Research*, 42, 616-629.

Aronica, G., Hankin, B. & Beven, K.(1998). Uncertainty and equifinality in calibrating distributed roughness coefficients in a flood propagation model with limited data, *Adv. Water Resour.*, 22(4), 349-365.

Chen, C. (1991). Unified theory on power laws for flow resistance. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117, 371-389.

Hsu, M.H., Fu, J.C. & Liu, W.C. (2006). Dynamic routing model with real-time roughness updating for flood forecasting. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(6), 605-619.

Jamifar, F., Pirzadeh, B. & Maghrebi, M.F. (2020). Uncertainty analysis of stage-discharge curve in natural rivers, 19<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conf., Mashhad. (In Persian)

Knight, D. (1992). SERC flood channel facility experimental data phase A. Hydraulic Research Wallingford, Wallingford, UK Report SR314.

Knight, D.W. & Demetriou, J.D. (1983). Flood plain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1983\)109:8\(1073\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:8(1073)).

© 2026 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

