

مقدمه

یکی از پیش نیازهای اساسی در مدیریت منابع آب و مهار سیلاب، اندازه‌گیری و یا برآورد صحیح دبی است. اگر چه در چند دهه‌ی اخیر تلاش‌های فراوانی برای احداث ایستگاههای هیدرومتری در نقاط گوناگون کشور صورت گرفته، اما با توجه به وسعت زیاد کشور هنوز بسیاری از مناطق، فاقد امکانات لازم برای ثبت داده‌های مربوط به دبی هستند، بنابراین تعیین دبی یکی از مشکلات اساسی حوزه‌های آبخیز کشور است [۵ و ۹]. از سوی دیگر، اندازه‌گیری دائمی دبی رودخانه حتی در شرایط عادی امری دشوار و هزینه‌بر است و مشکلات یاد شده بویژه در شرایط وقوع سیلاب‌ها به مقدار زیاد افزایش می‌یابد [۱۶ و ۳۰] و چه بسا به دلیل بروز شرایط نامناسب و خطرناک، امکان اندازه‌گیری‌های مستقیم در برخی موردها وجود نخواهد داشت. از این رو استفاده از روابط مبتنی بر مؤلفه‌های زودیافت، کم هزینه و آسان از قبیل تراز آب [۲۷ و ۳۲] در قالب منحنی‌های دبی و تراز آب (اشل) ضروری است [۲۲، ۲۸ و ۳۱]. به این منظور در تعدادی از روزهای سال، اندازه‌گیری‌های متعدد دبی در ایستگاه هیدرومتری انجام شده و هم‌زمان با آن، ارتفاع آب روی تراز و یا روی کاغذ لیمنوگراف^۴ بدست می‌آید [۱۴]. پیشینه‌ی استفاده از روش دبی-تراز بیش از ۱۰۰ سال بوده [۳۳] حال آن‌که استانداردهای لازم برای استفاده از آن مورد توجه کامل قرار نگرفته است. شکل منحنی دبی-تراز به صورت سهمی یا ترکیبی از چند سهمی می‌باشد. با توجه به این واقعیت در بیش تر موارد می‌توان از مقیاس لگاریتمی برای ترسیم این رابطه بهره جست. البته چون بسیاری از رودخانه‌ها دارای مقطع عرضی به شکل نامنظم و بویژه در مواقع سیلابی و دبی‌های پایین هستند، امکان تغییر شکل منحنی سهمی گونه به شکل‌های دیگر نیز وجود دارد. تراز آب و دبی به صورت زمانی وابسته و در اغلب اوقات رابطه‌ی بین آن‌ها منحصر به فرد است [۱۸]. از این رو در صورت وجود تعداد قابل توجه داده، می‌توان روابط ساده‌ی دبی و تراز آب در قالب مدل‌های رگرسیونی دبی-تراز یا دبی-اشل را تهیه نمود [۲۰، ۲۷ و ۳۴]. به هر حال با پیشرفت‌های صورت گرفته در سالیان اخیر از سایر شیوه‌های تحلیل روابط و مدل‌سازی مانند شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۵ و نرم‌افزارهای پیش‌رفته نیز استفاده شده است [۱۸ و ۳۴]. به‌هر تقدیر بهترین

تهیه و تحلیل منحنی سنجه‌ی دبی حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی کجور در مقیاس‌های گوناگون زمانی

محبوبه معتمدنیا^۱ و سیدحمیدرضا صادقی^۲
تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۵

چکیده

اندازه‌گیری دائمی دبی رودخانه حتی در شرایط عادی مشکل و هزینه‌بر است. مشکل یاد شده بویژه در شرایط وقوع سیلاب‌ها افزایش می‌یابد. به همین منظور سعی می‌شود با اندازه‌گیری تراز آب و دبی‌های متناظر آن در شرایط ویژه مبادرت به تهیه‌ی منحنی سنجه‌ی دبی و یا رابطه‌ی بین دبی و تراز نمود. در این پژوهش منحنی سنجه‌ی دبی با استفاده از روابط دبی-تراز در مقیاس‌های زمانی گوناگون شاخه‌ی بالارونده و پایین‌رونده‌ی هیدروگراف رگبار، مجموع داده‌های روزانه، ماهانه و فصلی به وسیله‌ی رگرسیون دو متغیره و رابطه‌ی اصلی حاکم بر آن در حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی کجور با مساحت حدود ۵۰۰۰۰ هکتار واقع در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روابط محاسبه شده در هر مقیاس زمانی منحصر به فرد بوده و رابطه‌ی یاد شده را نمی‌توان برای مقیاس زمانی دیگر بکار برد. یافته‌های پژوهش ضمن تأیید برتری دقت و کارایی مدل‌های رگرسیونی بر شیوه‌ی کلاسیک، بیانگر دست‌یابی به مدل‌های خطی و توانی سنجه‌های دبی با ضریب همبستگی کمینه ۵۸ درصد، خطای نسبی تخمین و تأیید بیشینه به ترتیب ۷۰ و ۷۵ درصد، مجموع میانگین مربعات خطای کم تر و ضریب کارایی کمینه ۳۵ درصد در تمامی پایه‌های زمانی بوده است. واژه‌های کلیدی: استان مازندران، حوزه‌ی آبخیز کجور، رگرسیون دو متغیره، مقیاس زمانی و منحنی دبی-تراز

۱- دانش آموخته‌ی گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، sadeghi@modares.ac.ir

3- Stage

4- Limnograph

5- Artificial Neuron Network

اندازه‌گیری تراز آب و دبی‌های متناظر آن در دو مقیاس روزانه و رگبار انجام شد. در مقیاس روزانه هر روز رأس ساعت ۳ بعد از ظهر همراه با قرائت تراز آب، اندازه‌گیری دبی در محل ایستگاه هیدرومتری مستقر در خروجی حوزه‌ی آبخیز یاد شده و مجهز به لیمنوگراف صورت گرفت. برای اندازه‌گیری دبی از روش میان مقطع [۱۴] و از راه تقسیم مقطع به قطعات جزئی و با توجه به رعایت عرض بیشینه ۲۰ درصد و دبی عبوری بیشینه ۱۰ درصد از دبی کل [۱۴] و در مواقع سیلابی با فواصل زمانی حدود یک ساعت با توجه به زمان کل پایه‌ی هیدروگراف استفاده شد. هم‌چنین اندازه‌گیری سرعت جریان در مواقع قابل عبور از مقطع به وسیله‌ی مولینه^۳ و در مواقع وقوع سیلاب‌های شدید از جسم شناور [۱۴] و اسنجی شده [۹] استفاده گردید. برای افزایش دقت اندازه‌گیری در پایان هر رگبار مقطع عرضی محل نمونه برداری برداشت و دبی متناظر با هر تراز آب محاسبه شد. نمایی از محل اندازه‌گیری و مراحل اجرایی کار در شکل (۲) نشان داده شده است.

تهیه‌ی مدل سنجی دبی

برای تهیه‌ی مدل سنجی دبی از دو روش رگرسیونی و مدل‌های اصلی و کلاسیک حاکم بر سنجی دبی [۳۶] استفاده شد. برای تهیه‌ی مدل‌های رگرسیونی از بررسی ارتباط مستقیم دبی و تراز آب مربوط به آن در شاخه‌ی بالا و پایین رونده‌ی هیدروگراف سیل در مقیاس رگبار، مجموعه داده‌های روزانه، ماه‌های گوناگون و فصول استفاده شد. به همین منظور بانک اطلاعاتی داده‌های یاد شده تهیه و سپس اقدام به تعیین انواع مدل‌های رگرسیونی دو متغیره در حالت‌های گوناگون خطی، لگاریتمی، معکوس، توانی، نمایی، لجستیک، درجه دو، درجه‌ی سه، منحنی رشد، ترکیبی و حالت S با کمک نرم افزار SPSS13 شد.

هم‌چنین با استفاده از مدل کلاسیک سنجی دبی (رابطه‌ی ۱) در مقیاس‌های زمانی یاد شده تهیه شد. برای انجام مدل‌سازی، از دو سوم تصادفی داده‌ها و اطمینان از انتخاب بیشینه و کمینه‌ی مقادیر دبی برای مرحله‌ی تهیه‌ی مدل و واسنجی و از یک سوم باقی مانده بمنتظر تأیید مدل استفاده شد [۸، ۹ و ۲۵]. بمنتظر دست‌یابی به مدل نهایی پیش‌بینی متغیر وابسته از معیارهای مهم ارزیابی خطای نسبی تخمین و تأیید^۴، مجذور میانگین مربعات خطا^۵، ضریب همبستگی^۶ و در نهایت ضریب کارایی^۷ به صورت ارایه شده در روابط (۲) تا (۴) استفاده شد. اعتبار نهایی مدل‌های بدست آمده با توجه به مقادیر قابل قبول خطای تخمین و تأیید کم‌تر از ۴۰ درصد

معادله‌ی ریاضی منحنی دبی - تراز و منطبق با قوانین هیدرولیک به وسیله‌ی سازمان جهانی استاندارد^۱ در طی سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۳ و هم‌چنین سازمان جهانی هواشناسی^۲ به صورت رابطه‌ی (۱) توصیه شده است [۳۶].

$$Q = Cr(G-a)^B \quad (1)$$

که در آن Q دبی جریان، G ارتفاع تراز، a ارتفاع تراز متناظر بادی صفر، B و Cr اعداد ثابت در یک ایستگاه هستند.

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، با وجود پیشینه‌ی دراز مدت کاربرد منحنی‌های سنجه‌ی دبی در نقاط گوناگون جهان [۳، ۶، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۷]، تحلیل، تفسیر و تغییرپذیری آن‌ها در مقیاس‌های گوناگون زمانی بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است [۲۲ و ۳۱]. حال آن‌که شکل کلی روابط حاکم بر منحنی‌های سنجه‌ی دبی بیان‌گر ضرورت توجه کافی به تغییرات احتمالی آن‌ها و نیز کاهش خطاهای ناشی از کاربرد آن‌ها از راه درک بیش‌تر عدم قطعیت‌ها می‌باشد. از این‌رو این پژوهش با هدف اصلی تهیه و تحلیل سنجه‌ی دبی از راه اندازه‌گیری‌های مداوم و متعدد و بمنظور تحلیل تغییرپذیری آن در مقیاس‌های گوناگون زمانی در حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه‌ی مورد مطالعه، حوزه‌ی آبخیز کجور با مساحت حدود ۵۰۰۰۰ هکتار واقع شده و از شمال با دریای خزر و از جنوب با کجور مجاور است (شکل ۱). کمینه و بیشینه‌ی ارتفاع آبخیز به ترتیب ۱۵۰ و بیش از ۲۷۰۰ از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه طی سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۶، در نزدیک‌ترین ایستگاه جلگه‌ای نوشهر، ۱۲۸۷/۸ میلی‌متر و با گرادیان بارندگی نوسانی و در مجموع منفی به حدود ۲۴۰ میلی‌متر در بخش ارتفاعات کجور می‌باشد. هم‌چنین دامنه و میانگین دبی مشاهده‌ای طی دوره‌ی مطالعاتی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به ترتیب در حدود ۰/۵ تا ۲ و ۰/۴۵±۰/۶۶ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد [۷، ۹].

روش کار

این پژوهش با هدف تهیه‌ی روابط حاکم بر منحنی دبی - تراز در مقیاس‌های گوناگون رگبار، روزانه، ماهانه، فصلی و ارایه‌ی بهترین مدل‌های بدست آمده برای حوزه‌ی مورد مطالعه به صورت مراحل زیر انجام شده است.

3- Current Meter

4- Relative Error

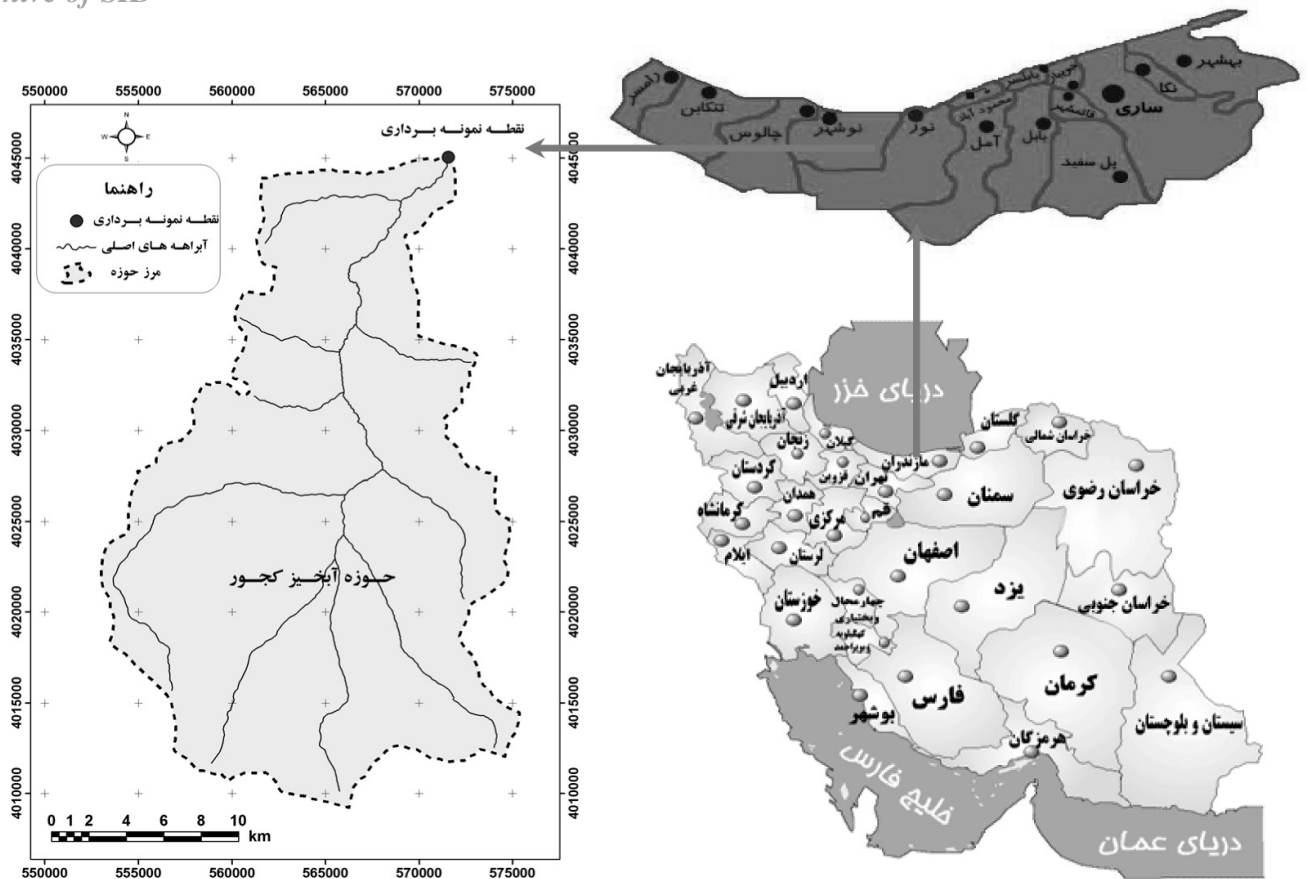
5- Root Mean Square of Error

6- Correlation Coefficient

7- Coefficient of Efficiency

1- International Standard Organization

2- World Meteorological Organization



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز جنگلی کجور در استان مازندران و کشور



شکل ۲- نمایی از محل اندازه گیری در حوزه آبخیز مورد مطالعه (راست و بالا) و مراحل اجرایی اندازه گیری سرعت جریان با مولینه (چپ و بالا)، تعیین تراز آب (راست و پایین) و نیز برآورد سرعت آب با توپ تنیس روی میز (چپ و پایین)

استفاده از تراز آب توافق ندارد. از سوی دیگر، شکل کلی غالب مدل‌های بدست آمده بر ارتباط غیرخطی دبی با تراز آب و هم‌چنین بیش‌تر متغیرهای هیدرولوژی حوزه‌ی آبخیز داشته‌که با نتایج سینگ [۳۵] هم‌خوان است. هم‌چنین با دقت در جدول مذکور ملاحظه می‌شود که بعضی از مدل‌ها با وجود ضریب همبستگی و کارایی پایین‌تر به مدل‌های دیگر برتری دارند. دلیل این امر را می‌توان به منطقی بودن روابط موجود، قابلیت و کارایی استفاده از این مدل‌ها و هم‌چنین سادگی آن‌ها نسبت داد. در برخی از ماه‌ها مشاهده می‌شود که مدل‌های نوسانی از قبیل درجه‌ی دو از کارایی ظاهری بالایی برخوردارند که دلیل آن را می‌توان در نوسانات کم تراز آب، خطاهای انسانی در قرائت تراز و دقت وسایل اندازه‌گیری، جست‌جو نمود.

نتایج ارایه شده در جدول (۱) هم‌چنین بر تغییرپذیری عمل کرد و دقت مدل‌های گوناگون در ماه‌های گوناگون دلالت داشته‌که ضرورت تهیه و استفاده از مدل‌های مناسب در هر مقطع زمانی را تأیید می‌نماید که با یافته‌های ناتان و مک‌ماهان [۳۰]، پارادی و فراریز [۳۱] و وفاخواه و شجاعی [۱۷] در خصوص تغییرپذیری معادله‌های سنجه‌ی دبی در مقاطع گوناگون زمانی مطابقت دارد. از سوی دیگر، وجود روابط توانی در بین مدل‌های بهینه دلالت بر توانایی مدل‌های یاد شده در تعیین دبی بر اساس تراز آب داشته‌که با تأکیدهای باتاچاریا و سولوماتین [۱۸ و ۱۹]، ویلسون و همکاران [۳۷]، وفاخواه و شجاعی [۱۷] هم‌سو می‌باشد. هم‌چنین با وجود عدم دستیابی به مدل‌های رگرسیونی بهینه برای ماه‌های دی، بهمن، اسفند و اردیبهشت، روابط با برتری نسبی در مقایسه با دیگر مدل‌ها به منظور دستیابی به یک ایده‌ی کلی در جدول (۱) ارایه شد. دلیل عدم تناسب مدل‌های یاد شده به داده‌های ماه‌های مزبور را می‌توان در دامنه‌ی تغییر زیاد دبی در قبال دامنه‌ی محدود تغییر تراز در ماه‌های دی، بهمن و اسفند و شرایط معکوس یعنی تغییرات تراز زیاد در قبال دامنه‌ی محدود تغییر دبی در ماه اردیبهشت نسبت داد که همگی آن‌ها را می‌توان منتج از عدم ثبات سطح مقطع جریان به دلیل تغییر در هندسه‌ی مقطع دانست. این یافته با تأکیدات پارودی و فراریز [۳۱] مبنی بر تغییرپذیری معنی‌دار روابط دبی-تراز در رودخانه لیگوریا^۱ در ایتالیا هم‌خوان است. اختلالات ناشی از برداشت معدن شن و ماسه و رفت و آمدهای پی در پی [۷] دلیلی دیگر بر بی‌نظمی‌های مشاهده شده تلقی می‌شود.

هم‌چنین با توجه به جدول (۱)، امکان تهیه و برازش مدل قابل اعتماد برای فصل زمستان به دلیل تغییرات کم دبی و قرائت‌های حساس تراز آب امکان‌پذیر نشده است. این شرایط برای داده‌های فصل بهار و مجموع کل داده‌ها با توجه به برازش بهتر معادله‌ی درجه‌ی سه نیز تا حدودی حاکم بوده و به این ترتیب برای پاییز مدل توانی و برای فصل بهار و مجموع داده‌ها نیز رابطه‌ی خطی برتر

[۲۳؛ ۲۹]، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای کوچک‌تر و ضریب کارایی ترجیحاً بیش از ۶۰ درصد و نزدیک به یک [۲۵] ارزیابی گردید.

$$RE = \left| \frac{Q_0 - Q_e}{Q_0} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_e)^2}{n}} \quad (3)$$

$$CE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0)^2} \quad (4)$$

که در روابط بالا RE خطای نسبی به درصد، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، CE ضریب کارایی، Q_0 مقدار مشاهده‌ای دبی، میانگین مقادیر مشاهده‌ای دبی، Q_e مقدار تخمینی دبی و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

ارزیابی نقش مقیاس زمانی در دقت مدل‌های نهایی

به منظور اطمینان از منحصر به فرد بودن رابطه‌ی دبی-تراز در هر مقیاس زمانی، یک سوم از داده‌های هر ماه در مدل‌های برتر ماهانه و فصلی و هم‌چنین داده‌های شاخه‌ی بالا و پایین رونده‌ی رگبارها در مدل‌های برتر ماهانه و فصلی استفاده و از معیارهای مشابه خطای تخمین، مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی، قابلیت جای‌گزینی آن‌ها به جای یک‌دیگر ارزیابی شد.

نتایج و بحث

به منظور انجام این پژوهش با هدف تهیه و تحلیل منحنی‌های سنجه‌ی دبی در مجموع ۲۰۰ جفت داده‌ی دبی و تراز طی ۱۳۸۶/۸/۳ تا ۱۳۸۷/۲/۳۰ از محل ایستگاه هیدرومتری حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی دانشگاه تربیت مدرس برداشت و برای تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. روی هم رفته، از ۱۵۶ مدل بدست آمده برای مقیاس‌های زمانی شاخه‌ی بالا و پایین رونده، مجموعه داده‌های روزانه، ماهانه و فصلی در دو نوع مدل رگرسیونی دو متغیره و معادله‌ی اصلی حاکم بر سنجه‌ی دبی (کلاسیک)، ۲۸ مدل بهینه برای حوزه‌ی آبخیز کجور انتخاب و در جدول (۱) ارایه شده است.

با توجه به جدول (۱) می‌توان استنباط نمود که معادله‌های خطی و توانی به ترتیب برای شاخه‌ی بالارونده و پایین‌رونده قابلیت کاربرد بیش‌تری داشته، اگرچه استفاده از معادله خطی برای شاخه‌ی پایین‌رونده نیز با پذیرش سطح بیش‌تر خطا قابل استفاده است که با نتایج پژوهشگران پیشین [۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۶ و ۳۷] در راستای تأکید بر معادله‌های توانی در تبیین دبی‌های ایستگاه‌های مطالعاتی با

ماه‌های وقوع آن‌ها و یا مدل‌های ماهانه در فصل‌های مربوط به آن‌ها به استناد شاخص‌های آماری نسبتاً قابل قبول در شرایط ویژه بلامانع است. این یافته ضمن تأیید کلی فرضیه عدم امکان جای‌گزینی مدل‌های بدست آمده در مقیاس‌های گوناگون زمانی با یک‌دیگر با نظرات پارودی و فراریز [۳۱] مبنی بر تغییرپذیری مدل‌های حاکم بر سنج‌ی دبی و ضرورت لحاظ تغییرات زمانی در تهیه‌ی مدل‌های یاد شده در ایتالیا مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تهیه و تحلیل مدل‌های حاکم بر سنج‌ی دبی در دو شکل کلی مدل‌های رگرسیونی و کلاسیک در مقیاس‌های زمانی رگبار، ماهانه و فصلی در حوزه‌ی آبخیز کجور با مساحت حدود ۵۰ هزار هکتار انجام شد. از نتایج بدست آمده از پژوهش می‌توان جمع‌بندی نمود که در هر یک از مقیاس‌های زمانی مورد بررسی و حتی شاخه‌های بالارونده و پایین‌رونده‌ی هیدروگراف یکی از انواع مدل‌های رگرسیونی و یا مدل کلاسیک به استناد شاخص‌های گوناگون آماری از برآزش بهتری برخوردار بوده‌اند. به این ترتیب، بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان چنین برداشت کرد که برآزش مدل‌های توانی بر منحنی‌های سنج‌ی دبی الزاماً درست نمی‌باشد. هم‌چنین نتایج بدست آمده ضمن تأیید ضرورت تهیه‌ی مدل‌های سنج‌ی دبی در مقیاس‌های زمانی متناسب با نیازهای کاربردی و تخصصی تنها بر جای‌گزینی برخی از مدل‌ها با تشابه مقیاسی مناسب و یا تقارن زمانی کافی و صرفاً در شرایط ضروری تأکید داشته است. اگرچه انجام مطالعات گسترده‌تر در مقیاس‌های زمانی و مکانی در حوزه‌ی آبخیز مطالعاتی و نیز اعتبارسنجی دیدگاه‌های ناشی از پژوهش در سایر حوزه‌های آبخیز بمنظور زمینه‌سازی آرایه‌ی جمع‌بندی‌های نهایی و قابل اعتمادتر پیشنهاد می‌شود.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از زحمات آقای مهندس صادق بور مسئول آزمایشگاه مهندسی خاک و آب گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، مهران قزوینی کارمند جنگل آموزشی دانشکده و سرکار خانم مهندس پری سعیدی دانش‌آموخته‌ی دانشگاه تربیت مدرس به واسطه‌ی هم‌کاری مستمر در پیش‌برد پژوهش سپاس‌گزاری می‌گردد.

است که با این یافته با نتایج پژوهش‌های رستمی و رهنما [۴] و ندروی و رنجبران [۱۵] مبنی بر تغییرپذیری معادله‌ها در زمان‌های گوناگون مطابقت داشته، حال آن‌که با یافته‌های باتاچاریا و سولوماتین [۱۸ و ۱۹]، ویلسون و همکاران [۳۷] و نیز وفاخواه و شجاعی [۱۷] مبنی بر ارجحیت کامل مدل‌های توانی نسبت به سایر مدل‌های رگرسیونی کاملاً هم‌سو نمی‌باشد. تنها رابطه با برتری نسبی ولی غیر مستند بر اساس شاخص‌های آماری برای فصل زمستان نیز به شکل درجه‌ی دو بوده که هم‌چنان نشان‌گر دامنه‌ی تغییر زیاد دبی در قبال تغییرات محدود تراز آب بوده که با نتایج پارودی و فراریز [۳۱] در خصوص عدم ثبات روابط دبی-تراز در مقیاس‌های گوناگون زمانی مطابقت دارد. با توجه به جدول (۱) و با چشم‌پوشی از مقادیر کم ضریب کارایی به دلیل ضرورت مطلق آن برای داده‌های پیوسته [۲۵] مشخص می‌شود که روابط تهیه شده برای ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند، اردیبهشت، شاخه‌ی بالارونده و پایین‌رونده، فصل پاییز و زمستان به استناد برخورداری از شاخص‌های آماری مناسب [۷] از کارایی لازم در برآورد دبی خروجی حوزه‌ی آبخیز کجور با استفاده از تراز آب برخوردار بوده که با توصیه‌های آرایه شده در رابطه با شکل کلی منحنی‌های سنج‌ی دبی در سایر منابع [۱۱، ۱۴ و ۳۶] هم‌خوان است. هم‌چنین مقایسه‌ی نتایج جدول (۱) با نتایج بدست آمده از مدل‌های رگرسیونی در مقیاس‌های گوناگون نشان‌گر برتری نسبی مدل‌های رگرسیونی تهیه شده برای پایه‌های زمانی آبان، آذر، فروردین، مجموعه کل داده‌ها، شاخه‌ی بالارونده و فصل بهار می‌باشد. از سوی دیگر، اگرچه عمده‌ی روابط یاد شده شکل توانی دارد، ولی در برخی موردها رگرسیون‌های خطی با ارزش‌های آماری یکسان نیز قابلیت کاربرد در ایستگاه مورد مطالعه را دارد که ضرورتاً با نظرات باتاچاریا و سولوماتین [۱۸ و ۱۹]، ویلسون و همکاران [۳۷]، وفاخواه و شجاعی [۱۷]، جین و کالیسگوناکار [۲۶] هم‌خوان نبوده در حالی که با یافته‌های قبادیان و شجاعی [۱۲] و گاهه و همکاران [۱۳] مبنی بر کارایی سایر مدل‌های سنج‌ی دبی در رودخانه‌ی کارون هم‌سو می‌باشد. افزون بر موردهای بالا، نتایج مربوط به کاربرد مدل‌های تهیه شده برای شاخه‌های بالارونده و پایین‌رونده‌ی رگبار در ماه‌ها و فصل‌های گوناگون و مجموع داده‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) آرایه شده است.

با توجه به نتایج مندرج در جدول‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌شود که در مجموع امکان جای‌گزینی مدل‌های به دست آمده در مقیاس‌های زمانی گوناگون با یک‌دیگر به دلیل برخورداری از شاخص‌های آماری ناکارآمد در بیش‌تر موردها وجود نداشته است. هم‌چنین از نتایج بدست آمده می‌توان چنین برداشت کرد که عدم امکان جای‌گزینی مدل‌ها و روابط با یک‌دیگر با افزایش اختلاف مقیاس زمانی (رگبار به فصل و یا مجموع داده‌های روزانه) و یا فاصله‌ی تقویمی آن‌ها با یک‌دیگر به شدت افزایش می‌یابد. حال آن‌که جای‌گزینی مدل‌های مربوط به رگبارها در مدل‌های مربوط به

شماره ی رابطه	مبنای زمانی	نوع مدل	معادله	تعداد داده	ضریب همبستگی**	خطا (%)		مجموع میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
						تخمین	تایید		
(۵)	آبان	رگرسیون	$Q=1.96+0.12H$	۲۴	۰/۸۰	۴/۱۶	۳/۷۸	۰/۰۵	۰/۶۵
(۶)		رگرسیون	$Q=0.00003H^{3.162}$		۰/۸۲	۴/۲۳	۳/۷۲	۰/۰۵	۰/۶۳
(۷)		رگرسیون	$Q=-71.0+5.3H-0.09H^2$		۰/۹۱	۲/۸۴	۴/۲۵	۰/۰۴	۰/۸۲
(۸)	آذر	رگرسیون	$Q=0.0000006H^{4.139}$	۲۸	۰/۹۴	۶/۹۳	۵/۸۱	۰/۰۴	۰/۹۱
(۹)		رگرسیون	$Q=-1.34+0.07H$		۰/۹۳	۹/۰۳۰	۷/۴۹	۰/۰۴	۰/۸۷
(۱۰)		رگرسیون	$Q=0.0064e^{(0.162H)}$		۰/۹۴	۶/۶۲۲	۵/۳۱۴	۰/۰۴	۰/۹۰
(۱۱)	دی	کلاسیک	$Q=0.68(H-24.2)^{0.204}$	۲۹	۰/۹۷	۲۹/۴۴	۴۰/۵۴	۰/۹۲	-۶/۱۲
(۱۲)	بهمن	کلاسیک	$Q=0.946(H-24.5)^{0.099}$	۲۳	۰/۹۵	۲۵/۰۹	۲۴/۵۱	۰/۳۱	۰/۰۴
(۱۳)	اسفند	کلاسیک	$Q=0.98(H-23.68)^{0.126}$	۲۸	۰/۷۶	۲۳/۲۴	۳۰/۲۳	۰/۴۸	-۰/۷۹
(۱۴)	فروردین	رگرسیون	$Q=0.000004H^{3.232}$	۲۷	۰/۹۸	۹/۱۱	۱۹/۲۸	۲۷/۹۹	۰/۹۷
(۱۵)		رگرسیون	$Q=0.008e^{(0.12H)}$		۰/۹۸	۹/۳۱	۱۸/۸۴	۰/۰۲	۰/۹۷
(۱۶)		رگرسیون	$Q=-0.5+0.03H$		۰/۹۷	۱۹/۵۸	۲۲/۶۹	۰/۰۴	۰/۹۳
(۱۷)	اردیبهشت	کلاسیک	$Q=0.188(H-13)^{-0.012}$	۳۰	۰/۹۵	۲۴/۸۷	۱۴/۳۶	۰/۰۶	-۰/۰۰۱
(۱۸)	مجموعه داده ها	رگرسیون	$Q=-0.75+0.058H$	۱۸۹	۰/۵۸	۸۶/۸۱	۷۳/۴۴	۰/۳۶	۰/۳۳
(۱۹)		رگرسیون	$Q=12.3-1.7H+0.08H^2+0.001H^3$		۰/۶۹	۶۵/۵۷	۶۵/۹۲	۰/۳۲	۰/۴۹
(۲۰)	شاخه ی بالارونده	رگرسیون	$H=-0.38+0.04Q$	۳۲	۰/۸۴	۴۲/۰۰	۲۱/۹۰	۰/۱۸	۰/۷۲
(۲۱)		رگرسیون	$H=0.0003Q^{2.336}$		۰/۸۳	۳۱/۴۷	۱۸/۲۵	۰/۲۰	۰/۶۵
(۲۲)		رگرسیون	$H=0.046e^{(0.0957Q)}$		۰/۷۹	۳۹/۰۱	۲۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۵۰
(۲۳)	شاخه پایین رونده	رگرسیون	$H=-0.08+0.02Q+0.0005Q^2$	۲۹	۰/۸۵	۴۷/۳۸	۲۳/۲۱	۰/۱۸	۰/۷۲
(۲۴)		رگرسیون	$H=0.000027Q^{3.05}$		۰/۸۲	۴۴/۸۹	۳۹/۴۰	۰/۱۸	۰/۷۲
(۲۵)		رگرسیون	$H=-0.49+0.05Q$		۰/۸۶	۶۸/۶۵	۳۲/۲۸	۰/۱۷	۰/۷۴
(۲۶)	فصل پاییز	رگرسیون	$Q=0.000000008H^{6.26}$	۵۲	۰/۷۴	۳۰/۲۲	۳۰/۶۹	۰/۲۳	۰/۳۵
(۲۷)		رگرسیون	$Q=-2.77+0.131H$		۰/۶۵	۳۴/۱۷	۳۳/۸۳	۰/۲۱	۰/۴۲
(۲۸)		رگرسیون	$Q=0.001e^{(0.24H)}$		۰/۷۳	۲۸/۹۱	۲۹/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۸
(۲۹)	فصل زمستان	کلاسیک	$Q=0.91(H-24.78)^{0.09}$	۸۰	۰/۷۲	۲۹/۸۸	۲۹/۳۵	۰/۴۶	-۰/۶۸
(۳۰)	فصل بهار	رگرسیون	$Q=0.40-0.001H^2+0.0004H^3$	۵۷	۰/۸۳	۲۶/۴۶	۱۴/۳۷	۰/۰۵	۰/۶۷
(۳۱)		رگرسیون	$Q=0.83-0.06H+0.002H^2$		۰/۸۲	۲۹/۱۱	۱۶/۸۵	۰/۰۶	۰/۶۳
(۳۲)		رگرسیون	$Q=0.04+0.008H$		۰/۴۴	۴۸/۲۷	۲۹/۷۳	۰/۰۹	۰/۱۹

** تمام روابط ارائه شده از لحاظ آماری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بدست آمده اند.

جدول ۲- نتایج به دست آمده از کاربرد داده‌های شاخه‌ی بالارونده و پایین رونده‌ی رگبار در مدل‌های بهینه‌ی سنجه‌ی دبی مربوط به ماه‌های گوناگون و مجموعه داده‌ها در حوزه‌ی آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس (کجور)

موقعیت داده در هیدروگراف	مبنای زمانی در جای‌گزینی	رابطه‌ی استفاده شده در جای‌گزینی	خطای نسبی	مجموع میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی	
شاخه‌ی بالارونده	آبان	(۵)	۷۰/۹۷	۰/۴۲	-۰/۸۴	
		(۶)	۴۷/۵۵	۰/۴۷	-۱/۳۲	
		(۷)	۹۶۲/۸۹	۴/۴۲	-۲۰۶/۶۷	
	آذر	(۸)	۲۶/۲۸	۰/۲۴	۰/۰۳	
		(۹)	۵۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۰۱	
		(۱۰)	۲۵/۵۹	۰/۲۴	۰/۰۲	
	دی	(۱۱)	۳۵/۵۰	۰/۲۷	۰/۰۹	
	بهمن	(۱۲)	۴۶/۴۸	۰/۳۳	-۰/۱۲	
	اسفند	(۱۳)	۶۳/۸۲	۰/۳۹	-۰/۶۲	
	فروردین	(۱۴)	۶۹/۱۰	۰/۶۱	-۲/۸۳	
		(۱۵)	۶۹/۶۹	۰/۶۱	-۲/۹۹	
		(۱۶)	۷۲/۵۴	۰/۵۸	-۲/۵۲	
	اردیبهشت	(۱۷)	۷۲/۶۲	۰/۶۹	-۴/۱۶	
	مجموعه‌ی داده‌ها	(۱۸)	۲۲/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۵	
		(۱۹)	۲۹/۳۷	۰/۲۵	۰/۰۳	
	شاخه‌ی پایین رونده	(۲۳)	۲۱/۱۲	۰/۱۸	۰/۶۶	
		(۲۴)	۲۲/۱۵	۰/۱۹	۰/۶۲	
		(۲۵)	۱۷/۷۴	۰/۱۹	۰/۶۴	
	شاخه‌ی پایین رونده	آبان	(۵)	۸۷/۸۴	۰/۴۹	-۴/۳۷
			(۶)	۵۷/۱۹	۰/۳۸	-۲/۰۶
			(۷)	۹۳۰/۲۶	۶/۷۶	-۹۹۲/۵۳
		آذر	(۸)	۴۴/۵۶	۰/۳۲	-۱/۲۶
			(۹)	۶۶/۳۹	۰/۴۶	-۳/۶۱
			(۱۰)	۴۲/۹۴	۰/۳۲	-۱/۱۲
		دی	(۱۱)	۵۹/۵۸	۰/۳۷	-۲/۰۵
بهمن		(۱۲)	۶۸/۴۳	۰/۴۲	-۲/۷۴	
اسفند		(۱۳)	۸۳/۸۱	۰/۴۸	-۴/۰۰	
فروردین		(۱۴)	۷۵/۲۸	۰/۵۱	-۴/۵۶	
		(۱۵)	۷۵/۶۸	۰/۵۱	-۴/۷۰	
		(۱۶)	۷۸/۹۸	۰/۵۲	-۴/۶۹	
		(۱۷)	۶۶/۷۱	۰/۵۱	-۴/۵۷	

ادامه جدول ۲- نتایج به دست آمده از کاربرد داده‌های شاخه‌ی بالارونده و پایین رونده‌ی رگبار در مدل‌های بهینه‌ی سنجه‌ی دبی مربوط به ماه‌های گوناگون و مجموعه داده‌ها در حوزه‌ی آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس (کجور)

موقعیت داده در هیدروگراف	مبنای زمانی در جای گزینی	رابطه‌ی استفاده شده در جای گزینی	خطای نسبی	مجموع میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
مجموعه‌ی داده‌ها	(۱۸)	۴۲/۲۹	۰/۲۴	-۰/۲۹	
	(۱۹)	۵۲/۰۷	۰/۳۲	-۱/۶۶	
شاخه‌ی بالارونده	(۲۰)	۲۹/۷۶	۰/۱۸	۰/۲۵	
	(۲۱)	۳۴/۳۸	۰/۲۲	-۰/۰۹	
	(۲۲)	۹۱/۵۶	۰/۶۳	-۷/۶۰	

جدول ۳- نتایج به دست آمده از کاربرد داده‌های شاخه‌ی بالارونده و پایین رونده‌ی رگبار ماه‌های گوناگون در مدل بهینه‌ی سنجه‌ی دبی مربوط به فصل‌های مربوطه در حوزه‌ی آبخیز جنگلی دانشگاه تربیت مدرس (کجور)

مقیاس زمانی	نوع جای گزینی	خطای نسبی	مجموع میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
شاخه‌ی بالارونده	پاییز	۷۰/۸۴	۰/۷۰	-۴/۲۳
		۹۳/۸۸	۰/۴۴	-۱/۰۵
		۷۵/۹۸	۰/۸۳	-۶/۲۵
	زمستان	۴۲/۱۱	۰/۲۹	۰/۰۸
		۶۳/۸۷	۰/۵۹	-۲/۷۹
		۶۱/۲۷	۰/۵۸	-۲/۵۱
شاخه‌ی پایین رونده	پاییز	۶۰/۱۸	۰/۴۵	-۳/۴۴
		۱۰۴/۰۸	۰/۶۹	-۹/۴۴
		۵۹/۶۷	۰/۴۶	-۳/۶۶
	زمستان	۶۴/۳۱	۰/۴۰	-۲/۳۹
		۶۲/۰۲	۰/۴۶	-۳/۶۲
		۶۴/۱۶	۰/۴۷	-۳/۸۴
بهار	۶۲/۰۷	۰/۴۶	-۳/۶۲	
	۲۶/۸۲	۰/۲۶	-۷۲۳۵/۸۰	
	۲۲/۸۰	۰/۲۲	-۶/۴۵	
آبان*	۳۰/۵۹	۰/۲۹	-۱۲/۴۰	
	۳۳/۷۹	۰/۲۱	-۱/۷۴	
	۴۲/۶۵	۰/۲۱	-۱/۹۴	
آذر*	۲۷/۹۸	۰/۱۸	-۱/۱۶	

مقیاس زمانی	نوع جای گزینی	خطای نسبی	مجموع میانگین مربعات خطا	ضریب کارایی
فروردین*	بهار	۱۵/۵۵	۰/۰۳	-۰/۱۰
		۱۹/۱۶	۰/۰۳	-۰/۴۸
		۴۳/۸۱	۰/۰۷	-۶/۷۲

* تنها این ماه دارای روابط معنی دار بودند.

۱۰- ضیایی، ح.ا. ۱۳۷۰. کاربرد قوانین آماری در هیدرولوژی مهندسی. واحد انتشارات فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، چاپ دوم، ص. ۲۰۴.

۱۱- علیزاده، ا. ۱۳۸۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ شانزدهم، انتشارات دانشگاه امام رضا، ص. ۸۱۵.

۱۲- قبادیان، ر. و شفاعی، م. ۱۳۸۳. روش اصلاح شده استخراج رابطه دبی- اشل در ایستگاه‌های هیدرومتری. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۷-۱۹ آبان ماه ۱۳۸۴، ص. ۱۴.

۱۳- کاهه، م.، پوررضا بیلندی، م. و شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۵. ارزیابی روابط مقاومت جریان در تعیین روابط دبی- اشل در ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی و اهواز. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۲۴-۲۶ بهمن ماه ۱۳۸۵، ص. ۹.

۱۴- مهدوی، م. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ص. ۳۶۴.

۱۵- ندری، آ. و رنجبران، ل. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی اثرات جریان ناپایدار در ایجاد حلقه‌های موجود در روابط دبی- اشل. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۲۴-۲۶ بهمن ماه ۱۳۸۵، ص. ۱۰.

۱۶- نساجی زواره، م. ۱۳۷۸. مقایسه دبی‌های حداکثر از روش‌های شماره منحنی و کوک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۱۳۱.

۱۷- وفاخواه، م. و شجاعی، غ. ر. ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین رابطه دبی- اشل در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی زاینده رود. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۱(۴۲): ۳۱۵-۳۲۳.

منابع

۱- اداره کل منابع طبیعی نوشهر. ۱۳۸۱. طرح جنگل‌داری کجور. سری ۳ آغوزچال، آبخیز ۴۶، ص. ۳۷۹.

۲- انجمن هیدرولیک ایران، ۱۳۸۰. خبرنامه هیدرولیک. ۲۳، ص. ۳.

۳- حمادی، ک. ۱۳۸۱. ارزیابی روابط دبی- اشل و بررسی تداوم آن‌ها در سیستم رودخانه‌ای کارون بزرگ. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۴-۲۶ بهمن ماه ۱۳۸۱، ۱۳۳۳-۱۳۴۰.

۴- رستمی، ر. و رهنما، م. ب. ۱۳۸۳. تعیین و بررسی تداوم اعتبار روابط دبی- اشل در رودخانه سیمینه رود. اولین همایش کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۲۲-۲۳ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳، ص. ۸.

۵- سیمافر، ش. ۱۳۷۰. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ص. ۴۲۳.

۶- شجاعی، غ. ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روابط دبی- اشل در ایستگاه هیدرومتری سد تنظیمی حوزه‌ی آبخیز زاینده رود. سمینار کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ص. ۴۵.

۷- صادقی، س. ح. ر.، سعیدی، پ. ۱۳۸۸. رسوبات معلق: تخمین گری مناسب برای هدررفت مواد آلی خاک، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۲۲۱-۲۲۸.

۸- صادقی، س. ح. ر.، مرادی، ح. ر.، مزین، م. و وفاخواه، م. ۱۳۸۴. کارایی روش‌های گوناگون تجزیه و تحلیل آماری در مدل‌سازی بارش- رواناب (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز کسپلیان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۳): ۸۱-۹۰.

۹- صادقی، س. ح. ر. و معتمدنیا، م. ۱۳۸۷. تهیه و تحلیل سنجه‌ی دبی در مقیاس رگبار در حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی کجور، اولین کنفرانس بین‌المللی تغییرات زیست محیطی منطقه خزری. بابلسر، دانشگاه مازندران، ۳ تا ۴ شهریور ۱۳۸۷، ص. ۶.

- 28- Kennedy, E.J. 1984. Discharge Ratings at Gaging Stations. Techniques of Water-Resources Investigations Book 3, Chapter A 10, USGS, 58 p.
- 29- Liu, X. and Li, J. 2008. Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China. Chinese Geographical Sciences, 18(3): 235-241.
- 30- Nathan, R.J. and McMahon, T.A. 1990. Regional Flood Frequency Estimation using the Two Components Extreme Value Distribution. Journal of Hydrology: 121, 217-238.
- 31- Parodi, U. and Ferraris, L. 2004. Influence of Stage Discharge Relationship on the Annual Maximum Discharge Statistics. Natural Hazards, 31:603-611.
- 32- Schmidt, A.R. and Yen, B.C. 2001. Stage-Discharge Relationship in Open Channels. In: Proceedings 3rd International Symp. on Environmental Hydrology, Tempe, AZ, December 5-8, 2001, Boyer, D., and Rankin, R.(ed), CD-ROM, www.google.com.
- 33- Schmidt, A.R. and Yen, B.C. 2006. Stage-Discharge Rating Curve Revisited. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 126(2):112-122.
- 34- Shrestha, R. Bardossy, A. and Nestmann, F. 2005. Analysis and Propagation of Uncertainties Due to Stage Discharge Relationship. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 06169, 2005, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-06169, European Geosciences Union 2005.
- 35- Singh, V.P. 1992. Elementary Hydrology. Economy Edition. New Delhi, India, 973p.
- 36- Subramanya, K. 2001. Engineering Hydrology, Tata McGraw-Hill, 392p.
- 37- Wilson, C.A., Bates, M.E. and Heverout, J.M. 2002. Comparison of Turbulence Model for Stage-Discharge Rating Curve Prediction in Reach-Scale Compound Channel Flow using Two-Dimensional Finite Element Method. Journal of Hydrology, 257(32):42-58.
- 18- Bhattacharya, B. and Solomatine, D.P. 2000. Application of Artificial Network in Stage-Discharge Relation. 4th International Conference on Hydro informatics, Iowa City, USA, 21-22 May 2000, pp 421-428.
- 19- Bhattacharya, B. and Solomatine, D.P. 2003. Neural Networks and M5 Model Trees in Modeling Water Level-Discharge Relationship for an Indian River. European Symposium on Artificial Neural Networks. 23-25 April 2003: 407-412.
- 20- Chow, V.T. 1986. Open- Channel Hydraulics, New York, McGraw-Hill, 680p.
- 21- Clarke, R. T. 1990. Uncertainty in the Estimation of Mean Annual Flood Due to Rating-Curve Indefinition. Journal of Hydrology, 222, 185-190.
- 22- Clarke, R.T., Mendiondo, E.M. and Brusa, L.C. 2000. Uncertainties in Mean Discharges from Two Large South American Rivers Due to Rating Curve Variability. Hydrological Science Journal, 45(2):221-236.
- 23- Das, G. 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering Prentice-Hal of India Press, 489p.
- 24- Gonzalez- Castro, J.A. and Yen, B.C. 2000. Applicability of Hydraulic Performance Graph for Unsteady Flow Routing. Civil Engineering Studies. Hydraulic Engineering Series, No. 64, University of Illinois at Urbana-Champaign, 199 p.
- 25- Green, I.R.A. and Stephenson, D. 1986. Criteria for Comparison of Single Event Model. Hydrological Sciences Journal, 31:395-411.
- 26- Jain, S.K. and Chalisgaonakar, D. 2000. Setting up Stage-Discharge Relations using ANN. Journal of Hydrologic Engineering, 5(4): 428-433.
- 27- Joseph, E., Hazel, J.R.1., Kaplinski1, M., Parnell, R., Kohl, K. and Topping, D.J. 2007. Stage-Discharge Relations for the Colorado River in Glen. Marble and Grand Canyons, Arizona, 1990-2005, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2007, <http://www.usgs.gov>.