

گزارش فنی

تخمین دیاگرام زمان مساحت بدون بعد حوزه‌های آبخیز

تورج سبزواری^{۱*} و مهدی کرمی مقدم^۲

^۱ دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران و ^۲ استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۷

چکیده

در این پژوهش، دو روش برای تخمین دیاگرام زمان مساحت بدون بعد (DTAD) حوزه‌های آبخیز ارائه شد. در روش اول (روش هندسی) یک شکل هایپربولیک برای حوضه در نظر گرفته شد و رابطه بین زمان پیمایش و فاصله تا خروجی حوضه به صورت توانی در نظر گرفته شد و یک معادله برای محاسبه DTAD ارائه شد. معادله حاصل با توان یک برابر با معادله زمان مساحت USAC (۱۹۹۰) است. در روش دوم (روش Nash-TA) معادله‌ای برای تخمین DTAD ارائه شد که تابعی از پارامترهای مدل Nash است. نتایج دو روش برای داده‌های حوزه آبخیز آجای در هند و حوزه‌های آبخیز کسلیان، جعفرآباد و شوراندیکا در ایران با DTDA به دست آمده با روش موج سینماتیکی (KW) مقایسه شد. ضریب کارایی تخمین روش هندسی برای توان ۰/۶ برابر ۰/۹۷۱ و برای روش Nash-TA، ۰/۹۵۵ می‌باشد. ضریب کارایی روش هندسی برای توان‌های یک (روش USACE (۱۹۹۰))، ۱/۵ و ۱/۶۷ به ترتیب ۰/۸۲۴، ۰/۴۸۴ و ۰/۱۶۱ می‌باشد. کارایی دو روش هندسی (به ازای توان ۰/۶) و روش Nash-TA در تخمین DTDA چهار حوضه معرف در این پژوهش، خوب ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: جعفرآباد، شوراندیکا، کسلیان، Clark، Nash

مقدمه

جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود. روش پیشنهادی قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای حوزه آبخیز بود. Ajward و Muzik (۲۰۰۰) یک مدل زمان-مساحت بر مبنای طرح Maidment (۱۹۹۳) و به منظور استخراج هیدروگراف واحد مکانی ارائه دادند. در سال ۱۹۹۰ سازمان USAC معادله‌ای بدون بعد برای محاسبه دیاگرام زمان-مساحت (TAD) حوزه آبخیز در آریزونا، آمریکا ارائه نمود. در این پژوهش دو روش جدید برای محاسبه TAD بدون بعد (DTAD) ارائه می‌شود. در روش اول یک هندسه تقریباً بیضی شکل برای حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود و زمان پیمایش به صورت توانی از فاصله در نظر گرفته می‌شود

روش‌های هیدروگراف زمان-مساحت و Clark (۱۹۴۵) از جمله روش‌های تخمین رواناب حوزه‌های آبخیز هستند که در آن‌ها ابتدا باید هیستوگرام زمان-مساحت (TAH) حوضه را که تابعی از موقعیت خطوط هم‌زمان پیمایش (ایزوکرون) است، به دست آورد. در زمینه استخراج ایزوکرون‌ها و TAH می‌توان به پژوهش‌های Saghafian و همکاران (۲۰۰۲)، Saghafian و Shokoochi (۲۰۰۶)، Shokoochi و Saghafian (۲۰۰۷) و Zakeri و همکاران (۲۰۱۰)، اشاره نمود. Maidment (۱۹۹۳) روش جدیدی ارائه داد که در آن از روش زمان-مساحت و سامانه اطلاعات

* مسئول مکاتبات: t_sabzevari@iauest.ac.ir

$$\frac{x}{L} = \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1/\gamma} \quad (1)$$

مطابق شکل ۱، برای محاسبه معادله مساحت حوضه در نیمه اول حوضه $(0 \leq x \leq \frac{L}{2}, t \leq (\frac{1}{2})^\gamma t_c)$ که A_1 نامیده می‌شود به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$dA_1 = 2y(x)dx \Rightarrow dA_1 = 2 \frac{3\sqrt{2}A}{4L} \left(\frac{x}{L}\right)^{0.5} dx$$

$$\Rightarrow A_1 = \int_0^x \frac{3\sqrt{2}A}{2L} \left(\frac{x}{L}\right)^{0.5} dx = \sqrt{2}A \left(\frac{x}{L}\right)^{1.5} \quad (2)$$

تابع مساحت در نیمه اول حوضه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$A_1 = \sqrt{2}A \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} \quad t \leq \left(\frac{1}{2}\right)^\gamma t_c \quad (3)$$

اگر مساحت در نیمه دوم حوضه $(x \geq \frac{L}{2})$ نامیده شود، مقدار مساحت فقط در نیمه دوم به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$dA_2 = 2y(L-x)dx = 2 \times (3\sqrt{2}/4) \frac{A}{L} \left(\frac{L-x}{L}\right)^{0.5} dx$$

$$\Rightarrow A_2 = \int_{L/2}^x (3\sqrt{2}/2) \frac{A}{L} \left(\frac{L-x}{L}\right)^{0.5} dx \quad (4)$$

مقدار مساحت کل حوضه در نیمه دوم $(x \geq \frac{L}{2})$ برابر است با:

$$A_1 = \frac{A}{2} + A_2 = A - \sqrt{2}A$$

$$\left(1 - \frac{x}{L}\right)^{1.5} = A \left(1 - \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5}\right) \quad t \geq \left(\frac{1}{2}\right)^\gamma t_c \quad (5)$$

لذا، معادله نهایی دیاگرام زمان مساحت بدون بعد مصنوعی یک حوزه آبخیز به صورت زیر است.

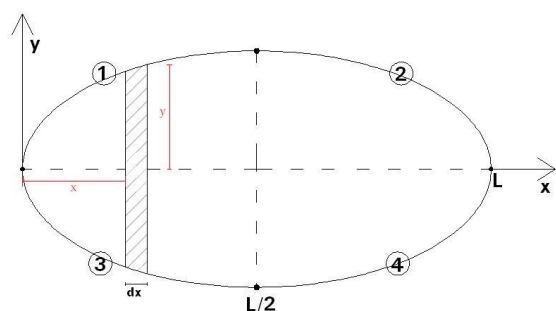
$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & t \leq \left(\frac{1}{2}\right)^\gamma t_c \\ \left(1 - \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5}\right)^{1.5} & t \geq \left(\frac{1}{2}\right)^\gamma t_c \end{cases} \quad (6)$$

اگر مقدار گاما در معادله (۶) برابر یک در نظر گرفته شود، معادله حاصله همان معادله دیاگرام زمان-

و به بسط معادلات زمان-مساحت در حوضه پرداخته می‌شود. معادله TAD به دست آمده تابعی از زمان، زمان تمرکز و توان فاصله می‌باشد. این روش که روش هندسی نام‌گذاری شد به ازای توان‌های مختلف نتایج مختلفی ارائه می‌نماید. در روش دوم از ترکیب معادلات هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash و Clark یک معادله جدید برای محاسبه DTAD ارائه می‌شود. نتایج دو روش با معادله موج سینماتیکی در چهار حوزه آبخیز مورد بررسی و مقایسه می‌شود و بهترین روش معرفی می‌شود.

مواد و روش‌ها

زمان پیمایش هر نقطه از حوضه، زمانی است که رواناب از آن نقطه حرکت می‌کند تا به خروجی حوضه برسد. مساحت بین خطوط ایزوکرون‌ها TAH حوضه را تشکیل می‌دهند. مقدار دبی هیدروگراف سیلاب در خروجی حوضه به این مساحت‌ها و زمان پیمایش آن‌ها وابسته هستند. شکل ۱ خطوط ایزوکرون و TAH را برای یک حوضه فرضی نشان می‌دهد.



شکل ۱- شماتیکی از هندسه حوزه آبخیز در نظر گرفته شده در مدل زمان-مساحت

مرز حوضه از چهار قسمت با منحنی‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ تشکیل شده است. منحنی شماره ۱ با معادله $y(x) = \beta\sqrt{x}$ تعریف می‌شود. مقدار $\beta = \frac{3\sqrt{2}A}{4L^{1.5}} = \frac{1.061A}{L^{1.5}}$ با فرض این‌که رابطه بین زمان پیمایش و فاصله در هر نقطه از حوضه از معادله $t \approx x^\gamma$ تبعیت کند، که توان معادله یعنی گاما مقادیر مختلفی می‌تواند داشته باشد و با توجه به این‌که زمان تمرکز حوضه در طول بیشینه حوضه (آبراهه اصلی) اتفاق افتد، $t_c \approx L^\gamma$ ، لذا می‌توان نوشت:

که در آن، t_f مختصات نقطه عطف است و برای محاسبه مقدار آن کافی است از معادله (۷) دو بار مشتق گرفته شود و مقادیر مشتق‌ها معادل صفر در نظر گرفته شوند. مقدار زمان رسیدن به دبی پیک، t_p ، و زمان وقوع نقطه عطف، t_f ، هیدروگراف واحد لحظه-ای Nash به ترتیب برابر با $t_p = k(n-1)$ و $t_f = k(n-1 + \sqrt{n-1})$ هستند. با جایگذاری مقدار t_f در معادله (۸) مقدار ضریب ذخیره به صورت تابعی از ضرایب مدل Nash به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{k(n-1 + \sqrt{n-1})}{\sqrt{n-1}} \quad (۹)$$

منحنی زمان-مساحت طبق روش Nash-TA به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$TAC(t) = \frac{t \exp(-t/k)(t/k)^{(n-1)}}{tk\Gamma(n)} + \frac{\exp(-t/k)(t/k)^{(n-1)}}{tk\Gamma(n)} \\ \left[(k(n-1)(\sqrt{n-1}+1)) - (t(\sqrt{n-1}+1)) \right] \quad (۱۰)$$

این معادله تابعی از زمان، تعداد مخازن و ثابت مخزن مدل Nash است.

طرح مطالعاتی: در ادامه پژوهش از اطلاعات و آمار مربوط به حوزه‌های آبخیز کسلیان، جعفرآباد، شورندیکا در کشور ایران و حوزه‌های آبخیز آجای (Ajay) در کشور هند استفاده می‌شود و منحنی زمان مساحت (TAC) محاسبه شده به وسیله مدل Nash و روش هندسی برای این حوضه‌ها با نتایج حاصل از دیاگرام زمان-مساحت دامنه مستطیلی ساده که از طریق موج سینماتیکی محاسبه شده است مقایسه می‌شود. Saghafian و همکاران (۲۰۰۲)، Saghafian و Shokoohi (۲۰۰۶) در پژوهش‌های خودشان روش زمان-مساحت محاسبه شده از KW را مبنا قرار داده و نتایج مدل‌های پیشنهادی را با این روش مقایسه نمودند.

حوزه آبخیز جعفرآباد از زیرحوضه‌های گرگان‌رود با مساحتی در حدود ۱۱۰ کیلومتر مربع و رودخانه‌ای به طول ۲۱ کیلومتر، در ۲۵ کیلومتری جنوب شرق گرگان قرار دارد. این حوزه آبخیز که در محدوده طول جغرافیایی $۵۴^{\circ} ۴۵'$ و عرض جغرافیایی $۳۶^{\circ} ۴۲'$ واقع شده است دارای اقلیم مدیترانه‌ای با باران بهاره است. حوزه آبخیز کسلیان با مساحت ۶۶/۷ کیلومتر

مساحت بدون بعد است که سازمان USACE (۱۹۹۰) ارائه نموده است. در بسیاری از روش‌های فیزیکی محاسبه زمان-مساحت، زمان پیمایش با فرض تناسب زمان تمرکز با توانی از فاصله نقاط تا خروجی حوضه تعیین می‌شوند. در تحقیقات مختلف طیف‌های مختلفی از توان‌ها به کار گرفته شده است. به طور مثال لاورنسن رابطه $t \approx X^{1.5}$ را در تحقیقات خودش به کار گرفته است. در روش سرعت‌های مساوی که اولین بار به وسیله Pilgrim (۱۹۷۹) ارائه شد مقدار $\gamma = 1$ در نظر گرفته شد. در تئوری موج سینماتیکی مقدار $\gamma = 0.6$ می‌باشد. در این تحقیق چهار ضریب مقدار $1/5$ و $1/6$ و $1/7$ و $1/8$ مبنا معادله (۶) قرار می‌گیرد و در صحت‌سنجی‌ها به کار گرفته می‌شود. این ضرایب بر اساس پژوهش Shokoohi و Saghafian (۲۰۰۷) به کار گرفته شد.

روش زمان-مساحت ناش: در این قسمت از پژوهش، روشی برای محاسبه منحنی زمان مساحت حوزه‌های آبخیز ارائه می‌شود که مبتنی بر ترکیب روش‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای Nash و Clark است. Nash (۱۹۶۰) فرض کرد که یک حوزه آبخیز را بتوان به صورت یک سامانه شامل n مخزن متوالی یکسان که ورودی مخزن اول برابر واحد و خروجی هر مخزن، ورودی مخزن دیگر است در نظر گرفت. با در نظر گرفتن کلیه شرایط مذکور خروجی از مخزن n ام هیدروگراف واحد لحظه‌ای کل حوزه آبخیز می‌باشد که با معادله زیر نشان داده می‌شود.

$$u_n(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} (t/k)^{n-1} e^{-t/k} \quad (۷)$$

که در آن، n تعداد مخازن، k ثابت مخزن Nash، t زمان و Γ تابع گاما است. Clark (۱۹۴۵) با روندیابی هیستوگرام زمان-مساحت در حوزه آبخیز به عنوان یک مخزن خطی به تخمین هیدروگراف واحد لحظه‌ای حوضه پرداخت. مقدار ضریب ذخیره Clark به مختصات نقطه عطف بازوی پایین‌رونده هیدروگراف واحد لحظه‌ای بستگی دارد و از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$R = -\frac{u(t)}{du} \Big|_{t=t_f} \quad (۸)$$

خزری است و رودخانه اصلی آن تالار سربند است. مقادیر ضرایب مدل Nash در چهار حوضه معرف به صورت جدول ۱ است.

مربع در استان مازندران و در حدود مختصات جغرافیایی طول ۱۸° ۵۳' و عرض ۰۷° ۳۵' و ۵۸° ۳۵' قرار دارد که در منطقه زمین ساختی البرز واقع شده، اقلیم آن بر اساس نقشه اقلیمی ایران معتدل

جدول ۱- متوسط پارامترهای مدل Nash حوضه‌های معرف

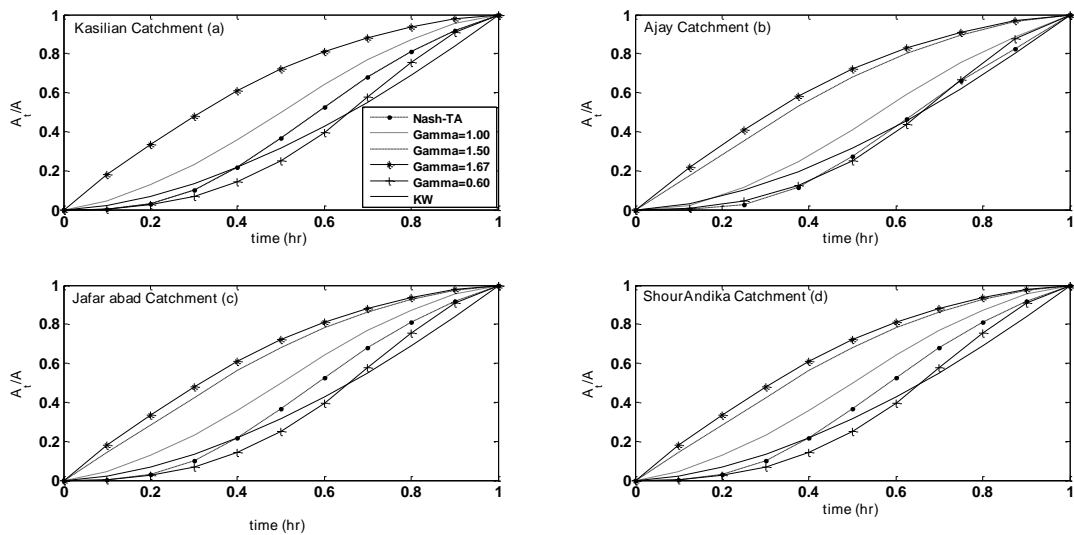
حوزه آبخیز	N	K	زمان تمرکز (ساعت)
آجای	۳/۸۶	۲/۳۹	۱۶
کسیلیان	۳/۳۹	۲/۰۴	۱۰
جعفرآباد	۳/۰۰	۱/۱۹	۵/۰۰
شواندیکا	۳/۰۰	۱/۰۰	۵/۹

یک نزدیک‌تر و مقدار RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده کارایی مناسب‌تر مدل می‌باشد. جدول ۲ نتایج روش‌های مختلف را در مقایسه با روش موج سینماتیک نشان می‌دهد.

TAD به روش KW از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{A_t}{A} = \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.67} \quad (11)$$

شکل ۲، DTAD مصنوعی چهار حوضه معرف را بر اساس معادله (۶) و اطلاعات جدول ۱ به ازای مقادیر مختلف گاما از ۰/۶، یک، ۱/۵ و ۱/۶۷ را نشان می‌دهد. در این شکل نتایج TAD به روش Nash-Ta طبق معادله (۱۰) نیز ارایه شده است. برای مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های مختلف با نتایج حاصل از مدل KW از ضریب کارایی (CE) و ریشه متوسط مربع خطا (RMSE) استفاده شد. هرچه مقدار CE به عدد



شکل ۲- دیاگرام زمان مساحت بدون بعد مصنوعی حوضه‌های معرف

$\gamma=1/67$ مطابقت بهتری با روش KW دارند. بر اساس نتایج ضریب کارایی برای روش هندسی به ازای $\gamma=0/6$ برابر ۰/۹۷۱ است که در مقایسه با سایر روش‌ها دارای نزدیک‌ترین نتایج به نتایج روش KW می‌باشد. همچنین، مقدار این ضریب برای روش Nash-TA برابر ۰/۹۵۵ است. ضریب کارایی روش هندسی برای گامای

بر اساس شکل ۲ و جدول ۲ نتایج سه روش روش هندسی به ازای $\gamma=0/6$ و Nash-TA و KW در چهار حوضه به هم نزدیک است. اگر روش KW به‌عنوان مبنا قرار داده شود، می‌توان مشاهده کرد که روش هندسی ($\gamma=0/6$) و روش Nash-TA نسبت به روش‌های هندسی به ازای گاما برابر با $\gamma=1/5$ و

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c} \right)^{2.5} & t \leq 0.66t_c \\ \left(1 - \sqrt{2} \left(\frac{t}{t_c} \right) \right)^{1.67} & t > 0.66t_c \end{cases} \quad (12)$$

یک، ۱/۵ و ۱/۶۷ به ترتیب ۰/۸۲۷، ۰/۴۸۴ و ۰/۱۶۴ می‌باشد. روش هندسی با توان یک یا روش USACE، (۱۹۹۰) در این پژوهش ضریب کارایی کمتری نسبت به گاما ۰/۶ و روش Nash-TA داشته است. اگر ۰/۶ = γ نظر گرفته شود، DTAD پیشنهادی به صورت زیر است.

جدول ۲- مقادیر CE و RMSE روش‌های مختلف DTAD در مقایسه با روش KW

میانگین	شواندیکا	جعفرآباد	آجای	کسیلیان	روش	معیار
۰/۹۵۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۵۰	Nash-TA	CE
۰/۹۷۱	۰/۹۷۴	۰/۹۶	۰/۹۷۵	۰/۹۷۴	Gamma=۰/۶	
۰/۱۶۱	۰/۱۵۶	۰/۱۴۹	۰/۱۸۴	۰/۱۵۶	Gamma=۱/۶۷	
۰/۴۸۴	۰/۳۲۴	۰/۳۱۰	۰/۳۵	۰/۹۵	Gamma=۱/۵۰	
۰/۸۲۷	۰/۷۹۷	۰/۷۹۰	۰/۹۴	۰/۷۸	Gamma=۱/۰۰	
۰/۰۶۹	۰/۰۷۷	۰/۰۷۵	۰/۰۴۸	۰/۰۷۷	Nash-TA	RMSE
۰/۰۵۰	۰/۰۵۴	۰/۰۴۷	۰/۰۴۴	۰/۰۵۴	Gamma=۰/۶	
۰/۲۹۹	۰/۳۱۱	۰/۲۹۵	۰/۲۷۸	۰/۳۱۱	Gamma=۱/۶۷	
۰/۲۱۹	۰/۲۷۸	۰/۲۷۰	۰/۲۴۹	۰/۰۷۷	Gamma=۱/۵۰	
۰/۱۳۴	۰/۱۵۳	۰/۱۵۰	۰/۰۷۹	۰/۱۵۳	Gamma=۱/۰۰	

گرفت. بر اساس نتایج، روش هندسی ($\gamma=۰/۶$) و Nash-TA نسبت به روش هندسی به ازای گام‌های یک، ۱/۵ و ۱/۶۷ مطابقت بهتری با روش موج سینماتیک داشت. ضریب کارایی (CE) برای گامی ۰/۶ کمینه و برابر ۰/۹۷۱ می‌باشد که نشان می‌دهد که این روش در مقایسه با سایر روش‌ها نتایج نزدیک‌تری به نتایج موج سینماتیک به دست می‌دهد و برای روش Nash-TA برابر ۰/۹۵۵ است. ضریب کارایی روش هندسی برای گامی یک، ۱/۵ و ۱/۶۷ به ترتیب ۰/۸۲۴، ۰/۴۸۴ و ۰/۱۶۴ می‌باشد. روش هندسی برای $\gamma=۱$ و روش Nash-TA نتایج بسیار مناسبی ارائه شدند و پیشنهاد می‌شود این روش‌ها در حوزه‌های آبخیز دیگر نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

معادله (۱۲) نسبت به معادله $\gamma=۱$ ، USACE مطابقت بهتری با روش KW و Nash نشان می‌دهد. لذا، پیشنهاد می‌شود که این معادله در حوزه‌های آبخیز دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو روش هندسی و روش Nash برای محاسبه دیاگرام زمان-مساحت بدون بعد حوزه-های آبخیز ارائه شد. نتایج روش هندسی به ازای توان‌های مختلف فاصله و روش Nash در چهار حوضه معرف آجای در هند و کسیلیان، جعفرآباد و شور اندیکا در ایران با نتایج زمان-مساحت حاصل از حل تحلیلی روش موج سینماتیک مورد مقایسه قرار

منابع مورد استفاده

1. Ajward, M.H. and I. Muzik. 2000. A spatially varied unit hydrograph model. Environmental Hydrology, 8: 1-8.
2. Clark, C.O. 1945. Storage and the unit hydrograph. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 110: 1419-1446.
3. Maidment, D.R. 1993. Developing a spatially distributed unit hydrograph by using GIS. Unknown Journal, 181-192.
4. Nash, J.E. 1960. A unit hydrograph study with particular reference to British catchments. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 17: 249-282.

5. Pilgrim, D.H. 1977. Isochrones of travel time and distribution of flood storage from a tracer study on a small watershed. *Water Resources Research*, 13(3): 587-595.
6. Saghafian, B., P.Y. Julien and H. Rajaie. 2002. Hydrograph simulation based on variable isochrone technique. *Journal of Hydrology*, 1-4: 193-203.
7. Saghafian, B. and A.R. Shokoohi. 2006. A corrected time-area technique for one-dimensional flow. *International Journal of Civil Engineering*, 4(1): 34-41.
8. Shokoohi, A.R. and B. Saghafian. 2007. Comparison of isochrones delineation methods to be used in time-area routing technique. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 2(3): 30-42.
9. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Hydrologic Engineering Center. 1990. HEC-1 flood hydrograph package, program user's manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
10. Zakeri, M., B. Saghafian, S. Golian, T. Moramarco and A. Shamsaee. 2012. Derivation of travel time based on diffusive wave approximation for the time-area hydrograph simulation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(1): 85-91.

Estimation of dimensionless time-area diagram of catchments

Touraj Sabzevari^{*1} and Mehdi Karami Moghadam²

¹ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran and ² Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran

Received: 29 October 2015

Accepted: 31 December 2016

Abstract

Time-area hydrograph and Clark's methods are commonly used for prediction of runoff in catchments. In the both methods, the Time-Area Diagram (TAD) of the catchment is needed. In this study, two methods for estimation of Dimensionless Time-Area Diagram (DTAD) are introduced. In the first method, called geometric method, a hyperbolic function for the geometry of the catchment is assumed. Furthermore, travel time is assumed to be proportional to an exponent (β) of flow distance to outlet. It was shown that the resultant DTAD equation is equal to USACE (1990) equation when β is one. In another method, called Nash-TA, DTAD equation was derived as a function of Nash model parameters. The two developed methods were applied to Ajay catchment, in India, and Kasilian, Jafarabad, Shourandika catchments, located in Iran, and the results were compared to those obtained from the kinematic wave method. The efficiency coefficients for geometric method with β being 0.6 and for the Nash-TA method were 0.971 and 0.955, respectively. The efficiency coefficient for geometric method in cases of $\beta=1, 1.5, 1.67$ were 0.824, 0.484 and 0.161, respectively. The efficiency of the geometric method ($\beta=0.6$) and the Nash-TA method was satisfactory.

Key words: Clark, Dimensionless Time-Area, Jafarabad, Kasilian, Nash, Shourandika

* Corresponding author: t_sabzevari@iauest.ac.ir