

## مقایسه روش‌های امتداد منحنی سنجه دبی به منظور برآورد دبی‌های متناظر با اشل‌های حداکثر

محمد اوژن<sup>۱\*</sup>، محمد مهدوی<sup>۱</sup>، شهرام خلیقی سیگارودی<sup>۱</sup> و امیر حمزه حقی‌آبی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۳/۴)

### چکیده

اندازه‌گیری مستقیم دبی در رودخانه‌ها وقت‌گیر و پرهزینه است و گاهی در شرایط سیلابی به دلیل سرعت زیاد آب، زودگذر بودن آن و وجود مواد مختلف شناور در آب امکان‌پذیر نیست، بنابراین از رابطه بین دبی و تراز آب که به منحنی سنجه دبی معروف است، استفاده می‌شود. از طرفی در طراحی سازه‌های هیدرولیکی، حداکثر دبی سیل و حداکثر ارتفاع آن مورد نیاز است. در نتیجه برای محاسبه دبی‌های سیلابی باید منحنی سنجه دبی را با استفاده از روش‌های مناسب امتداد داد. در این مطالعه به منظور تعیین بهترین روش جهت امتداد منحنی دبی-اشل و برآورد دبی متناظر با اشل‌های بالا، روش‌های لگاریتمی، مانینگ، شزی و سرعت-سطح مقطع در ۱۳ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبخیز کرخه در استان لرستان مقایسه شد. داده‌های اندازه‌گیری شده هر ایستگاه در طول یک دوره آماری ۱۰ ساله جمع‌آوری شد. نتایج حاصل از محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) هر یک از روش‌ها نشان داد که روش لگاریتمی دارای دقت بهتری در مقایسه با سایر روش‌هاست و عمده‌تاً برای امتداد منحنی در ایستگاه‌های با دبی متوسط پایین مناسب است. روش سرعت-سطح مقطع بعد از روش لگاریتمی مخصوصاً در ایستگاه‌های با دبی متوسط بالا، نتایج خوبی ارائه داد. روش‌های مانینگ و شزی کمترین دقت را داشتند.

واژه‌های کلیدی: رابطه دبی - اشل، منحنی سنجه دبی، حوزه آبخیز کرخه

۱. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استاد و استادیار آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. استادیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ozhanmohammad@gmail.com

## مقدمه

به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، اجرای پروژه‌های آبخیزداری، پیش‌بینی سیل، طراحی مهندسی، عملیات ذخیره، آبرسانی، کشتیرانی، تفریح و مدیریت زیست محیطی آگاهی از اطلاعات دبی جریان ضروری است. اندازه‌گیری مستقیم دبی در رودخانه‌ها وقت‌گیر و پرهزینه است و گاهی اوقات در شرایط سیلابی امکان‌پذیر نیست. بنابراین بیشتر داده‌های دبی از تبدیل ارتفاع آب اندازه‌گیری شده به دبی، به وسیله منحنی دبی-اشل به دست می‌آیند و در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری درجه ۱، ۲ و ۳ مورد استفاده قرار گرفته و این منحنی‌ها باعث می‌شوند تعیین دبی به صورت آسان و ارزان صورت پذیرد (۵). از طرفی طراحی اغلب سازه‌های هیدرولیکی مانند سد، پل و غیره بر اساس حداکثر دبی سیل و حداکثر ارتفاع آن است. مشکلات چندی در تعیین دبی‌های سیلابی وجود دارد که از جمله آنها سرعت زیاد آب، زودگذر بودن آن، وجود مواد مختلف شناور در آب و مشکلات دسترسی به ایستگاه را می‌توان ذکر نمود (۳). بنابراین موارد زیادی وجود دارند که در مواقع سیلابی اندازه‌گیری دبی اوج عملی نمی‌شود و به‌ندرت آمار موجود ارتباط بین دبی-ارتفاع در حد مطلوب دبی‌های طرح سیلاب است. در نتیجه برای محاسبه دبی‌های سیلابی باید منحنی سنجه دبی را با استفاده از روش‌های مناسب ادامه داد. از طرفی به دلیل کاهش شیب منحنی در انتهای آن، اهمیت انتخاب مناسب‌ترین روش جهت امتداد منحنی افزایش می‌یابد. شاو (۱۱) روش‌های مانینگ و استیونس (شزی) را جهت امتداد منحنی سنجه دبی معرفی می‌کند و روش مانینگ را نسبت به روش شزی در امتداد منحنی دبی-اشل برتر می‌داند. برکهد و جیمز (۶) اصول روندیابی به روش ماسکینگام را برای بهینه‌سازی پارامترهای منحنی دبی-اشل به صورت یک تابع نمایی در رودخانه سابی (Sabie) در آفریقای جنوبی معرفی می‌کند. لی و همکاران (۸) اندازه‌گیری‌های دبی سیلابی از راه دور به وسیله رادار را با دبی‌های برآوردی به وسیله منحنی‌های سنجه دبی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که تکنیک سنجه از دور در اندازه‌گیری دبی

رودخانه به ویژه رودخانه‌های بزرگ مؤثر بوده و از کارایی بالایی برخوردار است. باتاچاریا و سولوماتین (۷) نتیجه استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را در امتداد منحنی دبی-اشل مثبت ارزیابی کرده‌اند. سیواپراگاسام و موتیل (۱۰) روش جدید SVM (Support Vector Machine) را برای امتداد منحنی دبی-اشل پیشنهاد کردند و آن را با روش‌های لگاریتمی، چندجمله‌ای درجه دو و درجه سه و شبکه عصبی مصنوعی مقایسه نمودند. ارزیابی روش‌ها نشان داد، کارایی روش SVM نسبت به سایر روش‌ها بهتر است. وفاخواه و شجاعی (۴) جهت تعیین مناسب‌ترین رابطه دبی-اشل، توابع رگرسیونی مختلف را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بهترین نوع رابطه از نوع توانی است و نمی‌توان برای ترسیم منحنی سنجه دبی از آمار سال‌های قبل استفاده نمود. اوژن و همکاران (۱) به مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و توابع رگرسیونی در تهیه منحنی‌های دبی-اشل در چهار ایستگاه هیدرومتری پرداختند که ارزیابی روش‌ها دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی را نشان داد. در این تحقیق، هدف مقایسه روش‌های مختلف امتداد منحنی سنجه دبی جهت برآورد دبی متناظر با ترازهای بالای آب رودخانه است که امکان اندازه‌گیری این قبیل دبی‌ها به دلیل مشکلاتی وجود ندارد.

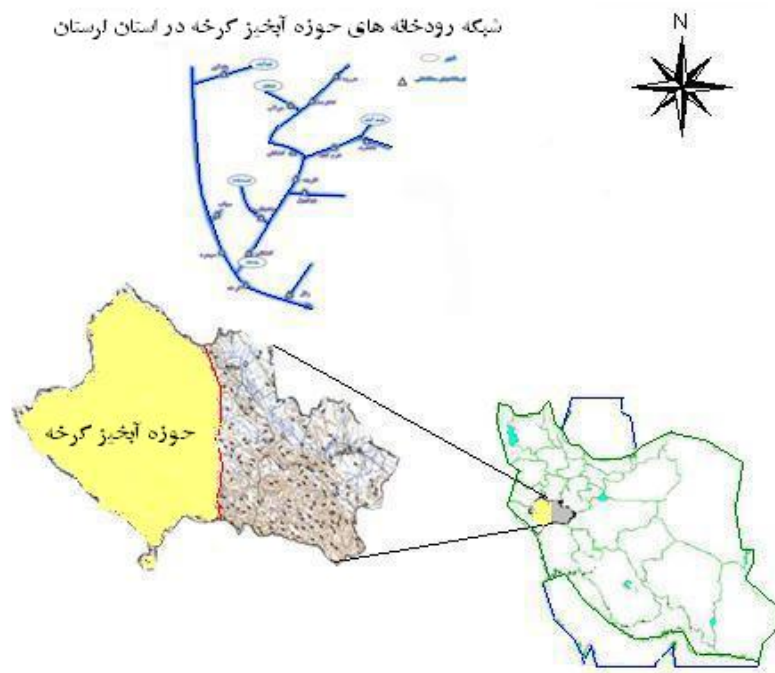
## مواد و روش‌ها

## ۱- منطقه مورد مطالعه

جهت انجام این مطالعه ۱۳ ایستگاه هیدرومتری درحوزه آبخیز کرخه در استان لرستان واقع در غرب ایران انتخاب شد (شکل ۱ و جدول ۱). مساحت این حوزه ۱۶/۸۵ هزار کیلومتر مربع بوده و در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مهم‌ترین رودخانه‌های این حوزه، رودخانه سیمره با متوسط آبدهی سالانه ۹۲ مترمکعب بر ثانیه و رودخانه کشکان با متوسط آبدهی سالانه ۴۶ مترمکعب بر ثانیه است. به منظور انجام این مطالعه یک دوره

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه

ردیف	رودخانه	ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (m)	مساحت حوزه آبریز (km <sup>2</sup> )	سال تأسیس
۱	باد آور	نورآباد	درجه ۱	۱۸۷۰	۶۱۵	۱۳۴۶
۲	سیمره	نظر آباد	درجه ۱	۷۸۰	۲۶۴۳	۱۳۳۸
۳	دره دزدان	تنگ سیاب	درجه ۲	۸۸۰	۵۴۸	۱۳۴۹
۴	هر رود	کاکارضا	درجه ۱	۱۵۳۰	۱۱۵۲	۱۳۳۳
۵	هر رود	دهنو	درجه ۳	۱۷۷۰	۱۹۶۰	۱۳۴۸
۶	دو آب	سراب سیدعلی	درجه ۱	۱۵۲۰	۷۷۶	۱۳۳۳
۷	کشکان	دو آب ویسیان	درجه ۱	۱۰۰۰	۳۶۶۸	۱۳۴۵
۸	خرم آباد	چم انجیر	درجه ۱	۱۱۴۰	۱۵۹۰	۱۳۳۳
۹	کشکان	افرینه	درجه ۱	۸۲۰	۶۷۰۰	۱۳۳۴
۱۰	چول هول	افرینه	درجه ۲	۱۸۰۰	۸۰۰	۱۳۳۴
۱۱	مادیان رود	برآفتاب	درجه ۳	۷۹۰	۱۱۰۸	۱۳۴۹
۱۲	کشکان	پلدختر	درجه ۱	۶۵۰	۹۰۶۰	۱۳۳۴
۱۳	کاکا شرف	چنارخسکه	درجه ۲	۱۴۲۰	۲۳۴	۱۳۶۷



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

حال روابط دبی با ارتفاع آب به وسیله معادله زیر به دست می‌آید:

$$[6] \quad (H-a) = \alpha_1 Q^\beta \quad \{ \alpha_1 = \text{antiLog} \alpha \}$$

در معادلات بالا، مقدار  $a$  نامعلوم است و برای پیدا کردن آن از روش زیر استفاده شد:

- مقدار  $a$  ممکن است مثبت یا منفی باشد. به وسیله آزمون و خطا مقدار  $a$  طوری انتخاب می‌شود که از ترسیم مقادیر  $Q$  در مقابل  $(H-a)$  روی کاغذ لگاریتمی یک خط راست حاصل شود. در حقیقت  $a$  ارتفاع واقع بین صفر اشل و ارتفاعی است که در آن دبی صفر است (۳).

### ب) روش مانینگ

این روش بر اساس خصوصیات و مورفولوژی رودخانه و اصول هیدرولیکی استوار است. فرمول مانینگ در واحد SI به صورت زیر می‌باشد:

$$[7] \quad Q = AV = \frac{\sqrt{S}}{n} * AR^{\frac{2}{3}}$$

که در آن،  $Q$  ( $\frac{m^3}{s}$ )،  $S$  شیب بستر رودخانه ( $m/m$ )،  $n$  ضریب زبری رودخانه ( $s/m^{\frac{2}{3}}$ )،  $\bar{V}$  سرعت متوسط جریان ( $m/s$ )،  $A$  سطح مقطع جریان ( $m^2$ ) و  $R$  شعاع متوسط هیدرولیکی ( $m$ ) است.

از آنجایی که  $A$  و  $R$  زیر مجموعه‌های جریان هستند، مقدار  $AR^{\frac{2}{3}}$  برای مقادیر مختلف اشل محاسبه شده و یک

گراف بر اساس اشل در مقابل  $AR^{\frac{2}{3}}$  رسم گردید. مقدار  $\sqrt{S}/n$  که مقداری ثابت برای ایستگاه اندازه‌گیری است با استفاده از بزرگ‌ترین دبی اندازه‌گیری شده به دست آمد. حال برای برآورد دبی‌های سیلابی لازم است که این منحنی امتداد داده شود. بدین صورت که برای یک اشل جدید مقدار  $AR^{\frac{2}{3}}$  از روی منحنی ترسیم شده خوانده شد و با توجه به در دسترس بودن  $\sqrt{S}/n$ ، دبی مربوط به اشل جدید از معادله مانینگ

آماری ۱۰ ساله، از سال آبی ۱۳۷۶-۷۷ تا ۱۳۸۵-۸۶، برای ایستگاه‌ها انتخاب شد.

### ۲- روش‌های مورد مطالعه جهت امتداد منحنی دبی-اشل

از بین روش‌های مختلفی که جهت امتداد منحنی‌های دبی-اشل شناخته شده‌اند، چهار روش که عمدتاً و به‌طور معمول مورد استفاده قرار گرفته‌اند، انتخاب شد. این روش‌ها شامل روش لگاریتمی (Logarithmic)، روش مانینگ (Manning)، روش شزی (Chezy) و روش سرعت-سطح مقطع (Area - Velocity) است.

### الف) روش لگاریتمی

روش لگاریتمی برگرفته از این اصل ریاضی است که اگر از طرفین یک معادله سهمی لگاریتم گرفته شود به خط راستی تبدیل می‌شود. اغلب فرض می‌شود که معادله کلی منحنی‌های سنجح آب تقریباً سهمی شکل بوده و فرمول کلی آنها به صورت زیر است:

$$[1] \quad Q = c (H-a)^b$$

که در آن،  $Q$  دبی رودخانه ( $\frac{m^3}{s}$ )،  $H$  ارتفاع آب روی اشل ( $cm$ ) و  $a$ ،  $b$  و  $c$  مقادیر ثابت هر ایستگاه هستند. مقیاس لگاریتمی نسبت به مقیاس ساده دارای مزایایی است که منحنی به صورت خط راست رسم می‌شود و به راحتی قابل امتداد است (۵). اگر از طرفین معادله ۱ لگاریتم گرفته شود به صورت زیر خواهد بود:

$$[2] \quad \text{Log} Q = b \text{Log} (H-a) + \text{Log} c$$

$$[3] \quad \{ Y = \text{log} Q, X = \text{log}(H-a), \alpha = \text{log} c \}$$

$$Y = \beta X + \alpha$$

برای انتخاب بهترین خط راست از تعداد  $N$  مشاهده از  $X$  و  $Y$  داریم:

$$[4] \quad \beta = \frac{N(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$[5] \quad \alpha = \bar{Y} - \beta \bar{X}$$

محاسبه گردید (۵).

که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت بر اساس معادله مانینگ استوار است (۲). در سال ۱۸۸۹ یک مهندس ایرلندی به نام مانینگ نشان داد که ضریب شزی با  $R^{1/6}$  رابطه مستقیم دارد ( $C \propto R^{1/6}$ ). بعدها نشان داده شد که ضریب این تناسب  $\frac{1}{n}$  است یعنی:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad [10]$$

#### ۵- معیار ارزیابی روش‌های مورد مطالعه

برای هر ایستگاه هیدرومتری، کل داده‌های دبی اندازه‌گیری شده و سایر پارامترهای همراه در طول دوره آماری ۱۰ ساله مورد مطالعه به‌طور توأم برای اجرای روش‌ها به کار گرفته شد. به طوری که حدود ۱۰۰ دبی اندازه‌گیری شده در طول این دوره برای هر ایستگاه موجود بود. پس از مرتب کردن داده‌ها به صورت نزولی، ۲۰ درصد دبی‌های بالایی (حداکثر)، به منظور ارزیابی دقت روش‌های مورد مطالعه در امتداد دادن منحنی‌های دبی - اشل کنار گذاشته شد و بر اساس داده‌های باقی‌مانده اقدام به اجرای هر کدام از روش‌ها شد و مقادیر دبی متناظر اشل‌های بالا برآورد، و با مقادیر واقعی مقایسه شد.

جهت ارزیابی روش‌ها از دو پارامتر آماری ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) (RMSE) و میانگین خطای انحراف (Mean Bias Error) (MBE) استفاده گردید (۹ و ۱۰).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_o - Q_c)^2} \quad [11]$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_c)}{n} \quad [12]$$

$Q_c$ : مقدار دبی برآورد شده

$Q_o$ : مقدار دبی مشاهده شده (واقعی)

$n$ : تعداد داده‌ها

به طور کلی دقت یک روش دلالت بر نزدیکی یا دوری برآوردها به مقادیر حقیقی یا واقعی دارد. پارامتر RMSE

#### ج) روش شزی

معادله شزی نیز می‌تواند به طور موفقیت آمیزی جهت امتداد منحنی سنجه دبی مورد استفاده قرار گیرد. معادله شزی برای یک جریان یک‌نواخت به صورت زیر است (۱۰):

$$Q = A \bar{V} = AC \sqrt{RS} \quad [8]$$

که پارامترهای آن همانند معادله ۷ است و  $C$  ضریب شزی را نشان می‌دهد.

در این روش مقدار  $C\sqrt{S}$  برای ایستگاه ثابت فرض می‌شود. جهت امتداد منحنی با این روش مقادیر  $H$  و  $A\sqrt{R}$  برای همه رکوردهای مشاهده شده در مقابل هم به صورت یک گراف رسم شد. برای اشل مورد نیاز مقدار  $A\sqrt{R}$  از روی منحنی ترسیم شده برآورد شد و با در نظر گرفتن ثابت ایستگاه و با توجه به معادله شزی مقدار دبی متناظر با اشل مذکور محاسبه شد (۹).

#### د) روش سرعت - سطح مقطع

در این روش، دو منحنی، یکی بر حسب سرعت متوسط ( $\bar{V}$ ) در مقابل اشل ( $H$ ) و دیگری بر حسب سطح مقطع جریان ( $A$ ) در مقابل اشل ( $H$ ) ترسیم گردید. این دو منحنی را به راحتی می‌توان امتداد داد. سپس مقادیر دبی برای اشل‌های مورد نیاز (اشل‌های حداکثر) از طریق ایجاد تطابق مقادیر  $\bar{V}$  و  $A$  محاسبه شد (۹).

#### ۳- محاسبه شعاع هیدرولیکی (R)

برای همه اندازه‌گیری‌های دبی، طول محیط خیس شده ( $P$ ) و سطح مقطع خیس شده ( $A$ ) محاسبه شد و شعاع هیدرولیکی جریان ( $R$ ) بر اساس معادله ۹ به دست آمد.

$$R = \frac{A}{P} \quad [9]$$

#### ۴- محاسبه ضریب شزی (C)

روش‌های مختلفی برای تعیین ضریب شزی وجود دارد. روشی

جدول ۲. مقایسه دقت و انحراف روش‌های مختلف امتداد منحنی دبی - اشل در ایستگاه‌های مورد مطالعه

روش	روش لگاریتمی		روش سرعت- سطح مقطع		روش مانینگ		روش شزی	
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
ایستگاه هیدرومتری								
بادآور- نورآباد	-۱/۷	۲/۶	-۱/۴	۱/۷	-۰/۱	۰/۹	۰/۶	۱/۷
خرم آباد - چم انجیر	-۱۲	۱۵/۴	*	*	-۳/۶	۱۲	۰/۶	۱۱/۲
دره دزدان- تنگ سیاب	-۰/۲	۰/۵	*	*	۰/۷	۰/۸	۰/۰۲	۰/۴
سیمره - نظر آباد	-۳/۲	۶۰/۳	-۳۴	۹۴	-۱۱۱	۱۵۵/۶	-۱۳۴/۵	۱۸۶/۷
کشکان - افرینه	-۷/۷	۳۳/۶	-۳۰/۵	۴۵	-۲۱/۲	۳۶/۷	-۲۲/۷	۳۹/۱
کشکان - دوآب ویسیان	-۵/۳	۵۱	-۴۷/۷	۹۲	-۴۵/۷	۸۷	-۴۷/۵	۹۱/۹
مادیان رود - برآفتاب	-۰/۱	۱/۱	۱/۲	۱/۸	۰/۱	۰/۹	۰/۷	۱/۱
هررود - دهنو	-۵/۲	۸/۵	-۴/۳	۷/۵	-۶/۱	۹/۶	-۵/۶	۹/۲
چول هول - افرینه	-۵/۱	۱۲/۸	-۵/۲	۱۱/۳	-۵/۲	۱۰	-۴/۴	۹/۴
دوآب - سراب صید علی	-۲/۹	۶/۴	-۲/۹	۷/۱	-۳	۴/۹	-۶/۸	۹/۹
کاکاشرف - چنارخشکه	-۰/۳	۱/۸	۱/۹	۲/۴	-۲/۸	۴/۲	-۲/۷	۴/۲
کشکان - پلدختر	-۷/۷	۱۱۸/۶	-۱۱۴/۱	۱۸۳	-۱۸۳/۸	۲۸۰/۹	-۱۸۰	۲۸۴
هررود - کاکارضا	-۰/۷	۹/۷	-۷/۶	۱۶/۲	-۲۹/۶	۷۲/۸	-۲۲/۳	۶۶/۹
میانگین	-۴	۲۴/۸	-۲۲/۲۲	۴۲	-۳۱/۶	۵۲	-۳۲/۷	۵۵

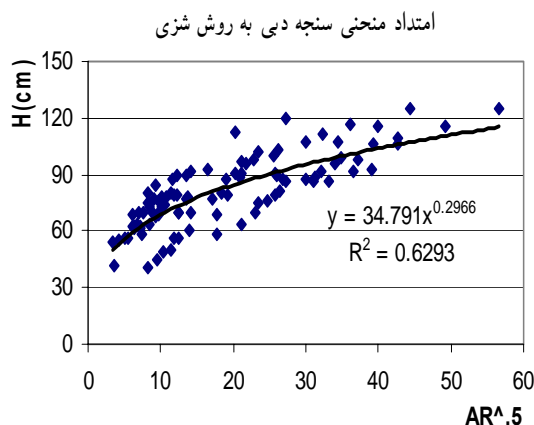
\*: در این دو ایستگاه رابطه معنی‌داری بین اشل و سطح مقطع وجود نداشت و نمی‌توان از روش سرعت- سطح مقطع استفاده کرد.

### نتایج و بحث

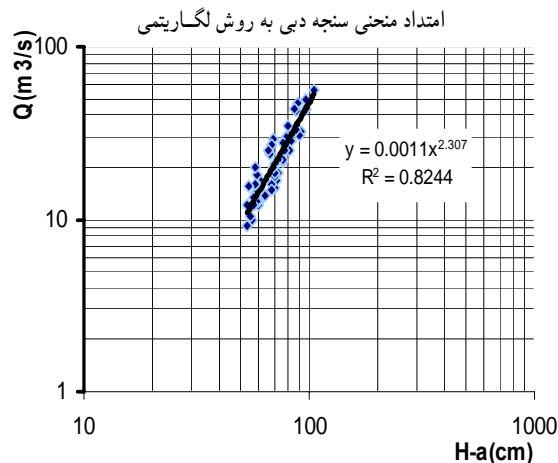
پس از این که ۲۰ درصد حداکثر مجموع آمار دوره ۱۰ ساله هر یک از ایستگاه‌ها کنار گذاشته شد، براساس ۸۰ درصد آمار باقیمانده اقدام به امتداد منحنی سنجه دبی با چهار روش مورد مطالعه گردید.

دبی‌های متناظر با اشل‌های حداکثر (۲۰ درصد)، بر اساس امتداد منحنی به روش‌های مختلف در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه برآورد گردید و مقادیر RMSE و MBE مربوط به هر روش در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول ۲ آمده است. امتداد منحنی سنجه دبی به روش‌های مختلف در ایستگاه هیدرومتری کشکان- افرینه در شکل ۲ آورده شده است. نتایج مقایسه خطا و انحراف روش‌های مختلف امتداد

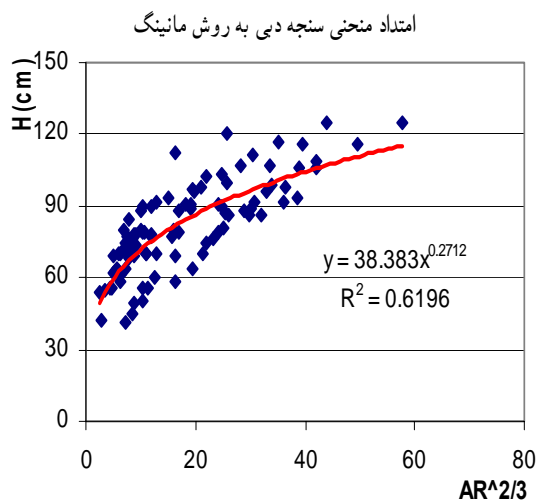
نشان‌دهنده دقت نتایج و MBE انحراف نتایج روش استفاده شده را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت و منفی MBE به ترتیب نشان‌دهنده برآورد بیشتر و کمتر از مقادیر واقعی است. هر چقدر این دو معیار به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر دیده شده است. یعنی روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه سازی کرده است. از معایب این دو پارامتر آماری این است که تنها به طور نسبی نه بر اساس یک سطح اطمینان آماری روش‌ها را مقایسه می‌نمایند. البته مزیت مهم پارامتر MBE این است که می‌توان با توجه به مقدار متوسط انحراف مثبت یا منفی، جهت تدقیق و نزدیک شدن به واقعیت یک ضریب کاهش یا افزایشی به آن اضافه نمود.



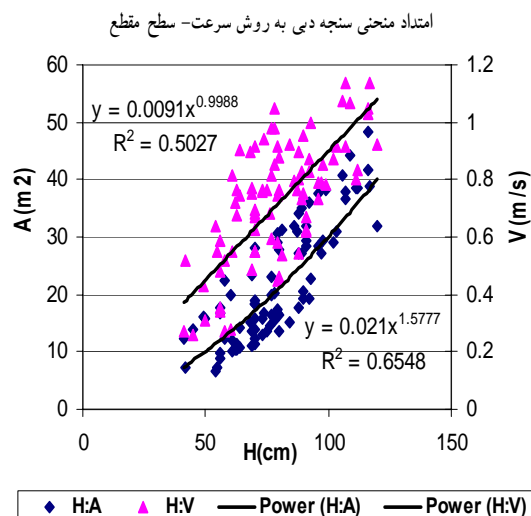
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲. امتداد منحنی سنجه دبی به روش‌های مختلف در ایستگاه کشکان- افرینه (در شکل ۲- ج یک منحنی اشل در مقابل سطح مقطع (H : V) و منحنی دیگر اشل در مقابل سرعت (H : V) می‌باشد)

روش‌های مانینگ و شزی در امتداد منحنی دبی- اشل نتایج یکسانی را ارائه داده‌اند و هر کدام در سه ایستگاه هیدرومتری دارای خطا و انحراف کمتری هستند. نتایج حاصل از محاسبه مقدار متوسط خطا در مجموع ۱۳ ایستگاه هیدرومتری (شکل ۳) نشان داد که روش لگاریتمی دارای کمترین مقدار متوسط خطا بوده و بعد از آن به ترتیب روش‌های سرعت- سطح مقطع، مانینگ و شزی کمترین خطا را داشتند.

منحنی سنجه دبی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که روش لگاریتمی در تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها (۷ ایستگاه) از دقت بهتری برخوردار بوده و به طور میانگین دارای خطا و انحراف کمتری است و در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای انحراف منفی بوده است. یعنی دبی را کمتر از واقعیت برآورد می‌کند (جدول ۲) که بر این اساس با نتایج مطالعه سیواپراگاسام و موتیل (۱۰) مطابقت می‌کند.



شکل ۳. مقایسه روش‌های مختلف امتداد منحنی دبی-اشل از نظر متوسط خطا در ۱۳ ایستگاه

باشد که ضریب زبری مانینگ نسبت به ضریب شزی با تغییر شعاع هیدرولیکی در اشل‌های بالا و سیلابی، کمتر دستخوش تغییر خواهد شد (۱۱). در این تحقیق ضریب زبری مانینگ و شزی در اشل‌های مختلف یکسان و ثابت فرض شده است که احتمالاً دقت پایین روش‌های مانینگ و شزی در ادامه دادن منحنی دبی-اشل را می‌توان حساسیت زیاد این ضرایب زبری و تغییرات آنها در اشل‌های مختلف دانست. در مواردی که رابطه دبی-اشل دارای ضریب تعیین پایین است و یا منحنی دبی-اشل از هم‌بستگی کمی برخوردار است، می‌توان علت آن را کمبود اندازه‌گیری در مقادیر مختلف دبی به ویژه در دبی‌های بالا و به میزان کمتری به کمبود اندازه‌گیری دبی‌های پایین دانست. همچنین پراکنش اندازه‌گیری دبی در روزهای مختلف سال باید به گونه‌ای باشد که دبی‌های مختلفی را بین حداقل و حداکثر شامل شود. به طور کلی باید گفت که در حال حاضر هیچ روش کاملاً مطلوبی که بتوان با اطمینان از آن در امتداد منحنی دبی-اشل استفاده کرد وجود ندارد و بسته به شرایط هر ایستگاه باید روش‌های مختلف را تست و مناسب‌ترین روش را انتخاب کرد.

در دو ایستگاه خرم‌آباد-چمنجیر و دره دزدان-تنگ سیاب به دلیل عدم رابطه معنی‌دار بین اشل و سطح مقطع جریان، نمی‌توان از روش سرعت-سطح مقطع جهت امتداد منحنی دبی-اشل استفاده نمود. که علت این امر را می‌توان در تغییر محل‌های اندازه‌گیری دبی و تغییر مرفولوژی رودخانه دانست که باعث می‌شود در مقابل یک اشل یکسان، سطح مقطع‌های مختلفی وجود داشته باشد.

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، روش لگاریتمی به عنوان بهترین روش جهت امتداد منحنی از بین چهار روش مورد بررسی در بیشتر ایستگاه‌ها شناخته شد. طبق این روش، منحنی سهمی شکل دبی-اشل به خط راستی تبدیل می‌شود و بدین ترتیب امکان امتداد آن به راحتی فراهم می‌باشد. روش لگاریتمی اصولاً یک روش برازش ریاضی است. بنابراین انطباق‌های خوب به دست آمده با این روش احتمالاً ناشی از این حقیقت است که بزرگ‌ترین داده‌های دبی-اشل عمدتاً مربوط به جریان‌های رودخانه‌ای در کانال اصلی است.

مقایسه بین دو روش تجربی شزی و مانینگ برتری نسبی روش مانینگ را نشان داد، که می‌تواند ناشی از این واقعیت

#### منابع مورد استفاده

۱. اوژن، م.، م. نجفی حاجیور و ح. جلیلیان. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع رگرسیونی در تهیه منحنی‌های



- دبی - اشل. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲. حسینی، س. م. و ج. ابریشمی. ۱۳۸۶. هیدرولیک کانال های باز. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
۳. مهدوی، م. ۱۳۸۲. هیدرولوژی کاربردی. ج ۱، انتشارات دانشگاه تهران.
۴. وفاخواه، م. و غ. ر. شجاعی. ۱۳۸۶. تعیین مناسب ترین رابطه دبی - اشل در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده رود. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۴۲): ۳۱۵-۳۲۲.
۵. هاشمی، س. ر. ۱۳۸۲. هیدرولوژی مهندسی. تألیف سوبرامانیا، انتشارات شعرا، مشهد.
6. Birkhead, A.L. and C.S. James. 1998. Synthesis of rating curves from local stage and remote discharge monitoring using nonlinear muskingum routing. *J. Hydrol.* 205: 52- 65.
7. Bhattacharya, B. and D.P. Solomatine. 2005. Neural networks and M5 tree model in modeling water level-discharge relationship. *J. Neurocomput.* 63: 381-396.
8. Lee, M.C., J.M. Leu, C.J. Lai, W. J. Plant, W.C. Keller and K. Hayes. 2002. Non-contact flood discharge measurements using X-band pulse radar (II) Improvements and applications. *J. Flow Measurement and Instrum.* 13: 271-276.
9. Patra, K.C. 1998. Hydrology and Water Resources Engineering. Alpha Science International Ltd., New Delhi.
10. Sivapragasam, C. and N. Muttill. 2005. Discharge rating curve extension- A New Approach. *J. Water Resour. Manag.* 19: 505-520.
11. Shaw, E. M. 1994. Hydrology in Practice. 3<sup>rd</sup> ed., T. J. Press, London.