



مقایسه و ارائه‌ی روشی جهت تخمین زمان تمرکز در حوضه‌های کوچک شهری

صدیقه‌السادات قاضی زاده‌هاشمی^۱، مسعود تجریشی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش آب، تهران، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد دانشکده عمران و دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

M_hashemi@mehr.sharif.ir

Tajrishy@sharif.edu

خلاصه

روابط بسیاری جهت تخمین زمان تمرکز در حوضه‌های درون شهری ارائه شده است. هدف این مقاله ارائه‌ی روابط مناسب جهت تخمین زمان تمرکز جریان سطحی در زیرحوضه‌های نفوذناپذیر با الگوی مشابه مناطق نیمه خشک و خشک می‌باشد. در این مقاله سه روش Ben-Zvi, Ben-Zvi اصلاح شده و تفاضل زمان دبی اوج و شروع رواناب جهت تخمین زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. آزمایش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی بارش بر روی یک زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی نفوذناپذیر مستطیل شکل ۶ متر × ۱ متر در دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است. گستره‌ی تغییرات شدت بارش و شیب سطح به ترتیب ۴۰-۲۲ میلی‌متر در ساعت و ۵-۰/۵ درصد می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده، روش تفاضل بهترین روش جهت تخمین زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های آزمایشگاهی و پارامتر شیب تأثیرگذارترین پارامتر در تخمین زمان تمرکز می‌باشد. براساس مقایسه‌ی زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از ۱۳ رابطه‌ی تجربی و زمان تمرکزهای اندازه‌گیری شده دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لیتزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) کمترین میزان اربیی را از خود نشان داده‌اند؛ به صورتی که ضریب همبستگی آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۹۵ می‌باشد.

کلمات کلیدی: زمان تمرکز، هیدرولوژی حوضه‌های کوچک شهری، جریان سطحی، شبیه‌سازی بارش، دبی اوج.

۱. مقدمه

حداکثر زمانی که طول می‌کشد تا آب از دورترین نقطه‌ی حوضه‌ی آبریز مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی برسد، زمان تمرکز نام دارد. اغلب تحلیل‌های هیدرولوژیکی به منظور طراحی سازه‌های جمع‌آوری و انتقال رواناب شهری نیازمند تعدادی پارامتر زمانی به عنوان ورودی هستند که دقت این تحلیل‌ها بطور مستقیم به دقت این پارامترها وابسته است. از میان این پارامترها، زمان تمرکز پرکاربردترین آن‌ها محسوب می‌شود [۱].

زمان تمرکز رواناب سطحی در یک حوضه‌ی آبریز یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی هیدرولوژیکی تأسیسات زهکشی شهری و روستایی است. در روش منطقی^۳ جهت طراحی زهکش جریان، از زمان تمرکز برای تعیین شدت بارش طراحی با استفاده از منحنی IDF^۴ استفاده می‌شود. از آنجایی که دبی اوج در زمانی برابر با زمان تمرکز رخ می‌دهد، با استفاده از روش منطقی و زمان تمرکز تخمین زده شده می‌توان دبی اوج طراحی را تخمین زد. همچنین زمان تمرکز یک پارامتر کلیدی در هیدروگراف‌های واحد مصنوعی^۵ مانند هیدروگراف واحد کلارک (۱۹۴۵) و هیدروگراف واحد بدون بعد سازمان حفاظت خاک (SCS)^۶ می‌باشد [۲]. به علاوه مدل‌های بارش رواناب مانند TR-55 (NRCS, 1986)، TR-20 (NRCS, 1986) و

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش آب

^۲ استاد دانشکده عمران و دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

^۱ Rational Method

^۲ Intensity Duration Frequency

^۳ Synthetic

^۴ Soil Conservation System



HEC-HMS جهت تخمین زمان تمرکز برای پیش‌بینی دبی اوج که برای هدف‌های طراحی مانند سیستم‌های مدیریت جریان آب، ورودی‌های کالورت و سرریز اضطراری کاربرد دارند، به کار گرفته می‌شوند [۳].

روابط ارائه شده جهت تخمین زمان تمرکز برای یک حوضه‌ی آبریز مشخص با اقلیم منطقه‌ای خاص، بر پایه‌ی یک تعریف مشخصی از زمان تمرکز انتخاب می‌شوند. بین محققین و مهندسين هیدرولوژی بر سر تعریف زمان تمرکز اختلافات زیادی وجود دارد و محققین سعی در یافتن یک تعریف واحدی برای زمان تمرکز دارند، اما تعیین زمان تمرکز از روی داده‌های آزمایشگاهی کار ساده‌ای نیست؛ زیرا روش عملی در دسترس برای بدست آوردن زمان تمرکز از هیدروگراف‌های اندازه‌گیری شده وجود ندارد [۲].

تعداد بسیار زیاد روش‌های تجربی و نیمه تجربی جهت تخمین زمان تمرکز موجب ایجاد سردرگمی بین محققین و مهندسين هیدرولوژی شده و آن‌ها بدون ارزیابی و مقایسه‌ی دقت یک روش با دیگر روش‌های موجود آن را انتخاب می‌کنند [۳]. مقدار واقعی زمان تمرکز که با تغییرات خصوصیات بارش، توپوگرافی منطقه و ویژگی‌های کانال تغییر می‌کند؛ به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری یا تعیین نیست. همچنین روش‌های تجربی موجود برای تخمین زمان تمرکز براساس خصوصیات حوضه‌های آبریز و با یک اقلیم منطقه‌ای خاص کالیبره شده‌اند و در نتیجه در نواحی دیگر می‌توانند مقدار زیادی اریبی از خود نشان دهند [۳]. در جدول ۱ سیزده معادله‌ی تجربی معمول که تا کنون جهت تخمین زمان تمرکز ارائه شده، نشان داده شده‌است.

جدول ۱. روابط تجربی جهت تخمین زمان تمرکز جریان سطحی.

شماره	نام روش	معادله جهت تخمین t_c	رژیم جریان	محدوده مساحت
۱	Kinematic Wave (Aron and Erborge 1973)	$T_c (hr) = 0/0319639L^{0/6}n^{0/6}S^{-0/31-0/4}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۲	Kerbey1959- Hathaway1945	$T_c = 1/45 \left(\frac{N_k L_0}{S_0^{0/5}} \right)^{0/467}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۳	SCS (Soil Conservation Service)	$T_c (hr) = 0/000877L_i^{0/8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0/7} S_r^{-0/5}$	جریان سطحی	$A < 8 \text{ km}^2$
۴	Izzard (1946)	$T_c (min) = 41/025(0/0007i_n + C_n)L_n^{0/33}i_n^{-0/667}S_n^{-0/333}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۵	United States Army Corps of Engineers (1954)	$T_c = \left(10/57 + \frac{0/12}{S_0} \right) \left(\frac{L_0}{30/48} \right)^{0/55 - \left(\frac{0/001}{S_0} \right)} i_n^{-0/43}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۶	Morgali and Linsely (1965)	$T_c (min) = 7n_0^{0/605} L_0^{0/593} / S_0^{0/38} i_n^{0/388}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۷	Woolhiser and Liggett (1967)	$T_c (min) = 7(n_0 L_0 / \sqrt{S_0})^{0/6} i_n^{-0/4}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های کوچک
۸	برانس بای- ویلیامز	$t_c (hr) = \frac{0/96L^{1/2}}{H^{0/2}A^{0/1}}$	جریان سطحی	حوضه‌های خیلی کوچک
۹	معادله سازمان هواوردی آمریکا (FAA1970)	$t_c (min) = \frac{0/7(1/1 - C)L^{0/5}}{S_0^{0/33}}$	جریان سطحی	حوضه‌های خیلی کوچک
۱۰	معادله اورتون- میدوز برای جریان ورقه‌ای	$T_c (hr) = \frac{0/029(nL)^{0/8}}{P_2^{0/5}S_0^{0/4}}$	جریان سطحی	
۱۱	Yen and Chow (1983)	$T_c = 42/6(n_0 L_0^{0/333} S_0^{-0/2})$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۱۲	National Association of Australian State Road Authorities (1986)	$T_c = 42/6N_a L_0^{0/333} / S_0^{0/2}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک
۱۳	Wong (2005) and Chen (1993)	$T_c (min) = \frac{0/595(3/15)^{0/33k} C_k^{0/33} L^{0/33(2-k)}}{S_0^{0/33} i^{0/33(1+k)}}$	جریان سطحی و شدت بارش ثابت	حوضه‌های خیلی کوچک

L: طول آبراهه اصلی (متر)، S: شیب میانگین حوضه آبریز (متر/متر)، n: ضریب مانینگ، l: شدت جریان (میلی‌متر در ساعت)، N_k: ضریب تأخیر (برای سطوح نفوذناپذیر صاف ۰/۰۲ و سطوح چمنی ۰/۰۴)، S_f: شیب جریان سطحی (%). L_f: طول جریان سطحی (فوت)، CN: عدد منحنی رواناب، S_n: شیب جریان سطحی (فوت بر فوت)، L_n: طول جریان سطحی (فوت)، l_n: شدت جریان (اینچ در ساعت)، C_n: ضریب تأخیر (۰/۰۷) برای روسازی‌های نرم، ۰/۱۲ برای روسازی بتنی و ۰/۰۶ برای سطوح چمنی، C: ضریب رواناب، P₂: عمق براش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت دو سال (سانتی‌متر)، K و C_k: برای روسازی صاف و هموار به ترتیب ۰/۵ و ۰/۳ برای چمن به ترتیب ۰ و ۱.

از آنجایی که هر یک از طراحان نظرات شخصی خود را در تخمین پارامترهای ورودی در روابط ارائه شده جهت تخمین زمان تمرکز لحاظ می‌کنند، در شرایط یکسان مقدار واحدی برای زمان تمرکز بدست نخواهد آمد. در نتیجه یافتن بهترین معادله زمان تمرکز با توجه به ویژگی‌های حوضه‌های آبریز در یک منطقه یکی از مهمترین دغدغه طراحان می‌باشد.

هدف اصلی در این تحقیق ارائه‌ی روابط مناسب جهت تخمین زمان تمرکز برای جریان سطحی در سطوح نفوذناپذیر با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی و با الگوی مشابه مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در ضمن مقایسه‌ای بین رابطه‌ی بدست آمده و روابط تجربی و نیمه تجربی موجود برای تخمین زمان تمرکز بر روی سطوح نفوذناپذیر انجام و تأثیرگذارترین پارامتر در تخمین زمان تمرکز تعیین خواهد شد.

۲. مدل آزمایشگاهی

جهت انجام این مطالعه یک زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی مستطیل شکل در دانشگاه صنعتی شریف جهت تخمین زمان تمرکز جریان سطحی با استفاده از شبیه‌سازی بارش و با در نظر گرفتن الگوی مشابه مناطق خشک و نیمه خشک ساخته شده است. زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی دارای ۶ متر طول و ۱ متر عرض می‌باشد. گستره تغییرات شیب طولی ۵-۰/۵ درصد و شدت بارش ۴۰-۲۲ میلی‌متر در ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین از سطح نایلون به عنوان سطح کاملاً نفوذناپذیر استفاده شده است. در شکل ۱ زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی به همراه سیستم شبیه‌ساز بارش نشان داده شده است. جهت شبیه‌سازی بارش از چهار نازل تحت فشار مدل BEX-1/8S8W استفاده شده است. برای تخمین زمان تمرکز بر روی سطح نفوذناپذیر نایلون ۱۲ آزمایش انجام شده که مشخصات بارش و شیب سطح در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱. زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی به همراه سیستم شبیه‌ساز بارش در ارتفاع ۳ متری از سطح نایلون.

جدول ۲. مشخصات بارش‌های شبیه‌سازی شده (شدت و مدت)، ابعاد زیر حوضه و شیب‌های طولی (با شیب عرضی صفر درصد) در نظر گرفته شده برای ۱۲ آزمایش.

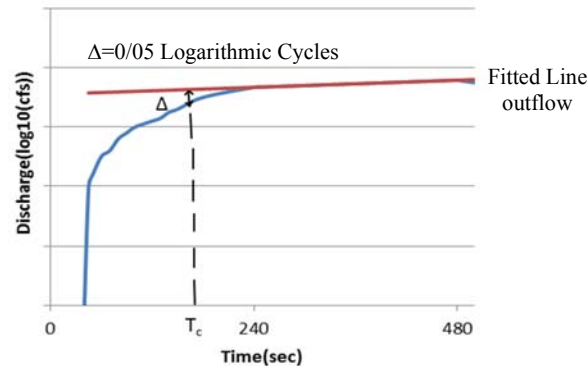
شماره آزمایش	شیب طولی (درصد)	زمان بارش (دقیقه)	شدت بارش (میلی‌متر در ساعت)	درصد یکنواختی
1	5	30	۳۹/۶	81
2	5	30	۳۷/۵	81
3	5	30	37	76
4	5	30	۲۶/۳	82
5	5	30	۲۴/۶	79
6	5	30	22	73
7	2	30	۳۹/۶	81
8	2	30	۲۶/۳	82
9	2	30	22	73
10	۰/۵	30	۳۹/۶	81
11	۰/۵	30	۲۶/۳	82
12	۰/۵	30	22	73

۳. روش‌های محاسبه‌ی زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های آزمایشگاهی

روش Ben-Zvi [۱۵]

Ben-Zvi در سال ۱۹۷۰ یک تکنیک در ارتباط با تعیین زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های آزمایشگاهی ارائه داد. آزمایش‌های Ben-Zvi بر روی یک سطح آلومینیومی که تحت بارش مصنوعی با شدت‌های مختلف و زمان‌های متفاوت بارش قرار داشت، انجام شد. براساس این روش زمان تمرکز

به عنوان زمان بین شروع بارش و زمان وقوع آخرین اندازه‌گیری دبی که لگاریتم آن حداقل ۰/۰۵ سیکل لگاریتمی کمتر از خط راست مماس بر روی هیدروگراف دبی می‌باشد، تعریف شده است [۱۵]. در شکل ۲ تکنیک تعیین زمان تمرکز با این روش نشان داده شده است.



شکل ۲. تکنیک Ben-Zvi برای تعیین زمان تمرکز [۱۵].

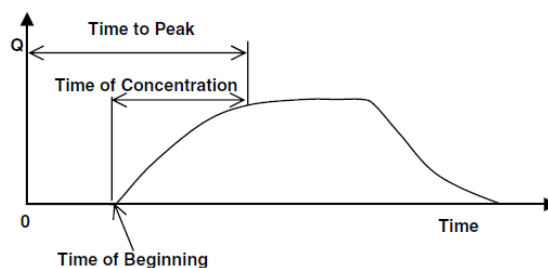
۱. به منظور کاهش اثرات خطای اندازه‌گیری روی روند ترسیم شده، هیدروگراف‌ها برای مدت آزمایش برابر با زمان بارش (T) روی یک برگه نیمه لگاریتمی رسم می‌شود [۳]. مراحل مشخصی که برای روش Ben-Zvi وجود دارد به طور مختصر در زیر بیان شده است [۳]:
۲. لگاریتم مرتبه ۱۰ داده‌های نقطه‌ای دبی اندازه‌گیری شده بین زمان T و T/2 (مدت زمان بارش است) را محاسبه می‌کنیم. Ben-Zvi این روش را برای زمان بارش برابر با ۸ دقیقه تعریف کرده است.
۳. بهترین خط راست ممکن را روی لگاریتم داده‌های انتخاب شده رسم می‌کنیم.
۴. اولین مقادیر دبی اندازه‌گیری شده که لگاریتم آن حداکثر ۰/۰۵ سیکل لگاریتمی زیر خط راست برازش داده شده را پیدا می‌کنیم.

روش Ben-Zvi اصلاح شده [۳]

زمان تمرکز در روش Ben-Zvi اصلاح شده به عنوان زمان مورد نیاز جهت رسیدن جریان به ۸۹ درصد دبی بیشینه تعریف می‌شود. درونبایی بین دبی-های اندازه‌گیری شده برای یافتن زمان تمرکز احاطه شده به دبی که دقیقاً ۸۹ درصد دبی بیشینه است، انجام می‌شود.

روش تفاضل [۱۶]

لی و چپیر (۲۰۰۸) جهت محاسبه زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های مشاهداتی بدست آمده از آزمایش بارش، فاصله زمانی بین شروع رواناب تا وقوع دبی اوج را به عنوان زمان تمرکز در نظر گرفتند. بیشینه مقدار دبی اوج و یا دبی که به اندازه ۵٪ دبی اوج نوسان کند به عنوان دبی تعادل انتخاب می‌شود. تفاضل زمان وقوع دبی تعادل و زمان شروع دبی برابر با زمان تمرکز خواهد شد. به علت اینکه زمان تمرکز فقط شامل زمان سفر هیدرولیکی می‌باشد، فرایند افت اولیه به عنوان بخشی از زمان تمرکز در نظر گرفته نمی‌شود. نمونه‌ای از هیدروگراف رواناب ناشی از آزمایش بارش در شکل ۳ نشان داده شده است. این روش برای بارش‌های یکنواخت نتایج قابل قبولی ارائه خواهد داد، اما برای بارش‌های غیر یکنواخت نسبت به روش‌های دیگر کاربرد کمتری دارد.



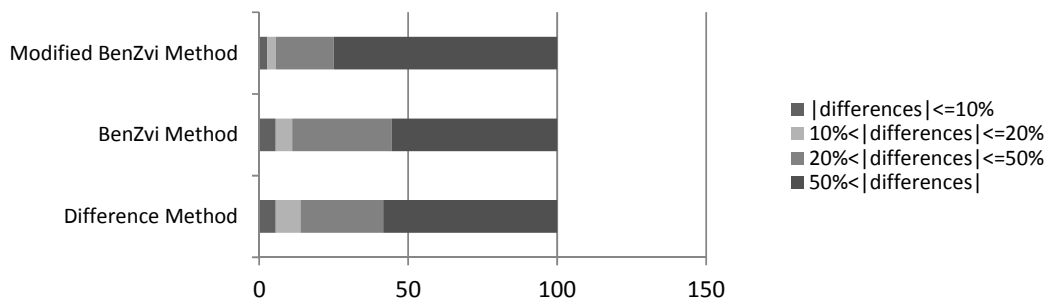
شکل ۳. تعیین زمان تمرکز با استفاده از روش تفاضل از روی هیدروگراف مشاهداتی [۱۶].

۴. نتایج

زمان تمرکزهای اندازه‌گیری شده بر روی زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی با استفاده از سه روش Ben-Zvi، Ben-Zvi اصلاح‌شده و روش تفاضل زمان دبی اوج و زمان شروع رواناب در جدول ۳ نشان داده شده است. سیزده رابطه‌ی تجربی ارائه شده در جدول ۱ براساس دو معیار اریبی و دقت برای سه روش تعیین زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و بهترین روابط تجربی جهت تخمین زمان تمرکز تعیین شده است. معادله با مقدار اریبی کمتر از ۰/۳۳ را می‌توان یک معادله نااریب نامید. رابطه‌ی وانگ (۲۰۰۵) و چن (۱۹۹۳) یک روش مناسب برای زیر حوضه‌های کوچک آزمایشگاهی است، در نتیجه کمترین میزان اریبی را دارد. معادله‌ی مِزگالی (۱۹۶۵) و لینزلی (۱۹۶۵) نیز مقدار اریبی کمتر از ۰/۳۳ دارد. تفاوت زمان تمرکز اندازه‌گیری شده با زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از روابط تجربی می‌تواند مقادیر مثبت یا منفی باشد. خطای مثبت نشان‌دهنده‌ی این است که زمان تمرکز اندازه‌گیری شده بیش‌تر از زمان تمرکز پیش‌بینی شده است؛ درحالی‌که مقادیر منفی خطا نشان‌دهنده بزرگ‌تر بودن مقادیر آزمایشگاهی نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد. بر اساس مقادیر اریبی و انحراف از معیار خطا برای ۱۳ رابطه‌ی تجربی و زمان تمرکزهای مشاهده‌ای براساس سه روش Ben-Zvi، Ben-Zvi اصلاح‌شده و تفاضل روش Ben-Zvi و روش تفاضل نسبت به روش Ben-Zvi اصلاح‌شده مقادیر نزدیک-تری نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده توسط روابط تجربی ارائه داده‌اند. روش Ben-Zvi اصلاح‌شده خطای بیشتر و همچنین مقدار اریبی بیشتری نسبت به دو روش دیگر دارد. تغییرات درصد اریبی سه روش در شکل ۴ نشان داده شده است. برای روش Ben-Zvi گستره تغییرات درصد اریبی بین ۶۶٪ تا ۹۳٪-، برای روش تفاضل گستره درصد اریبی بین ۷۲٪ تا ۹۳٪- و برای روش Ben-Zvi اصلاح‌شده گستره درصد اریبی بین ۴۰٪ تا ۹۲٪- می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده برای شاخص اریبی استاندارد شده و همچنین انحراف از معیار خطا که بیان‌گر میزان دقت می‌باشد، روش Ben-Zvi و روش تفاضل نتایج بهتری نسبت به روش Ben-Zvi اصلاح‌شده ارائه داده‌اند.

جدول ۳. زمان تمرکز اندازه‌گیری شده برای ۱۲ آزمایش بر روی زیرحوضه‌ی آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر و سطح نابلون.

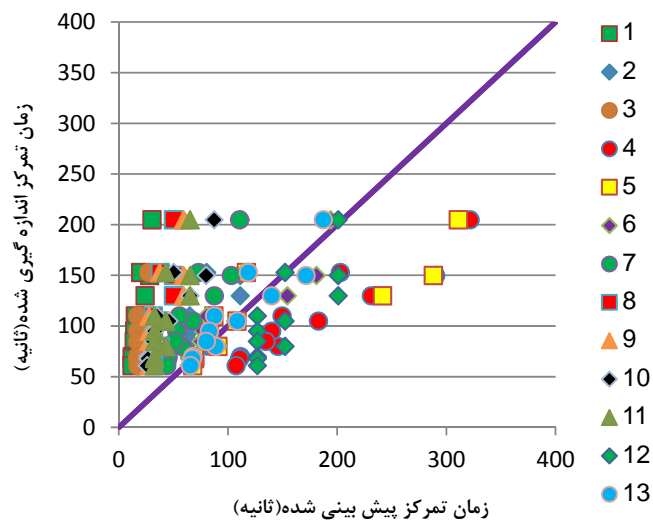
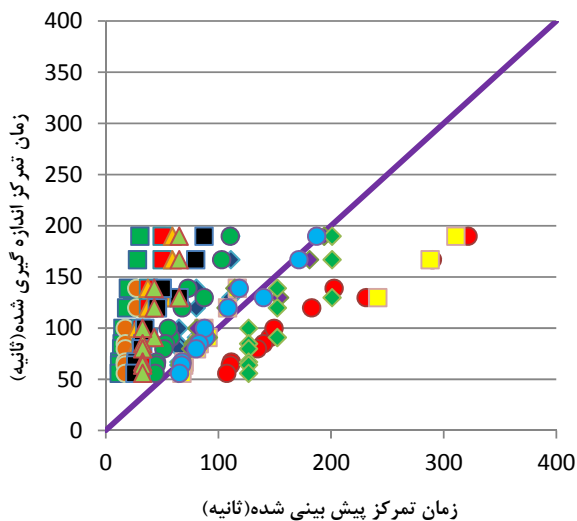
آزمایش	روش Ben-Zvi (ثابته)	روش Ben-Zvi اصلاح‌شده (ثابته)	روش تفاضل (ثابته)
۱	61	70	56
۲	68	80	64
۳	70	82	67
۴	85	90	80
۵	95	91	85
۶	110	105	100
۷	80	128	91
۸	105	145	120
۹	153	165	139
۱۰	130	170	130
۱۱	150	207	167
۱۲	205	235	190



شکل ۴. مقایسه درصد اریبی (درصد خطا) سه روش Ben-Zvi، Ben-Zvi اصلاح‌شده و تفاضل.

شاخص اریبی استاندارد شده برای دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) برای زمان تمرکز محاسبه شده به روش Ben-Zvi به ترتیب ۰/۰۳ - و ۰/۰۳ - و انحراف از معیار خطا ۰/۲۳ و ۰/۲۶ و برای روش تفاضل شاخص اریبی استاندارد شده ۰/۰۱ - و ۰/۰۱ و انحراف از معیار خطاها ۰/۳۸ و ۰/۱۵ محاسبه شده‌اند. معیار با دقت بودن یک رابطه‌ی تجربی انحراف از معیار خطاها و بیشینه خطای مطلق می‌باشد که از بین سیزده روش، فقط دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) دارای خطای مطلق کمتر از یک دقیقه می‌باشند. همچنین مقدار انحراف از معیار خطا نیز برای این دو معادله کمتر از ۰/۳۳ می‌باشد. باید توجه شود مدلی که نارایب باشد، اما دقت کافی را نداشته باشد نمی‌تواند برآورد خوبی از زمان تمرکز ارائه دهد.

در شکل ۵ میزان اریبی زمان تمرکزهای پیش‌بینی شده با استفاده از روابط تجربی نسبت به زمان تمرکزهای اندازه‌گیری شده با استفاده از روش Ben-Zvi نشان داده شده‌است. همان طور که مشاهده می‌شود دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) کمترین میزان اریبی را از خود نشان می‌دهند و مقدار ضریب همبستگی R^2 آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۸۷ می‌باشد. در شکل ۶ میزان اریبی زمان تمرکزهای پیش‌بینی شده نسبت به زمان تمرکزهای اندازه‌گیری شده برای روش تفاضل نشان داده شده‌است. در این روش نیز دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) کمترین میزان اریبی را از خود نشان داده‌اند و مقدار ضریب همبستگی R^2 آن‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و ۰/۹۵ می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار اریبی دو روش فوق تفاوت قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر ندارند و مقدار ضریب همبستگی R^2 روش تفاضل بیشتر از روش Ben-Zvi است، این روش بهترین روش جهت تخمین زمان تمرکز می‌باشد.



شکل ۶. مقایسه زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از روابط تجربی و زمان تمرکز اندازه‌گیری شده به روش تفاضل.

شکل ۵. مقایسه زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از روابط تجربی و زمان تمرکز اندازه‌گیری شده به روش Ben-Zvi.

داده‌های مربوط به جدول ۳ که جهت کالیبراسیون معادلات استفاده شد، برای استخراج یک رابطه جدید نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت تعیین ضرایب و توان‌های رابطه‌ی تجربی از رگرسیون گام به گام با استفاده از نرم افزار SPSS استفاده شده‌است. با توجه به اینکه در این مطالعه طول زیر حوضه (۶ متر) ثابت در نظر گرفته شده، توان پارامتر طول در رابطه‌ی تجربی با استفاده از میانگین چندین مدل و بر اساس پیشنهاد پاپاداکیس برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده‌است [۱۷]. مدل توسعه داده شده بر اساس داده‌های آزمایشگاهی برای سطح نایلون و زمان تمرکزهای محاسبه شده با استفاده از روش تفاضل به صورت رابطه‌ی ۱ توسعه داده شده‌است.

$$T_d(\text{hr}) = 0/0423 L^{0/5} I^{-0/75} S^{-0/32} \quad (1)$$

که در معادله‌ی بالا

T: زمان تمرکز بر حسب ساعت،

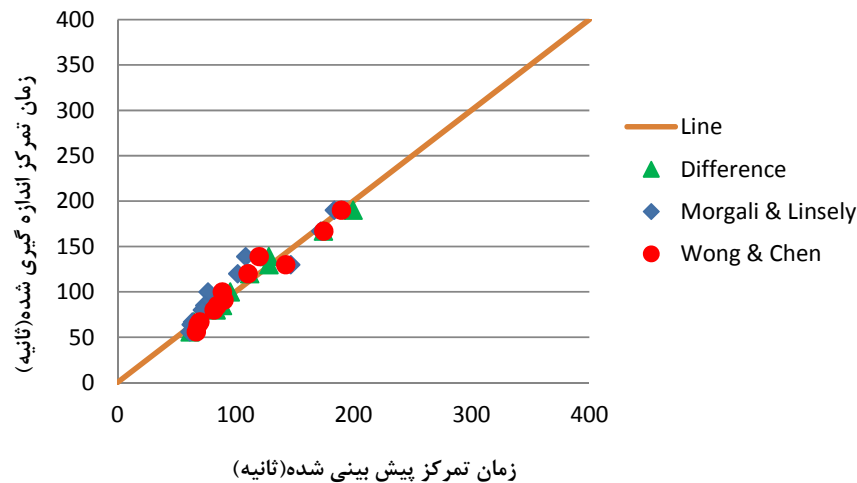


L: طول آبراهه اصلی بر حسب متر،

I: شدت بارش یکنواخت بر حسب میلی‌متر در ساعت و

S: شیب سطح بر حسب متر بر متر می‌باشد.

با توجه به شکل ۷ مدل توسعه داده شده، زمان تمرکز اندازه‌گیری شده از روی هیدروگراف‌های مشاهداتی را به خوبی پیش‌بینی کرده و به زمان تمرکزهای پیش‌بینی شده توسط روابط مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) نزدیک است. مقدار ضریب همبستگی R^2 بدست آمده برای رابطه ۱ برابر با ۰/۹۸ می‌باشد.



شکل ۷. مقایسه‌ی زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از رابطه‌ی ۱، روابط مرگالی - لینزلی و وانگ - چن و زمان تمرکز اندازه‌گیری شده به روش تفاضل.

ضرایب همبستگی بین لگاریتم t_c و لگاریتم‌های I و S برای روش BenZvi به ترتیب برابر با ۰/۶۷- و ۰/۷۹- و برای روش تفاضل برابر با ۰/۵۷- و ۰/۸۶- می‌باشد. این مقادیر نشان‌دهنده‌ی وابستگی معناداری بین زمان تمرکز و شیب سطح می‌باشند و نشان می‌دهند که پارامتر شیب در مقابل پارامتر شدت بارش اثر بیش‌تری بر روی زمان تمرکز دارد.

با مقایسه‌ی رابطه‌ی ۱ و رابطه‌ی تئوری موج سینماتیک (جدول ۱) توان پارامتر شیب در رابطه‌ی ۱ برابر با ۰/۳۳- و در رابطه موج سینماتیک برابر با ۰/۳- می‌باشد، که نشان‌دهنده صحت درستی اندازه‌گیری‌های انجام شده می‌باشد؛ اما توان پارامتر شدت بارش بیشتر از توان متناظر در رابطه‌ی موج سینماتیک می‌باشد که این امر به علت ثابت بودن دو پارامتر ضریب مانینگ و طول آبراهه اصلی در اندازه‌گیری‌ها می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

تعداد بسیار زیاد روش‌های تجربی و نیمه تجربی جهت تخمین زمان تمرکز موجب ایجاد سردرگمی بین محققین و مهندسین هیدرولوژی شده و آن‌ها بدون ارزیابی و مقایسه‌ی دقت یک روش با دیگر روش‌های موجود آن را انتخاب می‌کنند [۲]. از آنجایی که هر یک از طراحان نظرات شخصی خود را در تخمین پارامترهای ورودی در روابط ارائه شده جهت تخمین زمان تمرکز لحاظ می‌کنند، در شرایط یکسان مقدار واحدی برای زمان تمرکز بدست نخواهد آمد. در نتیجه یافتن بهترین معادله زمان تمرکز برای حوضه‌های کوچک شهری از مهم‌ترین دغدغه طراحان می‌باشد. در این مقاله با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی برای سطوح کاملاً نفوذناپذیر (نایلون) روابط تجربی جهت تخمین زمان تمرکز ارائه شده است. نتایج مقایسه‌ی زمان تمرکز پیش‌بینی شده با استفاده از ۱۳ معادله‌ی تجربی نشان دادند که اکثر معادلات مقدار اریبی بالایی را از خود نشان می‌دهند. از میان روابط تجربی موجود دو رابطه‌ی مرگالی (۱۹۶۵) - لینزلی (۱۹۶۵) و وانگ (۲۰۰۵) - چن (۱۹۹۳) جهت تخمین زمان تمرکز بر روی سطوح نفوذناپذیر اریبی کمی از خود نشان دادند.



همچنین در این مقاله سه روش Ben-Zvi, Ben-Zvi اصلاح شده و تفاضل زمان دبی اوج و شروع رواناب جهت تخمین زمان تمرکز از روی هیدروگراف‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفتند، که روش تفاضل زمان دبی اوج و زمان شروع رواناب بیش‌ترین نزدیکی را به زمان تمرکز تخمین زده شده با استفاده از دو رابطه‌ی تجربی مرگالی-لینزلی و وانگ-چن نشان داده‌اند. نتایج دو روش تفاضل و Ben-Zvi تقریباً مشابه یکدیگرند.

از میان پارامترهای تأثیرگذار در تخمین زمان تمرکز بر روی سطوح نفوذناپذیر، شیب سطح در مقایسه با پارامتر شدت بارش اثر بیش‌تری بر روی زمان تمرکز دارد.

۶. مراجع

1. McCuen, R. H., Wong, S. L., and Rawls, W. J. (1984). "Estimating Urban Time of Concentration." J. Hydraul. Eng., 110(7), 887-904.
2. Liang, J, Wong, S. L., and Melching, C. S. (2012). "Comparison of Computed and Experimentally Assessed Times of Concentration for a V-Shaped Laboratory Watershed." J. Hydrol. Eng., 17: 1389-1396.
3. Sharifi, S., and Hosseini, M (2011). "Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region." Irrig. Drain Eng., 137,712-719.
4. Aron, G., and Egborge, C. E. (1973). "A practical feasibility study of flood peak abatement in urban areas." U.S. Army Corps of Engineers, Sacramento, CA.
5. Kerby, W. S. (1959). "Time of concentration for overland flow." Civ. Eng., 29(3), 60.
6. Soil Conservation Service, "Urban Hydrology for Small Watersheds," Technical Release No. 55, Washington, D.C., 1975.
7. United States Army Corps of Engineers (USACE). (1954). "Data report, air field drainage investigation." Rep. Prepared for Los Angeles District for the Office of the Chief of Engineers, Washington, D.C.
8. Morgali, J. R., and Linsley, R. K. (1965). "Computer analysis of overland flow." J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 91(3), 81-100.
9. Woolhiser, D. A., and Liggett, J. A. (1967). "Unsteady one-dimensional flow over a plane—The rising hydrograph." Water Resour. Res., 3(3), 753-771.
10. Federal Aviation Administration (FAA). (1970). "Airport drainage." Advisory Circular No. 150/5320-5B, Dept. of Transportation, Washington, D.C.
11. Pavlovic, S. B., and Moglen, G. E. (2008). "Discretization issues in travel time calculation." J. Hydrol. Eng., 13(2), 71-79.
12. Yen, B. C., and Chow, V. T. (1983). "Local design storms, Vol III." Rep. H 38 No. FHWA-RD-82/065, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
13. National Association of Australian State Road Authorities (NAASRA). (1986). Guide of the design of road surface drainage, Milsons Point, NSW, Australia.
14. Wong, T. S. W. (2005). "Assessment of Time of Concentration Formulas for Overland Flow." J. Irrig. Drain. Eng., 131(4), 383-387.
15. Ben-Zvi, A., 1970. On the Relationship Between Rainfall and Surface Runoff on Laboratory Watersheds. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
16. Li, M., and Chibber, P. (2008). "Overland Flow Time of Concentration on Very Flat Terrains." J. Transportation Research Board., No. 2060.
17. Papadakis, C. N., and M. N. Kazan. Time of Concentration in Small Rural Watersheds. Technical Report 101/08/86/CEE. Civil Engineering Department, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, 1986.