

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

• محمد تقی 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 جنگل‌ها 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: ۰۹۱۲۳۵۷۵۴۲۵

Email: mdastorani@yazduni.ac.ir

چکیده

زمان تمرکز یکی از مهم ترین متغیرهای هیدرولوژیکی در طراحی سازه‌های 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 رابطه‌های معروف کرپیچ (۱۹۴۰)، کالیفرنیا (۱۹۷۲) و NRCS (۱۹۷۲) بین زمان پیمایش جریان در سرشاخه‌های 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 گیری‌های صحراوی حاصل از روش تزریق یکباره محلول نمک طعام (به غلظت ۷۵ g/lit) مورد مقایسه قرار گرفت. دقت برآوردهای این روابط با استفاده از شاخص‌های آماری میانگین درصد خطای مطلق (APE)، ریشه مربع خطاهای (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 بازه‌های با طول کم) و هم زمان پیمایش مجموع (حاصل جمع زمان پیمایش مجموعه بازه‌های برداشتی) رابطه‌های زمردی و هاکتائیر-سزن کارکرد تقریباً قابل قبولی ارائه نمودند. این در حالیست که هیچ یک از روابط استفاده شده، در برآورد زمان پیمایش کلی (زمان پیمایش برآورده در کل محدوده برداشت با استفاده از میانگین پارامترهای زبری و شبیه) عملکرد خوبی نشان ندادند، هرچند رابطه‌های هاکتائیر-سزن، کالیفرنیا و زمردی تا حدودی نسبت به بقیه روابط نتیجه مناسب تری ارائه نمودند. در واقع اغلب روابط مورد نظر، برآوردهای 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. Abdollahwandi, 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 Rangeland, A. Talebi, Assistant 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.

را زمان لازم برای مشارکت همزمان تمامی بخش‌های یک حوزه آبخیز در دبی خروجی تعریف کرده است. البته هر دو تعریف در حقیقت مفهوم مشابه‌ای را بیان می‌نمایند. در حال حاضر یکی از دقیق ترین روش‌های محاسبه زمان تمرکز روشی است که سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS) ارائه کرده است (۲۶). این سازمان، برای محاسبه زمان تمرکز جریان آب‌های سطحی در گزارش فنی شماره ۵۵ (TR-۵۵) این پارامتر را در حوزه‌های آبخیز به سه بخش مجزا شامل: جریان ورقه‌ای بر روی دامنه‌ها، جریان متتمرکز 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 می‌کند. تاکنون بدلیل اهمیت بسیار زیادی که این پارامتر در تحلیل‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و بخصوص حوزه‌های فاقد آمار دبی دارد، روابط تجربی متعددی برای محاسبه این پارامتر در هریک از بخش‌های یاد شده ارائه شده است. اما به دلیل تفاوت‌های 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 محل‌های 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

مقدمه

متغیرهایی همچون زمان تمرکز، زمان پیمایش و زمان تا اوج از مهمترین پارامترهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز هستند که برخلاف کاربردهای بسیار زیادی که در برآورد دبی پیک و طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی از قبیل سریز سدها، پل‌ها، آب بندها و سیستم‌های 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 جنبه‌های مختلف این عامل، گمراه کننده نیز هستند. مفهوم زمان تمرکز اولین بار توسط مولوانی (۱۸۵۰) مطرح شد (۲۵). وی رابطه‌ای این پارامتر را با حداکثر رواناب درک و معروفی 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 می‌توان ارائه نمود. در یک تعریف زمان تمرکز را می‌توان زمانی تعریف کرد که طول می‌کشد تا رواناب حاصل از بارش مازاد از دورترین نقطه هیدرولوژیکی حوزه به خروجی (رفاهی (۵)؛ دانشبد و ناصری (۳)) یا نقطه مورد نظر اندازه گیری دبی یا طراحی بررسد (۲۶، ۱۲). در یک تعریف دیگر، Akan (۱۲) زمان تمرکز

منجر به برآورده دقيق زمان تمرکز خواهد شد. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی کارایی نسبی برخی از روابط تجربی زمان تمرکز جریان های سطحی در برآورده زمان پیمایش این جریان ها در حوزه های آبخیز ده بالا و منشاد بعنوان دو حوزه آبخیز کوهستانی غیرشهری واقع در استان یزد می باشد. لازم به ذکر است که کارایی یا عدم کارایی آنها صرفاً معنای توئایی یا عدم توئایی آنها در برآورده زمان پیمایش جریان های سطحی در این حوزه ها بوده و به هیچ وجه به معنای ارزیابی آنها در برآورده زمان تمرکز خصوصاً در شرایط متفاوت از منطقه تحقیق نمی باشد.

مواد و روش ها

الف- مناطق مورد مطالعه

حوزه آبخیز منشاد

این حوزه با مساحتی حدود 61 km^2 در استان یزد و در جنوب غربی شهر یزد با موقعیت جغرافیایی $1^{\circ} 14' 54'' \text{ E}$ ، $36^{\circ} 31' 0'' \text{ N}$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بخشهایی از ارتفاعات در برگیرنده مناطق توده سنگی پرشیب و بخش دیگر دامنه های پرشیب همراه با مرتع فقیر و حاشیه آبراهه اصلی بصورت باغ می باشد.

حوزه آبخیز ده بالا

این حوزه با مساحتی حدود 62 km^2 در شمال غربی حوزه آبخیز منشاد و جنوب غربی شهر یزد با موقعیت جغرافیایی $1^{\circ} 0' 54'' \text{ E}$ ، $31^{\circ} 31' 0'' \text{ N}$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). شرایط این حوزه نیز از نظر نوع کاربری و وضعیت اراضی تقریباً مانند حوزه منشاد می باشد.

ب- روابط تجربی مورد ارزیابی

با توجه به شرایط زیر، تعداد شش رابطه تجربی برآورده زمان تمرکز انتخاب و برای آزمون دقت آنها در تعیین زمان پیمایش در بازه آبراهه ای با جریان کم عمق مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱):

- ۱- پارامترهای رابطه انتخابی در دسترسی یا قابل اندازه گیری باشند.
- ۲- رابطه انتخابی تا حد امکان مربوط به برآورده زمان پیمایش جریان های کم عمق در آبراهه باشند.
- ۳- پارامترهای رابطه انتخابی از نظر سیستم واحدی و یا مفهوم فیزیکی پاقد ابهام باشند.

رابطه تجربی کریپیچ

کریپیچ برای محاسبه زمان تمرکز حوزه های آبخیز ایالت تنسی آمریکا با مساحت 0.5 km^2 تا 45 ha یک رابطه تجربی ارائه نمود به طوریکه شبیه حوزه های مورد استفاده در کالیفرنیا این رابطه حدود 3 ha تا 10 ha درصد بوده است (۲۲). رابطه کریپیچ یک رابطه ترکیبی است که هم برای جریان های سطحی و هم جریان در آبراهه بکارمی رود (۱۲) اما فرض بر غالب بودن جریان در آبراهه ها است (۶). شرکت مهندسین مشاور اسپی (۱۷) در مقایسه نتایج این روش با روش NRCS (۲۶) برای محاسبه زمان پیمایش جریان های سطحی در حوزه های آبخیز ایالت نگزاس نتایج این روش را دقیق تر ارزیابی کرده اند.

تجربی مختلف با استفاده از روش ردبایی با تزریق ثابت محلول نمک در حوزه آبخیز میمه استان ایلام، نتایج روش های کریپیچ، چاو و هیدروگراف استدلای را مناسب ارزیابی کردند. اسلامیان و مهرابی (۲) در بررسی ۱۴ رابطه تجربی در ۱۱ حوزه آبخیز در استان های تهران، اصفهان و مازندران در مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل هیدروگراف سیل، تنها رابطه پیلگریم-مک درمات را مناسب تشخیص دادند. معتمد وزیری (۹، ۸) در بررسی کارایی روش کریپیچ با انجام برداشت صحراوی و تزریق ثابت محلول نمک، نتایج این روش را در حوزه هائی با شیب های $3\text{ to }7\%$ درصد مناسب می داند. رزمجوبی و همکاران (۴) جهت انتخاب بهترین روش برآورده زمان تمرکز در منطقه ۲۲ شهرداری تهران مقادیر بدست آمده از روش های تجربی را با روش صحراوی مبتنی بر اندازه گیری زمان پیمایش آب مورد مقایسه قرار دادند. مبارکی (۷) با هدف شناسایی و معرفی روابط تجربی مناسب برای برآورده زمان تمرکز و زمان تا اوج در حوزه های استان تهران، نتایج بدست آمده از روش های تجربی را با مقادیر بدست آمده از تحلیل های توگراف-هیدرگراف، ۳۹ واقعه بارش- رواناب در چهار حوزه مورده ارزیابی قرار داد. Stewart (۲۷) در بررسی رابطه محلی ارائه شده برای منطقه پیما در ایالت آریزونای آمریکا، پارامتر مقاومت به جریان 2 m یک پارامتر بسیار قوی تر از ضریب زیری مانیگ معرفی می کند که در صورت بهینه سازی آن با داده های بارش-رواناب و اندازه گیری های میدانی، این رابطه نتایج بسیار خوبی ارائه خواهد نمود. Wang (۲۸) در بررسی ۹ رابطه تجربی زمان تمرکز را با استفاده از آزمون های آزمایشگاهی در دو سطح بتون و پوشش طبیعی، نشان داده است که روابطی که شدت بارش را در نظر نمی گیرند تنها در محدوده کوچکی از شدت بارش نتایج قابل قبول ارائه می کنند. وی نتایج روش Chen-Wang را در هردو سطح بتون و پوشش طبیعی، مناسب دانست. همچنین Wang (۲۹) در بررسی روند تکاملی رابطه موج سینماتیک و روابط ارائه شده قبل از آن، رابطه Wang (۱۹۹۶) را بهترین رابطه جهت برای برآورده زمان تمرکز جریان های سطحی معرفی و رابطه اورتون (۱۹۷۱) را در مقایسه با آن ضعیف معرفی می کند. Abustan (۱۱) رابطه بارش و رواناب و نیز برآورده زمان تمرکز را در حوزه ای مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی زمان تمرکز بر اساس هیدروگراف های اندازه گیری شده در خروجی حوزه برآورده شده و سپس نتایج حاصل از چهار روش تجربی با آن مقایسه گردید. Froehilch (۲۰) با ارزیابی کارایی روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکاعلام نمود که این روش برای برآورده زمان پیمایش جریان حاصل از بارش های کوتاه مدت همراه با خطا می باشد، و رابطه جدیدی را برای این منظور ارائه داد. در بسیاری از موارد با توجه به اینکه سازه های آبی بویژه سازه های آبخیزداری در سرشاخه ها ایجاد می شوند، برآورده دبی در محل های مورد نظر در این سرشاخه ها لازم می باشد. در چنین شرایطی برای برآورده دبی، بجای محاسبه زمان تمرکز در انتها 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 سرشاخه ها) لازم است در خصوص کارایی روش های موجود در برآورده این پارامتر تحقیق و بررسی لازم صورت پذیرد. علاوه بر این، همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد زمان تمرکز در حقیقت مجموع زمان پیمایش در بخش های مختلف مسیر جریان است، و برآورده دقیق زمانهای پیمایش

می‌گیرد. این رابطه در آناتولی ترکیه ارائه شده است.

ز- رابطه تجربی زمردی

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

تمامی روابط انتخابی بجز رابطه Zomorodi (۲۰۰۵) مربوط به برآورد زمان تمرکز در آبراهه می باشد و ارزیابی آنها در اینجا فقط به معنای 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 مسیر جریان؛ S ، شیب مسیر جریان و Tt ، زمان پیمایش و Tc زمان تمرکز جریان می باشد.

شاخص های آماری مورد استفاده بـ ظعنوان معیار ارزیابی

جهت ارزیابی میزان خطای روابط تجربی در برآورد پارامترهای زمان پیمایش و زمان تمرکز از سه شاخص آماری ضریب تعیین، یعنی R^2 ، ریشه میانگین مربع خطاهای (RMSE) و میانگین درصد خطاهای یا میانگین درصد انحراف ها (APE) استفاده شد (روابط ۱، ۲ و ۳). هریک از شاخص های انتخاب شده برای بخشی از ارزیابی مناسب تر است. ضریب تعیین میزان کارایی مدل یا در واقع میزان خطاهای را نسبت به مقادیر اندازه گیری شده می سنجد این ضریب بین ۱ تا ۱۰۰- تغییر می کند که هرچه این عدد به ۱ نزدیکتر باشد کارایی مدل یا رابطه بیشتر است (۲۹). شاخص درصد

ج- رابطه تجربی کالیفرنیا

رابطه تجربی کالیفرنیا براساس رابطه کربیچ و برای عملیات احداث ترانشه های جاده ای در ایالت کالیفرنیای آمریکا ارائه شد (۱۸). البته این رابطه (ردیف ۲ در جدول ۱) تاکنون کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته ولی معتمد وزیری (۸) با روش تزریق محلول نمک در حوزه آبخیز شهرستانک، دقیق این روش را در مناطق کم شیب مناسب ارزیابی کرده است.

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

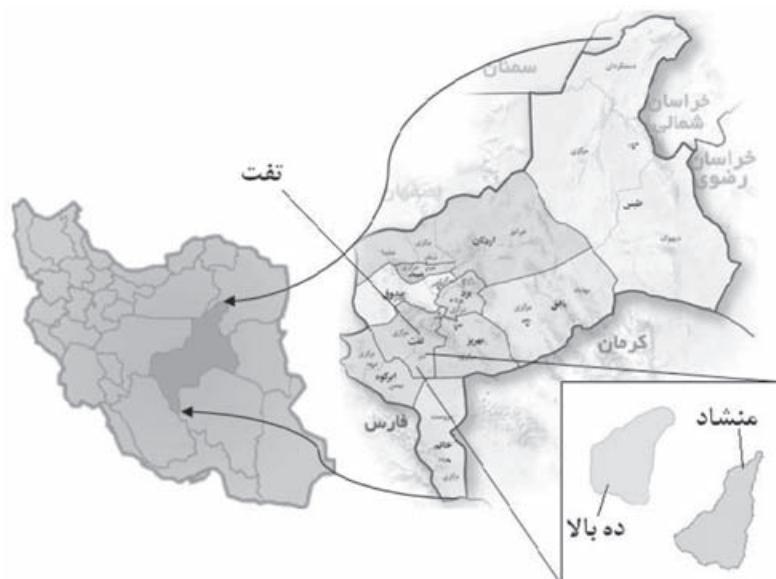
رابطه NRCS که نخست جهت برآورد زمان تاخیر ارائه و سپس با ضریب ۱/۶۷ به زمان تمرکز تبدیل شد (ردیف ۳ در جدول ۱) در مناطقی که زمین دارای پوشش گیاهی نسبتاً زیاد است پاسخ مناسبی ارائه می کند، اما برای جریان های ترکیبی (مجموعه ای از بخش های مختلف جریان شامل ورقه ای، متمرکز کم عمق و یا جریان در آبراهه اصلی) کارایی مناسب از خودشان نشان نداده است (۱۸).

ه- رابطه تجربی ین- چاو

این رابطه در مطالعات تحلیل فراوانی سیل جهت تعیین هیدرولوگراف متشی در سال ۱۹۸۳ ارائه شده و بر اساس شکل ساده شده رابطه اولیه موج سینماتیک است که برای بارش های با شدت تا 80 mm/hr دارد (۲۸). این رابطه جهت محاسبه زمان تمرکز در حوزه های با مساحت کمتر از 25 km^2 ارائه شده است.

و- رابطه تجربی هاکتائیر- سزن

رابطه هاکتائیر- سزن را می توان در رده ساده ترین روابط موجود برای زمان تمرکز در نظر گرفت زیرا تنها طول مسیر جریان (km) را در نظر



شکل ۱- موقعیت حوزه های آبخیز منشاد و ده بالا در استان یزد

جدول ۱- روابط تجربی انتخاب شده در مطالعه حاضر

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

اندازه گیری شده و n تعداد برداشت های انجام شده است.

اندازه گیری پارامترها

در مطالعه حاضر در مرحله نخست با استفاده از بازدیدهای میدانی متعدد، در حوزه آبخیز منشاء تعداد ۴ بازه در محدوده ای از آبراهه اصلی بطول حدود ۵۰۰ متر و تعداد ۲۱ بازه نیز در حوزه آبخیز ده بالا در محدوده ای از آبراهه اصلی واقع در بخش انتهایی آن بطول حدود ۲ کیلومتر انتخاب^۷ گردید (شکل ۲ الف و ب). سپس با استفاده از دوربین نقشه برداری تئودولیت (از نوع آنالاتکیک با ضریب استادیمتری، K، ۱۰۰) شیب جداول مربوطه (که در منابع موجود می باشد، به عنوان مثال Arcement Schneider و ۱۹۹۰) برآورد گردید. همچنین ضریب زیری مانینگ در این بازه ها با استفاده از رابطه Cowan (۱۴) (رابطه ۴) و با استفاده از Arcement نیز توسط روابط مثلثاتی و از روی قرائت دوربین نقشه برداری اندازه گیری شده و مجموعه پارامترهای اندازه گیری شده در فرم هایی به ثبت رسید (جدول ۲ حدود پارامترهای برداشت شده در این حوزه ها را برای کل ۲۵ بازه نشان می دهد).

انحراف یا درصد خطا، بطور بسیار ساده میانگین خطاهای 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 تأثیرگذار هستند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (T_e - T_o)^2}{\sum_{i=1}^n (T_e - \bar{T}_e)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_e - T_o)^2}{n}} \quad (2)$$

$$APE = \frac{\sum_{i=1}^n |T_e - T_o|}{\sum_{i=1}^n T_e} \times 100 \quad (3)$$

که T_e و T_o به ترتیب زمان برآورده شده (با روابط تجربی) و زمان

روابط نشان دهنده آن است که، برخلاف اینکه تقریباً هیچ یک از این روابط برای جریان‌های متغیر کم عمق ارائه نشده‌اند، لیکن در دید کلی نتایج نسبتاً معقولی ارائه می‌کنند. اما از آنجا که این امر نسیبی است و برخی روابط بهتر عمل نموده‌اند، بنابراین با توجه به معیارهای آماری مورد نظر می‌توان نتایج را به صورت شکل ۳، الف تا ج نشان داد.

بررسی شکل ۳ نشان میدهد که در درجه نخست براساس یک شاخص آماری نمی‌توان رابطه مناسب تر را تعیین نمود و این امر می‌تواند بدلیل رفتار متفاوت و تاکید متفاوت این روابط بر پارامترهای ورودی باشد. بعنوان مثال رابطه کرپیچ که جهت حوزه‌های با غالبیت جریان در آبراهه اصلی ارائه شده است ممکن است بر پارامتر طول تاکید بیشتری داشته باشد و رابطه دیگر بر شیب یا ضریب زبری و این مسئله رفتار آن‌ها را در مقاطع متفاوت پیچیده تر می‌کند. بررسی شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که رابطه‌های زمردی و هاکتائیر-سزن نتایج بسیار مناسبی ارائه می‌نمایند. بهتر بودن نتایج روش زمردی را می‌توان به این مسئله مربوط دانست که این رابطه جهت برآورده زمان پیمایش جریان‌های ورقه‌ای ارائه شده است و لذا در بازه‌های با طول کم نسبت به روابط دیگر نتایج بهتری ارائه می‌نماید. رابطه هاکتائیر-سزن دارای رفتار یکنواختی بوده و در صورتی که شرایط از نظر پارامترهایی غیر از طول متفاوت باشد این رابطه قابلیت انعطاف‌پذیری ندارد. در جهت ارزیابی هرچه بیشتر روابط انتخاب شده به بررسی رفتارهای جزئی آنها به شرح زیر پرداخته می‌شود:

رابطه کرپیچ

این رابطه در محدوده شیب‌های ۷ تا ۲/۶ درصد بهترین نتیجه را ارائه می‌دهد ($RMSE = ۰/۴۸$). در حالی که با افزایش شیب خطای این روش نیز افزایش می‌یابد بطوریکه مقادیر متوسط $RMSE$ برای کل بازه‌ها در این روش به مراتب بالاتر از مقدار $۰/۴۸$ می‌باشد (شکل ۳-الف). این رابطه در حوزه‌های با شیب کمتر از ۱۰ درصد ارائه شده است ($۱/۷$) و بنابراین این نتیجه می‌تواند منطقی باشد. آنالیز حساسیت این رابطه با استفاده از رابطه Nearing و همکاران (۱۹۸۹) (رابطه ۲) نشان دهنده حساسیت بیشتر این رابطه به پارامتر شیب است. بررسی همبستگی خطاهای این رابطه با پارامترهای ورودی نشان دهنده همبستگی بیشتر آن با پارامتر شیب است ($R^2 = ۰/۶۲$). وضعیت همبستگی مقادیر مشاهداتی و مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۴-الف نشان داده شده است.

رابطه تجربی کالیفرنیا

بررسی خطاهای این روش نشان می‌دهد که همبستگی آنها با پارامتر طول بیشتر است. آنالیز حساسیت این روش بیانگر حساسیت بیشتر آن به پارامتر طول است. این روش با توجه به روند تغییرات خطاهای، در شیب‌های ۲ تا ۱۱ درصد بهترین نتیجه ارائه می‌نماید ($RMSE = ۰/۵۷$). خطاهای این روش با افزایش شیب، شدیداً افزایش پیدا می‌کند. نتایج این روش از نظر میزان همبستگی با مقادیر اندازه‌گیری شده در شکل ۴-ب نشان داده شده است.

رابطه تجربی NRCS

آنالیز حساسیت این رابطه نشان داد که این رابطه به پارامتر طول حساس‌تر است. این در حالی است که ۹۴ درصد خطاهای آن ناشی از

$$n = (n_b + n_l + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad (4)$$

که در آن: n_b مقدار n پایه برای کanal مستقیم، یکنواخت و در بستر مواد طبیعی است که از جداول مربوطه برآورده می‌گردد، n_l فاکتور اصلاحی اثرات بی‌نظمی‌های سطحی، n_2 فاکتور مربوط به تغییر شکل و سطح مقطع کanal، n_3 فاکتور مربوط به میزان موضع در مسیر جریان، n_4 فاکتور اثر پوشش گیاهی و شرایط جریان و m فاکتور اصلاحی برای حالت‌های مثاندری کanal است (۱۳).

اندازه‌گیری زمان پیمایش

یکی از روش‌های محاسبه زمان پیمایش بخصوص در کارهای تحقیقاتی روش تزریق ردبای است (۲، ۱۶، ۳۰). در مطالعه حاضر قبلاً از برداشت‌های اصلی با استفاده از روش آزمون و خطا در تعداد ۱۰ بازه با طول‌های متفاوت (از ۲۵ تا ۱۰۰ متر) وزن نمک لازم در حجم ۴ لیتر آب و در نتیجه غلظت لازم برای محلول محاسبه گردید. در این آزمون غلظت لازم برای اثر بخشی و ردبای محلول ۷۵ g/lit (۷۵ گرم نمک در ۴ لیتر آب) بدست آمد (هدایت الکتریکی این محلول ۲۱۷ میلی موس بود). پس از تعیین غلظت مناسب محلول، در مقطع بالادست هر بازه اقدام به تزریق یکباره^۱ شده و با استفاده از ثبت و کنترل پیوسته زمانی جریان توسط دستگاه هدایت سنج الکتریکی سیار اندازه‌گیری‌ها در مقطع پایاب این بازه‌ها صورت گرفت. به طوریکه مشاهده اولین تغییرات قابل توجه هدایت الکتریکی نسبت به حالت اولیه معادل زمان پیمایش جریان در نظر گرفته شد.

آنالیز حساسیت روابط تجربی انتخاب شده

به منظور واسنجی یا بهینه سازی روابط و مدل‌ها یکی از مراحل اساسی، انجام آنالیز حساسیت پارامتری است. Morgan (۱۸) یکی از روش‌های آنالیز حساسیت روابط تجربی در اندازه‌گیری‌های منابع طبیعی را رابطه حساسیت متوسط خطی Nearing و همکاران (۱۹۸۹) معرفی کرده است. در مطالعه حاضر نیز از همین رابطه استفاده شده است (رابطه ۵).

$$ALS = \frac{\frac{(O_2 - O_1)}{O}}{\frac{(I_2 - I_1)}{I}} \quad (5)$$

که در آن:

O_1 ، O_2 ، I_1 و I_2 ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر خروجی مدل؛ O و I به می‌باشد. این پارامتر نسیبی 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 ، I_1 و I_2 ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر خروجی مدل؛ O و I به ترتیب میانگین مقادیر ورودی و خروجی مربوطه هستند.

نتایج و بحث

ارزیابی خطاهای روابط تجربی انتخاب شده

با توجه به شاخص‌های آماری انتخاب شده، نتایج ارزیابی خطاهای این

ارزیابی روابط در برآورده زمان پیمایش کلی

زمان پیمایش کلی منظور زمان پیمایشی است که از میانگین پارامترهای فیزیکی جریان از قبل شیب و زبری بستر در مجموع طول بازه ها بدست می آید. نتایج ارزیابی روابط مورد بررسی از نظر زمان پیمایش کلی و همچنین زمان پیمایش مجموع^{۱۳} (شکل ۵ الف و ب) با استفاده از معیار آماری درصد خطای^{۱۴} نشان می دهد که نتایج این روابط از نظر متغیر نخست (زمان پیمایش کلی) با خطاهای فاحش همراه است، هرچند روابط هاکتانیر-سزن، کالیفرنیا و زمردی نسبت به بقیه روابط منطقی تر بوده اند. این درحالی است که نتایج آنها از نظر متغیر دوم یعنی زمان پیمایش مجموع که از مجموع زمان پیمایش مقاطع برداشت شده بدست می آید قابل قبول تر است. از این جنبه نیز می توان مشاهده نمود که رابطه های زمردی و هاکتانیر-سزن نتایج بسیار مناسب تری ارائه نموده اند. نکته مهمی که می توان مشاهده نمود آنست که غالباً روابط مورد بررسی، برآورده کمتر از مقدار واقعی اندازه گیری شده نشان می دهند. البته این مسئله چندان هم غیر منطقی به نظر نمی رسد چرا که غالب این روابط برای برآورده زمان تمرکز حوزه ارائه شده اند و ممکن است برای شرایط مربوط به سرشاخه ها و آبراهه های فرعی تناسب بالایی نداشته باشند.

در رابطه با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگران بطور خلاصه می توان گفت که رابطه کریپیج برای آبراهه های با شیب 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. رزمجوبی و همکاران (۴)، پس از مقایسه نتایج به دست آمده از روش های تحریبی با مقادیر اندازه گیری شده در روش صحرایی اعلام نمودند که به ترتیب روش های کالیفرنیا، جیاندوتی، برانسپی-ولیامز و چاو شرایط ذکر شده را دارا می باشند و جواب های نسبتاً خوبی را ارائه دادند. از بین چهار روش ذکر شده فقط روش کالیفرنیا جزء روش های مورد ارزیابی در تحقیق

پارامتر اختلاف ارتفاع یا شیب می باشد. این رابطه در شیب های ۲ تا ۱۱ درصد نتایج بهتری ارائه کرده است. برآوردهای این رابطه اغلب کمتر از مقدار واقعی بوده است ($APE > 0$). نتایج این رابطه همبستگی نسبتاً خوبی با مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهند (شکل ۴-ج).

رابطه تجربی بن-چاو

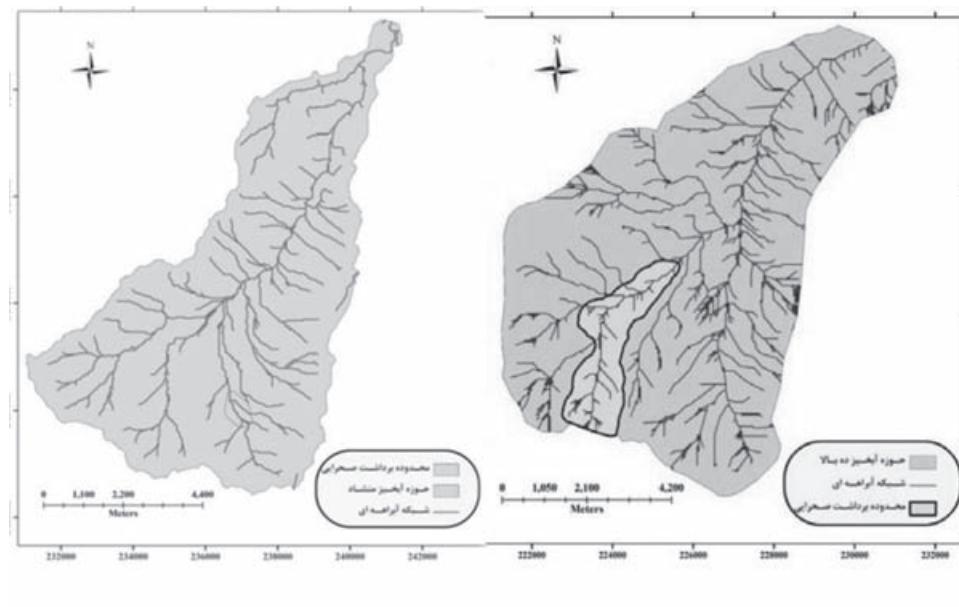
این رابطه در شیب های ۲۲ تا ۲۵ درصد نتایج نسبتاً مناسب تری ارائه می نماید. هرچند این رابطه به پارامتر ضریب زبری حساس است اما واسطگی خطای برآوردها با پارامتر شیب بیشتر است. برآوردهای این رابطه همبستگی خوبی با مقادیر واقعی نداشته و اغلب بیش از آن است (شکل ۴-د).

رابطه تجربی هاکتانیر-سزن

این رابطه تنها پارامتر طول را در نظر گرفته است و بنابراین بسته به میزان طول بازه ها ممکن است دقت آن تغییر داشته یا نداشته باشد. این رابطه همبستگی بسیار خوبی با مقادیر واقعی نشان می دهد (شکل ۴-و). اما به دلیل عدم انعطاف پذیری این رابطه، درصد خطای آن بالاست ($APE = ۷/۷۷$).

رابطه زمردی

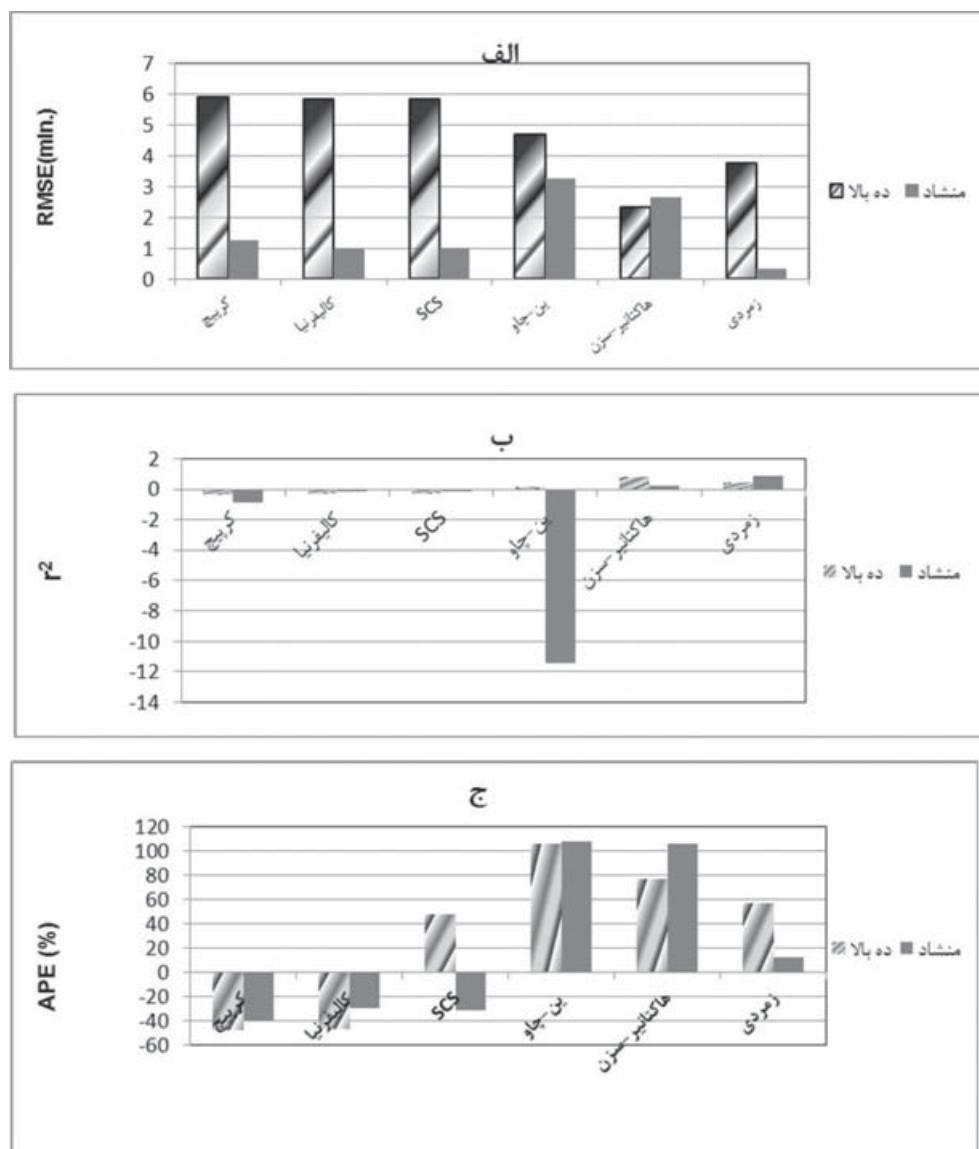
اندازه گیری خطاهای این روش نشاندهنده دقت به نسبت مناسب این رابطه است (شکل ۴-ه). برآوردهای این رابطه، تحدودی بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده می باشد. حساسیت این رابطه به پارامتر ضریب زبری بیشتر است. همچنین بررسی میزان خطاهای این روش با پارامترهای ورودی بیانگر همبستگی بیشتر آنها با پارامتر طول می باشد. این رابطه در ترین نتیجه را ارائه می نماید.



شکل ۲- موقعیت محدوده های برداشت صحرایی در حوزه های آبخیز؛ الف- ده بالا و ب- منشاد

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 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 صحراوی) اعلام نمودند که روش‌های کرپیچ، چاو و هیدروگراف استدلالی جواب‌های بهتری ارائه دادند. این نتیجه با یافته‌های تحقیق حاضر سازگار است چرا که در تحقیق حاضر نیز روش کرپیچ نسبت به روش‌های دیگر خصوصاً در شبیه‌سازی کمتر نتایج بهتری ارائه نمود. در تحقیق مقدم نیا

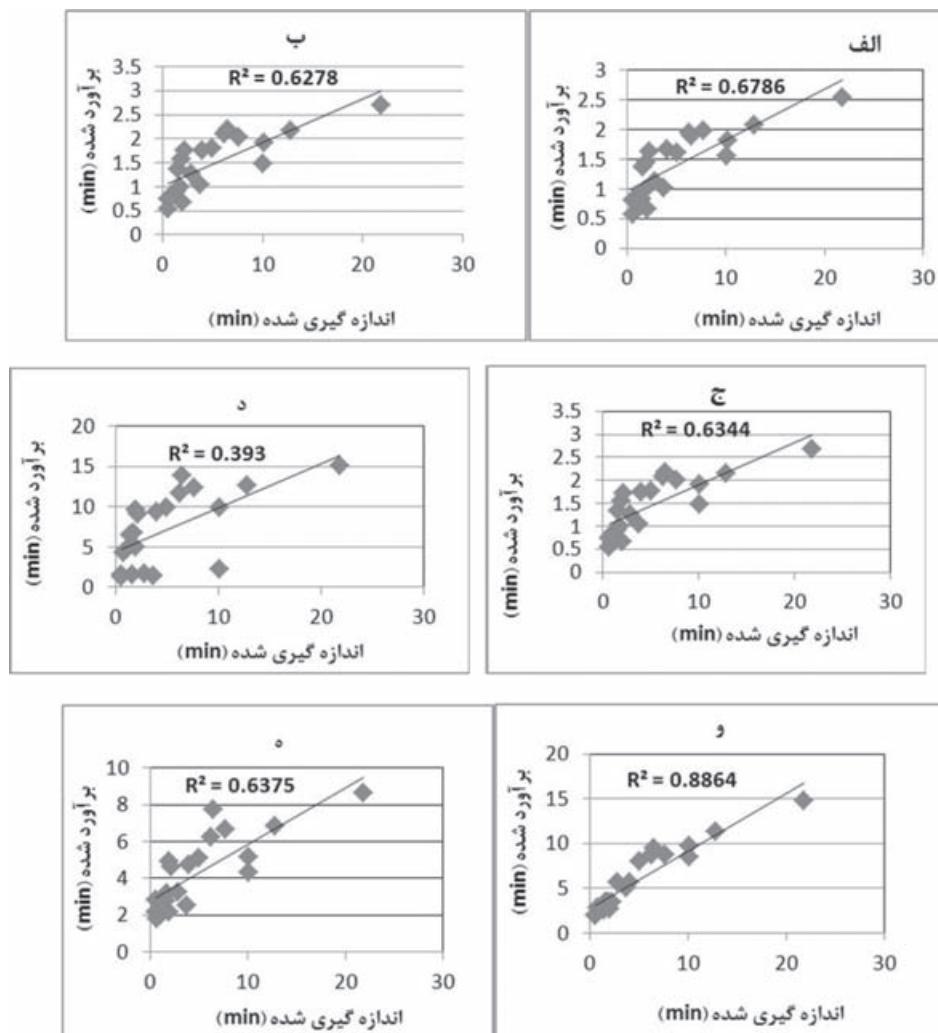
حاضر بوده که همان گونه که شکل ۴-ب نیز نشان میدهد نتایج معقول تری نسبت به برخی روش‌های دیگر ارائه داده و لذا از این نظر با نتایج رزمجوبی و همکاران (۴) سازگاری دارد. مبارکی (۷) نتیجه گرفت که اکثر روش‌های تجربی پارامترهای زمانی را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. این نتیجه هماهنگ با نتیجه ای است که در تحقیق حاضر نیز اخذ شده است. نامبره اعلام نمود که برای برآورد زمان تمرکز در تمامی حوزه‌های مورد مطالعه روابط برانسبی ویلیامز و پیلگریم مقدرات نتایج مطلوبی ارائه نمودند و دقیت روابط ونتورا، بلک و همکاران، FAA و NRCS تحت تأثیر میزان شبیه قرار دارد، بطوریکه در مناطق کم شبیه رابطه ونتورا و در FAA و بلک و همکاران نتایج بهتری بدست می‌دهند. و همکاران (۱۱) نتیجه گرفتند که روش ساده Abustan و همکاران (۱۱)



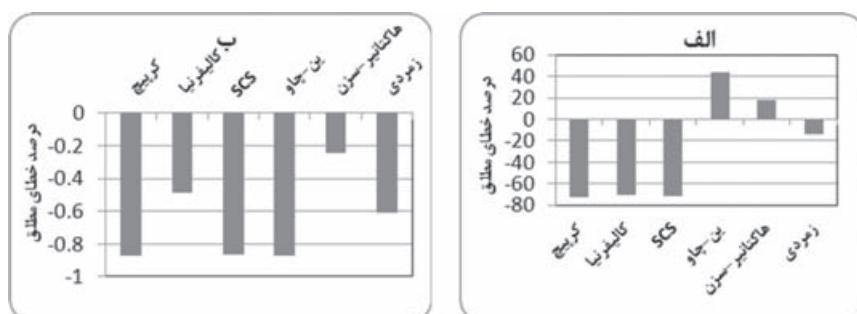
شکل ۳- نتایج ارزیابی روابط مورد استفاده از نظر زمان پیمایش جزئی با توجه به شاخص‌های آماری موردنظر

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.

(۱۰) در حوزه امامه روش برانسی-ویلیامز و در حوزه کسیلیان روش سرعت متوسط سرویس حفاظت حاک آمریکا جواب مناسبتری را ارائه نمودند. اسلامیان و مهرابی (۱۴) روش تجربی از جمله روش های کرپیچ، کالیفرنیا و روش سرویس حفاظت حاک آمریکا را مورد ارزیابی قرار داده و با نتایج



شکل ۴- همبستگی نتایج روابط تجربی (الف) کرپیچ؛ (ب) کالیفرنیا؛ (ج) SCS؛ (د) بن-چاو؛ (و) هاکتانیر-سزن و (ه) زمردی با مقادیر اندازه گیری شده



شکل ۵- نتایج ارزیابی روابط مورد بررسی از نظر (الف): برآورد زمان پیمایش مجموع و (ب): زمان پیمایش کلی در حوزه آبخیز ده بالا

10- Sensitivity Analysis

11- Average Linear Sensitivity

- ۱۲- این بررسی جهت تعیین امکان یا عدم امکان روند در وابستگی خطاهای با یک پارامتر مشخص صورت گرفت.
- ۱۳- منظور زمان پیمایش بدست آمده از مجموع زمان پیمایش مقاطع برداشت شده می‌باشد در حالیکه زمان پیمایش کلی از میانگین پارامترها در کل محدوده مورد مطالعه بدست می‌آید.

14- Percentage of Error

منابع مورد استفاده

- ۱- آزادنیا ف، رستمی ن. و کمالی مقدم ر، (۱۳۸۶) بررسی برخی از روابط تجربی برآورده زمان تمرکز در حوزه آبخیز میمه استان ایلام، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان.
- ۲- اسلامیان، س. و مهرابی ا، (۱۳۸۴) تعیین روابط تجربی حوزه های آبخیز کوهستانی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (۵).
- ۳- دانشبد، ی. و ناصری، م، (۱۳۸۵) بررسی روابط موجود زمان تمرکز و عوامل موثر بر آن در حوضه های شهری. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
- ۴- رزمجویی ن، مهدوی م، محسنی ساروی م. و معتمدوزیری ب، (۱۳۹۰) مقایسه برخی از روابط تجربی در برآورده زمان تمرکز (مطالعه موردی: شهرداری منطقه ۲۲ تهران)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۵- رفاهی، ح، (۱۳۸۵) فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
- ۶- صفوی، ح.م، (۱۳۸۵) هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان، چاپ اول.
- ۷- مبارکی، ج، (۱۳۸۵) بررسی میزان دقت روابط تجربی در برآورده زمان تمرکز و زمان تا اوج آبمنودها (مطالعه موردی استان تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- ۸- معتمدوزیری، ب، (۱۳۸۳) بررسی برخی از روابط تجربی برآورده زمان تمرکز در حوزه آبخیز کرج؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۹- معتمدوزیری ب، (۱۳۸۶) بررسی کارایی روش کریچ در برآورده زمان تمرکز سیلاب؛ مطالعه موردی. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان.
- ۱۰- مقدم نیا، ع، (۱۳۷۹) بررسی مقایسه‌ای زمان تمرکز، زمان تاخیر و زمان رسیدن تا اوج سیلاب بر اساس روش‌های تجربی و تجزیه هیدروگراف در دو منطقه آب و هوایی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه 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.

نتیجه گیری

با توجه به ارزیابی‌های صورت گرفته در مطالعه حاضر می‌توان گفت که روابط مربوط به جریان در کانال اصلی (بخصوص روابطی که زبری بستر را درنظر می‌گیرند)، از انعطاف پذیری و گستردگی بیشتری از نظر کاربرد برخوردارند. اما باید توجه داشت که جهت برآورد زمان پیمایش با دقت لازم نمی‌توان از این روابط استفاده نمود. بخصوص در بازه‌های جزئی عملکرد این روابط با خطا زیادی همراه است. در غالب منابع (۲۱، ۲۸، ۳۱) توصیه شده است تا از روش سرعت NRCS استفاده شود. اما در جریان‌های کم عمق این امر تقریباً امکان پذیر نیست، چراکه امکان برآورد پارامتر سرعت با دقت مناسب وجود ندارد. بنابراین در مطالعه حاضر تعداد ۶ رابطه تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی رابطه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد که رابطه‌های انتخاب شده بجز رابطه بین- چا، از نظر زمان پیمایش جزئی، همبستگی نسبتاً مناسبی با مقادیر اندازه گیری شده نشان می‌دهند، اما رابطه‌ی زمددی و هاکتانیر- سزن عملکرد بهتری ارائه می‌نمایند. البته با توجه به یک عامله بودن رابطه هاکتانیر- سزن می‌توان رابطه زمددی را بهینه تر معرفی نمود. بررسی بیشتر روابط انتخابی از نظر زمان پیمایش حاصل جمع مقاطع (زمان پیمایش مجموع) نشان دهنده آنست که تنها سه رابطه تجربی زمددی، هاکتانیر- سزن و بین- چاو نتیجه قابل قبول نسبت به مقادیر اندازه گیری شده ارائه می‌نمایند، این در حالیست که از نظر زمان پیمایش کلی در کل محدوده برداشت صحرایی هیچ یک از روابط بجز رابطه هاکتانیر- سزن عملکرد قابل قبولی ندارند. ضمن اینکه برآوردهای غالب روابط از نظر زمان‌های پیمایش کلی، مجموع و جزئی کمتر از مقادیر اندازه گیری شده بوده است. در نهایت پیشنهاد می‌گردد که روابط مورد بررسی (بخصوص رابطه تجربی زمددی، با توجه به اینکه عامل زبری بستر را نیز در نظر می‌گیرد) با استفاده از داده‌های اندازه گیری شده بیشتری بهینه سازی و صحت سنجی شود.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر با حمایت‌های مادی و علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد صورت گرفته است. نگارندهای بزرگ می‌دانند از زحمات بی دریغ تمامی کارکنان این دانشکده و خصوصاً کارشناس محترم آزمایشگاه خاک و آب، جناب آقای مهندس صادقیان نهایت تقدیر و تشکر را داشته باشد.

پاورقی‌ها

- 1- Pima County
- 2- مجموعه عواملی که با اعث کاهش سرعت جریان در آبراهه می‌شوند
- 3- Stanford watershed Model-IV
- 4- Average of Percent Error
- 5- Tennessee
- 6- Yen- Chow
- 7- با توجه به اینکه در خارج از این محدوده‌ها 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

- 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.

