

/ / /

(:)

*

// :

E-mail: fakheri@tabrizu.ac.ir

*

() ()

(*E*)

(%*T_P*)

(*SE*)

(*R*²)

(%*Q_P*)

Comparison of Clark and Muskingum Methods in River Flood Routing (Case Study : Karoon River)

F Niyazi¹, A Fakheri^{2*} and A Hossienzadeh Dalir²

¹MSc. Student of Dept. of Water Eng, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: E-mail:fakheri@tabrizu.ac.ir

Abstract

In general, there are two sets of methods for flood routing calculations in rivers. These methods are classified as hydraulic and hydrologic scheme. Flood routing is of great importance to design, construct, and manage the flood preserved structures in order to study their effects on flood waves treatment in rivers, short time prediction of flood, prediction of river treatment after its situation changed and synthetic unit hydrograph generation are also accessible through flood routing. In this research, two approaches of flood routing i.e. Clark and Muskingum methods, were described and applied for a reach between Godarlandar and Gotvand gauging stations of Karoon river ; then their functions were investigated and compared. Eleven input hydrographs in Godarlandar and their output hydrographs in Gotvand station were selected and the calibration of the study methods as well as their goodness of fit test performed through selected hydrographs using error analysis. The criteria used for models evaluation, included coefficient of determination (R^2), standard error (SE), Nash- Sutcliffe efficiency (E), error in peak flow ($Q_p\%$) and error in time to peak ($T_p\%$). The results showed that both Clark and Muskingum methods under estimated the peak and the time to peak as compared with the observed values whereas the result of evaluations showed that the simulation of output hydrographs with Muskingum method was closer to observed than that of Clark method.

Keywords: Clark method, Hydraulic flood routing, Hydrologic flood routing, Karoon river, Muskingum method

(:)

...)

(

(...)

()

()

() ()

() ()

()

...)

(

- ())

GIS

()

(

)

(

()

()

:
 $ds/dt=I(t)-Q(t)$

[]

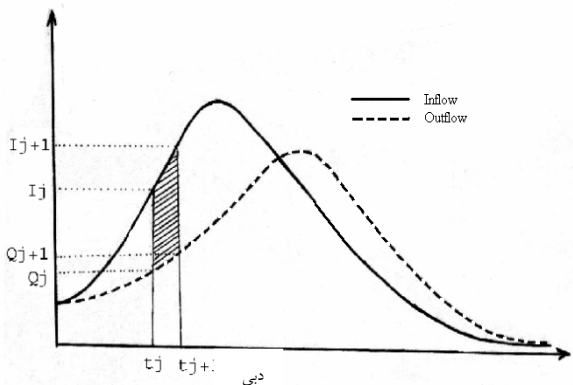
¹Backwater

/	/	...
---	---	-----

$$S = k Q \quad \Delta t = t_{j+1} - t_j \quad I(t)$$

$$\left(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right) \Delta t - \left(\frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \right) \Delta t = S_{j+1} - S_j \quad []$$

$$S = f(I, dI/dt, d^2I/dt^2, \dots, dQ/dt, d^2Q/dt^2, \dots) \quad []$$



شکل ۱- متغیرهای هیدروگراف ورودی و خروجی در مدل ماسکینگام

$$Q_{j+1} = \left(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right) C_0 + Q_j C_1 \quad []$$

$$C_0 = \frac{\Delta t}{k + \frac{\Delta t}{2}} \quad []$$

$$C_1 = \frac{k - \frac{\Delta t}{2}}{k + \frac{\Delta t}{2}} \quad []$$

[]

$$I - Q = ds/dt \quad []$$

$$k = - \frac{Q}{dQ/dt} \quad []$$

$$k = \frac{CL}{\sqrt{S}} \quad []$$

(hr)	k
(mile)	L
زمان (ft/mile)	S
(, ,)	C

k

²Muskingum

¹Clark

	(:)	
$C_2 = \frac{\Delta t + 2kx}{2k(1-x) + \Delta t}$	[]			
$C_3 = \frac{2k(1-x) - \Delta t}{2k(1-x) + \Delta t}$	[]	()
$C_1 + C_2 + C_3 = 1$	[]			
		:		
$X \quad K$		$S_w = KX(I - Q)$		[]
				:
		$S_p = KQ$		[]
		:		
	t	$S = KQ + KX(I - Q) = K[XI + (1 - X)Q]$		[]
		$X \quad K$		
	$X \quad K$		$\leq X \leq 1$	
	:	Δt	X	
$(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2})\Delta t = K[X(I_{j+1} - I_j) + (1 - X)(Q_{j+1} - Q_j)]$	[]	($X = 1$)
	:	$/ \quad X$		
$S_C = K S_m$	[]	$/$		
		$X \quad K$		
$\Delta t \quad S_C$	()	()
		()	(
		$X \quad K$		
$) S_m$	X			(
	(
$) S_C$		$X \quad K$		
K	(
$X \quad K$		$\Delta t = t_{j+1} - t_j$		$\Delta S = S_{j+1} - S_j$
				[]
		:		
		$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j$		[]
		:		
		$C_1 = \frac{\Delta t - 2kx}{2k(1-x) + \Delta t}$		[]

/	/	...
---	---	-----

(K, X,C)

()

/

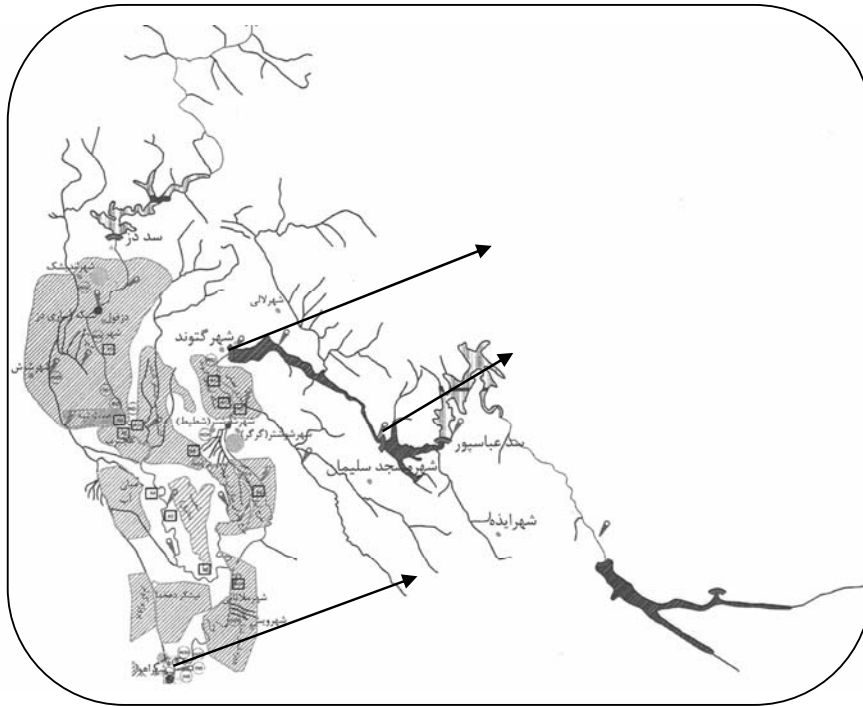
C

()

/]

()

: C [/



شکل ۲- حوضه آبریز رودخانه کارون

(:)

جدول ۱ - مشخصات هیدروگراف‌های مشاهده‌ای مورد بررسی

مشخصات هیدروگراف بالادست و پایین دست				تاریخ واقعه	مرحله
Q_p (Inflow ¹) (m ³ /s)	T_p (Outflow ²) (hr)	Q_p (Inflow) (m ³ /s)	T_p (Outflow) (hr)		
۳۲۷۰	۲۲	۳۲۵۷/۲۵	۳۲	۱۳۳۳/۱/۵-۹	واسنجی
۱۷۲۰	۳۸	۱۶۴۱/۸۹	۴۸	۱۳۳۶/۱/۵-۱۳	
۱۵۷۰	۱۸	۱۵۵۷/۴۶	۲۸	۱۳۳۶/۹/۹-۱۱	
۱۴۲۰	۱۸	۱۳۷۹/۳۵	۲۴	۱۳۴۱/۲/۲-۳	
۶۹۲	۱۶	۶۱۲/۵۰	۲۸	۱۳۵۰/۱۱/۹-۱۰	
۱۶۴۹	۴۸	۱۶۰۰/۳۲	۵۶	۱۳۵۱/۱۲/۳-۶	
۲۲۲۹	۲۲	۲۱۹۷/۰۴	۲۸	۱۳۶۱/۱۲/۲۴-۲۵	
۱۸۵۰	۲۶	۱۸۱۵/۹۸	۳۶	۱۳۳۲-۳۳/۱۲-۱/۲۴-۱	صحت سنجی
۱۷۴۰	۴۶	۱۶۶۷/۴۲	۵۶	۱۳۳۴/۱۲/۱۰-۱۴	
۱۹۶۰	۴۲	۱۹۰۰/۴۵	۴۸	۱۳۳۶/۲/۹-۱۳	
۹۹۶	۱۶	۹۸۹/۶۴	۲۸	۱۳۴۷/۲/۱-۷	

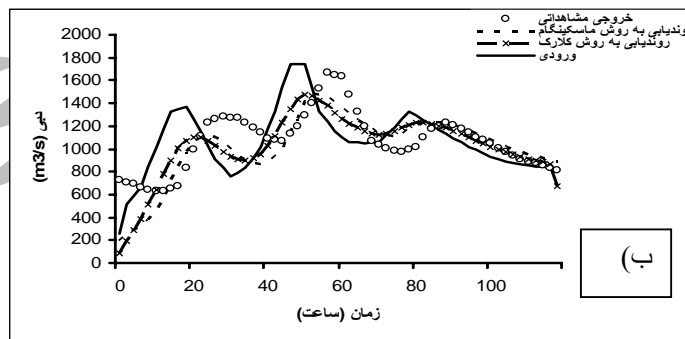
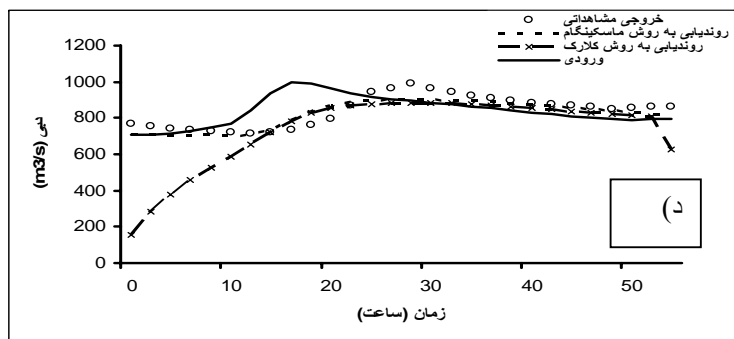
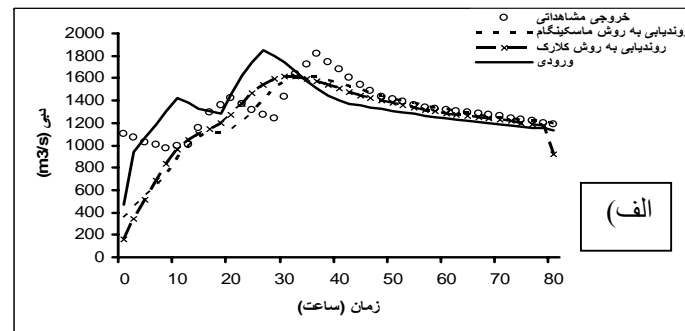
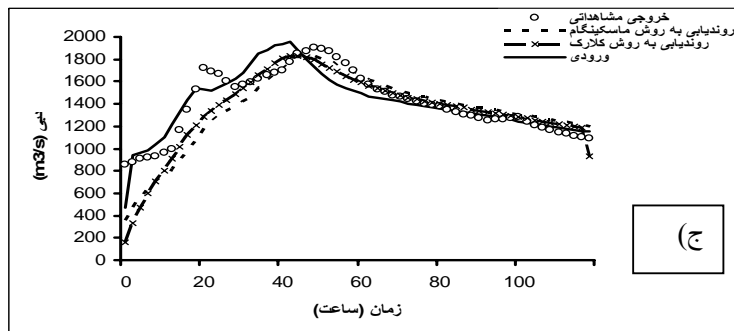
¹ Inflow و ² Outflow به ترتیب به هیدروگراف مشاهده شده در ایستگاه گذارلندر و گتوند اشاره دارد.

جدول ۲- نتایج واسنجی مدل‌های کلارک و ماسکینگام

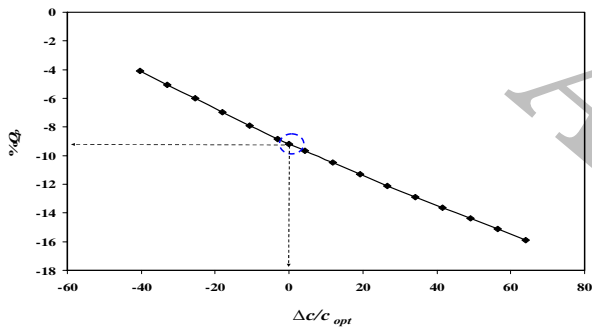
روش ماسکینگام		روش کلارک		تاریخ واقعه
K	X	C	k	
۱۰/۵	۰/۲۵	۲/۲	۱۳/۱۲	۱۳۳۳/۱/۵-۹
۱۲/۵	۰/۳	۰/۸	۴/۷۷	۱۳۳۶/۱/۵-۱۳
۱۱	۰/۳۲	۰/۸	۴/۷۷	۱۳۳۶/۹/۹-۱۱
۱۴/۵	۰/۲	۰/۸	۴/۷۷	۱۳۴۱/۲/۲-۳
۱۱/۵	۰/۳۳	۱/۷۹	۱۰/۶۵	۱۳۵۰/۱۱/۹-۱۰
۱۴/۵	۰/۲۵	۰/۸	۴/۷۷	۱۳۵۱/۱۲/۳-۶
۱۳	۰/۳۲	۲/۲	۱۳/۰۹	۱۳۶۱/۱۲/۲۴-۲۵

						...	
جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل‌های روندیابی مورد بررسی							
معیارهای ارزیابی					روش	تاریخ واقعه	مرحله
$^{**}\%T_p$	$^{**}\%Q_p$	SE	E	R^2			
-۶/۲۵	-۱۰/۴۱	۰/۰۰۱۱	۰/۸۴	۰/۹۳	Clark	۱۳۳۳/۱/۵-۹	
۰	-۹/۹۲	۰/۰۰۱۲	۰/۸۴	۰/۹۲	Muskingum		
-۸/۳۳	-۸/۱۸	۰/۰۰۱۴	۰/۷۶	۰/۹۲	Clark	۱۳۳۶/۱/۵-۱۳	
۴/۱۷	-۹/۰۱	۰/۰۰۱۲	۰/۸۷	۰/۹۷	Muskingum		
-۱۴/۲۹	-۳۱/۵۶	۰/۴۴۳۲	۰/۵۱	۰/۶۳	Clark	۱۳۳۶/۹/۹-۱۱	
-۷/۱۴	-۳۰/۸۸	۰/۳۲۹۷	۰/۷۲	۰/۸۲	Muskingum		
۰	-۶/۳۸	۰/۰۰۲۷	۰/۷۰	۰/۸۵	Clark	۱۳۴۱/۲/۲-۳	واستفنی
۸/۳۳	-۴/۴۰	۰/۰۰۱۶	۰/۸۸	۰/۹۵	Muskingum		
-۲۱/۴۳	-۱۲/۰۲	۰/۰۰۴۵	۰/۷۰	۰/۷۵	Clark	۱۳۵۰/۱۱/۹-۱۰	
-۱۴/۲۹	-۹/۱۸	۰/۰۰۳۱	۰/۷۳	۰/۸۴	Muskingum		
-۳/۵۷	-۱۱/۳۲	۰/۰۰۱۹	۰/۸۹	۰/۹۶	Clark	۱۳۵۱/۱۲/۳-۶	
۰	-۱۱/۰۹	۰/۰۰۱۸	۰/۸۷	۰/۹۴	Muskingum		
-۱۴/۲۹	-۴۶/۶۱	۰/۰۰۸۵	۰/۵۰	۰/۷۱	Clark	۱۳۶۱/۱۲/۲۴-۲۵	
۰	-۴۳/۰۷	۰/۰۰۷۹	۰/۶۱	۰/۸۸	Muskingum		
-۱۶/۶۷	-۱۱/۰۸	۰/۰۰۱۸	۰/۶۰	۰/۷۵	Clark	۱۳۳۲-۳۳/۱۲-۱/۲۴-۱	
۰	-۱۰/۹۱	۰/۰۰۱۷	۰/۷۰	۰/۸۰	Muskingum		
-۱۰/۷۱	-۱۱/۴۷	۰/۰۰۱۷	۰/۵۱	۰/۷۱	Clark	۱۳۳۴/۱۲/۱۰-۱۴	صحت‌سنجی
-۷/۱۴	-۱۰/۸۵	۰/۰۰۱۶	۰/۷۰	۰/۸۱	Muskingum		
-۸/۳۳	-۳/۶۵	۰/۰۰۱۲	۰/۷۵	۰/۸۸	Clark	۱۳۳۶/۲/۹-۱۳	
-۴/۱۷	-۳/۶۲	۰/۰۰۱۳	۰/۶۰	۰/۸۵	Muskingum		
۰	-۱۰/۵۹	۰/۲۲۰۰	۰/۲۱	۰/۴۴	Clark	۱۳۴۷/۲/۱-۷	
۰	-۸/۹۳	۰/۰۵۰۰	۰/۷۷	۰/۸۰	Muskingum		

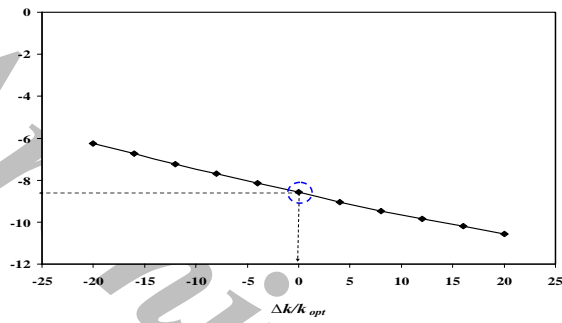
* مقادیر منفی $^{**}\%Q_p$ نشان می‌دهند که مقادیر محاسباتی کمتر از مشاهداتی هستند.
 ** مقادیر منفی و مثبت $^{**}\%T_p$ نشان می‌دهند که مدل زمان رسیدن به دبی اوج را به ترتیب زودتر و دیرتر از زمان مشاهداتی پیش بینی کرده است.



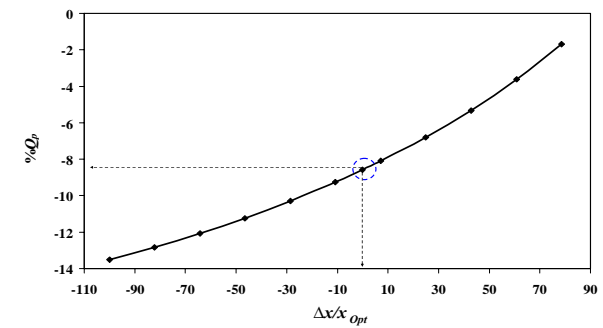
()
 (// :) ((// :) ((// :) ((/ / :) (



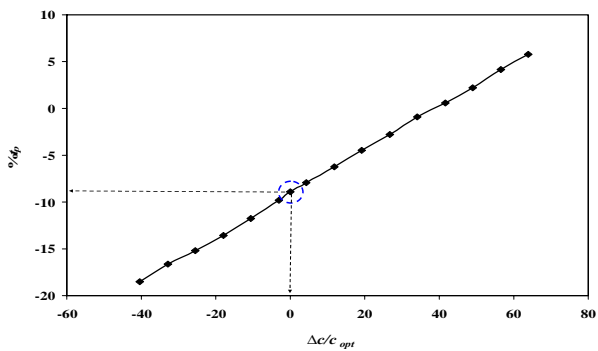
شکل ۴-الف - حساسیت درصد تغییرات دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر c نسبت به مقدار بهینه آن در مدل کلارک



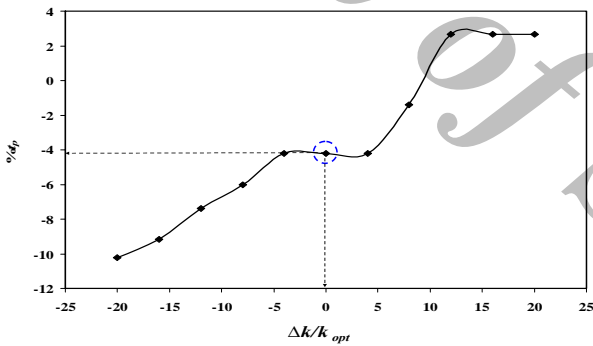
شکل ۵-الف - حساسیت درصد تغییرات دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر k نسبت به مقدار بهینه آن در مدل ماسکینگام (با فرض $x_{opt}=0.28$)



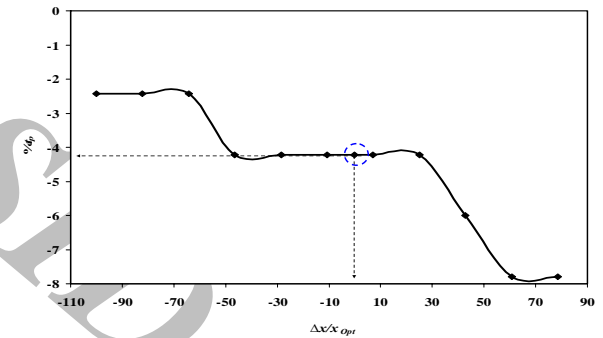
شکل ۴-الف - حساسیت درصد تغییرات دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر x نسبت به مقدار بهینه آن در مدل ماسکینگام (با فرض $k_{opt}=12.5$)



شکل ۶-ب - حساسیت درصد تغییرات زمان رسیدن به دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر c نسبت به مقدار بهینه آن در مدل کلارک



شکل ۵-ب - حساسیت درصد تغییرات زمان رسیدن به دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر k نسبت به مقدار بهینه آن در مدل ماسکینگام (با فرض $x_{opt}=0.28$)



شکل ۴-ب - حساسیت درصد تغییرات زمان رسیدن به دبی اوج پیش‌بینی شده به درصد تغییرات پارامتر x نسبت به مقدار بهینه آن در مدل ماسکینگام (با فرض $k_{opt}=12.5$)

(:)

$$T_p^{Obs} \quad T_p^{Sim} \quad Q_p^{Obs} \quad Q_p^{Sim} \quad :$$

$$\text{Min} \sum_{t=1}^N (Q_{t,Est} - Q_{t,Obs})^2 \quad []$$

$$(R^2) \quad 0.8 \leq C \leq 2.2$$

$$(SE) \quad Q_{t,Obs}$$

$$(E) () \quad Q_{t,Est} \quad t$$

$$N \quad t$$

$$R^2 = \left(\frac{\left(\sum_{t=1}^n (Q_t^{Obs} - \bar{Q}^{Obs})(Q_t^{Sim} - \bar{Q}^{Sim}) \right)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{Obs} - \bar{Q}^{Obs})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_t^{Sim} - \bar{Q}^{Sim})^2}} \right)^2 \quad []$$

Solver

Excel

$$SE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [Q_t^{Obs} - Q_t^{Sim}]^2}}{\bar{Q}^{Sim}} \quad []$$

()

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m [Q_t^{Obs} - Q_t^{Sim}]^2}{\sum_{i=1}^m [Q_t^{Obs} - \bar{Q}^{Obs}]^2} \quad []$$

$$\bar{Q}^{Obs} \quad \bar{Q}^{Sim} \quad t \quad Q_t^{Obs} \quad Q_t^{Sim}$$

n

" ()

(%T_p)

(%Q_p)

$$\%Q_p = \frac{Q_p^{Sim} - Q_p^{Obs}}{Q_p^{Obs}} \times 100 \quad []$$

$$\%T_p = \frac{T_p^{Sim} - T_p^{Obs}}{T_p^{Obs}} \times 100 \quad []$$

()

/	/	...
---	---	-----

: - () ()
K

(/)

X

X

X

% /

K

X

%

X

x= /

K

()

K

%

% /

K

%

(:)

X

K

%

X

C

(/ /)

R^2

SE

C

%

E

C

%

C

%

K X

Choudhury P, Shrivastava RK and Narulkar SM, 2002. Flood routing in river networks using equivalent Muskingum flow. J Hydraul Eng 7: 413-419.

Chow VT, 1964 . Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, New York.

- Chow VT, Maidment DR and Larry W Mays, 1988 . Applied Hydrology . Mc Graw-Hill Book Company, New Yourk.
- Clark CO, 1945. Storage and the unit hydrograph: transactions: American Society of Civil Engineers, 110: 1419-1488.
- Fread DL, 1981. Flood routing: a synopsis of past, present, and future capability. Proc. Int. Symp. Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi, USA, 521-541.
- France PW, 1985. Hydrologic routing with a microcomputer. Adv Eng Software 7 (1) 8-12.
- Geem ZW, 2006. Parameter estimation for the nonlinear Muskingum Model using the BFGS technique. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132: (5) pp. 474-478 .
- Gill MA, 1978. Flood routing by the Muskingum method. J Hydrol 36: 353–363.
- Henderson FM 1963, Some properties of the unit hydrograph, J Geophys Res 68(10): 4785-4793, 1963.
- Heggen RJ, 1984. Univariate least squares Muskingum flood routing. Water Resour Bull 20(1): 103–107.
- Hjemfelt AT, Jr, 1985. Negative outflows from Muskingum flood routing. J Hydr Engrg ASCE, 111(6): 1010–1014.
- Lawler EA, 1964 . Flood routing. In:US Army Corps of Engineers (ed.). Handbook of Applied Hydrology, Section 25-II. River Division. US Army Corps of Engineers, Ohio, USA, 35-58.
- Linsley RK, Kohler MA and Paulus JLH, 1982. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill New York, USA.
- McCarthy GT, 1938. The unit hydrograph and flood routing. Conference North Atlantic Division, US Army Corporation of Engineers, Ohio, USA.
- Murthy RK, Srivastava P, Mukulla R and Karunakaran R, 2005. Estimating of Clark’s instantaneous unit hydrograph in GIS, Map India, Geomatics.
- Nash JE and Sutcliffe JV, 1970. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. J Hydrol 10: 282–290.
- NERC, 1975. Flood studies report. 3: Flood Routing Studies, London.
- Perumal M, O’Connell PE and Ranga Raju KG, 2001. Field application of a variable-parameter Muskingum method. . J Hydro 6(3): 196–207.
- Reddy PJ, 1988 . A Text Book of Hydrology, Printed by Deepak Printing Service at Kang Printer, Gandhi Nagar, Delhi-110031..
- Singh VP, 1983. Approximate integral solutions for flood routing by the Muskingum method. Proc 20th Congr of the Int. Assn. for Hydr Res 6: 480–486.

- Smithers JC and Caldecott RE, 1995 . Hydrograph routing. In: Schulze RE (ed.) Hydrology and Agrohydrology: A Text to Accompany the ACRU 3.00 Agrohydrological Modelling System. WRC Report No TT 69/95. Water Research Commission, Pretoria, RSA. AT13-1 - AT13-16.
- Stephenson D, 1979. Direct optimization of Muskingum routing coefficients. J Hydrol 41: 161–165.
- Straub TD, Melching CS and Kohler EK, 2000 . Equations for estimating Clark unit-hydrograph parameters for small watersheds in Illinois: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4184.
- Tung YK, 1985. River flood routing by non-linear Muskingum method. J Hydraul Eng 111 (12) 1447-1460.
- US Army Corp of Engineers. 1994. Engineering Design and Flood-Runoff Analysis. Washington DC, USA.
- Viessman W, Lewis GL and Knapp JW, 1989. Introduction to Hydrology. Harper and Row, New York, USA.
- Wilson EM, 1990. Engineering Hydrology. MacMillan, Hong Kong, China.
- Wu JS, King EL and Wang M, 1985. Optimal identification of Muskingum routing coefficients. Water Resour Bull 21(3), 417–421.
- Yoon J and Padmanabhan G, 1993. Parameter estimation of linear and nonlinear Muskingum models. J Water Resour Plng Mgmt Div 119(5): 600–610.