تعیین مناسب‌ترین رابطه دبی- اشل در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده‌رود

مهدی وفاخواه* و غلامرضا شجاعی[۱]

(تاریخ دریافت: ۸۴/۲/۳ ؛ تاریخ پذیرش : ۸۶/۲/۱۸)

چکیده

از آنجایی که اندازه‌گیری دائمی دبی رودخانه‌ها کاری پرهزینه و مشکل می‌باشد به همین دلیل در ایستگاه‌های هیدرومتری قرائت دائمی اشل انجام شده و با ایجاد رابطه بین دبی و اشل، دبی مواقعی که اندازه‌گیری انجام نمی‌شود را به دست می‌آورند. در این تحقیق، روابط دبی - اشل، قابلیت استفاده از آمار سال‌های قبل و تهیه رابطه دبی- اشل دائمی و ثابت با توجه به آمار طولانی مدت و مناسب‌ترین زمان اندازه‌گیری دبی در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده‌رود با استفاده از آمار سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از روش آماری رگرسیون ساده و تجزیه و تحلیل عاملی و هم‌چنین معیار آماری درصد خطای نسبی استفاده گردید. نتایج نشان داد که بهترین شکل رابطه از نوع توانی است و رابطه تهیه شده برای هر سال برای همان سال قابل استفاده است. هم‌چنین مناسب‌ترین زمان برای اندازه‌گیری دبی به منظور تهیه رابطه دبی- اشل ماه‌های تیر، آذر و اسفند می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رابطه دبی - اشل، ایستگاه هیدرومتری، مدل توانی، تجزیه و تحلیل عاملی، حوزه آبخیز زاینده‌رود

مقدمه

نقش داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها در برنامه‌ریزی منابع آب، کنترل سیلاب و مهندسی رودخانه برای تمام کارشناسانی که به نحوی با علوم آب سروکار دارند مشخص می‌باشد. دانش هیدرومتری بر نتایج حاصله از مشاهدات مستقیم یا به عبارتی بر اندازه‌گیری‌های صحرایی عمق، سطح آب و سرعت استوار است. معمولاً با چندین نوبت اندازه‌گیری هم‌زمان دبی- اشل در یک ایستگاه هیدرومتری، می‌توان به یک رابطه ساده بین آبدهی رودخانه و رقوم سطح آب دست یافت. آنگاه با ثبت مرتب و منظم رقوم سطح آب و با به کارگیری رابطه دبی- اشل رقوم سطح آب قرائت شده را به دبی متناظر تبدیل نمود. بدین طریق محاسبه جریان رودخانه در مقیاس روزانه، ساعتی و حتی به صورت لحظه‌ای مقدور خواهد بود (۲).

اندازه‌گیری دائمی دبی رودخانه‌ها حتی در شرایط عادی امری مشکل و هزینه‌بر است. مشکلات مزبور به خصوص در هنگام وقوع سیلاب‌ها به طور فوق‌العاده‌ای افزایش می‌یابد و چه بسا به دلیل بروز شرایط نامناسب و خطرناک امکان اندازه‌گیری‌های مستقیم در برخی موارد کلاً از میان خواهد رفت. معمولاً سعی می‌شود با اندازه‌گیری دائمی اشل که امری کم هزینه و آسان می‌باشد، دبی مواقعی را که اندازه‌گیری در آنها

۱. به ترتیب مربی و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Vafakhah@modares.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

صورت نگرفته به دست آورد (۲).

با توجه به این وضعیت، وقتی مقدار قابل توجهی از داده‌های مورد نظر در دسترس باشد، می‌توان رابطه ساده‌ای بین مقادیر دبی و تراز آب برقرار نمود. از راه‌حل‌های موجود استفاده از مدل‌های رگرسیونی می‌باشد. به هر حال با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمان‌های اخیراز مدل‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Networks) و هم‌چنین نرم افزارهای پیشرفته برای حل این مشکل بهره گرفته شده است (۶).

رابطه دبی- اشل (Discharge-Stage) برای بیان تمام مفاهیم ممکن برای توضیح محاسبه دبی از پارامترهای اندازه‌گیری شده جریان به کار برده می‌شود. رابطه دبی- اشل با تعیین نقاط اندازه‌گیری دبی روی محور x ها و اشل‌های متناظر روی محور y ها تعریف می‌شود. شکل منحنی دبی- اشل تابعی از هندسه ایستگاه کنترل می‌باشد. از نقطه نظر ریاضی اغلب منحنی‌های دبی- اشل به شکل کلی سهمی یا ترکیبی از چند سهمی می‌باشند. با توجه به این واقعیت در اکثر موارد می‌توان از مقیاس لگاریتمی برای ترسیم رابطه دبی- اشل بهره جست. البته چون بسیاری از رودخانه‌ها دارای مقطع عرضی نامنظم می‌باشند (به ویژه در مواقع سیلابی و یا دبی‌های پایین) شکل سهمی گونه منحنی دبی- اشل می‌تواند به اشکال دیگر تغییر کند. به طور مثال وقتی رودخانه دارای انحنای تند است و یا فشردگی پایین‌دست بر مقطع کنترل مؤثر می‌باشد، منحنی ممکن است در یک بخش از محدوده تغییرات به طرف بالا تحدب پیدا کند. شرایط طبیعی متغیر در ایستگاه اندازه‌گیری نیز ممکن است شکل منحنی دبی- اشل را تغییر دهد (۱).

بهترین معادله ریاضی منحنی دبی- اشل که منطبق با قوانین هیدرولیکی باشد، توسط سازمان استاندارد جهانی (International Standard Organization) (۱۱) و هم‌چنین سازمان هواشناسی جهانی(WMO) به صورت رابطه ۱ توصیه شده است (۱۰):

$$Q = a\,(H-Ho)^{b} \qquad [1]$$

که در آن: Q دبی جریان، H ارتفاع اشل، H_o ارتفاع اشل متناظر با دبی صفر و a و b اعداد ثابت هستند.

باتاچاریا و سولوماتین (۶) به بررسی ارتباط بین دبی و تراز آب با استفاده از داده‌های ۹ سال ایستگاه هیدرومتری رودخانه باگیراتی (Bhagirathi river) در هند با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج نشان داد بهترین مدل تهیه شده مدل توانی با ضریب تعیین در حدود ۰/۹۸۸ می‌باشد. اعتبارسنجی مدل نشان داد که مدل تهیه شده دارای درصد خطای نسبی کمی است.

جین و چالیسگونکار (۹) به بررسی رابطه دبی- اشل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در هند پرداختند. در این تحقیق از سه لایه اطلاعاتی در مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند و اقدام به مدل‌سازی و تهیه منحنی دبی- اشل کردند. نتایج نشان داد که رابطه دبی- اشل توانی تهیه شده با این روش دارای ضریب هم‌بستگی بالایی می‌باشد.

چاباک و مک‌گین (۸) به ارزیابی روابط دبی- اشل و جریان‌های خروجی در دریاچه کلیر (Clear Lake) در کانادا پرداختند. آنها در این تحقیق از آمار تراز آب دریاچه و کانال‌ها و آمار اندازه‌گیری شده دبی آب استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که شکل منحنی دبی- اشل رابطه معنی‌داری با هندسه جریان و پارامترهای هیدرولیکی جریان در این دریاچه دارد.

باتاچاریا و سولوماتین (۷) به منظور ارزیابی روابط دبی و تراز آب از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و درختی (Tree model) استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل بهینه برای روابط دبی- اشل مدل توانی می‌باشد و هم‌چنین استفاده از مدل درختی گرچه راحت‌تر و ساده‌تر است ولی بهره‌گیری از مدل شبکه عصبی مصنوعی به ارائه رابطه‌ای با ضریب تعیین بالاتر (۰/۹۸) منتهی می‌شود.

نرم افزار SDC توسط فهمی به منظور تهیه معادله منحنی دبی- اشل که منطبق با قوانین هیدرولیکی باشد و مقادیر دبی جریان رودخانه را با مقدار قابل قبولی با توجه به مقادیر تراز آب به دست آورد، طراحی و ساخته شده است (۱).

حمادی (۲) به ارزیابی روابط دبی- اشل و بررسی تداوم آنها

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

در سیستم رودخانه‌ای کارون بزرگ پرداخت. در این تحقیق با استفاده از نتایج اندازه‌گیری مستقیم دبی سیستم رودخانه‌ای در۶ ایستگاه هیدرومتری طی دوره آماری۳۰ ساله اخیر به استنتاج روابط دبی- اشل و زمان اعتبار آنها پرداخته شده است و مشخص گردید که بهترین رابطه در اکثر موارد از نوع سهمی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی رودخانه زاینده‌رود

ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی روی رودخانه زاینده‌رود در ۴ کیلومتری پایاب سد زاینده‌رود و بالاتر از روستای حجت‌آباد در طول جغرافیایی َ۴۷ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی َ۴۲ °۳۲ شمالی و ارتفاع ۱۹۹۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. تجهیزات این ایستگاه اشل، تله فریک و لیمنوگراف می‌باشد. دلایل انتخاب این ایستگاه دارا بودن طول دوره آماری مناسب، آمار دقیق و صحیح و نیز تعداد نمونه‌گیری زیاد در سال و داشتن آمار سال‌های اخیر است که باعث می‌گردد تا آخرین تغییرات در تحلیل‌ها در نظر گرفته شود. سد تنظیمی دارای ظرفیت ۱۴۵۰ هزارمتر مکعب، ارتفاع ۱۴ متر، طول ۲۱۵ متر و یک دریچه قطاعی به ابعاد ۲×۲/۴ متر است.

روش کار

برای انجام این تحقیق با مراجعه به سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، آمار و اطلاعات دبی- اشل ایستگاه هیدرومتری سدتنظیمی زاینده‌رود دریافت گردید. سپس آماردریافتی مورد بررسی قرار گرفت و به منظور انتخاب مناسب‌ترین رابطه دبی- اشل با استفاده از رگرسیون ساده، ارتباط بین متغیر مستقل (تراز آب) و متغیر وابسته (دبی) تعیین شد. روابط بین این دو متغیر در حالت‌های خطی (Linear)، لگاریتمی (Logarithmic)، معکوس (Inveres)، توانی (Power)، نمایی (Exponential) و لگاریتمی درجه دو (Logestic) با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری SPSS و Excel مورد بررسی قرارگرفت و جداول تجزیه واریانس برای معنی‌دار بودن مدل‌ها تشکیل، و در هر روش ضرایب معادله استخراج گردید و نهایتاً مدل با ضریب هم‌بستگی بالاتر به عنوان مدل نهائی در این مرحله انتخاب شد.

به منظورتعیین قابلیت استفاده از آمار سال‌های قبل و تهیه رابطه دبی- اشل دائمی و ثابت با توجه به آمار طولانی مدت ایستگاه، آمار دبی- اشل هر سال به آمار سال بعد از آن اضافه شد و مجدداً مانند روش ذکر شده مدل‌سازی صورت گرفته و کارآیی آن با توجه به درصد خطای نسبی تعیین گردید که مقدار آن از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$RE = \left|\frac{Q_O - Q_e}{Q_O}\right| \times ۱۰۰ \qquad [۲]$$

در این رابطه، RE درصد خطای نسبی، Q_O مقدار دبی مشاهده‌ای و Q_e مقدار دبی برآوردی می‌باشد. هنگام استفاده از این رابطه، مدل هنگامی پذیرفتنی است که درصد خطای نسبی آن کمتر از ۴۰ درصد باشد (۴). با استفاده از رگرسیون ساده و مقایسه بین درصد خطای نسبی مجموع سال‌ها و هر سال، تجزیه و تحلیل صورت گرفت.

برای به دست آوردن مناسب‌ترین زمان برای اندازه‌گیری دبی، از روش آماری تجزیه و تحلیل عاملی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل عاملی از جمله روش‌های آماری چند متغیره است که به وسیله آن می‌توان تعداد زیادی از متغیرها را به چند عامل کاهش داد و به این طریق خلاصه‌ای از داده‌های اصلی را تهیه نمود. هر چه مقدار هم‌بستگی داخلی بین متغیرها بیشتر باشد تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود. هم‌چنین با استفاده ازتجزیه و تحلیل عاملی می‌توان اهمیت و وزن هر عامل را تعیین نمود (۳). در این روش ابتدا میانگین (M_f) و انحراف معیار (S_f) هر مجموعه از داده‌ها تعیین شد و سپس با استفاده از رابطه ۳ داده‌ها استاندارد شدند.

$$Z_{if} = \frac{X_{if} - M_f}{S_f} \qquad [۳]$$

در این رابطه: Z_{if} میزان استاندارد داده و X_{if} میزان داده مورد نظر است. برای برآورد ماتریس وزنی عاملی و واریانس‌های عاملی از روش حداکثر درست نمایی (Maximum liklihood method) و در دو حالت بدون دوران و با دوران با روش‌های واریماکس

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

(Varimax) و کوارتیماکس (Quartimax) استفاده شد. روش واریماکس که عمومی‌ترین روش دوران متعامد است، دورانی است که تغییرات مربعات عناصر ستونی برآورد ماتریس وزن‌های عاملی را ماکزیمم می‌سازد. عواملی که به این روش تولید می‌شوند، با جواب‌ها وابستگی شدید دارند یا به کل از آنها مستقل هستند. روش دوران کوارتیماکس به گونه‌ای صورت می‌گیرد که متغیرها تا آنجا که ممکن است به تعداد کمی عامل بستگی داشته باشند. برای انتخاب تعداد عامل‌ها از آزمونی که به وسیله بارتلت پیشنهاد شده است، استفاده می‌شود (به نقل از ۵). یک قاعده دیگر که اغلب در بسته‌های نرم‌افزاری آماری به کار برده می‌شود این است که تعداد عامل‌ها برابر تعداد عامل‌هایی که دارای ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی بزرگ‌تر از یک هستند انتخاب می‌شود. این انتخاب را می‌توان به عنوان اولین پیش بینی عامل‌ها به کار برد. سپس الگو با استفاده از میزان درصد واریانس و درصد واریانس تجمعی آزموده می‌شود (۵). برای انجام روش تجزیه و تحلیل عاملی از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

با بررسی آمار دبی- اشل ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده‌رود مشخص گردید این ایستگاه در سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۲ دارای آمار بوده و برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ مدل نهایی انتخاب شده از بین مدل‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول به جز سال‌های ۱۳۷۳ و۱۳۸۰ که مدل نهایی انتخاب شده خطی است در بقیه سال‌ها مدل‌های نهایی پذیرفته شده به صورت توانی می‌باشد. لازم به توضیح است که در سال‌های ۱۳۷۳ و۱۳۸۰ نیز مدل توانی معنی‌دار بوده و دارای ضریب تعیین نزدیک به مدل خطی می‌باشد ولی از آنجایی که مدل خطی دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری بود انتخاب گردیده است.

نتایج مربوط به تعیین قابلیت استفاده از آمار سال‌های قبل و تهیه رابطه دبی- اشل دائمی و ثابت با توجه به آمار طولانی مدت ایستگاه در شکل‌های ۱ و ۲ آمده است.

رابطه رگرسیونی شکل ۱ به صورت y=۰/۵۴x+۶/۱۵۷ با ضریب تعیین ۰/۲۵ بوده که در سطوح اعتماد یک و پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که رابطه‌ای بین خطای نسبی هر سال و مجموع سال‌ها وجود ندارد.

با توجه به شکل ۲ تغییرات درصد خطای نسبی مدل هر سال و مدل مجموع سال‌ها از روند خاصی پیروی نمی‌نماید و استفاده از آمار سال‌های قبل تأثیری در کاهش خطای نسبی ندارد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده از شکل‌های ۱ و ۲ نمی‌توان از آمار سال‌های قبل برای مدل‌سازی استفاده نمود.

نتایج تجزیه و تحلیل عاملی نشان داد که روش حداکثر درست‌نمایی بدون دوران و با دوران با روش‌های مختلف نتایج یکسانی داشته‌اند. نتایج استفاده از این روش در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

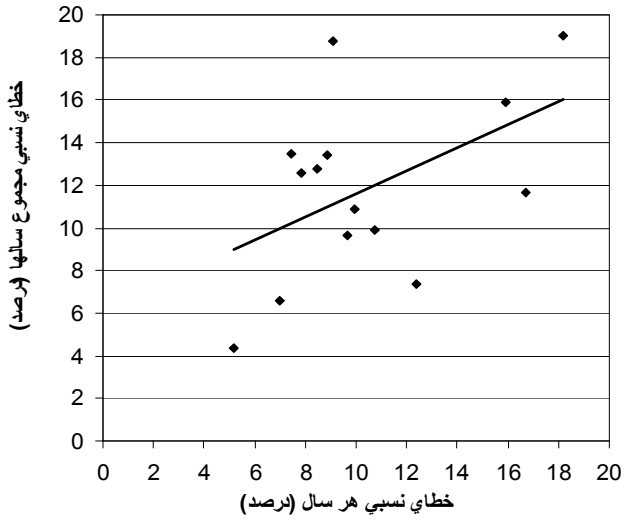
با توجه جداول ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های اندازه‌گیری شده دبی و اشل در ماه‌های مختلف سال را می‌توان در سه محور خلاصه نمود، به طوری‌که مجموع این محورها می‌توانند ۹۰/۱۷ درصد از واریانس را توضیح دهند. در اینجا محور۱ محوری است که با همه ماه‌ها، به جز ماه دی، رابطه مستقیم دارد و از آنجایی‌که ماه تیر بیشترین وزن را دارا می‌باشد انتخاب می‌گردد. این محور می‌تواند ۵۷ درصد از تغییرات (واریانس) را توضیح دهد. محور ۲ محوری است که با ماه‌های مهر، آبان و آذر رابطه معکوس و با بقیه ماه‌ها رابطه مستقیم دارد. در اینجا نیز همان طور که در مورد محور ۱ توضیح داده شد آذر ماه نسبت به ماه‌های دیگر بیشترین وزن را دارا می‌باشد و به همین علت انتخاب می‌شود. این محور ۲۰ درصد از تغییرات را توضیح می‌دهد که در مجموع با محور۱، توانسته‌اند ۷۷ درصد از تغییرات را توضیح دهند. محور ۳، محوری است که با ماه‌های مهر، آبان، خرداد، تیر و مرداد رابطه معکوس و با بقیه ماه‌ها رابطه مستقیم دارد. در این محور، ماه اسفند دارای بیشترین وزن نسبت به بقیه ماه‌ها بوده و ۱۳/۱۷ درصد از تغییرات را توضیح می‌دهد و به همین علت انتخاب می‌گردد. بر این اساس ماه‌های

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

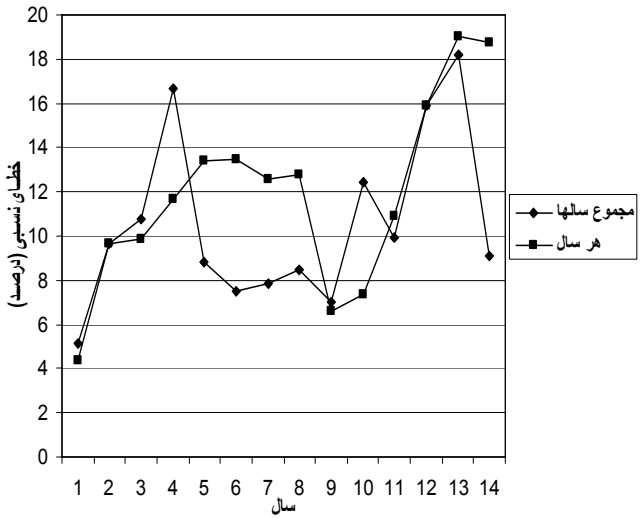
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

جدول ۱. مناسب‌ترین مدل انتخاب شده در هر سال آماری

سال	مدل انتخاب شده	ضریب تعیین (R^2)	ضریب هم‌بستگی (R)	خطای استاندارد (SE)	میـزان F	سطح معنی‌داری
۱۳۶۹	$۰/۰۳۸۷H^{۱/۰۶۱}$	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۴۷	۳۷۳۱/۹	۰/۰۰۰
۱۳۷۰	$۰/۰۰۹H^{۱/۹۳}$	۰/۹۹۱	۰/۹۹۵	۰/۰۷۸	۱۷۷۱/۲۵	۰/۰۰۰
۱۳۷۱	$۰/۰۰۹H^{۱/۹۳}$	۰/۹۹۱	۰/۹۹۵	۰/۰۷۸	۱۷۷۱/۲۵	۰/۰۰۰
۱۳۷۲	$۱/۰۲۳\ H^{۱/۷۲}$	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۰/۰۴۷	۴۲۱۱/۹۹	۰/۰۰۰
۱۳۷۳	$۱/۰۲۹۵\ H - ۳۴/۶۳$	۰/۹۶۸	۰/۹۸۴	۴/۵۴	۴۰/۳۷	۰/۰۰۰
۱۳۷۴	$۰/۰۴۷۶H^{۱/۵۷}$	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۰/۰۴۶	۳۸۱۳/۱۲	۰/۰۰۰
۱۳۷۵	$۰/۰۴۷۶\ H^{۱/۵۷}$	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۱	۳۵۵۲	۰/۰۰۰
۱۳۷۶	$۰/۰۳۸۹\ H^{۱/۶۱}$	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۲۴	۱۲۱۵۸/۸	۰/۰۰۰
۱۳۷۷	$۰/۰۲۳۷H^{۱/۷۲}$	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۰۴۲	۶۰۴۳/۹	۰/۰۰۰
۱۳۷۸	$۰/۰۴۲۷H^{۱/۵۸}$	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	۰/۰۶۴	۲۵۰۵/۸۵	۰/۰۰۰
۱۳۷۹	$۰/۰۰۱۱H^{۲/۴۱}$	۰/۹۷۴	۰/۹۸۷	۰/۱۲۴	۴۲۰/۴۱	۰/۰۰۰
۱۳۸۰	$۰/۶۹H - ۲۴/۷۱$	۰/۷۰۴	۰/۷۰۴	۴/۸۹	۲۳/۸۲	۰/۰۰۰۶
۱۳۸۱	$۰/۰۰۱۱\ H^{۲/۴۱}$	۰/۹۹۲	۰/۹۷۱	۰/۰۶	۱۳۸۵/۴۵	۰/۰۰۰
۱۳۸۲	$۰/۰۰۲۳H^{۲/۱۶}$	۰/۹۴۴	۰/۹۷۱	۰/۰۱۸	۵۰/۷۹	۰/۰۰۵۷



شکل ۱. رابطه هم‌بستگی بین خطای نسبی هر سال و مجموع سال‌ها



شکل ۲. روند تغییرات درصد خطای نسبی مدل هر سال و مجموع سال‌ها(سال ۱ همان سال ۱۳۶۹ است).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

جدول ۲. ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی با دوران

محور	ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی			محور	ریشه پنهان ماتریس هم‌بستگی		
	ریشه پنهان	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی		ریشه پنهان	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۶/۸۴	۵۷	۵۷	۱	۶/۸۴	۵۷	۵۷
۲	۲/۴	۲۰	۷۷	۲	۲/۴	۲۰	۷۷
۳	۱/۵۸	۱۳/۱۷	۹۰/۱۷	۳	۱/۵۸	۱۳/۱۷	۹۰/۱۷
۴	۰/۴۵	۳/۷۸	۹۳/۹۶				
۵	۰/۳۶	۳	۹۶/۹۶				
۶	۰/۱۳	۱/۱۲	۹۸/۰۸				
۷	۰/۱۲	۱/۰۰۹	۹۹/۰۹				
۸	۰/۰۶	۰/۵۳	۹۹/۶۲				
۹	۰/۰۲	۰/۲۳	۹۹/۸۶				
۱۰	۰/۰۱	۰/۰۸	۹۹/۹۵				
۱۱	۰/۰۰۶	۰/۰۴	۹۹/۹۹				
۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۱۰۰/۰۰				

جدول ۳. ماتریس وزنی عاملی بدون دوران

ماه	محور ۱	محور ۲	محور ۳
مهر	۰/۸۱۱	-۰/۴۳۱	-۰/۰۷۳
آبان	۰/۹۱۲	-۰/۴۰۹	-۰/۰۱۷
آذر	۰/۴۴۹	-۰/۸۴۹	۰/۰۱۷
دی	-۰/۳۶۳	۰/۱۴۶	۰/۶۳۵
بهمن	۰/۲۱۲	۰/۴۸۷	۰/۷۴
اسفند	۰/۶۲۳	۰/۰۷۴	۰/۷۷۲
فروردین	۰/۷۹۳	۰/۰۲۹	۰/۳۲
اردیبهشت	۰/۸۳۷	۰/۱۴۱	۰/۳۷۳
خرداد	۰/۸۳۷	۰/۳۴۵	-۰/۱۸۱
تیر	۰/۹۱۵	۰/۴۰۱	-۰/۰۳۸
مرداد	۰/۸۳۶	۰/۳۰۲	-۰/۱۸۶
شهریور	۰/۸۹۹	۰/۳۳۶	۰/۱۰۵

تیر، آذر و اسفند به دلیل دارا بودن وزن بیشتر نسبت به بقیه ماه‌ها و با توضیح دادن ۹۰/۱۷ درصد واریانس از ۱۰۰ درصد، بهترین ماه‌های اندازه‌گیری دبی در ایستگاه مورد مطالعه می‌باشند. ضمناً ۹/۸۳ درصد باقی‌مانده واریانس مربوط به بقیه ماه‌ها می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در بخش مدل‌سازی بین دبی و تراز آب، بهترین مدل انتخابی برای آمار دبی - اشل هر سال در ایستگاه سد تنظیمی زاینده‌رود، مدل توانی تشخیص داده شد. این امر با نتایج تحقیقات باتاچاریا و سولوماتین (۶ و ۷) و رابطه توصیه شده به وسیله سازمان استاندارد جهانی و سازمان هواشناسی جهانی (۱۰ و ۱۱) هم‌خوانی دارد. البته باید توجه داشت در مواردی که مدل دارای ضریب تعیین پایین است و یا منحنی دبی- اشل از هم‌بستگی کمی برخوردار باشد، علت آن را کمبود اندازه‌گیری

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

در میزان‌های مختلف دبی به خصوص در دبی‌های بالا و سیلابی و به میزان کمتری به کمبود اندازه‌گیری در دبی‌های پایین مربوط دانست. هم‌چنین پراکنش روزهای مورد نظر برای اندازه‌گیری دبی آب باید به گونه‌ای باشد که دبی‌های مختلفی را بین حداقل و حداکثر شامل شود.

البته به این نکته نیز باید توجه داشت که در سال‌های نخست تأسیس یک ایستگاه باید تعداد اندازه‌گیری‌های تراز آب بیشتر باشد. سپس با توجه به پایداری یا عدم پایداری منحنی سنجه آب و تغییرات دبی در اوقات مختلف سال، تعداد برداشت‌های لازم در آینده تعیین شود. مطابق با توصیه سازمان استاندارد جهانی برای تهیه رابطه دبی- اشل و تعیین دوام و اعتبار آن تعداد نمونه‌گیری تراز آب در هر سال نباید از۲۰ مورد کمتر باشد (۱۱). هم‌چنین، چون اکثر رودخانه‌ها دارای مقطع عرضی به شکل نامنظم و ناپایدار می‌باشند (به ویژه در مواقع سیلابی و دبی‌های پایین) ممکن است شکل منحنی دبی- اشل و رابطه سهمی آن تغییراتی داشته باشد.

به منظور مشخص نمودن این که چند سال آماربرداری تراز آب صورت بگیرد تا بتوان بهترین منحنی سنجه آب را انتخاب نمود، نتایج نشان داد که افزایش تعداد سال‌های آماری تأثیری در کاهش درصد خطای نسبی ندارد و نمی‌توان برای ترسیم منحنی سنجه آب از آمار سال‌های قبل استفاده نمود و می‌بایست منحنی سنجه آب برای هر سال به صورت جداگانه تهیه گردد. دلیل این امر می‌تواند تغییر مقطع آبراهه به ویژه در زمان رسوب‌گذاری بستر، نوع اقلیم و میزان بارندگی سال‌های مختلف باشد که باعث تغییر در رژیم جریان رودخانه می‌شود.

در منطقه مورد تحقیق با توجه به روش آماری تجزیه و تحلیل عاملی، ماه‌های تیر، آذر و اسفند مناسب‌ترین زمان اندازه‌گیری دبی می‌باشند. دلیل انتخاب این ماه‌ها این است که در حوزه آبخیز زاینده‌رود در این ماه‌ها رگبارهای سیلابی رخ داده و باعث ایجاد دبی‌های سیلابی در رودخانه زاینده‌رود می‌شود.

با توجه به تحقیق صورت گرفته موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- میزان اندازه‌گیری در سال به گونه‌ای باشد که بین دبی‌های حداقل و حداکثر باشد و بیشتر در مواقع سیلابی اندازه‌گیری تراز آب صورت گیرد.
- مطابق توصیه سازمان استاندارد جهانی برای تهیه منحنی دبی- اشل تعداد اندازه‌گیری‌ها کمتر از ۲۰ مورد نباشد و در مواردی که کمتر از۲۰ مورد می‌باشد پیشنهاد می‌شود که توسط مسؤلین امر برنامه اندازه‌گیری بر اساس رژیم رودخانه تنظیم گردد، به نحوی که اندازه‌گیری‌ها در میزان‌های دبی به طور یکسان توزیع شود.
- پیشنهاد می‌شود که با استفاده از نتایج و مستندات این تحقیق به استخراج معادله یا معادلات حاکم بر دبی- اشل با تفسیر فیزیکی پرداخته شود.
- برای تهیه منحنی دبی- اشل از شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی استفاده شود و نتایج آن با نتایج این تحقیق مقایسه شود.
- این گونه تحقیقات در ایستگاه‌های هیدرومتری دیگر کشور صورت پذیرد.

منابع مورد استفاده

۱. بی نام. ۱۳۶۹. اطلس منابع آب ایران. تلفیق مطالعات، دفتر برنامه ریزی و مطالعات منابع آب، معاونت بهره برداری و مدیریت منابع آب، وزارت نیرو، تهران.

۲. حمادی، ک. ۱۳۸۱. ارزیابی روابط دبی- اشل و بررسی تداوم آنها در سیستم رودخانه‌ای کارون بزرگ. ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، بهمن‌ماه ۱۳۸۱، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳. ارقامی، ق. و ا. بزرگ نیا. ۱۳۷۰. *آمار چند متغیره کاربردی. تألیف سریواستا و کارتر.* چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]

۴. موحددانش، ع. ۱۳۶۶. *مقدمه‌ای بر هیدرولوژی و هیدرولوژی آماری*. جلد اول، انتشارات عمیدی، تبریز.

۵. وفاخواه، م. ۱۳۷۸. شناخت عوامل مؤثر در سیلاب به منظور مهار آنها با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در حوزه آبخیز قره‌چای. پژوهش و سازندگی ۱۴(۴):۷۲-۷۶.

6. Bhattacharya, B. and D. P. Solomatine. 2000. Application of artificial neural network in stage–discharge relationship. 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa City, USA.
7. Bhattacharya, B. and D. P. Solomatine. 2003. Neural networks and M5 tree models in modeling water level-discharge relationship for an Indian river European Symposium on Artificial Nerual Networks, 23-25 April 2003.
8. Chubak, N. J. J. and R. A. McGinn. 2002. Evaluating outlet flow for Clear Lake, Riding Mountain National Park, Manitoba: A rating curve based on lake levels. Annual Meeting of the Canadian Association of Geographers, Toronto, Ontario.
9. Jain, S. K. and D. Chalisgaonkar. 2000. Setting up stage-discharge relations using ANN. J. Hydrol. Eng. 5(4): 428-433.
10. Subramanya, K. 2003. Engineering Hydrology. Second Edition, McGraw-Hill, New Delhi.
11. USGS. 1982. Measurement and computation of streamflow: Volume 2. Computation of discharge. US Geological Survey Water-Supply Paper 2175, US Government Printing Office, Washington, DC.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.26.5]