

Introducing Two-Dimensional Hydraulic Simulation as a Technique for Estimating the Time of Concentration


Fatemeh Esmail Manesh¹, Masih Zolghadr^{2*}, Mohamad Rafi Rafiee³

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Jahrom University, Fars, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Fars, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Fars, Iran

* zolghadr.masih@jahromu.ac.ir

Received: 24 May 2020, Accepted: 1 August 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Time of concentration (TC) is the time in which a water parcel travels from a watershed divide to its outlet. Time of concentration is also the most important factor in selecting design discharge for an area since the most severe floods are those caused by rainfalls with durations equal to the concentration time of a watershed. Time of concentration is necessary for the studies of water resources management, flow volume and discharge estimation, design of spillways and hydraulic structures, development of flood predicting models, flood alert systems, river management, and drainage projects and many other water related studies. Currently, there are two main methods to evaluate the time of concentration; applying empirical formulas or applying graphical methods which require flood hydrograph and corresponding rainfall hyetographs. Due to the differences in the accuracy levels of empirical methods in different areas, along with the unavailability of graphical methods in most of the watersheds, this study aims to estimate TC, using the basic definition of time of concentration which is the travel time of a water parcel from basin divide to the outlet. The focus of this study is to simulate the water parcel to calculate the time of concentration with a two-dimensional hydraulic model (HEC-RAS 5.0.7). To the best knowledge of the authors, this method has never been applied for the estimation of time of concentration.

Methodology: Two-dimensional HEC-RAS model was used to navigate the runoff flow in the main channel of a watershed from the farthest hydrological point to the outlet. Besides, 48 different empirical equations were gathered from the literature and used to estimate the time of concentration. To validate the numerical method and the empirical formulas, the actual concentration time of the flow was measured by salt solution tracking. Then, the comparison of the measured data with the results of the numerical and experimental methods was made, using the percent of error index. Ali Abad watershed located in Fars province was selected as a case study due to the appropriate data availability and the possibility of various measurements as described in the following sections.

Results and discussion: Results showed that only five methods indicate relative errors less than 20%, of which four belong to the empirical formulas (8% of the total empirical methods) and one to the numerical simulation. The NRCS is also a well-known equation in which

runoff flow in a watershed is divided into three parts: sheet flow, concentrated shallow flow, and open channel flow. Flow velocity is estimated by the Manning's equation in the reach according to this method. This method's accuracy is about 82%. In order to run the two-dimensional model, DEM of the area with 10 meters' spatial resolution was used to define the bathymetry. Manning roughness coefficient was also calibrated for model tuning. The best results were obtained from the hydraulic simulation of the case study, when applying bank-full discharge equal to 3.53 cms so that the error of this method was limited to 3%. Hence, it might be reasonable to accept the computational costs of a two-dimensional hydraulic simulation to predict the time of concentration instead of empirical formulas in the case of utilizing the results for constructing costly hydraulic structures.

Conclusion: Different methods of time of concentration estimations were evaluated and compared with the observed time of concentration obtained by salt solution tracing in Aliabad watershed located in Fars province. Two-Dimensional simulation of the water parcel (according to the definition of T_c) from the basin divide to the outlet was also performed by HEC-RAS 5.0.7. The results indicated that among empirical relations, the concentration time value obtained from the Simas and Hawkins equation (Azizian, A, 2018) is much closer to the actual value and is considered as the best empirical equation for Aliabad watershed. This equation involves river length and slope, watershed area and surface storage. Following Simas and Hawkins, equations developed by SCS, SCSlag, (Alizadeh, A, 2009) Yen and Chow (Azizian, A 2018), and NRCS (USDA Natural Resource Conservation Service, 2010) gave closest estimations to the actual concentration time, respectively. However, the results of hydraulic simulation show the most accuracy depending on water parcel definition. That is because, the two-dimensional model takes the topography, local slope, roughness and geometry of the water body into account and is a reliable technique to estimate the time of concentration in any desired location. Nevertheless, for empirical relations it is necessary to realize the limitations of each method and compare it with the study area. Hence, it is recommended to apply hydraulic simulation instead of empirical formulas to estimate the time of concentration. Also, with the measurement data, the results of this study can be used as a criterion for measuring concentration time in similar hydrological studies.

Keywords: HEC-RAS 2D model, Hydraulic simulation, Salt solution tracking, Empirical formulae, Case study.

© 2020 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

معرفی شبیه‌سازی هیدرولیکی دوبعدی جریان به عنوان روشی برای برآورد زمان تمرکز

فاطمه اسمعیل منش^۱، مسیح ذوالقدر^۲، محمد رفیع رفیعی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه جهرم، جهرم، فارس، ایران.

* zolghadr.masih@jahromu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۱، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: زمان تمرکز فراسنجه‌ای اساسی در برآورد سیلاب برای طراحی انواع سازه‌های هیدرولیکی است. لذا انتخاب روش درست برآورد زمان تمرکز دارای اهمیت خاصی است. هدف از این تحقیق ارائه روشی نوین برای محاسبه زمان تمرکز بر مبنای مفهوم اصلی آن یعنی مدت زمان لازم برای حرکت آب از دورترین نقطه هیدرولوژیکی حوضه تا خروجی آن است. بدین منظور مدل‌سازی حرکت آب به وسیله شبیه‌سازی هیدرولیکی دوبعدی صورت گرفته است. حوضه آبریز علی‌آباد در استان فارس به عنوان بررسی و ارزیابی موردی انتخاب شده و زمان تمرکز آن به وسیله روش ردیاب محلول نمک تعیین شده است. نتایج اندازه‌گیری صحرایی برای صحت‌سنجی شبیه‌سازی عددی استفاده شده است. همچنین ضمن مرور روشهای موجود در پیشینه پژوهش، انتخاب دقیق‌ترین روش از میان فرمول‌های تجربی برآورد زمان تمرکز از طریق مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده صورت گرفته است. لذا، غیر از شبیه‌سازی عددی، مدت زمان‌های تمرکز با استفاده از ۴۸ رابطه تجربی محاسبه شد از میان روش‌های تجربی محاسبه زمان تمرکز، بیشینه خطای به دست آمده بیش از سیصد درصد و کمینه خطای به دست آمده معادل ۶/۷ درصد می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی عددی نیز بسته به تعریف و میزان‌های مختلف قطره‌های (پارسل) آب بین ۳ تا ۲۷ درصد خطا داشته‌اند که در مقایسه با روش‌های تجربی نتایج بسیار بهتری می‌باشد. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که از میان روش‌های تجربی مورد استفاده سه روش کمترین خطا را در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده داشته‌اند که برای حوضه مورد بررسی و حوضه‌های با ویژگی‌های هیدرولوژیکی همانند پیشنهاد می‌شود. همچنین شبیه‌سازی هیدرولیکی یک روش کارآمد برای تعیین زمان تمرکز برای هر نوع حوضه آبریز معرفی می‌شود.

کلید واژگان: شبیه‌سازی هیدرولیکی، جریان دوبعدی، ردیاب محلول نمک، فرمول تجربی، مطالعه موردی.

۱- مقدمه

(Pavlovic and Moglen, 2008). به همین دلیل دارای اهمیت بسیار زیادی در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی است (Green et al., 2002). زمان تمرکز مهم‌ترین عامل برای انتخاب رگبارهای طرح هر منطقه است، زیرا شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوضه آبریز باشد (Shahbazi et al., 2015) زمان تمرکز برای مدیریت منابع آب و مسئله‌هایی مانند برآورد کمیت جریان، در طراحی سرریزها، تدوین مدل‌های پیش‌بینی سیل، در اجرای سامانه (سیستم) های

زمان تمرکز عبارت است از زمان حرکت یک قطره (پارسل) آب از دورترین فاصله هیدرولوژیکی حوضه تا خروجی حوضه (de Almeida et al., 2017). برآورد زمان تمرکز، یکی از فراسنجه‌های کلیدی برای تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی به شمار می‌رود و متداول‌ترین فراسنجه زمانی مورد استفاده در هیدرولوژی است (Razmjouie et al., 2012). این فراسنجه نشان‌دهنده سرعت پاسخ حوضه آبریز در مقابل بارش رخ داده است

و پیلگریم-مک درمات استفاده کردند و پس از مقایسه آنها با زمان تمرکز به‌دست آمده از تجزیه آب‌نگارهای حوضه‌ها به این نتیجه رسیدند که فرمول‌های پاسینی بیشترین و فرمول کارتر کمترین خطا را در محاسبه زمان تمرکز حوضه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد (Eslamian and Soroush, 2006). در یکی از حوضه‌های آریزونا به بررسی زمان تمرکز پرداخته شد و نتایج نشان داد که رابطه کرپیچ می‌تواند رابطه مناسبی برای حوضه یاد شده باشد (Goitom, 1989). در مطالعه‌ای در منطقه تگزاس به بررسی رابطه‌هایی تجربی ویلیامز، کرپیچ، جانستون-کراس و هاکتانیرسزن در ۹۶ حوزه آبریز پرداختند که نتایج گویای آن بود که روش‌های کرپیچ و هاکتانیرسزن برآوردهای قابل قبولی را ارائه می‌دهند (Fang et al., 2008). برای برآورد زمان تمرکز در حوزه آبریز استان‌های تهران، مازندران و اصفهان، ۱۴ رابطه تجربی برآورد زمان تمرکز با به کارگیری نرم‌افزار SAS ارزیابی شده‌اند. نتایج نشان داد که در بین رابطه‌های، رابطه پیلگریم - مک درمات دارای دقت خوبی نسبت به دیگر روش‌ها می‌باشد (Eslamian and Mehrabi, 2005). برای ارزیابی کارایی شش رابطه تجربی زمان تمرکز در دو حوضه منشاد و ده‌بالا واقع در استان یزد، داده‌های برآوردی با مشاهده‌های مقایسه شده است. نتایج آنها نشان داد که رابطه‌های هاکتانیز - سزن و کالیفرنیا نتایج بهتری را ارائه دادند (Dastourani et al., 2011). با به کارگیری داده‌های آب‌سنجی (هیدرومتری) در شش زیرحوضه رودخانه کارون در جنوب غرب ایران، رابطه‌ای برای محاسبه زمان تمرکز حوضه ارائه شده، این رابطه که مدل شهرکرد نام دارد، برمبنای دو فراسنجه محیط حوضه و طول آبراهه اصلی، زمان تمرکز را برآورد می‌کند (Sadatinejad et al., 2012).

با توجه به پاسخ‌های متفاوت روش‌های تجربی، و نبود امکان بهره‌گیری از روش‌های نگاره‌ای در بیشتر حوضه‌ها، در این پژوهش، برای نخستین بار، برآورد زمان تمرکز با استفاده از تعریف پایه‌ای زمان تمرکز یعنی زمان لازم برای پیمایش آبراهه اصلی از دورترین فاصله هیدرولژیکی تا خروجی حوضه از طریق شبیه‌سازی هیدرولیکی انجام

هشدار سیل، برآورد حجم سیلاب، تهیه آب‌نگار (هیدروگراف) سیل و پروژه‌های زهکشی، طراحی سازه‌های هیدرولیکی و بسیاری دیگر از تحلیل‌های هیدرولوژی مورد نیاز می‌باشد (Mirzayi and Raof, 2015). از این رو زمان تمرکز برای درک رفتار یک حوضه در رخدادهای بارندگی ضروری است.

برای برآورد زمان تمرکز روش‌های مختلفی وجود دارد، برخی از این روش‌ها ترسیمی بوده و با توجه به نگاره زمانی (هایتوگراف) بارندگی و آب‌نگار سیلاب حاصله به دست می‌آیند که مستلزم اطلاعاتی است که در بیشتر حوضه‌های آبریز در دسترس نیستند. برخی از این روش‌ها نیز بر پایه فراسنجه‌های مشخصات هندسی (فیزیوگرافی) حوضه می‌باشد که شامل روش‌های تجربی می‌شود. با وجود این، امروزه تعریف واحدی برای این فراسنجه وجود نداشته و تعریف‌های چندی برای آن مطرح شده است.

تعریف‌های مختلف زمان تمرکز منجر به نتایج مختلفی می‌شود، به طوری که روش‌های مختلف محاسبه زمان تمرکز ممکن است تا ۵۰٪ با هم اختلاف داشته باشند (Grimaldi et al., 2012). علت اختلاف در نتایج برآورد زمان تمرکز نادیده گرفتن وضعیت مسیر جریان آب از نظر زبری بستر، پستی و بلندی یا عوارض (توپوگرافی)، پوشش گیاهی، شعاع هیدرولیکی در نقطه‌های مختلف و دیگر عامل‌هاست. بنابراین، بهتر است، افزون بر استفاده از رابطه‌های موجود، همواره شرایط محیطی نیز در نظر گرفته شود و اصلاح‌های لازم انجام گیرد (Razmjui et al., 2012). با توجه به اینکه تعیین زمان تمرکز به شرایط هندسی (فیزیوگرافی) و اقلیمی حوضه بستگی دارد، در نقطه‌های مختلف جهان رابطه‌ها و روابطی را برای برآورد زمان تمرکز توسعه داده و از آن استفاده کرده‌اند. این در حالی است که این رابطه‌ها ممکن است برای بسیاری از منطقه‌های دیگر از دیدگاه اقلیمی و هیدرولوژیکی همخوانی نداشته باشند (Razmjui et al., 2012). پژوهشی در حوضه آبریز رودخانه‌های کارون و دز در کشور ایران برای انتخاب رابطه برتر برآورد زمان تمرکز انجام شده است. برای این منظور محققان از فرمول‌هایی مانند کرپیچ، آسی، ونتورا، پاسنی، کارتر، جانسون-کراس

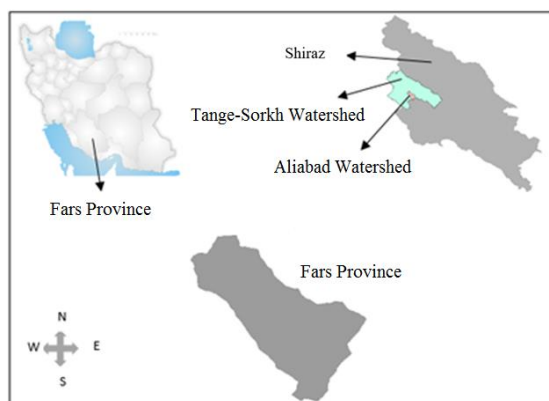


Fig. 1 Study area and its location in Fars Province
 شکل ۱ حوضه مورد بررسی و موقعیت آن در استان فارس

توسعه یافته است. در مدل جدید، کاربران قادر خواهند بود تا مدل خود را در حالت یک‌بعدی، دوبعدی و یا تلفیقی از هر دو حالت اجرا کنند. این بررسی شبیه‌سازی هیدرولیکی دوبعدی انجام شده است. در این مدل معادله‌های حاکم بر جریان شامل پیوستگی و مومنتم دوبعدی به شرح زیر است:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(p)}{\partial x} + \frac{\partial(q)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

معادله مومنتم در جهت X:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(p^2/H)}{\partial x} + \frac{\partial(gH^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(pq/H)}{\partial y} =$$

$$gH \left(\frac{-\partial h_0}{\partial x} - \frac{p\sqrt{p^2+q^2}}{C^2H^2} \right) + \nu \left[2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial x \partial y} \right]$$

معادله مومنتم در جهت y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(q^2/H)}{\partial y} + \frac{\partial(gH^2/2)}{\partial y} + \frac{\partial(pq/H)}{\partial x} =$$

$$gH \left(\frac{-\partial h_0}{\partial y} - \frac{q\sqrt{p^2+q^2}}{C^2H^2} \right) + \nu \left[2 \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y} \right]$$

در این معادله‌ها، H عمق آب، p و q به ترتیب بده جریان در جهت x و y، C ضریب شزی (Chezy)، ν ضریب لزوجت آشفتگی یا تلاطم، h₀ عمق آب در زیر سطح آب ساکن و g شتاب جاذبه می باشد. مدل عددی معادله‌های حاکم را به وسیله روش عددی احجام محدود ضمنی حل می‌کند.

شده است. بدین منظور از شبیه‌سازی هیدرولیکی با استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS نسخه ۵.۰.۷ استفاده شده است. همچنین از ۴۸ رابطه تجربی مرسوم و موجود در پیشینه پژوهش به منظور برآورد زمان تمرکز استفاده شده است. به منظور صحت‌سنجی روش عددی و فرمول‌های تجربی، زمان تمرکز واقعی جریان بوسیله ردیابی محلول نمک اندازه‌گیری شده است. پس از آن مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده با نتایج روش‌های تجربی، بوسیله فراسنجه آماری درصد خطا صورت گرفته است. حوضه علی‌آباد استان فارس با توجه به وجود داده‌های مناسب و امکان اندازه‌گیری‌های مختلف که در ادامه شرح داده خواهد شد به عنوان بررسی موردی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم زمان تمرکز در پیشینه پژوهش کم‌یاب می‌باشد، از نتایج این پژوهش می‌توان برای معیاری در برآورد زمان تمرکز در حوضه‌ای با ویژگی‌های مشخص استفاده کرد.

در این پژوهش از DEM با دقت ۱۰ متر که از اداره منابع طبیعی استان فارس تهیه شده استفاده شده است. به منظور تعیین حدود حوضه آبریز افزون بر اطلاعات موجود بازدید میدانی نیز صورت گرفته است. اطلاعات مربوط به شماره منحنی نیز از اداره منابع طبیعی استان فارس تهیه شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه حوضه علی‌آباد یکی از سرشاخه‌های رودخانه خشک شیراز واقع در غرب شهرستان شیراز می‌باشد. گستره این حوضه ۳/۵۲۹ کیلومترمربع و بیشینه و کمینه ارتفاع این حوضه به ترتیب ۲۴۲۷ و ۲۰۰۸ متر می‌باشد. این رودخانه با سرشاخه دره مارون و سرشاخه پسکوهک یکی شده و در انتها به رودخانه خشک شیراز می‌ریزد. شکل شماره ۱ نمایی از حوضه مورد بررسی و موقعیت آن در استان فارس را نمایش می‌دهد.

۲-۲- معادله‌های حاکم

مدل HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا

۲-۳- روش پژوهش

در این تحقیق سعی شده از رابطه‌هایی استفاده شود که فراسنجه‌های مورد نیاز آنها وجود داشته یا قابل برآورد باشند. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های DEM، شبکه آبراهه‌ها و مدل رقومی ارتفاع منطقه، اطلاعات هندسی منطقه در نرم‌افزار ARC-GIS محاسبه شد. پس از آن با انجام بازدیدهای میدانی، پیمایش رودخانه اصلی، عکس‌برداری از رودخانه و ساحل‌ها، در بازه‌های مختلف انجام شد. شکل شماره ۲ تصویر ماهواره‌ای از رودخانه را نشان می‌دهد که نقطه‌های خروجی دستگاه GPS در بازدید میدانی روی آن نمایش داده شده است. در این شکل ۵۶ نقطه از ابتدای رودخانه تا خروجی حوضه برداشت شده است که با توجه به طول ۳/۵ کیلومتری رودخانه به طور میانگین هر ۶۲ متر یک نقطه برداشت شده است.



Fig. 2 River Path and GPS points

شکل ۲ مسیر حرکت رودخانه و نقطه‌های برداشت شده دستگاه GPS

الکتریکی در پایین دست بازه، زمان طی مسیر بازه توسط جریان برآورد شده است. این عملیات در چند بازه و تا نزدیکی نقطه خروجی حوضه تکرار شده و زمان تمرکز کل از جمع آن‌ها به دست آمده است. در مرحله بعدی شمار ۴۸ فرمول تجربی برآورد زمان تمرکز انتخاب شده و محاسبات زمان تمرکز برای حوضه مورد نظر انجام شده است. در انتخاب فرمول‌ها محدودیت‌هایی مانند گستره، شیب آبراهه و ... که شرط استفاده از برخی رابطه‌ها است مدنظر قرار گرفته است. برای مثال برخی فرمول‌ها ویژه منطقه‌های شهری است که در بررسی حاضر حذف شده‌اند. اطلاعات مورد نیاز شامل اطلاعات هندسی منطقه می‌باشد که به وسیله نرم افزار ARC-GIS استخراج شده‌اند. همچنین اطلاعاتی چون شماره منحنی از اداره منابع طبیعی استان اخذ دریافت شده است. در مرحله آخر مدت‌های زمان تمرکز به دست آمده از روش‌های مختلف با زمان تمرکز به دست آمده به وسیله ردیاب نمک مقایسه شد. به دلیل شمار بالای فرمول‌های تجربی و محدودیت فضایی به ذکر نام رابطه‌ها مطابق جدول ۲ بسنده شده اما به مرجع آن‌ها جهت برای بررسی بیشتر اشاره شده است. در مرحله بعد، زمان تمرکز حوضه مورد بررسی با توجه به این رابطه‌ها محاسبه شده است. سپس، برآورد زمان تمرکز بوسیله شبیه‌سازی دوبعدی حرکت قطره‌های (پارسل) آب از بالادست تا نقطه خروجی صورت پذیرفته است. بدین منظور از نرم‌افزار HEC-RAS نسخه ۵.۰.۷ که قابلیت شبیه‌سازی دوبعدی را دارد استفاده شده است. منظور از قطره‌های آب در تعریف زمان تمرکز، دبی لبریز و یا دبی سیلاب ناشی از بارندگی با دوره بازگشت دوساله و تداوم ۲۴ ساعته می‌باشد (Sharifi et al., 2011). لذا دبی معادل دبی لبریز و دبی ناشی از بارندگی دو ساله ۲۴ ساعته به عنوان ورودی به مدل عددی تعریف شده و با لحاظ شبکه محاسباتی و ضریب زبری شبیه‌سازی انجام شده است. شرایط مرزی در بالادست و پایین دست مدل به ترتیب شامل دبی‌های یاده شده بالا و جریان یکنواخت با شیب سه درصد که معادل شیب قسمت پایین دست آبراهه می‌باشد در نظر گرفته شده است.

زمان تمرکز واقعی به روش ردیابی محلول نمک محاسبه شد. غلظت لازم برای تهیه محلول نمک و طول بازه‌های اندازه‌گیری با انجام سعی و خطا به ترتیب معادل ۳۲۶ گرم بر لیتر و بازه‌های ۵۰۰ متری تعیین شده است. با ثبت زمان ورود محلول نمک در بالادست بازه و ثبت تغییرپذیری‌های زمانی غلظت (از طریق اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی با دستگاه EC متر) در پایین‌دست همان بازه، فاصله زمانی ورود محلول نمک در بالادست و به اوج رسیدن منحنی تغییرپذیری‌های زمانی هدایت

۳- نتایج و بحث

در رابطه‌های مورد استفاده، فراسنجه‌هایی مانند طول آبراهه اصلی، شیب و مساحت مهم‌ترین فراسنجه‌هایی هستند که در بسیاری از این رابطه‌ها وجود دارند. در برخی رابطه‌ها نیز فراسنجه‌هایی مانند شماره منحنی (برای مثال ردیف‌های ۱۷ و ۱۹ و ۲۰ و ۳۸)، ضریب رواناب (مانند ردیف ۳۵)، شدت بارندگی با دوره بازگشت دو ساله و تداوم ۲۴ ساعته (مانند ردیف‌های ۴۵، ۴۶، ۴۷) و ... مهم بوده که برای برآورد آن‌ها نقشه‌های شماره منحنی تهیه شده توسط اداره منابع طبیعی استان فارس و جدول‌های ضریب رواناب کتاب‌های هیدرولوژی و تحلیل آماری داده‌های بارندگی مورد استفاده شده است. همچنین برای برآورد ضریب زبری مانینگ (که برای مثال در رابطه ردیف ۴۸ مورد استفاده بوده) از روش واسنجی و مقایسه با جدول‌های ضریب مانینگ و روش کاون استفاده شده که جزئیات بیشتر در قسمت نتایج ارائه شده است. با توجه به ویژگی‌های هندسی حوضه علی‌آباد، زمان تمرکز با توجه به این روش‌ها محاسبه و در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که به منظور ایجاد یکنواختی، واحدهای همه رابطه‌های زمان تمرکز برحسب ساعت نوشته شده است.

همانطور که بیان شد، قطره‌های (پارسل) آب که در زمان تمرکز مورد استفاده می‌باشد دو تعریف کلی دارد: ۱- دبی لبریز ۲- دبی ناشی از بارندگی دوساله ۲۴ ساعته. بر این مبنا در این تحقیق، دبی مورد نیاز برای ورودی به مدل عددی بر مبنای هر دو تعریف بالا محاسبه شده است. برای استخراج دبی لبریز، در آغاز مدل یک‌بعدی HEC RAS در حالت ماندگار اجرا شده و پس از آن با اجرای دبی‌های مختلف، دبی که ساحل آبراهه (کانال) را پوشش می‌دهد، به عنوان دبی لبریز انتخاب شده است. لازم به یادآوری است که در این روش یک محدوده برای مقدار دبی گزارش شده است. با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده، مقدار دبی لبریز بین ۲/۵۳ تا ۳/۵۳ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است.

در این پژوهش استخراج مقطع‌های عرضی بوسیله HEC-GeoRAS و همچنین بوسیله Civil 3D انجام شده است.

با بررسی خروجی‌ها، معلوم شد که نتایج Civil 3D دقیق‌تر است به این دلیل که خود نرم‌افزار مقطع‌های عرضی را به صورت صددرصد عمود بر خط‌القعر رسم می‌کند و امکان تعریف فاصله‌های مشخص در آن وجود دارد، در حالی که در نرم‌افزار HEC-GeoRAS مقطع‌ها باید به صورت دستی ترسیم شود، که این کار به دقت چشم بستگی دارد. همچنین امکان تعریف مقطع‌ها با فاصله‌های معین نیز وجود ندارد. به منظور برآورد قطره‌های (پارسل) آب برابر تعریف دوم، با استفاده از روش SCS، بارندگی دوساله ۲۴ ساعته اعمال شده و میزان دبی ۲/۸۷ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است.

در مدل دوبعدی در مورد شرایط مرزی پایین‌دست رودخانه، از عمق نرمال با شیب ۰/۰۳ متر بر متر استفاده شده است. در اجرای مدل اندازه سلول‌های محاسباتی از ۱ متر تا ۲۰ متر با زمان‌های ۱ ثانیه تا ۱ دقیقه اجرا شده و در نهایت با سعی و خطاهای متعدد، اندازه سلول محاسباتی ۴ متر و زمان ۱۰ ثانیه برای برقراری پایداری انتخاب شده است. اندازه‌های به دست آمده را ملاک شبکه‌بندی در مدل قرار داده و در نهایت ۳ مقدار دبی برآوردی (برابر ردیف اول جدول شماره ۲) که از دو تعریف کلی دبی لبریز و دبی حاصل از بارندگی دوساله ۲۴ ساعته به دست آمده، هر کدام به صورت جداگانه برای شبیه‌سازی هیدرولیکی استفاده شده است. همان‌طور که اشاره شد، برای بارندگی دو ساله ۲۴ ساعته دبی معادل ۲/۸۷ متر مکعب بر ثانیه و برای حدود بالا و پایین دبی لبریز به ترتیب میزان‌های ۲/۵۳ و ۳/۵۳ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شدند. برای برآورد ضریب زبری مانینگ از روش واسنجی استفاده شده است. بدین ترتیب که در بازدید میدانی مقطع رودخانه برداشت شده و سرعت و دبی جریان با استفاده از روش سرعت جسم شناور به دست آمده است. با دانستن میزان‌های سرعت و مقطع ضریب مانینگ به دست آمده است. این روش در چند بازه مختلف تکرار شد و در نهایت با میانگین‌گیری ضریب زبری مانینگ معادل ۰/۰۴۵ به دست آمده است که با ضریب زبری پیشنهادی جدول کتاب‌های هیدرولیک نیز سازگاری دارد. برای مثال در جدول تعیین ضریب زبری

جدول ۱ زمان تمرکز حوضه علی‌آباد با استفاده از رابطه‌های یاد شده

Table 1 Time of Concentration for Aliabad district resulted from empirical relations

Tc (hr)	Method	Row No.	Tc (hr)	Method	Row No.	Tc (hr)	Method	Row No.
1.227	Pilgrim and Mac Dermott (Azizian, 2018)	33	1.592	SCS _{lag} (Azizian, 2018)	17	0.377	Kirpich (Dasturani et al., 2011)	1
0.948	Arizona DOT (de Almeida et al., 2017)	34	0.772	SCS (Alizadeh, 2009)	18	0.0816	Kirpich (Ghafari et al., 2016)	2
0.752	TXDOT (Thomason., 1994)	35	0.730	SCS (Grimaldi et al., 2012)	19	0.402	Kirpich (Alizadeh, 2009)	3
0.401	California Culverts Practice (Grimaldi et al., 2012)	36	0.959	SCS _{lag} (Safavi, 2014)	20	0.111	Kirpich Pennsylvania (Azizian, 2018)	4
0.474	California Curvets Practice(CHPW) (de Almeida et al., 2017)	37	0.83	Corps of Engineers (Azizian, 2018)	21	0.490	Kirpich Tenecy (Safavi, 2014)	5
0.760	CN (Alizadeh, 2009)	38	1.303	Temez (de Almeida et al., 2017)	22	1.600E-05	Chow (Perdikaris et al., 2018)	6
0.229	Fon cycle (Safavi, 2014)	39	6.073	Carter (Safavi, H, 2014)	23	1.510	Yen and Chow's (Azizian, 2018)	7
4.564	Flawel (Azizian, 2018)	40	0.387	Johnson and Cross (Fang et al., 2008)	24	0.845	Chow (Azizian, 2018)	8
2.132	Haktanir and Sezen (Perdikaris et al., 2018)	41	0.477	Kerby (Gericke and Smithers, 2014)	25	0.899	Williams (Williams, 1922)	9
1.863	Simas and Hawkins (Azizian, 2018)	42	0.704	Kerby (Ghafari et al., 2016)	26	1.285	Williams (Azizian, 2018)	10
7.064	Sheridan (Azizian, 2018)	43	1.067	Hathaway (Mirzayi and Raoof, 2015)	27	1.284	Bransby William (de Almeida et al., 2017)	11
0.075	Zomorodi (Azizian, 2018)	44	0.489	Kerby Hathaway (Safavi, 2014)	28	1.262	Bransby William (Alizadeh, 2009)	12
0.478	Corps of Engineers (Michailidi et al., 2018)	45	0.342	Kerby Hathaway (Azadnia et al., 2009)	29	0.961	Bransby William (Razmjue et al., 2012)	13
1.149	Morgali and Linsley (Michailidi et al., 2018)	46	0.473	Pickerin (Azizian, 2018)	30	0.213	Basso (Azizian, 2018)	14
1.321	Kadoya and Fukushima (Michailidi et al., 2018)	47	0.499	Picking (de Almeida et al., 2017)	31	0.857	Ventura (de Almeida et al., 2017)	15
1.435	NRCS (USDA Natural Resource Conservation Service, 2010)	48	0.948	Pasini (de Almeida et al., 2017)	32	0.041	Espey (Dasturani et al., 2011)	16

جدول ۲ زمان تمرکز ناشی از شبیه‌سازی هیدرولیکی (بر حسب ساعت)

Table 2 Time of concentration resulted from hydraulic simulation (hr)

2D Model Simulation with 3.53 m ³ /s	2D Model Simulation with 2.53 m ³ /s	2D Model Simulation with 2.87 m ³ /s
1.8	2.217	2.1

شده است. ستون اول این جدول دبی ناشی از روش SCS و ستون دوم و سوم باندهای پایین و بالای دبی لبریز هستند. لازم به یادآوری است که زمان تمرکز اندازه‌گیری شده بوسیله ردیاب محلول نمک برابر روش یاد شده معادل ۱/۷۵ ساعت به دست آمده است. برای بررسی میزان دقت هر یک از روش‌های محاسبه زمان تمرکز در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری، میزان خطای هر روش با استفاده از شاخص آماری درصد خطای نسبی (رابطه ۴) محاسبه شده است. (Shahbazi et al., 2015) و نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

$$RE = \frac{|O_i - P_i|}{O_i} \times 100 \quad (4)$$

که در آن RE درصد خطای نسبی، O_i میزان مشاهده شده و P_i میزان برآورد شده است.

کتاب هیدرولیک آبراهه‌های باز (Chow, 1959)، ضریب ۰/۰۴۵ برای رودخانه‌های طبیعی کوچک با ویژگی‌هایی چون مسیر نامستقیم و ناهموار که همسان با شرایط رودخانه مورد بررسی می‌باشد، پیشنهاد شده است. همچنین برابر روش کاون (Chow, 1959)، و با در نظر گرفتن شرایط رودخانه مورد بررسی و لحاظ جنس مصالح درشت برای بستر، درجه بی نظمی جزئی، تغییرپذیری‌های سطح مقطع کم، بازدارنده‌های ناچیز موجود در مسیر، پوشش گیاهی کم و درجه مارپیچی جزئی ضریب مانینگ معادل ۰/۰۴۵ نتیجه می‌شود. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی هیدرولیکی در جدول ۲ بیان

جدول ۳ درصد خطای نسبی رابطه‌های زمان تمرکز

Table 3 Relative errors of empirical relations of concentration time

RE%	Method	Row No.	RE%	Method	Row No.	RE%	Method	Row No.
56.956	TXDOT	35	55.761	SCS	18	78.394	Kirpich	1
77.027	California Culverts Practice	36	58.182	SCS	19	95.325	Kirpich	2
72.846	California Curvets Practice(CHPW)	37	45.09	SCS _{lag}	20	76.999	Kirpich	3
56.437	CN	38	52.471	Corps of Engineers	21	93.655	Kirpich Pennsylvania	4
86.897	Fon Cycle	39	25.347	Temez	22	71.912	Kirpich Tency	5
161.379	Flavel	40	247.843	Carter	23	99.999	Chow	6
22.124	Haktanir and Sezen	41	77.840	Johnson and Cross	24	<u>13.515</u>	Yen and Chow's	7
<u>6.722</u>	Simas and Hawkins	42	72.654	Kerby	25	51.623	Chow	8
304.606	Sheridan	43	59.703	Kerby	26	48.491	Williams	9
95.677	Zomorodi	44	38.882	Hathaway	27	26.398	Williams	10
72.634	Corps of Engineers	45	71.996	Kerby Hathaway	28	26.44	Bransby William	11
34.169	Morgali and Linsley	46	80.432	Kerby Hathaway	29	27.708	Bransby William	12
24.335	Kadoya and Fukushima Kirpich	47	72.898	Pickerin	30	44.948	Bransby William	13
<u>17.818</u>	NRCS	48	71.436	Picking	31	87.788	Basso	14
20.275	2D Simulation with 2.87 m ³ /s	49	45.729	Pasini	32	50.899	Ventura	15
26.976	2D Simulation with 2.53m ³ /s	51	29.716	Pilgrim and Mac Dermott	33	97.632	Espey	16
<u>3.093</u>	2D Simulation with 3.53 m ³ /s	52	45.707	Arizona DOT	34	<u>8.829</u>	SCS _{lag}	17

آبراهه باز تقسیم می‌گردد. جریان ورقه‌ای در بالادست حوضه جایی که هنوز آبراهه مشخصی دیده نمی‌شود و به طول تقریبی ۳۰ متر (۱۰۰ فوت) پیشنهاد می‌شود. پس از آن جریان متمرکز سطحی ایجاد می‌شود که سطح مقطع مشخص و عمقی بین ۳ تا بیشینه ۱۵ سانتی‌متر دارد. در جریان آبراهه باز سطح مقطع آبراهه به روشنی مشخص می‌باشد. در حوضه‌های بزرگ آبراهه باز با عکس‌های ماهواره‌ای نیز به آسانی قابل مشاهده است. در این منطقه سرعت جریان به وسیله رابطه مانینگ برآورد می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود دقت این رابطه در حدود ۸۲ درصد می‌باشد. یکی از نقطه‌های قوت این رابطه دخیل شدن ضریب زبری در برآورد زمان تمرکز می‌باشد.

در رابطه‌های تجربی، طول آبراهه اصلی، شیب متوسط آبراهه اصلی و مساحت حوضه، سه فراسنجه اساسی در محاسبه زمان تمرکز می‌باشند که در بیشتر رابطه‌های تجربی استفاده شده‌اند. اگرچه در رابطه SCS فراسنجه مساحت به کار گرفته نشده است، اما این رابطه در بین رابطه‌های به کار گرفته شده، برآورد نزدیک‌تری را به مقدار واقعی نشان داده است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که شمار فراسنجه‌های موثر بیشتری در این رابطه به کار گرفته شده و نتایج مطلوب‌تری را به همراه خواهد داشت. این رابطه برای محاسبه زمان تمرکز حوضه افزون بر فراسنجه‌های طول آبراهه اصلی و شیب متوسط آبراهه اصلی، CN را به کار برده است که این فراسنجه، با توجه به پوشش خاک، وضعیت هیدرولوژیکی، و همچنین گروه هیدرولوژیکی خاک محاسبه می‌شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، برخلاف بیشتر روش‌های تجربی، روش شبیه‌سازی دوبعدی در مقایسه با روش‌های تجربی دارای دقت خوبی می‌باشد. به طوری که کمترین خطا مربوط به یکی از باندهای دبی لبریز است (ردیف ۵۱). علت این موضوع را می‌توان به لحاظ عوارض، زبری، شیب موضعی و ... در مدل عددی مرتبط دانست که در رابطه‌های تجربی مورد غفلت قرار می‌گیرد. سابقاً به علت محدودیت اطلاعات و امکانات، محققان با بررسی شماری محدود از حوضه‌های آبریز، زمان تمرکز را به فراسنجه شیب متوسط جریان با توان n_1 ، مساحت حوضه به توان

برابر با جدول بالا، تعداد ۵ مورد خطایی کمتر از ۲۰ درصد در مقایسه با زمان تمرکز اندازه‌گیری شده دارند (ردیف‌های ۵۲ و ۴۲ و ۱۷ و ۷ و ۴۸). همان‌طور که مشاهده می‌شود از بین روش‌های تجربی، رابطه شماره ۴۲ با درصد خطای نسبی $6/722$ از بین همه رابطه‌ها، کمترین خطا را دارا بوده و بسیار نزدیک‌تر به زمان تمرکز واقعی ناشی از پیمایش محلول نمک می‌باشد. این رابطه افزون بر دارا بودن سه فراسنجه اساسی به طور هم‌زمان، فراسنجه ضریب نگهداشت سطحی را هم دارا می‌باشد که بیان‌کننده اهمیت زیاد وجود فراسنجه ضریب نگهداشت سطحی در کنار سه فراسنجه اساسی بوده و در برآورد دقیق زمان تمرکز موثر می‌باشد. به ترتیب پس از رابطه شماره ۴۲، بهترین رابطه تجربی برای حوضه آبریز علی‌آباد رابطه شماره ۱۷ با درصد خطای نسبی $8/829$ می‌باشد. در این رابطه عامل طول، شیب و شماره منحنی دخیل می‌باشند که نماینده‌ای از میزان نفوذ و جذب سطحی هستند. البته لازم به یادآوری است که در رابطه شماره ۲۰ هم به صورت همانند هر سه فراسنجه موجود در رابطه شماره ۱۷ استفاده شده‌اند. تفاوت این دو رابطه در فرم نوشتاری و توان‌های مورد استفاده فراسنجه‌ها می‌باشد. رابطه شماره ۲۰ دارای درصد خطای نسبی $45/09$ می‌باشد که این میزان با وجود دارا بودن فراسنجه‌های همانند، بسیار بیشتر از میزان خطای رابطه شماره ۱۷ است. در رابطه شماره ۷ افزون بر شیب و طول مسیر جریان، عامل مقاومت در برابر جریان یا ضریب مانینگ نیز وجود دارد که خود بیان‌کننده اهمیت ضریب زبری مانینگ در محاسبه زمان تمرکز می‌باشد. البته لازم به یادآوری است که این فراسنجه‌ها به طور همانند در رابطه‌های شماره ۲۸ و ۴۴ نیز استفاده شده که میزان خطای این دو رابطه به ترتیب برابر با $71/996$ و $95/677$ می‌باشد. تفاوت این سه رابطه در توان‌های استفاده شده برای هر فراسنجه میزان اعمال ضریب زبری است.

رابطه ۴۸ معروف به NRCS نیز یک رابطه معتبر می‌باشد که شمار فراسنجه‌های زیادی در محاسبه آن دخیل هستند. در این رابطه حرکت جریان در حوضه آبریز به سه قسمت جریان ورقه‌ای، جریان متمرکز کم‌عمق و جریان

دوم را می‌توان در این دانست که مدل‌های مختلف بر مبنای مفهوم‌های مختلف و حتی تعریف‌های مختلف از زمان تمرکز به وجود آمده‌اند، و سومین دلیل را می‌توان به فراسنجه‌های محدودی که در بیشتر این روش‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند مرتبط دانست. با بررسی بیشتر رابطه‌ها به این نکته می‌توان پی برد که مدت زمان تمرکز به دست آمده از روابط تجربی به شمار فراسنجه‌ها و ماهیت آن‌ها بستگی دارد.

نتایج ناشی از شبیه‌سازی مدل دوبعدی HEC-RAS نشان می‌دهد که شبیه‌سازی زمان تمرکز حاصله با استفاده از دبی‌های به دست آمده از روش SCS و همچنین هر دو دبی لبریز، از حدود ۳/۰۹۳ درصد تا حدود ۲۶/۹۷۶ درصد متغیر است، که در مقایسه با روش‌های تجربی که در این تحقیق تا بیش از ۳۰۰٪ خطا دارند، قابل قبول می‌باشد. به این ترتیب استفاده از مدل دوبعدی HEC-RAS نتایج بسیار خوبی را در شبیه‌سازی زمان تمرکز ارائه داده است. در این مدل شبیه‌سازی قطره‌های (پارسل) آب با لحاظ پستی و بلندی و عوارض زمین و ضریب زبری صورت می‌گیرد.

نتایج نشان می‌دهد که پس از مدل دوبعدی HEC-RAS مقدار زمان تمرکز حاصله از رابطه سیماس و هاوکینز بسیار نزدیک‌تر به مدت زمان تمرکز واقعی ناشی از پیمایش محلول نمک می‌باشد و عنوان بهترین رابطه برای حوضه علی‌آباد در نظر گرفته شده است. پس از این رابطه، رابطه‌هایی که پاسخ نزدیک‌تری به مدت زمان تمرکز واقعی ناشی از پیمایش محلول نمک دارند به ترتیب عبارت‌اند از: SCSlag، ین و چاو، و رابطه NRCS. همچنین لازم است محدودیت‌های هر رابطه سنجیده شده و با منطقه مورد نظر مقایسه شود. از نتایج این تحقیق می‌توان برای محاسبه زمان تمرکز حوضه‌های با ویژگی‌های همانند استفاده کرد. همچنین با توجه به وجود داده‌های اندازه‌گیری از نتایج این تحقیق می‌توان به عنوان معیاری برای سنجش زمان تمرکز در بررسی‌های هیدرولوژیکی مشابه استفاده کرد. بر خلاف روش‌های تجربی، شبیه‌سازی هیدرولیکی روشی است که می‌تواند در هر منطقه استفاده شود.

n_2 و ... ارتباط داده و در نهایت، یک رابطه تجربی متناسب با حوضه‌های مورد بررسی ارائه می‌دادند. اما امروزه به دلیل اینکه امکاناتی مانند DEM و مدل دوبعدی رایگان وجود دارد، به جای استفاده از رابطه‌های تجربی می‌توان قطره‌های (پارسل) آب را به طور مستقیم شبیه‌سازی کرده و مدت زمان تمرکز را برآورد کرد. محاسبه زمان تمرکز به این روش سبب می‌شود از اطلاعاتی استفاده شود که در این فرمول‌ها وجود نداشته و شامل فراسنجه‌های بیشتری است. همان‌طور که اشاره شد، در مدل دوبعدی فراسنجه‌هایی مانند شیب واقعی و موضعی، ضریب زبری مانینگ و همچنین عوارض واقعی حوضه در نظر گرفته می‌شود. این مدل در واقع با استفاده از معادله‌های پیوستگی و مومنتم قطره‌های (پارسل) آب را شبیه‌سازی می‌کند. بنابراین بر خلاف رابطه‌های تجربی که هر یک برای اقلیمی خاص و حوضه‌های با اطلاعات هندسی ویژه توسعه یافته‌اند، برای هر حوضه‌ای قابل کاربرد می‌باشد. ضمن اینکه امروزه اطلاعات ماهواره‌ای موجود بوده و این امکان را فراهم می‌کند که به طور رایگان داده‌های عوارض دسترسی پیدا کرد. هر چند هزینه محاسباتی مدل‌های هیدرولیکی بیشتر از روش‌های ساده تجربی می‌باشد، اما فراسنجه زمان تمرکز عامل مهمی است که ممکن است در پی آن در تهیه مدل‌های هیدرولیکی برای تعیین نقش‌های خطرپذیری سیل و بررسی‌های همانند استفاده شود. لذا پذیرش هزینه محاسباتی برآورد آن می‌تواند توجیه پذیر باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش شبیه‌سازی هیدرولیکی به منظور برآورد زمان تمرکز معرفی شده و طی یک بررسی موردی، ارزیابی شده است. بدین منظور در آغاز، روش‌های مختلف برآورد زمان تمرکز ارزیابی شد و با زمان تمرکز ناشی از پیمایش محلول نمک در بررسی موردی در حوضه علی‌آباد استان فارس مقایسه شد. فرمول‌های تجربی نتایج متفاوتی را نشان داده‌اند، در کل این اختلاف‌ها می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که هر کدام از این روش‌های تجربی از گردآوری داده‌های منطقه خاصی توسعه یافته‌اند. دلیل

estimation of concentration time in mountainous watershed basins. *Journal of Natural Resources and Agricultural Sciences*. 12(5), 23-34 (In Persian)

Eslamian, S. and Soroush, Y. (2006). Comparison of experimental formula and flood hydrograph analysis method for estimation of concentration time. The 1st Regional Conference on Water, Islamic Azad University of Iran, Behbahan, Iran (In Persian).

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

Fang, X., Thompson, D.B., Cleveland, T.G., Pradhan, P. and Malla, R. (2008). Time of Concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 134(2), 202-211.

Goitom, T.G. (1989). Evaluation of TC methods in a small rural watershed, channel flow and catchment runoff: Centennial of Manning formula and Kuichling_ rational formula. Yen B.C. (Ed). University of Virginia, U.S. National Weather Service and University of Virginia.

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

Ghafari, G. and Talebi Z. (2016). Evaluation some of the Empirical Relations to Estimate the Concentration Time and Identify the Most Important Physiographic Factors Affecting in Gheshlagh. (in presian)

Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F. and Porfiri, M. (2012). Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal*. 57(2), 217-228.

de Almeida, I.K., Almeida, A.K., Gabas, S.G. and Sobrinho, T.A. (2017). Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region. *Hydrological Sciences Journal*, 62 (14), 2406-2414.

Michailidi, E.M., Antoniadi, S., Koukouvinos, A., Bacchi, B. and Efstratiadis, A. (2018). Timing the time of concentration: shedding light on a paradox. *Hydrological Sciences Journal*. 63(5), 721-740.

Mirzayi, S. and Raof, M. (2015). Comparing experimental methods and analyzing flood hydrograph in estimating time of concentration,

۵- فهرست نشانه‌ها

H	عمق آب
P	بده جریان در جهت X
q	بده جریان در جهت Y
C	ضریب شزی
v	لزوجت تلاطم یا آشفتگی
g	شتاب جاذبه
CN	شماره منحنی
O _i	میزان مشاهده‌ای
P _i	میزان برآوردی
RE	خطای نسبی

۶- منبع‌ها

Alizadeh, A. (2009). Principles of Applied Hydrology. 26th Edition, Astan Ghods Razavi, Publications. 802.

American Society of Civil Engineers. (1997). Flood runoff analysis., ASCE Press. New York.

Azadnia, F., Rostami, N. and Kamalimoghadam, R. (2009). Comparison of some empirical methods for evaluation of the time of concentration (TC) in maime basin of ilam province. *Iranian Water Research Journal*. 3(4), 1-8. (In Persian).

Azizian, A. (2018). Uncertainty analysis of time of concentration equations based on first-order-analysis (FOA) method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 327-341. (In Presian)

Chow, V.T. (1959). Open-Channel Hydraulics, Mc graw-Hill. New York.

Dasturani, M.T., Talebi, A., Abdollahvand, A. and Moghadamnia, A.R. (2011). Investigation the effect of Automatic Methods of Physical Parameters Estimation on Rivers (by GIS) on the Precision of Time of Concentration Relations of Concentrated Flows. 7th National Conference on Watershed Engineering and Sciences, Isfahan Technical University, Isfahan Iran. (In Persian)

Dastourani, M.T., Abdollahvand, A., Osareh, H., Talebi, A. and Moghaddamnia, A. (2011). Determination of application of some experimental relations of concentration time for estimation of surveying time in waterway. *Journal of Watershed Management Research*. 99, 42-52. (In Persian).

Eslamian, S. and Mehrabi, A. (2005). Determination of experimental relations in

case study: Atashgah Watershed, Ardabil Province. *Watershed Engineering and Management*. 6(4), 407-414. (In Persian).

Gericke, O.J. and Smithers, J.C. (2014). Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. *Hydrological sciences journal*. 59(11), 1935-1971.

Pavlovic, S.B. and Moglen, G.E. (2008). Discretization issues in travel time calculation. *Journal of hydrologic engineering*. 13(2), 71-79.

Perdikaris, J., Gharabaghi, B. and Rudra, R. (2018). Reference time of concentration estimation for ungauged catchments. *Earth Sci. Res.* 7, 58-73.

Razmjue, N., Mahdavi, M., Sarvi, M. and Motamadevaziri, B. (2012). Investigation Some Empirical Equations in Estimation of Time of Concentration (Case Study: Vardij Watershed, Tehran Province). 2nd National Conference on Agricultural Sustainable Development and Safe Environment, Mashad, Iran. (In Persian).

Sadatinejad, S.J., Heydari, M.A., Honarbakhsh, Abdollahi, K.H. and Mozdianfard, M.R. (2012). Modelling of concentration time in north Karoon River basin in Iran. *World Applied Sciences Journal*. 17(2), 194-204.

Safavi, H. (2014). *Engineering Hydrology*, 3rd edition, Arkan Dansesh Publications. (In Persian)

Shahbazi, A., Khalighisigarodi, S., Malakian, A. and Salajagheh, A. (2015). Selection of the best empirical formula to estimate time of concentration in urban watersheds (Case study: Mahdasht town). *Journal of Range and Watershed Management*. 67(3), 419-435. (In Persian).

Sharifi, S. and Hosseini, S.M. (2011). Methodology for identifying the best equations for estimating the time of concentration of watersheds in a particular region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 137(11), 712-719. (In Persian).

Thomason, C. (1994). *Hydraulic design manual*. Texas Department of Transportation, Austin, USA.

USDA-NRCS. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release No.55.

USDA Natural Resource Conservation Service. (2010). *Time of concentration*. National Engineering Handbook – Part 630. Chapter 15.

Williams, G.B. (1922). Flood discharges and the dimensions of spillways in india. *Engineering (London)*, 121(9), 321-322.