پژوهش های آبخیزداری شماره ۹۹، تابستان ۱۳۹۲
(پژوهش و سازندگی)

ارزیابی کاربرد برخی از روابط تجربی زمان تمرکز برای برآورد زمان پیمایش در آبراهه

• **محمدتقی دستورانی** (نویسنده مسئول)
دانشیار دانشگاه یزد (در حال حاضر مامور در دانشگاه فردوسی مشهد)
• **اسماعیل عبدالله وند**
دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
• **محمدحسن عصاره**
استاد موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور
• **علی طالبی**
استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
• **علیرضا مقدم نیا**
دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل
تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۰
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۵۷۵۴۲۵
Email: mdastorani@yazduni.ac.ir

چکیده

زمان تمرکز یکی از مهم ترین متغیرهای هیدرولوژیکی در طراحی سازه های کنترل سیلاب، سرریز سدها و غیره است. اما این پارامتر علی رغم اهمیت زیاد آن، کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی کارایی رابطه های معروف کرپیچ (۱۹۴۰)، کالیفرنیا (۱۹۴۴)، NRCS (۱۹۷۲)، ین- چاو (۱۹۸۳)، هاکتایز - سزن (۱۹۸۳) و Zomorodi (۲۰۰۵) در برآورد زمان پیمایش جریان در سرشاخه های دو حوزه آبخیز منشاد و ده بالا در منطقه شیرکوه استان یزد می‌باشد. برای این منظور برآوردهای صورت گرفته با استفاده از این روابط با اندازه گیری های صحرایی حاصل از روش تزریق یکباره محلول نمک طعام (به غلظت ۷۵ g/lit) مورد مقایسه قرار گرفت. دقت برآوردهای این روابط با استفاده از شاخص های آماری میانگین درصد خطای مطلق (APE)، ریشه مربع خطاها (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه ارزیابی نشان داد که هم در برآورد زمان پیمایش جزئی (مقدار زمان پیمایش به تفکیک در بازه های با طول کم) و هم زمان پیمایش مجموع (حاصل جمع زمان پیمایش مجموعه بازه های برداشتی) رابطه های زمردی و هاکتانیر- سزن کارکرد تقریبا قابل قبولی ارائه نمودند. این درحالیست که هیچ یک از روابط استفاده شده، در برآورد زمان پیمایش کلی (زمان پیمایش برآوردی در کل محدوده برداشت با استفاده از میانگین پارامترهای زبری و شیب) عملکرد خوبی نشان ندادند، هرچند رابطه های هاکتانیر-سزن، کالیفرنیا و زمردی تا حدودی نسبت به بقیه روابط نتیجه مناسب تری ارائه نمودند. در واقع اغلب روابط مورد نظر، برآوردی کمتر از مقادیر اندازه گیری شده ارائه دادند.

کلمات کلیدی: زمان پیمایش، تزریق یک باره، زمان تمرکز، بازه، آبراهه.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 99 pp: 42-52

Evaluation of the application of some empirical concentration time equations for estimation of channel flow travel time

By: M.T. Dastorani, (Corresponding Author; Tel: +989133575425), Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University (Now in Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad). Iran. E. Abdollahwand, MSc Graduate in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran. Asareh M.H. Professor of Research Institute of Forest and Rengeland, A. Talebi, Assiatant Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran.A.R. Moghaddamnia, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Iran.

Received: February 2010 **Accepted: June 2011**

Time of concentration is one of the most important hydrological variables which plays crucial role in designing the flood control structures, spillways and so on. However, enough investigations have not been taken place about this important variable. The purpose of the study is to evaluate the application of empirical equations including Kirpich (1940) California (1944), NRCS (1972),Yen-Chow (1983), Haktanir-Sezen (1990) and Zomorodi (2005) for estimating shallow concentrated flow travel time in the upper channels of Manshad and Deh-Bala watersheds located in Yazd province, Iran. Therefore, the estimations made by the equations were compared to measured values provided by Nacl 75 g/lit solution gulp injection. The estimations made by the equations were evaluated using statistical criterion including absolute percentage error (APE), root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R2), and correlation coefficient. The results showed that Haktanir-Sezen and Zomorodi revealed acceptable estimations of accumulated (sum of the travel times estimated for reaches) as well as partial (travel time measured per reaches) overland flow travel time. While none of equations presented a reasonable estimation of total travel time (travel time estimated using mean values of slope and roughness of the whole studied stream length), although the estimations of Haktanir-Sezen, California and Zomorodi showed higher accuracy than others. Most of the equations underestimated overland flow travel time in comparison the measured values.

Keywords: Travel time, Gulp injection, time of Concentration, Reach, Channel.

مقدمه

متغیرهایی همچون زمان تمرکز، زمان پیمایش و زمان تا اوج از مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی در حوزه های آبخیز هستند که برخلاف کاربردهای بسیار زیادی که در برآورد دبی پیک و طراحی سازه های هیدرولیکی از قبیل سرریز سدها، پل ها، آب بندها و سیستم های تخلیه فاضلاب دارند، کمتر به بررسی آنها پرداخته شده است. البته ابهاماتی نیز در این زمینه وجود دارد، به عنوان مثال در منابع مختلف تعاریف متعددی از زمان تمرکز ارائه شده است که گاهی به دلیل کم توجهی به جنبه های مختلف این عامل، گمراه کننده نیز هستند. مفهوم زمان تمرکز اولین بارتوسط مولوانی (۱۸۵۰) مطرح شد (۲۵). وی رابطه‌ی این پارامتر را با حداکثر رواناب درک و معرفی کرده است. مولوانی زمان تمرکز را زمان لازم برای رسیدن بارش مازاد از دورترین نقطه حوزه به خروجی معرفی نمود. بطور کلی دو تعریف پرکاربرد از این پارامتر می توان ارائه نمود. در یک تعریف زمان تمرکز را می توان زمانی تعریف کرد که طول می‌کشد تا رواناب حاصل از بارش مازاد از دورترین نقطه هیدرولیکی حوزه به خروجی (رفاهی (۵)؛ دانشبد و ناصری (۳)) یا نقطه مورد نظر اندازه گیری دبی یا طراحی برسد (۱۲، ۲۶). در یک تعریف دیگر، Akan (۱۲) زمان تمرکز را زمان لازم برای مشارکت همزمان تمامی بخش های یک حوزه آبخیز در دبی خروجی تعریف کرده است. البته هر دو تعریف در حقیقت مفهوم مشابه ای را بیان می نمایند.در حال حاضر یکی از دقیق ترین روش های محاسبه زمان تمرکز روشی است که سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS) ارائه کرده است (۲۶). این سازمان، برای محاسبه زمان تمرکز جریان آب های سطحی در گزارش فنی شماره۵۵ (TR-55) این پارامتر را در حوزه های آبخیز به سه بخش مجزا شامل: جریان ورقه ای بر روی دامنه ها، جریان متمرکز کم عمق و جریان در کانال اصلی تقسیم کرده و زمان پیمایش هر بخش را به صورت مجزا برآورد می‌کند. بعبارتی در نهایت، زمان تمرکز را از حاصل جمع زمان‌های پیمایش این سه بخش محاسبه می کند. تاکنون بدلیل اهمیت بسیار زیادی که این پارامتر درتحلیل های هیدرولوژیکی حوزه های آبخیز و بخصوص حوزه های فاقد آمار دبی دارد، روابط تجربی متعددی برای محاسبه این پارامتر در هریک از بخش های یاد شده ارائه شده است. اما به دلیل تفاوت های زیادی که ممکن است بین شرایط طبیعی محل ارائه و محل استفاده از این روابط وجود داشته باشد، لازم است کارایی آنها ارزیابی و سپس جهت کاربرد در محل های خاص بهینه سازی شوند. بدین خاطر تحقیقات مختلفی در ایران و جهان در این خصوص صورت گرفته است. آزادنیا و همکاران (۱)، در بررسی روابط

Archive of SID

www.SID.ir

تجربی مختلف با اســتفاده از روش ردیابی بــا تزریق ثابت محلول نمک در حوزه آبخیز میمه اســتان ایلام، نتایج روش های کرپیچ، چاو و هیدروگراف استدلالی را مناسـب ارزیابی کردند. اسلامیان و مهرابی (۲) در بررسی ۱۴ رابطه تجربی در ۱۱ حوزه آبخیز در اســتان های تهران، اصفهان و مازندران در مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل هیدروگراف سیل، تنها رابطه پیلگریم- مک درمات را مناسـب تشـخیص دادند. معتمد وزیری (۸، ۹) در بررســی کارایی روش کرپیچ با انجام برداشـت صحرایی و تزریق ثابت محلول نمک، نتایج این روش را در حوزه‌هائی با شیب های ۳ تا ۷ درصد مناسب می داند. رزمجویی و همکاران (۴) جهت انتخاب بهترین روش برآورد زمان تمرکز در منطقه ۲۲ شــهرداری تهران مقادیر بدسـت آمده از روش های تجربی را با روش صحرایی مبتنی بر اندازه گیری زمان پیمایش آب مورد مقایسـه قرار دادند. مبارکی (۷) با هدف شناســایی و معرفی روابط تجربی مناسـب برای برآورد زمان تمرکز و زمان تاأوج در حوزه های اســتان تهران، نتایج بدست آمــده از روش های تجربی را با مقادیر بدسـت آمده از تحلیل هایتوگراف- هیدرگــراف، ۳۹ واقعه بارش- رواناب در چهار حوزه مورد ارزیابی قرار داد. Stewart (۲۷) در بررســی رابطه محلی ارائه شــده بــرای منطقه پیما[1] در ایالــت آریزونای آمریکا، پارامتــر مقاومت به جریان[2] را یک پارامتر بســیار قوی‌تــر از ضریب زبری مانینگ معرفی می‌کند که در صورت بهینه ســازی آن با داده هــای بارش-رواناب و اندازه گیری های میدانی، این رابطه نتایج بســیار خوبی ارائه خواهد نمود. Wang (۲۸) در بررســی ۹ رابطه تجربی زمان تمرکز را با اســتفاده از آزمون های آزمایشـگاهی در دو سطح بتون و پوشــش طبیعی، نشان داده است که روابطی که شدت بارش را درنظر نمی گیرند تنها در محدوده کوچکی از شــدت بــارش نتایج قابل قبول ارائه می کنند. وی نتایج روش Chen-Wang را در هردو ســطح بتون و پوشــش طبیعی، مناســب دانسـت. همچنین Wang (۲۹) در بررسی روند تکاملی رابطه موج ســینماتیک و روابط ارائه شــده قبــل از آن، رابطه ی Wang (۱۹۹۶) را بهتریــن رابطــه جهت برای بــرآورد زمان تمرکــز جریان های ســطحی معرفی و رابطه اورتون (۱۹۷۱) را در مقایسه با آن ضعیف معرفی می‌کنــد. Abustan و همکاران (۱۱) رابطه بــارش و رواناب و نیز برآورد زمان تمرکز را در حوزه‌ای در مالزی مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی زمان تمرکز بر اساس هیدروگراف های اندازه گیری شده در خروجی حوزه برآورد شده و سپس نتایج حاصل از چهار روش تجربی با آن مقایسه گردید. Froehilch (۲۰) با ارزیابی کارایی روش ســرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا اعلام نمود که این روش برای برآورد زمان پیمایش جریان حاصل از بارش های کوتاه مدت همراه با خطا می باشد، و رابطه جدیدی را برای این منظور ارائه داد. در بســیاری از موارد با توجه به اینکه سازه های آبی بویژه ســازه های آبخیزداری در سرشــاخه ها ایجاد می‌شــوند، بــرآورد دبی در محل های مورد نظر در این سرشــاخه ها لازم می باشد. در چنین شرایطی برای برآورد دبی، بجای محاسبه زمان تمرکز در انتهای حوزه، محاسبه زمان پیمایش جریان تا این موقعیت های مکانی مورد نیاز می باشد. لذا با توجه به اهمیت محاسبه زمان پیمایش جریان در آبراهه ها (بویژه آبراهه های فرعی و سرشــاخه ها) لازم است در خصوص کارایی روش های موجود در برآورد ایــن پارامتر تحقیق و بررســی لازم صورت پذیرد. علاوه بــر این، همانگونه که قبلاً نیز اشــاره شــد زمان تمرکز در حقیقت مجموع زمان پیمایش در بخش های مختلف مســیر جریان اســت، و برآورد دقیق زمانهای پیمایش منجر به برآورد دقیق زمان تمرکز خواهد شد. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی کارایی نســبی برخی از روابط تجربی زمان تمرکز جریان های ســطحی در بــرآورد زمان پیمایش این جریان ها در حوزه های آبخیز ده بالا و منشــاد بعنوان دو حوزه آبخیز کوهســتانی غیرشهری واقع در استان یزد می باشد. لازم به ذکر است که کارایی یا عدم کارایی آنها صرفا بمعنای توانایی یا عدم توانایی آنها در برآورد زمان پیمایش جریان های ســطحی در این حوزه ها بــوده و به هیچ وجه بــه معنای ارزیابی آنها در برآورد زمان تمرکز خصوصا در شرایط متفاوت از منطقه تحقیق نمی باشد.

مواد و روش ها

الف- مناطق مورد مطالعه

حوزه آبخیز منشاد

این حوزه با مســاحتی حدود $61km^2$ در استان یزد و در جنوب غربی شهر یزد با موقعیت جغرافیایی '۱۰، ° ۵۴ تا '۱۴، ° ۵۴ طول شرقی و '۲۹، ° ۳۱ تا '۳۶، ° ۳۱ عرض شــمالی واقع شــده است (شــکل ۱). بخشهایی از ارتفاعات در بر گیرنده مناطق توده سنگی پرشیب و بخش دیگر دامنه های پرشیب همراه با مراتع فقیر و حاشیه آبراهه اصلی بصورت باغ می‌باشد.

حوزه آبخیز ده بالا

این حوزه با مساحتی حدود$63km^2$در شمال غربی حوزه آبخیز منشاد و جنوب غربی شــهر یزد با موقعیت جغرافیایی '۳،° ۵۴ تا '۸ ،° ۵۴ طول شــرقی و '۳۲ ،° ۳۱ تا'۳۸،° ۳۱ عرض شــمالی واقع شده است (شکل ۱). شرایط این حوزه نیز از نظر نوع کاربری و وضعیت اراضی تقریبا مانند حوزه منشاد می باشد.

ب- روابط تجربی مورد ارزیابی

با توجه به شــرایط زیر، تعداد شــش رابطه تجربی برآورد زمان تمرکز انتخاب و برای آزمون دقت آنها در تعیین زمان پیمایش در بازه آبراهه‌ای با جریان کم عمق مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱):

۱- پارامترهای رابطه انتخابی در دسترس یا قابل اندازه گیری باشند.

۲- رابطــه انتخابــی تا حد امــکان مربوط بــه برآورد زمــان پیمایش جریان های کم عمق در آبراهه باشند.

۳- پارامترهای رابطه انتخابی از نظر سیستم واحدی و یا مفهوم فیزیکی فاقد ابهام باشند.

رابطه تجربی کرپیچ

کرپیچ برای محاسبه زمان تمرکز حوزه های آبخیز ایالت تنسی آمریکا با مســاحت ۰/۵ تا ۴۵ هکتار یک رابطه تجربی ارائه نمود به طوریکه شیب حوزه های مورد اســتفاده در کالیبراســیون این رابطه حدود ۳ تا ۱۰درصد بــوده اســت (۲۲). رابطه کرپیــچ یک رابطه ترکیبی اســت کــه هم برای جریان های ســطحی وهم جریان در آبراهــه بکارمی رود (۱۲) اما فرض بر غالب بودن جریان در آبراهه ها اســت (۶، ۱۹). شــرکت مهندســین مشاور اسپی (۱۷) در مقایسه نتایج این روش با روش NRCS (۲۶) برای محاسبه زمان پیمایش جریان های سطحی در حوزه های آبخیز ایالت تگزاس نتایج این روش را دقیق تر ارزیابی کرده اند.

Archive of SID

ج- رابطه تجربی کالیفرنیا

رابطه تجربی کالیفرنیا براســاس رابطــه کرپیچ و برای عملیات احداث ترانشــه های جاده ای در ایالت کالیفرنیای آمریکا ارائه شد (۱۸). البته این رابطــه (ردیف۲ در جــدول۱) تاکنون کمتر مورد ارزیابی قــرار گرفته ولی معتمد وزیری (۸) با روش تزریق محلول نمک در حوزه آبخیز شهرستانک، دقت این روش را در مناطق کم شیب مناسب ارزیابی کرده است.

د- رابطه تجربی NRCS (سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا)

رابطه NRCS که نخســت جهت برآورد زمان تاخیر ارائه و ســپس با ضریب ۱/۶۷ به زمان تمرکز تبدیل شد (ردیف۳ در جدول۱) در مناطقی که زمین دارای پوشش گیاهی نسبتاً زیاد است پاسخ مناسبی ارائه می کند، اما برای جریان های ترکیبی (مجموعه ای از بخش های مختلف جریان شامل ورقــه ای، متمرکز کم عمق و یا جریان در آبراهه اصلی) کارایی مناســب از خودشان نشان نداده است (۱۸).

هـ- رابطه تجربی ین- چاو

این رابطه در مطالعات تحلیل فراوانی ســیل جهت تعیین هیدروگراف مثلثی در ســال ۱۹۸۳ ارائه شده و بر اساس شــکل ساده شده رابطه اولیه موج ســینماتیک است که برای بارش های با شدت تا ۸۰ mm/hr کاربرد دارد (۲۸). این رابطه جهت محاســبه زمان تمرکز در حوزه های با مساحت کمتر از ۲۵ km^2 ارائه شده است.

و- رابطه تجربی هاکتانیر- سزن

رابطه هاکتانیر- سزن را می توان در رده ساده ترین روابط موجود برای زمــان تمرکــز در نظر گرفت زیرا تنها طول مســیر جریان (km) را در نظر می گیرد. این رابطه در آناتولی ترکیه ارائه شده است.

ز- رابطه تجربی زمردی

رابطه Zomorodi (۳۱) جهت محاســبه زمان پیمایش جریان های ورقه ای برای مناطق کم شــیب اســت و از بازبینی رابطه سرعت NRCS برای همین جریان ها در دشت های ساحلی نیوجرسی آمریکا بدست آمده اســت. این رابطه بر مبنــای داده های اندازه گیری شــده مورد آزمون قرار نگرفته (۳۱) و صحت ســنجی آن در منبع اصلی با استفاده از مبنای نظری مدل حوزه آبخیز استنفورد-۴ صورت گرفته است.

تمامــی روابط انتخابی بجــز رابطــه Zomorodi (۲۰۰۵) مربوط به بــرآورد زمــان تمرکز در آبراهه می باشــد و ارزیابی آنهــا در اینجا فقط به معنــای تعیین کارایی یا عدم کارایی آنها در بخش جریان های متمرکز کم عمق در سرشاخه ها است. در این روابط نمادهای n، ضریب زبری مانینگ؛ L، طول مســیر جریان؛ S، شیب مســیر جریان و Tt، زمان پیمایش و Tc زمان تمرکز جریان می باشد.

شاخص های آماری مورد استفاده بi عنوان معیار ارزیابی

جهت ارزیابی میزان خطای روابــط تجربی در برآورد پارامترهای زمان پیمایش و زمان تمرکز از سه شاخص آماری ضریب تعیین، یعنی R^2، ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE) و میانگین درصد خطاها یا میانگین درصد انحراف ها (APE) اســتفاده شــد (روابط ۱، ۲ و ۳). هریک از شاخص های انتخاب شــده برای بخشــی از ارزیابی مناسب تر است. ضریب تعیین میزان کارایی مدل یا در واقع میزان خطاها را نســبت به مقادیر اندازه گیری شده می ســنجد این ضریب بین ۱ تــا ∞- تغییر می کند که هرچه این عدد به ۱ نزدیکتر باشــد کارایی مدل یا رابطه بیشــتر اســت (۲۹). شاخص درصد

شکل۱- موقعیت حوزه های آبخیز منشاد و ده بالا در استان یزد

www.SID.ir

جدول۱- روابط تجربی انتخاب شده در مطالعه حاضر

ردیف	عنوان	معادله	عوامل معادله	محل کاربرد	منبع
۱	کرپیچ (TN)[۵]		Tc زمان تمرکز به دقیقه L طول مسیر به کیلومتر S شیب مسیر به متر بر متر	هم جریان سطحی و هم جریان در آبراهه	(۱۰) و (۶)
۲	کالیفرنیا		Tc زمان تمرکز به ساعت L طول مسیر به کیلومتر H اختلاف ارتفاع به کیلومتر	حوزه های کوچک کوهستانی	(۱۰) و (۱۳)
۳	NRCS		Tc زمان تمرکز به ساعت L طول مسیر به کیلومتر H اختلاف ارتفاع به کیلومتر	حوزه های آبخیز کشاورزی با سطح کمتر از ۱۰ کیلومتر مربع	(۲۳)
۴	ین- چاو [۶]		Tc زمان تمرکز به ساعت L طول مسیر به کیلومتر n ضریب زبری مانینگ S شیب مسیر به متر بر متر	-	(۲۹)
۵	هاکتانیر-سزن		Tc زمان تمرکز به ساعت L طول مسیر به کیلومتر	حوزه های با مساحت بیش از ۱ کیلومتر مربع	(۱۷)
۶	زمردی		Tt زمان پیمایش به ساعت L طول مسیر به کیلومتر n ضریب زبری مانینگ S شیب مسیر به متر بر متر	زمان پیمایش جریان های ورقه ای	(۳۱)

انحراف یا درصد خطا، بطور بسیار ساده میانگین خطاهای موردی مربوط به هریک از واقعه ها را نشان می دهد. شاخص RMSE نیز میزان انحراف برآوردها نسبت به مقادیر اندازه گیری شده را نشان می دهد با این تفاوت که برآوردهای بالاتر و پایین تر از مقدار واقعی به یک اندازه در نتیجه آزمون تاثیرگذار هستند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n}(Te-To)^2}{\sum_{i=0}^{n}(Te-\overline{To})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(Te-To)^2}{n}} \quad (2)$$

$$APE = \frac{\sum_{i=0}^{n}\frac{(Te-To)}{To}}{n} \times 100 \quad (3)$$

کـه Te و To به ترتیب زمان برآورد شـده (بـا روابط تجربی) و زمان اندازه گیری شده و n تعداد برداشت های انجام شده است.

اندازه گیری پارامترها

در مطالعـه حاضر در مرحله نخسـت با اسـتفاده از بازدیدهای میدانی متعدد، در حوزه آبخیز منشـاد تعداد ۴ بازه در محدوده ای از آبراهه اصلی بطـول حـدود ۵۰۰ متر و تعـداد ۲۱ بازه نیـز در حوزه آبخیـز ده بالا در محدوده ای از آبراهه اصلی واقع در بخش انتهایی آن بطول حدود ۲ کیلومتر انتخاب[۷] گردید (شـکل ۲ الف و ب). سـپس با اسـتفاده از دوربین نقشـه برداری تئودولیت (از نوع آنالاکتیک با ضریب اسـتادیمتری،K، ۱۰۰) شیب بـرداری این مقاطع طولی صورت گرفت. همچنین ضریب زبری مانینگ در این بازه ها با اسـتفاده از رابطه Cowan (۱۴) (رابطه ۴) و با اسـتفاده از جداول مربوطه (که در منابع موجود می باشد، به عنوان مثال Arcement و Schneider، ۱۹۹۰) بـرآورد گردید. همچنیـن پارامتر طول این بازه ها نیز توسط روابط مثلثاتی و از روی قرائت دوربین نقشه برداری اندازه گیری شـده و مجموعه پارامترهای اندازه گیری شـده در فرم هایی به ثبت رسید (جدول ۲ حدود پارامترهای برداشـت شده در این حوزه ها را برای کل ۲۵ بازه نشان می دهد).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad (۴)$$

کـه در آن: n_b مقـدار n پایه بـرای کانال مسـتقیم، یکنواخت و در بسـتر مواد طبیعی است که از جداول مربوطه برآورد می گردد، n_1 فاکتور اصلاحی اثرات بی نظمی های سـطحی، n۲ فاکتور مربوط به تغییر شـکل و سـطح مقطع کانال، n_3 فاکتور مربوط به میزان موانع در مسـیر جریان، n_4 فاکتور اثر پوشـش گیاهی و شـرایط جریان و m فاکتور اصلاحی برای حالت های مئاندری کانال است (۱۳).

اندازه گیری زمان پیمایش

یکـی از روش هـای محاسـبه زمان پیمایـش بخصـوص در کارهای تحقیقاتی روش تزریق ردیاب اسـت (۲، ۱۶، ۳۰). در مطالعه حاضر قبل از برداشـت های اصلی با اسـتفاده از روش آزمون و خطا در تعداد ۱۰ بازه با طـول های متفـاوت (از ۲۵ تا ۱۰۰ متر) وزن نمـک لازم در حجم ۴ لیتر آب و در نتیجـه غلظت لازم برای محلول محاسـبه گردیـد. در این آزمون غلظت لازم برای اثر بخشـی و ردیابی محلـول g/lit ۷۵ (۳۰۰ گرم نمک در ۴ لیتر آب) بدسـت آمد (هدایت الکتریکی این محلول ۲۱۷ میلی موس بود). پس از تعیین غلظت مناسب محلول، در مقطع بالادست هر بازه اقدام به تزریق یکباره[۸] شـده و با اسـتفاده از ثبت و کنترل پیوسته زمانی جریان توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی سیار اندازه‌گیری ها در مقطع پایاب این بازه ها صورت گرفت. به طوریکه مشـاهده اولیـن تغییرات قابل توجه هدایت الکتریکی نسبت به حالت اولیه معادل زمان پیمایش جریان در نظر گرفته شد.

آنالیز حساسیت روابط تجربی انتخاب شده

بـه منظور واسـنجی یا بهینه سـازی روابط و مدل هـا یکی از مراحل اساسـی، انجام آنالیز حساسـیت پارامتری اسـت. Morgan (۱۸) یکی از روش های آنالیز حساسیت روابط تجربی در اندازه گیری های منابع طبیعی را رابطه حساسیت متوسـط خطی Nearing و همکاران (۱۹۸۹) معرفی کرده اسـت. در مطالعه حاضر نیز از همین رابطه استفاده شده است (رابطه ۵).

$$ALS = \frac{\frac{(O_2 - O_1)}{\overline{O}}}{\frac{(I_2 - I_1)}{\overline{I}}} \quad (۵)$$

که در آن:

ALS، پارامتر حساسـیت خطی متوسط[۱۱] است که یک پارامتر بی بعد می باشد. این پارامتر نسبی بوده و بیشتر بودن آن برای یک متغیر در روابط مورد نظر به معنای حساسیت بیشتر نتایج آن رابطه به آن متغیر نسبت به متغیرهای دیگر است.

O_1 و O_2، بترتیـب مقادیـر حداقل و حداکثر خروجی مدل؛ I_1 و I_2 به ترتیـب مقادیر حداقل و حداکثر ورودی مـدل و $\overline{I}$ و $\overline{O}$ به ترتیب میانگین مقادیر ورودی وخروجی مربوطه هستند.

نتایج و بحث

ارزیابی خطای روابط تجربی انتخاب شده

با توجه به شـاخص های آماری انتخاب شده، نتایج ارزیابی خطای این روابط نشان دهنده آن است که، برخلاف اینکه تقریبا هیچ یک از این روابط برای جریان های متمرکز کم عمق ارائه نشـده اند، لیکن در دید کلی نتایج نسـبتاً معقولی ارائه می‌کنند. اما از آنجا که این امر نسـبی اسـت و برخی روابط بهتـر عمل نموده اند، بنابراین با توجه به معیارهای آماری مورد نظر می توان نتایج را به صورت شکل۳، الف تا ج نشان داد.

بررسی شکل ۳ نشان میدهد که در درجه نخست براساس یک شاخص آماری نمی توان رابطه مناسـب تر را تعیین نمود و این امر می تواند بدلیل رفتار متفاوت و تاکید متفاوت این روابط بر پارامترهای ورودی باشد. بعنوان مثـال رابطه کرپیچ که جهت حوزه های بـا غالبیت جریان در آبراهه اصلی ارائه شـده است ممکن اسـت بر پارامتر طول تاکید بیشتری داشته باشد و رابطه دیگر بر شـیب یا ضریب زبری و این مسئله رفتار آن ها را در مقاطع متفاوت پیچیده تر می کند. بررسـی شـکل ۳ همچنین نشان می دهد که رابطه های زمردی و هاکتانیر- سـزن نتایج بسیار مناسبی ارائه می نمایند. بهتـر بودن نتایج روش زمردی را می توان به این مسـئله مربوط دانسـت کـه این رابطه جهت برآورد زمان پیمایش جریان های ورقه ای ارائه شـده اسـت و لذا در بازه های با طول کم نسبت به روابط دیگر نتایج بهتری ارائه می نماید. رابطه هاکتانیر-سـزن دارای رفتـار یکنواختی بوده و درصورتی که شـرایط از نظر پارامترهایی غیر از طول متفاوت باشد این رابطه قابلیت انعطاف پذیری ندارد. در جهت ارزیابی هرچه بیشـتر روابط انتخاب شده به بررسی رفتارهای جزئی آنها به شرح زیر پرداخته میشود:

رابطه کرپیچ

این رابطه در محدوده شیب های ۲/۶ تا ۷ درصد بهترین نتیجه را ارائه می دهد (RMSE= ۰/۴۸). در حالی که با افزایش شـیب خطای این روش نیز افزایش می یابد بطوریکه مقادیر متوسـط RMSE برای کل بازه ها در این روش به مراتب بالاتر از مقدار ۰/۴۸ می باشد (شکل ۳-الف). این رابطه در حوزه های با شـیب کمتر از ۱۰ درصد ارائه شـده است (۱۷) و بنابراین این نتیجه می تواند منطقی باشـد. آنالیز حساسیت این رابطه با استفاده از رابطه Nearing و همکاران (۱۹۸۹) (رابطه۲) نشـان دهنده حساسـیت بیشـتر این رابطه به پارامتر شیب است. بررسـی همبستگی خطاهای این رابطه با پارامترهای ورودی نشـان دهنده همبسـتگی بیشـتر آن با پارامتر شـیب است (R^2= ٪۶۲). وضعیت همبسـتگی مقادیر مشاهداتی و مقادیر اندازه گیری شده در شکل ۴- الف نشان داده شده است.

رابطه تجربی کالیفرنیا

بررسـی خطاهـای این روش نشـان می دهـد که همبسـتگی آنها بـا پارامتر طـول بیشـتر اسـت. آنالیـز حساسـیت ایـن روش بیانگـر حساسـیت بیشـتر آن بـه پارامتـر طـول اسـت. ایـن روش بـا توجه بـه روند تغییـرات خطاهـا، در شیب های ۲ تا ۱۱ درصد بهترین نتیجه را ارائه می نماید (RMSE= ۰/۵۷). خطاهای این روش با افزایش شیب، شدیدا افزایش پیدا می کند. نتایج این روش از نظر میزان همبستگی با مقادیر اندازه گیری شده در شکل ۴- ب نشان داده شده است.

رابطه تجربی NRCS

آنالیز حساسـیت این رابطه نشـان داد که این رابطه بـه پارامتر طول حسـاس تر اسـت. این در حالی اسـت که ۹۴ درصد خطاهای آن ناشی از

Archive of SID

پارامتر اختلاف ارتفاع یا شـیب می باشد. این رابطه در شیب های ۲ تا ۱۱ درصد نتایج بهتری ارائه کرده اسـت. برآوردهای ایـن رابطه اغلب کمتر از مقدار واقعی بوده اسـت (APE < ۰). نتایج این رابطه همبسـتگی نسـبتا خوبی با مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهند (شکل ۴- ج).

رابطه تجربی ین- چاو

این رابطه در شـیب های ۲۲ تا ۲۵ درصد نتایج نسـبتاً مناسـب تری ارائـه می نماید. هرچند این رابطه به پارامتر ضریب زبری حسـاس اسـت اما وابسـتگی خطای برآوردها با پارامتر شـیب بیشتر است. برآوردهای این رابطه همبسـتگی خوبی با مقادیر واقعی نداشـته و اغلب بیش از آن است (شکل ۴-د).

رابطه تجربی هاکتانیر-سزن

ایـن رابطه تنها پارامتر طول را در نظر گرفته اسـت و بنابراین بسـته به میزان طول بازه ها ممکن اسـت دقت آن تغییر داشـته یا نداشته باشد. این رابطه همبسـتگی بسـیار خوبی با مقادیر واقعی نشان می دهد (شکل ۴- و). اما به دلیل عدم انعطاف پذیری این رابطه، درصد خطای آن بالاست (APE=٪۷۷).

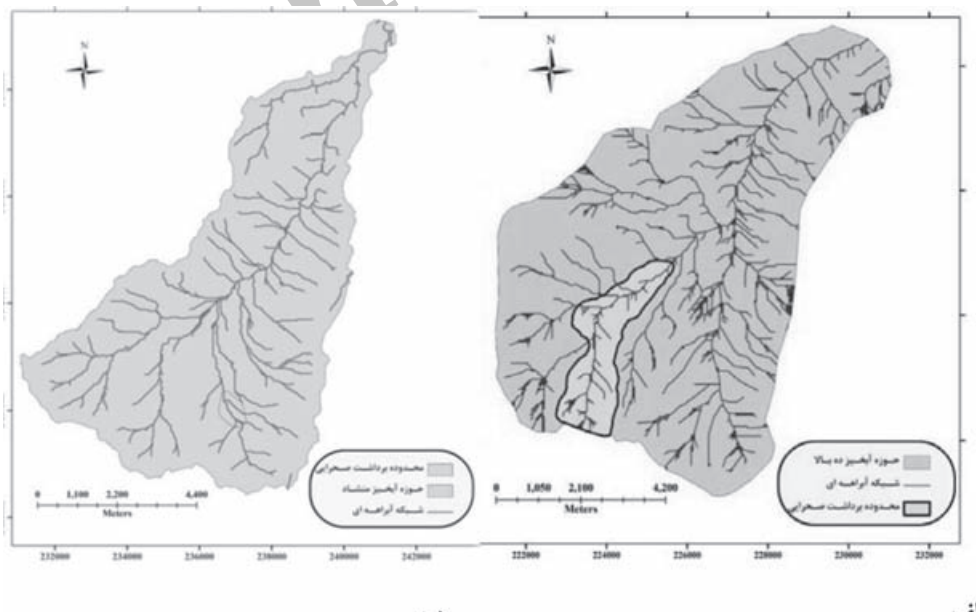
رابطه زمردی

اندازه گیری خطاهای این روش نشـاندهنده دقت به نسـبت مناسـب این رابطه اسـت (شـکل ۴- ه). برآوردهای این رابطه، تاحدودی بیشـتر از مقادیر اندازه گیری شـده می باشـد. حساسیت این رابطه به پارامتر ضریب زبری بیشتر است. همچنین بررسی میزان خطاهای این روش با پارامترهای ورودی بیانگر همبسـتگی بیشتر آنها با پارامتر طول می باشد. این رابطه در (PE= ۱۴٪ و RMSE=۰/۷۶) محدوده شیب های ۱۳ تا ۲۲ درصد مناسب ترین نتیجه را ارائه می نماید.

ارزیابی روابط در برآورد زمان پیمایش کلی

زمـان پیمایش کلـی منظور زمان پیمایشـی اسـت کـه از میانگین پارامترهـای فیزیکی جریان ازقبیل شـیب و زبری بسـتر در مجموع طول بازه ها بدست می آید. نتایج ارزیابی روابط مورد بررسی از نظر زمان پیمایش کلی و همچنین زمان پیمایش مجموع[۱۳] (شـکل ۵ الف و ب) با اسـتفاده از معیار آماری درصد خطا[۱۴] نشـان می دهد که نتایج این روابط از نظر متغیر نخست (زمان پیمایش کلی) با خطاهای فاحش همراه است، هرچند روابط هاکتانیر- سـزن، کالیفرنیا و زمردی نسـبت به بقیه روابط منطقی تر بوده اند. این درحالی اسـت که نتایج آنها از نظر متغیر دوم یعنی زمان پیمایش مجموع که از مجموع زمان پیمایش مقاطع برداشـت شـده بدست می آید قابل قبول تر اسـت. از این جنبه نیز می توان مشاهده نمود که رابطه های زمردی و هاکتانیر- سـزن نتایج بسـیار مناسـب تری ارائه نموده اند. نکته مهمـی که می توان مشـاهده نمود آنسـت که غالب روابط مورد بررسـی، برآوردی کمتر از مقدار واقعی اندازه گیری شـده نشان می دهند. البته این مسـئله چندان هم غیر منطقی به نظر نمی رسـد چرا که اغلب این روابط برای براورد زمان تمرکز حوزه ارائه شـده اند و ممکن اسـت برای شـرایط مربوط به سرشاخه ها و آبراهه های فرعی تناسب بالایی نداشته باشند.

در رابطه با مقایسـه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگران بطور خلاصه مـی توان گفت که رابطه کرپیچ برای آبراهه های با شـیب ۲/۶ تا ۷ درصد نتایج مناسبتری ارائه نموده است که این نتیجه با یافته های معتمد وزیری (۹) و همچنین مقدم نیا (۱۰) سازگار است. در تحقیقات معتمدوزیری (۹) نیز نتایج مناسب این روش برای شیب های ۳ تا ۷ درصد بدست آمده بود. رزمجویی و همکاران (۴)، پس از مقایسه نتایج به دست آمده از روش های تجربـی با مقادیر اندازه گیری شـده در روش صحرایی اعلام نمودند که به ترتیب روش های کالیفرنیا، جیاندوتی، برانسـبی-ویلیامز و چاو شرایط ذکر شده را دارا می باشند و جواب های نسبتا خوبی را ارائه دادند. از بین چهار روش ذکر شـده فقط روش کالیفرنیا جزء روش های مورد ارزیابی در تحقیق

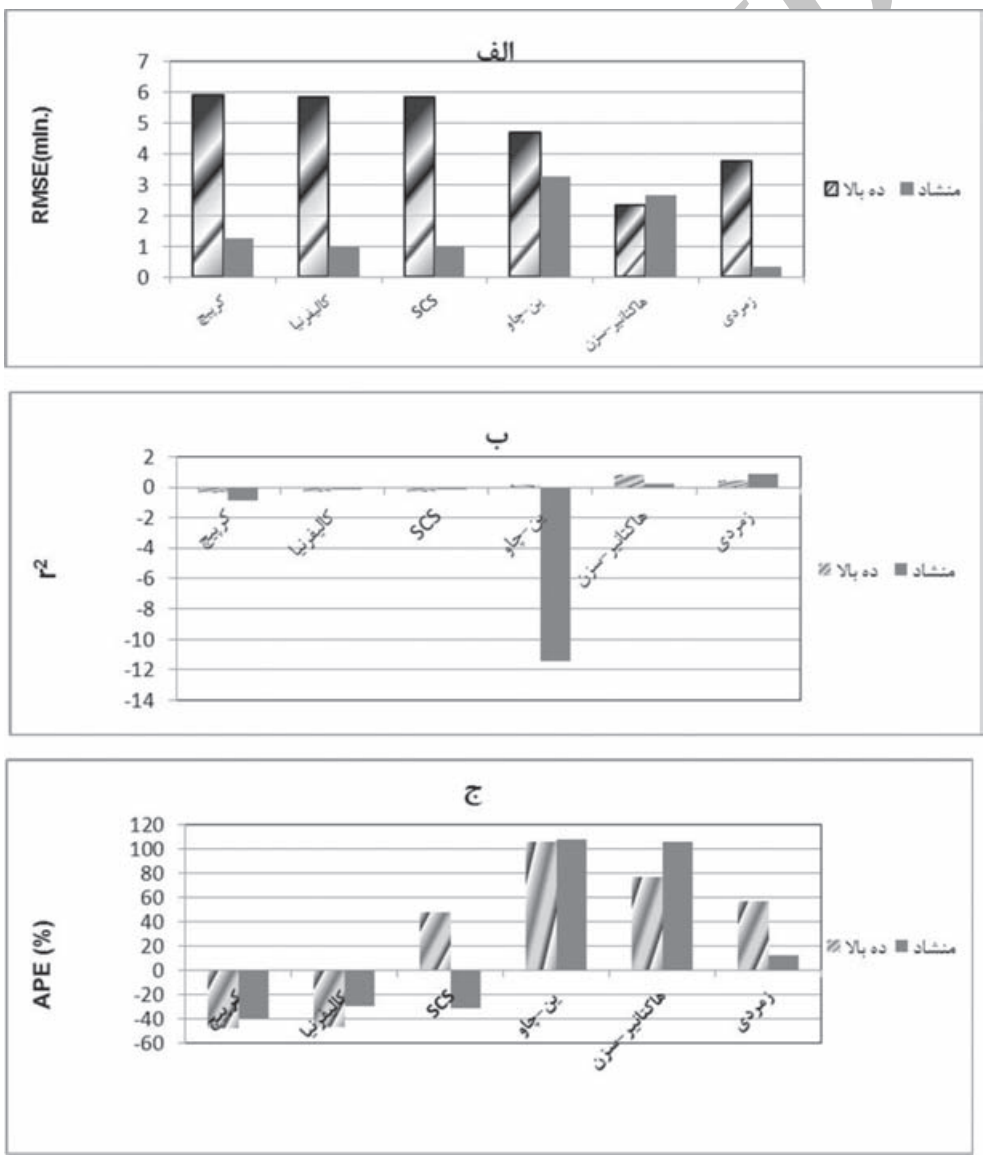


ب الف

شکل۲- موقعیت محدوده های برداشت صحرایی در حو زه های آبخیز؛ الف- ده بالا و ب- منشاد

Archive of SID

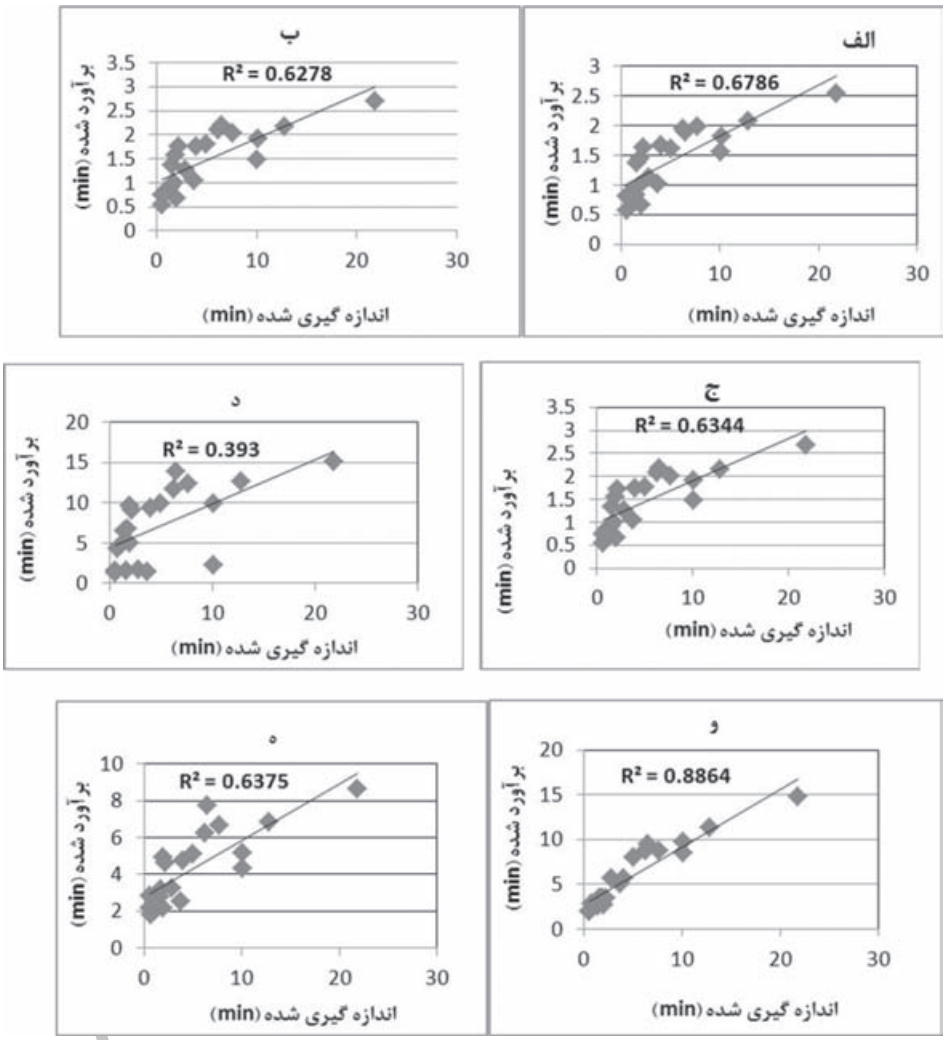
حاضر بوده که همان گونه که شکل ۴-ب نیز نشان میدهد نتایج معقول تری نسبت به برخی روش های دیگر ارائه داده و لذا از این نظر با نتایج رزمجویی و همکاران (۴) سازگاری دارد. مبارکی (۷) نتیجه گرفت که اکثر روش های تجربی پارامترهای زمانی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می کنند. این نتیجه هماهنگ با نتیجه ای است که در تحقیق حاضر نیز اخذ شده است. نامبره اعلام نمود که برای برآورد زمان تمرکز در تمامی حوزه های مورد مطالعه روابط برانسبی ویلیامز و پیلگریم مگدرمات نتایج مطلوبی ارائه نمودندف و دقت روابط ونتورا، بلک و همکاران، NRCS و FAA تحت تأثیر میزان شیب قرار دارد، بطوریکه در مناطق کم شیب رابطه ونتورا و FAA و در مناطق شیب دار و کوهستانی رابطه NRCS و بلک و همکاران نتایج بهتری بدست می دهند. Abustan و همکاران (۱۱) نتیجه گرفتند که روش ساده شده ین-چاو نسبت به سه روش دیگر استفاده شده نتایج بهتری را ارائه نموده است. این نتیجه با نتیجه تحقیق حاضر از نظر زمان پیمایش جزئی سازگاری ندارد چرا که در تحقیق حاضر روش ین- چاو در برآورد زمان پیمایش جزئی نتایج مناسبی ارائه نداد ولی در برآورد زمان پیمایش مجموع نتایج قابل قبولی ارائه نمود و لذا از این نظر با نتایج Abustan و همکاران (۱۱) سازگار است. آزادنیا و همکاران (۱) پس از مقایسه کارایی تعدادی از روابط تجربی برآورد زمان تمرکز در حوزه آبخیز میمه ایلام (با برداشت صحرایی) اعلام نمودند که روش های کرپیچ، چاو و هیدروگراف استدلالی جواب های بهتری ارائه دادند. این نتیجه با یافته های تحقیق حاضر سازگار است چرا که در تحقیق حاضر نیز روش کرپیچ نسبت به روش های دیگر خصوصا در شیب های کمتر نتایج بهتری ارائه نمود. در تحقیق مقدم نیا



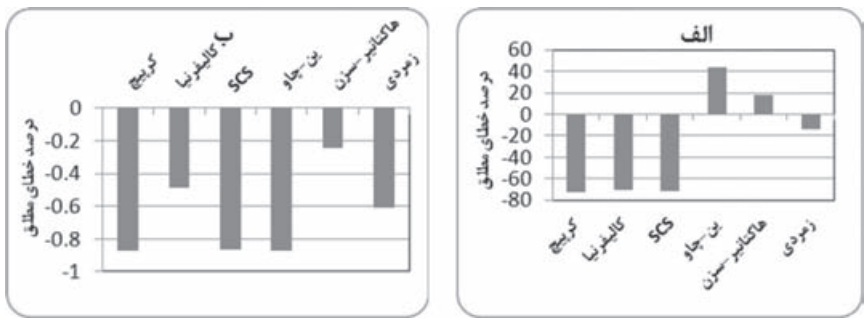
شکل۳- نتایج ارزیابی خطای روابط مورد استفاده ازنظر زمان پیمایش جزئی با توجه به شاخص های آماری موردنظر

www.SID.ir

(۱۰) در حوزه امامه روش برانسبی-ویلیامز و در حوزه کسیلیان روش سرعت متوسط سرویس حفاظت حاک آمریکا جواب مناسبتری را ارائه نمودند. اسلامیان و مهرابی (۲) ۱۴ روش تجربی از جمله روش های کرپیچ، کالیفرنیا و روش سرویس حفاظت حاک آمریکا را مورد ارزیابی قرار داده و با نتایج مربوط به تحلیل هیدروگراف سیلاب مقایسه نمودند. نتیجه حاصل اینکه بجز رابطه واسنجی شده پیلگریم-مکدرمات هیچ یک از ۱۳ رابطه دیگر قادر به برآورد صحیح زمان تمرکز نیستند. این نتیجه با نتایج تحقیق حاضر سازگاری چندانی ندارد.



شکل۴- همبستگی نتایج روابط تجربی الف) کرپیچ؛ ب) کالیفرنیا؛ ج) SCS؛ د) ین- چاو؛ و) هاکتانیر- سزن و ه) زمردی با مقادیر اندازه گیری شده



شکل۵- نتایج ارزیابی روابط مورد بررسی از نظر الف)؛ برآورد زمان پیمایش مجموع و ب)؛ زمان پیمایش کلی در حوزه آبخیز ده بالا

نتیجه گیری

بـا توجه به ارزیابی های صورت گرفته در مطالعه حاضر می توان گفت که روابط مربوط به جریان در کانال اصلی (بخصوص روابطی که زبری بستر را درنظر می گیرند)، از انعطاف پذیری و گسـتردگی بیشتری از نظر کاربرد برخوردارند. اما باید توجه داشـت که جهت بـرآورد زمان پیمایش با دقت لازم نمـی توان از این روابط اسـتفاده نمود. بخصـوص در بازه های جزئی عملکـرد این روابط با خطای زیادی همراه اسـت. در غالب منابع (۲۱، ۲۸، ۳۱) توصیه شـده اسـت تا از روش سرعت NRCS اسـتفاده شود. اما در جریان های کم عمق این امر تقریبا امکان پذیر نیست، چراکه امکان برآورد پارامتر سـرعت با دقت مناسب وجود ندارد. بنابراین در مطالعه حاضر تعداد ۶ رابطـه تجربی مورد ارزیابی قـرار گرفت. نتایج ارزیابی رابطه های انتخاب شده نشان می دهد که رابطه های انتخاب شده بجز رابطه ین- چاو، از نظر زمان پیمایش جزئی، همبستگی نسبتا مناسبی با مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهند، اما رابطه ی زمردی و هاکتانیر-سزن عملکرد بهتری ارائه می نمایند. البته با توجه به یک عامله بودن رابطه هاکتانیر-سـزن می توان رابطه زمردی را بهینه تر معرفی نمود. بررسـی بیشتر روابط انتخابی از نظر زمـان پیمایش حاصل جمع مقاطع (زمان پیمایش مجموع) نشـان دهنده آنسـت که تنها سه رابطه تجربی زمردی، هاکتانیر- سزن و ین- چاو نتیجه قابل قبولی نسـبت به مقادیر اندازه گیری شـده ارائه مـی نمایند. این در حالیسـت که از نظر زمان پیمایش کلی در کل محدوده برداشـت صحرایی هیچ یک از روابط بجز رابطه هاکتانیر- سـزن عملکـرد قابل قبولی ندارند. ضمن اینکه برآوردهای غالب روابط از نظر زمان های پیمایش کلی، مجموع و جزئی کمتر از مقادیر اندازه گیری شـده بوده اسـت. در نهایت پیشـنهاد می گردد که روابط مورد بررسـی (بخصوص رابطه تجربی زمردی، با توجه به اینکه عامل زبری بسـتر را نیز در نظر می گیرد) با اسـتفاده از داده های اندازه گیری شده بیشتری بهینه سازی و صحت سنجی شود.

تشکر و قدردانی

مطالعـه حاضر بـا حمایت های مادی و علمی دانشـکده منابع طبیعی دانشـگاه یـزد صورت گرفته اسـت. نگارندگان بر خود واجـب می دانند از زحمات بی دریغ تمامی کارکنان این دانشکده و خصوصا کارشناس محترم آزمایشـگاه خاک و آب، جناب آقای مهندس صادقیان نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشد.

پاورقی ها

1- Pima County

۲- مجموعه عواملی که با عث کاهش سرعت جریان در آبراهه میشوند

3- Stanford watershed Model-IV

4- Average of Percent Error

5- Tennesee

6- Yen- Chow

۷- باتوجه به اینکه در خارج از این محدوده ها عملیات اصلاحی آبخیزداری صورت گرفته است، بنابراین امکان برداشت تنها در این تعداد بازه وجود داشته است.

8- Gulp injection

9- Electrical Conductivity meter (EC meter) Nearing

10- Sensitivity Analysis

11- Average Linear Sensitivity

۱۲- این بررسـی جهت تعیین امکان یا عدم امکان روند در وابستگی خطاها با یک پارامتر مشخص صورت گرفت.

۱۳- منظور زمان پیمایش بدسـت آمده از مجموع زمان پیمایش مقاطع برداشـت شده می باشد در حالیکه زمان پیمایش کلی از میانگین پارامترها در کل محدوده مورد مطالعه بدست می آید.

14- Percentage of Error

منابع مورد استفاده

۱- آزادنیـا ف.، رسـتمی ن. و کمالی مقدم ر.، (۱۳۸۶) بررسـی برخی از روابط تجربی برآورد زمان تمرکز در حوزه آبخیز میمه اسـتان ایلام. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان.

۲- اسـلامیان، س. و مهرابی ا. ، (۱۳۸۴) تعیـن روابط تجربی حوزه های آبخیز کوهستانی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (۵) ۱۲.

۳- دانشبد، ی. و ناصری، م.، (۱۳۸۵) بررسی روابط موجود زمان تمرکز و عوامل موثر برآن در حوضه های شهری. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.

۴- رزمجویی ن، مهدوی م.، محسـنی سـاروی م. و معتمدوزیری ب.، (۱۳۹۰) مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز (مطالعه موردی: شهرداری منطقـه ۲۲ تهـران)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسـی آبخیزداری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵- رفاهی، ح.، (۱۳۸۵) فرسـایش آبی و کنترل آن، انتشـارات دانشـگاه تهران، چاپ چهارم.

۶- صفوی، ح.م، (۱۳۸۵) هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان، چاپ اول.

۷- مبارکی، ج.، (۱۳۸۵) بررسی میزان دقت روابط تجربی در برآورد زمان تمرکز و زمـان تا اوج آبنمودها (مطالعه موردی اسـتان تهران)، پایان نامه کارشناسـی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران،

۸- معتمدوزیری، ب. (۱۳۸۳) بررسی برخی از روابط تجربی برآورد زمان تمرکز در حوزه آبخیز کرج؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۹- معتمدوزیری ب.، (۱۳۸۶) بررسی کارایی روش کرپیچ در برآوردزمان تمرکز سـیلاب؛ مطالعه مـوردی. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسـی آبخیزداری ایران، گرگان.

۱۰- مقدم نیا، ع، (۱۳۷۹) بررسـی مقایسـه‌ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسـیدن تا اوج سیلاب بر اسـاس روش های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی، پایان نامه کارشناسـی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

11- Abustan, I, Sulaiman, A.H. Wahid N.A. and Baharudin, F. (2008) *Determination of rainfall-runoff characteristics in urban area:* Sungai Kerayong Catchment, Kuala Lumpur, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 10p.

12- Akan, A.O., (2003) *Urban Hydrology, Hydraulics and Storm water Quality*, John Wiley & Sons.

Archive of SID

13- Arcement, G. and Schneider, V. (1990) *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains,*. United States Geological Survey Water-Supply Paper 2339.

14- Cowan, W.L., (1956) Estimating hydraulic roughness coefficients, *Agricultural engineering*, 37 (7): 473-475.

15- Daniil, E.I., Michas, S.N., and Lazaridis L.S. (2005) Hydrologic Modeling for the determination of design discharges in ungauged basins, *Global NEST Journal,* 7 (3), pp:296-305.

16- Dingman, S. L., (2002) *Physical Hydrology*, Prentice Hall.

17- Espey Consultants, Inc., (2008) *Cameron county drainage #5 Flood protection plan*, Eng. Report, Project No. 6033, Texas, USA.

18- Fang, X., (2005) *Literature review on timing parameters for hydrograph*, Lamar University Press, USA, 144 p.

19- Fang, X., Thompson, D., Cleveland, T., and Pradhan, P, (2008) Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods, *J. of Irrigation and Drainage Eng.*,134(2): 202-211.

20- Froehlich D.C., (2011) NRCS overland flow travel time calculation, *J. Irrigation and drainage engineering*, 137, 258.

21- Green, J. I., and Nelson, E.N, (2002) Calculation of time of concentration for hydrologic design and analysis using geographic information system vector objects, *J. of Hydroinformatics*, 4(2):75-81.

22- McCuen, R. H., (1998) *Hydrologic Analysis and Design*, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc. 814 p.

23- Morgan, R.P.C., (2005) *Soil erosion and conservation*, 3d ed., Blackwell publishing, 304 p.

24- Natural Resources Conservation Service (NRCS) (formerly Soil Conservation Service), (1972) *Travel time, time of concentration, and lag, The national engineering handbook,* Sec. 4, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.

25- Singh, V. P. (1976) Derivation of time of concentration, *J. of Hydrology*, 30(1976):147-165.

26- Soil Conservation Service (SCS), (1986) *Urban hydrology for small watersheds*, Tech. Rep. No. 55 (TR-55), Washington, D.C.

27- Stewart, D., Canfield, E., Yitayew, M. and Nichols, M., (2010) Estimating an Impedance-to-Flow Parameter for Flood Peak Prediction in Semiarid Watersheds, *J. Hydrologic Engineering*, 15(3).

28- Wong, T.S.W, (2005) Assessment of time of concentration formulas for overland flow, *J. Irrigation and Drainage Eng.*, 131(4), 383–387.

29- Wong, T.S.W., (2009) Evolution of Kinematic Wave Time of Concentration Formulas for Overland Flow, *J. Hydrologic Engineering*, 14(7),739-744.

30- Wood P.J. and Dykes A.P., (2002) The use of salt dilution gauging techniques: ecological considerations and insights, *Water Research* 36 (2002), 3054–3062.

31- Zomorodi, K., (2005) *Revising the NRCS Sheet Flow Travel time Equation for Flatlands*, AWRA 2005 Annual water resources Conference, Seattle, Washington.

Archive of SID