

مقاله پژوهشی

ارائه رابطه‌ای جدید برای تعیین دبی مرجع در روندیابی به روش ماسکینگام - کونژ (مطالعه موردی: رودخانه دینه‌ور، استان کرمانشاه) جواد سروریان*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۶

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ایلام

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: j.sarvarian@gmail.com

چکیده

به منظور پیش‌بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج سیل نسبت به زمان از روش‌های روندیابی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای روندیابی سیل وجود دارند که به دو دسته کلی روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی تقسیم می‌شوند. از بین روش‌های هیدرولوژیکی، روش ماسکینگام - کونژ به علت عدم نیاز به هیدروگراف خروجی برای کالیبراسیون، دارای کاربرد فراوانی است. دقت این روش بستگی به انتخاب دبی مرجع و انتخاب پارامترهای هندسی منظور شده برای بازه روندیابی دارد. در این مطالعه، رابطه‌ای جدید برای محاسبه دبی مرجع بر اساس مقایسه نتایج روش ماسکینگام - کونژ و مدل هیدرودینامیکی MIKE11 در بازه مطالعاتی رودخانه دینه‌ور در استان کرمانشاه ارائه گردید و با روابط دیگر محققین مقایسه شد. نتایج حاصل از کاربرد این رابطه برای روندیابی به روش ماسکینگام - کونژ بیانگر آن بود که هیدروگراف خروجی از مدل ماسکینگام - کونژ مطابقت بسیار خوبی با هیدروگراف خروجی از مدل MIKE11 دارد، بطوری که برای هیدروگراف سیلاب ۲۰۰ ساله، مقادیر معیارهای سنجش RMSE و E به ترتیب، برابر با $1/64$ و $0/99$ بدست آمد. همچنین با مقایسه رابطه ارائه شده با روابط سایر محققین مشخص گردید که رابطه بدست آمده علاوه بر دبی اوج، تابعی از زمان اوج و زمان پایه هیدروگراف ورودی نیز بوده و از دقت بالاتری هم برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: دبی مرجع، رودخانه دینه‌ور، روندیابی سیل، ماسکینگام - کونژ، مدل MIKE11

A New Approach to Determine Reference Discharge for Muskingum- Cunge Routing Method (Case Study: Dinehvar River, Kermanshah Province)

Javad Sarvarian^{1*}

Received: June 1, 2019

Accepted: August 16, 2020

¹Assist. Prof. of Water Engineering Dept., Ilam University, Ilam, Iran

*Corresponding Author, Email: j.sarvarian@gmail.com

Abstract

In order to predict the magnitude, velocity, and form of the flood wave with respect to time, the flood routing methods are used. There are several ways to accomplish the flood routing which are divided into two general categories, including hydraulic and hydrological routing methods. Among the various hydrologic routing methods, the Muskingum- Cunge method has been applied more frequently because no need to calibration process of output hydrograph. The accuracy of this method depends on the choice of reference discharge and geometrical parameters. In this study, a new model was proposed for calculating the reference discharge based on the comparison of Muskingum- Cunge method and MIKE11 hydrodynamic model for Dinehvar River in Kermanshah Province. The results showed that the output hydrograph obtained by the proposed reference discharge was in good agreement with the output of MIKE11 model so that for the 200 years flood hydrograph, the RMSE and E criteria values were equal to $1.64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ and 0.99, respectively. Furthermore, comparison of the proposed relationship with other researcher's findings showed that the proposed relation not only was a function of the peak discharge but also was a function of peak time and base time of the input hydrograph.

Keywords: Dinehvar River, Flood routing, MIKE11 model, Muskingum- Cunge, Reference discharge

مقدمه

برای آگاهی از چگونگی حرکت و تاثیر جریان سیلاب در آبراهه‌ها، مخازن و ... و همچنین اثربخشی بیشینه طرح‌های کنترل سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیل، از مفهوم روندیابی سیلاب استفاده می‌شود. روندیابی سیلاب، یک روش ریاضی برای پیش‌بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج سیلابی به‌عنوان تابعی از زمان هنگام انتشار به سمت پایین دست رودخانه یا در طول مخزن سد می‌باشد. در روندیابی جریان، مشخصات موج در زمان و مکان تعیین می‌شوند که این مشخصات می‌توانند نقطه اوج هیدروگراف سیل یا تراز سیلابی باشند (فرید ۱۹۸۱ و لینزلی و همکاران ۱۹۸۲).

(فرانس ۱۹۸۵). اساس روش‌های هیدرولوژیکی، حل معادله پیوستگی به‌صورت متمرکز بر روی زمان بوده و در آنها به‌جای معادله مومنتوم از رابطه ذخیره- جریان در بازه استفاده می‌شود و لازم است که رابطه بین ذخیره و جریان خروجی تعریف شده باشد. روش ماسکینگام^۱ نمونه‌ای از روش‌های روندیابی متمرکز می‌باشند (نورانی و مانو ۲۰۰۷). یکی از ملزومات روش ماسکینگام، هیدروگراف دبی خروجی در بازه روندیابی می‌باشد که در بیشتر مواقع موجود نمی‌باشد. برای رفع این نقیصه، می‌توان از روش ماسکینگام- کونژ^۲ که در واقع تعمیم‌یافته روش ماسکینگام می‌باشد استفاده کرد.

محاسبات روندیابی در روش ماسکینگام- کونژ، می‌تواند به دو صورت پارامترهای ثابت^۳ و متغیر^۴

روش‌های متعددی برای انجام روندیابی رودخانه موجود می‌باشد که به دو دسته کلی روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی می‌توان تقسیم‌بندی کرد

1 Muskingum

2 Muskingum - Cunge

3 CPMC

4 VPMC

در رودخانه مودجار در الجزایر تعیین نمودند. بدین منظور از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که تاثیر پارامترهای ورودی مانند X و K بر روی هیدروگراف خروجی بسیار معنی دار است. همچنین روش ماسکینگام معمولی نسبت به تغییر پارامترهای ورودی، حساس تر از روش ماسکینگام-کونژ می باشد.

یکی از پارامترهای تعیین کننده و موثر در روش ماسکینگام-کونژ با پارامترهای ثابت، دبی مرجع^۵ می باشد. دبی مرجع، در واقع نماینده تمامی دبی های هیدروگراف ورودی در هر بازه مکانی Δx می باشد که پارامترهای روش ماسکینگام-کونژ براساس آن تعیین می گردند. با تغییر دبی مرجع، نتیجه روندیابی جریان نیز متفاوت خواهد بود و چه بسا منجر به نتایج روندیابی ناصحیح نیز بشود.

ویلسون و روفینی (۱۹۸۸) رابطه زیر را برای تعیین دبی مرجع ارائه کردند:

$$Q_{ref} = (Q_I)_{min} + 0.5[(Q_I)_{max} - (Q_I)_{min}] \quad [1]$$

که در آن، $(Q_I)_{min}$ و $(Q_I)_{max}$ به ترتیب کمینه و بیشینه دبی هیدروگراف ورودی می باشند.

پانس و چاگانتی (۱۹۹۴)، میزان دبی مرجع را بر اساس رابطه زیر محاسبه کردند:

$$Q_{ref} = \frac{[(Q_I)_{max} - (Q_I)_{min}]}{2} \quad [2]$$

همچنین آکان (۲۰۰۶) رابطه زیر را بر اساس تعداد عرض های هیدروگراف ورودی سیل (n) ارائه داد:

$$Q_{ref} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \quad [3]$$

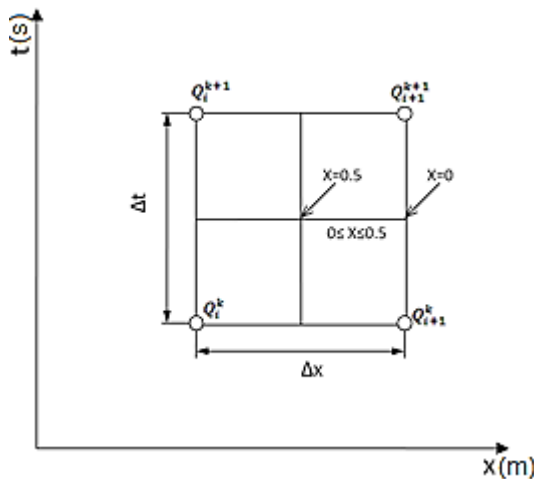
هدف از تحقیق حاضر، ارائه رابطه ای چند متغیره برای تعیین دبی مرجع و بر مبنای مشخصات هیدروگراف ورودی به بازه مطالعاتی می باشد بطوری که با استفاده از این رابطه و بکارگیری روش ماسکینگام-کونژ بتوان روندیابی هیدروگراف خروجی از یک بازه رودخانه را با دقت بالایی انجام داد. سپس

انجام شود. در روش پارامترهای ثابت دبی ثابت بوده و پارامترهای روندیابی در تمام مراحل تغییری نمی کنند. مطالعات قبلی بیانگر آن است که در روش پارامترهای ثابت، بقای حجم حفظ خواهد شد. در تحقیقی که توسط صمیمی و همکاران (۲۰۰۹) انجام شد، کارایی و دقت روش ها و شماهای محاسباتی روش ماسکینگام-کونژ اعم از ثابت و متغیر توسط داده های سیلاب رودخانه کارون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که بیشترین درصد بقای جرم مربوط به روش پارامترهای ثابت می باشد و خطای این روش در محاسبه هیدروگراف سیلاب خروجی رودخانه کارون تفاوت قابل ملاحظه ای با روش پارامترهای متغیر ندارد.

اولادغفاری و همکاران (۲۰۱۰) روندیابی هیدرولیکی با استفاده از روش تفاضلات محدود ۴ نقطه ای را با روندیابی هیدرولوژیکی خطی و غیرخطی ماسکینگام بر روی رودخانه ليقوان چای مقایسه نمودند. نتایج حاکی از آن بود که هیدروگراف های خروجی بدست آمده از روندیابی هیدرولیکی به روش موج دینامیک سازگاری و تطبیق بیشتری با هیدروگراف خروجی مشاهداتی در مقایسه با روشهای هیدرولوژیکی ماسکینگام دارند.

پرومال و ساھو (۲۰۱۲) مقایسه ای بین روندیابی به ماسکینگام-کونژ با پارامترهای متغیر و روش ماسکینگام معمولی انجام دادند در این راستا از یک هیدروگراف ورودی فرضی به کانالهایی با مقاطع نوزنقه ای و مستطیلی به طول ۴۰ (کیلومتر) استفاده گردید و نتایج هر دو روش با مدل مبنایی مبتنی بر معادلات سنت و نانت مقایسه گردید. نتایج حاصله بیانگر آن بود که هیدروگراف خروجی مدل ماسکینگام معمولی دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ماسکینگام-کونژ می باشد.

لاچریا و همکاران (۲۰۱۸) پارامترهای روش ماسکینگام-کونژ را برای تخمین عمق جریان سیلاب



شکل ۱- سلول محاسباتی برای حل عددی مساله روندیابی موج سینماتیک.

با حل معادله فوق برای Q_{i+1}^{k+1} ، معادله زیر حاصل

شد:

$$Q_{i+1}^{k+1} = C_0 Q_i^{k+1} + C_1 Q_i^k + C_2 Q_{i+1}^k \quad [9]$$

روش مورد استفاده در مطالعه حاضر برای روندیابی به روش ماسکینگام- کونژ، حالتی اصلاح شده از این روش است که توسط پانس (۱۹۸۹) ارائه شد. در این روش ضرایب رابطه ۹ به شرح زیر به دست آمدند:

$$C_0 = \frac{-1 + C_n + D}{1 + C_n + D}$$

$$C_1 = \frac{1 + C_n - D}{1 + C_n + D} \quad [10]$$

$$C_2 = \frac{1 - C_n + D}{1 + C_n + D}$$

در این رابطه، مقادیر Q دبی و اندیس i و k به ترتیب نشان دهنده زمان و مکان می باشند. همچنین مقادیر D (عدد رینولدز شبکه) و C_n (عدد کورانت) در روابط فوق از معادلات زیر تعیین شدند (پانس ۱۹۸۹):

$$D = \frac{Q_{ref}}{S_0 c_k \Delta x T} \quad [11]$$

$$C_n = c_k \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad [12]$$

در روابط فوق، Q_{ref} دبی مرجع ($m^3 s^{-1}$)، S_0 شیب طولی کانال، c_k سرعت موج سینماتیک (ms^{-1})، Δx طول بازه مکانی (m)، T عرض فوقانی جریان (m) و Δt اندازه بازه زمانی (s) می باشد. برای تعیین مقادیر C_n و D

از این رابطه برای روندیابی جریان با هیدروگراف های ورودی متفاوت به رودخانه دینه ور در استان کرمانشاه استفاده می گردد.

مواد و روش ها

در روش ماسکینگام- کونژ، ضرایب X و K ، به عنوان تابعی از مشخصات معلوم جریان و خصوصیات هندسی مجرای جریان تعریف می شوند، به طوری که مقدار پخشیدگی عددی بر میزان پخشیدگی فیزیکی موجود منطبق شود (کانژ ۱۹۶۹).

تجزیه و تحلیل جریان غیرماندگار در حالت کلی توسط معادلات سنت و نانت^۶ انجام می شود. معادلات سنت و نانت در حالت یک بعدی متشکل از دو معادله (شامل پیوستگی و اندازه حرکت) است که در مجاری روباز در حالت یک بعدی به صورت زیر است:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad [4]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad [5]$$

در معادلات فوق، Q دبی جریان ($m^3 s^{-1}$)، x بعد طولی (m)، A سطح مقطع جریان (m^2)، t زمان (s)، V سرعت متوسط در جهت x (ms^{-1})، y عمق آب (m)، g شتاب ثقل (ms^{-2})، S_0 شیب طولی بستر و S_f شیب خط انرژی یا گرادیان هیدرولیکی می باشد.

معادله روندیابی موج سینماتیک، با حذف جملات اینرسی و گرادیان فشار، از معادله اندازه حرکت (رابطه ۵) به صورت زیر است:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c_k \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad [6]$$

که در آن، c_k سرعت موج سینماتیک (ms^{-1}) می باشد و بصورت زیر بدست آمد:

$$c_k = \frac{dQ}{dA} \quad [7]$$

کانژ (۱۹۶۹) معادله ۶ را در صفحه $x-t$ به صورت زیر گسسته کرد (شکل ۱):

$$\frac{X(Q_i^{k+1} - Q_i^k) + (1-X)(Q_{i+1}^{k+1} - Q_{i+1}^k)}{\Delta t} + c_k \frac{(Q_{i+1}^k - Q_i^k) + (Q_{i+1}^{k+1} - Q_i^{k+1})}{2\Delta x} = 0 \quad [8]$$

در رودخانه‌ها و کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل که توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI^۷) تهیه گردیده است، معادلات سنت و نانت را با استفاده از روش تفاضا محدود حل کرده و مقادیر پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند دبی، عمق، سرعت و ... را با دقت بالایی تخمین می‌زند و در این تحقیق به‌عنوان معیار سنجش هیدروگراف‌های خروجی از مدل ماسکینگام-کونژ استفاده می‌گردد.

برای مقایسه هیدروگراف‌ها از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE^۸) بصورت زیر:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{n}} \quad [۱۵]$$

و راندمان مدل (E^۹) بصورت زیر (نش و ساتکلیف: ۱۹۷۰):

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{obs})^2} \quad [۱۶]$$

استفاده شد. در روابط فوق، Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل ماسکینگام-کونژ و Q_{obs} دبی خروجی مدل MIKE11 می‌باشد. زمانی که شاخص RMSE کمترین مقدار (نزدیک به صفر) و شاخص E نزدیک به یک باشد، هیدروگراف‌های مدل ماسکینگام-کونژ و MIKE11 بیشترین انطباق را با یکدیگر دارند و از این طریق دبی مرجع برای آن هیدروگراف تعیین می‌گردد. در نهایت، با استفاده از روش رگرسیون چندگانه، رابطه‌ای ارائه شد که با استفاده از آن بتوان مقدار دبی مرجع را براساس مشخصات هیدروگراف‌های ورودی (دبی اوج، زمان اوج و زمان پایه هیدروگراف) تعیین کرد.

منطقه مورد مطالعه

از آنجا که در این تحقیق رابطه‌ای عمومی برای تعیین دبی مرجع ارائه می‌شود بنابراین، بازه مطالعاتی به‌گونه‌ای انتخاب شد که بتواند محدوده وسیعی از تغییرات شیب، عرض، عمق و هندسه جریان را شامل

بایستی مقادیر c_k و T مشخص باشند که برای یک رودخانه طبیعی از روش ارائه شده توسط کیم و جون (۲۰۱۰) استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا برای ترازهای مختلف سطح آب در یک مقطع جریان، سطح مقطع و شعاع هیدرولیکی محاسبه شده و سپس با داشتن شیب طولی آبراهه و ضریب زبری، مقادیر دبی و عمق جریان متناظر با هر سطح مقطع و شعاع هیدرولیکی توسط معادله مانینگ تعیین می‌گردد. این فرآیند برای چندین سطح مقطع در طول بازه انجام گرفته و در نهایت بر اساس روابط $Q = \alpha A^\beta$ و $A = \gamma y^\lambda$ و با آنالیز رگرسیون از داده‌های عمق، سطح مقطع و دبی جریان ضرایب α ، β ، γ و λ به‌دست آمد. پس از تعیین ضرایب مذکور، مقدار سرعت موج سینماتیک و عرض فوقانی جریان با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \alpha \beta A^{(\beta-1)} \quad [۱۳]$$

$$T = \frac{dA}{dy} = \gamma \lambda y^{\lambda-1} \quad [۱۴]$$

برای تعیین ضرایب α ، β ، γ و λ براساس روش فوق، برنامه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB تحت عنوان "برنامه ضرایب بازه" نوشته و اجرا شد.

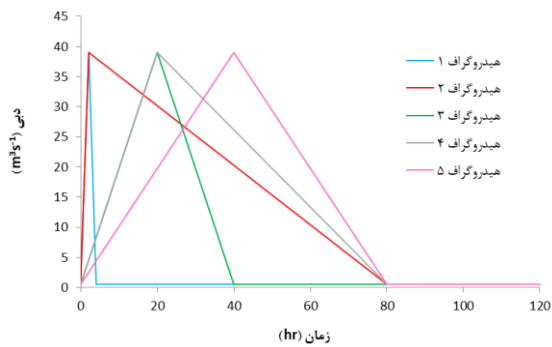
پارامتر دیگری که در روابط ۱۱ و ۱۲ بایستی مشخص گردد، دبی مرجع است. برای تعیین این پارامتر برنامه‌ای در محیط نرم‌افزار MATLAB برای روندیابی به روش ماسکینگام-کونژ تهیه شد که در آن هیدروگراف خروجی از بازه یک رودخانه به‌ازای مشخصات هندسی و هیدروگراف ورودی معلوم و همچنین دبی‌های مرجع مختلف تعیین می‌گردد.

برای صحت‌سنجی هیدروگراف‌های خروجی از مدل ماسکینگام-کونژ، نتایج مدل تهیه شده با خروجی مدل هیدرودینامیکی MIKE11 مقایسه شد و هیدروگرافی که بیشترین تطابق با هیدروگراف خروجی از مدل MIKE11 را داشت به‌عنوان دبی مرجع نهایی انتخاب گردید. مدل یک‌بعدی MIKE11 برای شبیه‌سازی جریان آب و رسوب و همچنین کیفیت آب بصورت غیرماندگار

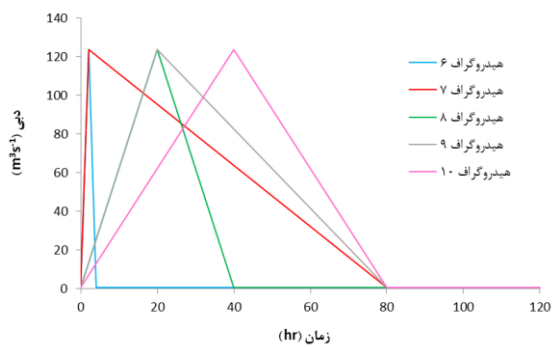
7 Danish Hydraulic Institute

8 Root Mean Square Error

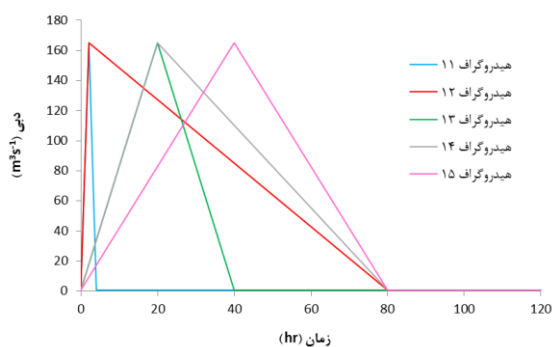
9 Model efficiency coefficient



شکل ۳- مجموعه اول هیدروگراف‌های ورودی به بازه مطالعاتی (دوره بازگشت ۲ ساله).



شکل ۴- مجموعه اول هیدروگراف‌های ورودی به بازه مطالعاتی (دوره بازگشت ۲۵ ساله).



شکل ۵- مجموعه اول هیدروگراف‌های ورودی به بازه مطالعاتی (دوره بازگشت ۱۰۰ ساله).

نتایج و بحث

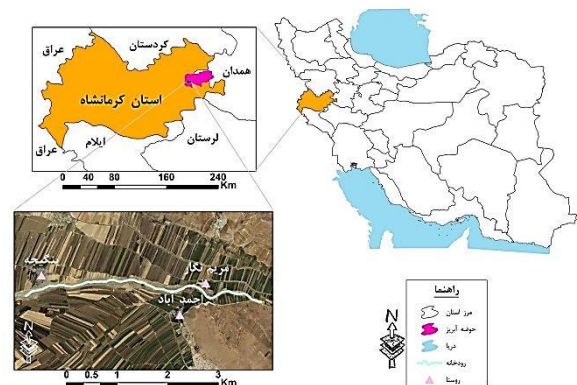
در جدول ۱، مقادیر محاسبه شده ضرایب روابط ۱۳ و ۱۴ ارائه گردیده است. همچنین شیب طولی بازه نیز ۰/۰۰۷ منظور شده است.

جدول ۱- مقادیر تخمین زده شده ضرایب روابط ۱۳ و ۱۴.

α	β	λ	γ
۱/۱۲۶	۱/۱۸۲	۲۰/۹۴	۱/۵۵

گردد. این محدوده بازه‌ای از رودخانه دینه‌ور (یکی از سرشاخه‌های رودخانه گاماسیاب) در استان کرمانشاه می‌باشد (شکل ۲).

ابتدای بازه دارای طول جغرافیایی " ۴۰' ۳۱' ۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۵۸' ۳۴' ۳۴° شمالی است که پس از طی مسافت ۵ کیلومتری به سمت غرب و عبور از جوار روستای مریم‌نگار، به انتهای بازه در طول جغرافیایی " ۳۷' ۲۸' ۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی " ۰۵' ۳۵' ۳۴° شمالی ختم می‌شود.



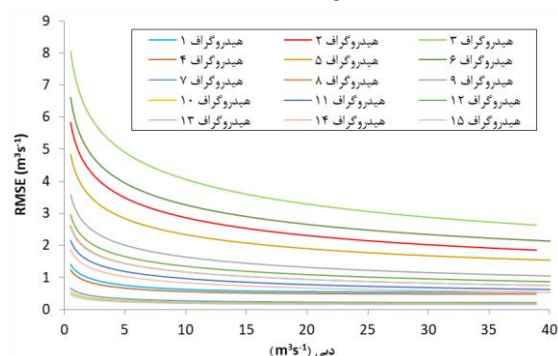
شکل ۲- محدوده مطالعاتی رودخانه دینه‌ور.

هیدروگراف‌های ورودی

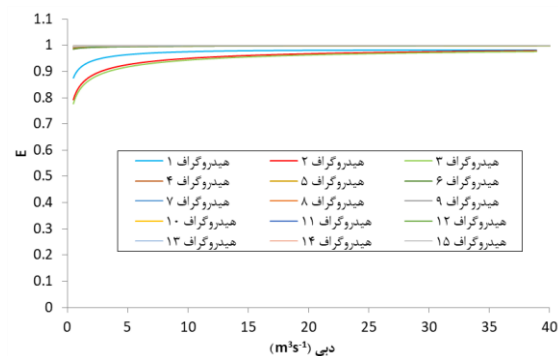
با توجه به دانش کنونی ما، هرچه هیدروگراف‌های ورودی از تنوع بیشتری برخوردار باشند، رابطه بدست آمده برای تخمین دبی مرجع دقیق‌تر می‌شود. سه مولفه‌ای که تعیین کننده شکل و درجه تاثیر هیدروگراف هستند، عبارتند از: دبی اوج (Q_p)، زمان رسیدن به اوج (T_p) و زمان پایه هیدروگراف (T_b). با تغییر این سه پارامتر به دلخواه، می‌توان هیدروگراف‌های خروجی متفاوت و متنوعی تهیه کرد. در شکل‌های ۲ تا ۵ هیدروگراف‌های مثلثی ورودی به بازه مطالعاتی برای سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۲۵ و ۱۰۰ ساله نشان داده شده است.

شکل‌های ۶ و ۷، نمودار مقادیر RMSE و E را به

ازای تغییرات دبی مرجع نشان می‌دهد.



شکل ۶- تغییرات RMSE به ازای دبی‌های مختلف.

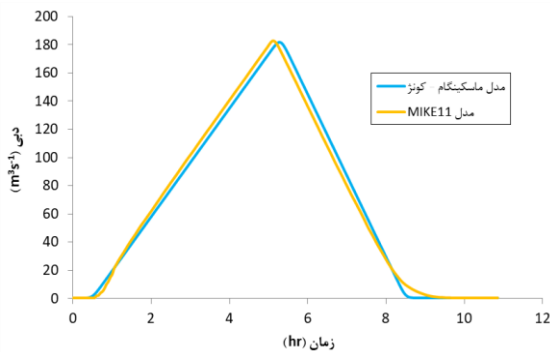


جدول ۲- نتایج حاصل از مقایسه نتایج مدل ماسکینگام- کونژ و خروجی مدل MIKE11.

شماره هیدروگراف	مشخصات هیدروگراف‌های ورودی			دبی مرجع انتخابی (m^3s^{-1})	RMSE (m^3s^{-1})	E
	دبی بیشینه (m^3s^{-1})	زمان رسیدن به اوج (hr)	زمان پایه (hr)			
۱	۳۹	۲	۴	۳۰/۴	-/۰۵۴۲	-/۰۹۸۱۵۹
۲	۱۲۴	۲	۴	۱۲۴	۱/۳۲۲	-/۰۹۸۹۳۸
۳	۱۶۵	۲	۴	۱۶۵	۱/۶۳۵	-/۰۹۹۰۸۳
۴	۳۹	۲	۸۰	۳۴/۳	-/۰۴۸۱	-/۰۹۹۸۶
۵	۱۲۴	۲	۸۰	۱۲۴	۱/۱۶۴	-/۰۹۹۹۲
۶	۱۶۵	۲	۸۰	۱۶۵	۱/۴۲۹	-/۰۹۹۹۳۲
۷	۳۹	۲۰	۴۰	۳۸/۹	-/۰۲۱۲	-/۰۹۹۹۶۴
۸	۱۲۴	۲۰	۴۰	۱۲۴	-/۰۵۴۴	-/۰۹۹۹۷۷
۹	۱۶۵	۲۰	۴۰	۱۶۵	-/۰۶۷	-/۰۹۹۹۸
۱۰	۳۹	۲۰	۸۰	۳۸/۹	-/۰۱۸	-/۰۹۹۹۸
۱۱	۱۲۴	۲۰	۸۰	۱۲۴	-/۰۴۶۴	-/۰۹۹۹۸۷
۱۲	۱۶۵	۲۰	۸۰	۱۶۵	-/۰۵۷۳	-/۰۹۹۹۸۹
۱۳	۳۹	۴۰	۸۰	۳۸/۹	-/۰۱۵۳	-/۰۹۹۹۸۶
۱۴	۱۲۴	۴۰	۸۰	۱۲۴	-/۰۳۹۳	-/۰۹۹۹۹۱
۱۵	۱۶۵	۴۰	۸۰	۱۶۵	-/۰۴۸۵	-/۰۹۹۹۹۲

شکل ۷- تغییرات E به ازای دبی‌های مختلف.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی مرجع، مقدار RMSE کاهش می‌یابد و مقدار E به ۱ متمایل شده است. این امر بیانگر آنست که هرچه دبی مرجع به دبی اوج هیدروگراف ورودی نزدیکتر باشد، نتایج مدل ماسکینگام- کونژ تطابق بیشتری با مدل هیدرودینامیکی MIKE11 خواهد داشت. پس از یک دبی خاص، مقادیر پارامترهای فوق تقریباً ثابت و بدون تغییر باقی مانده‌اند. نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول، مشخصات هیدروگراف‌های ورودی نیز آورده شده است.



شکل ۸- مقایسه هیدروگراف خروجی از مدل MIKE11 و مدل ماسکینگام- کونژ.

نتیجه‌گیری کلی

یکی از پارامترهای تعیین‌کننده و موثر در روش ماسکینگام- کونژ با پارامترهای ثابت، دبی مرجع می‌باشد. در این نوشتار، رابطه‌ای برای تعیین دبی مرجع در روش ماسکینگام- کونژ ارائه شد (رابطه ۱۷). این رابطه، براساس بهترین تطابق بین هیدروگراف خروجی از این روش و مدل هیدرودینامیکی MIKE11 برای بازه مطالعاتی رودخانه دینه‌ور در استان کرمانشاه بدست آمد. کارایی و دقت این رابطه در روش ماسکینگام- کونژ، با استفاده از یک هیدروگراف فرضی ورودی به بازه مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بود که هیدروگراف خروجی از مدل ماسکینگام- کونژ مطابقت بسیار خوبی با هیدروگراف خروجی از مدل MIKE11 دارد بطوری که برای هیدروگراف سیلاب ۲۰۰ ساله، مقدار پارامترهای سنجش RMSE و E به ترتیب برابر با $۱/۶۴ (m^3s^{-1})$ و $۰/۹۹$ بدست آمد. همچنین با مقایسه رابطه دبی مرجع تحقیق حاضر با سایر روابط ارائه شده در این زمینه مشخص گردید که رابطه ۱۷ علاوه بر دبی اوج هیدروگراف ورودی، زمان اوج و زمان پایه را نیز در تعیین دبی مرجع منظور می‌نماید ولی روابط دیگر محققین مانند ویلسون و روفینی، پانس و چاگانتی و آکان، تنها براساس دبی‌های هیدروگراف ورودی ارائه گردیده‌اند. همچنین، نتایج

با استفاده از مقادیر جدول فوق و با استفاده از رگرسیون چندگانه، رابطه‌ای تجربی برای تعیین دبی مرجع براساس دبی اوج، زمان اوج و زمان پایه هیدروگراف ورودی بصورت زیر تعیین گردید:

$$Q_{ref} = -5.06 + 1.02Q_p + 0.05T_p + 0.01T_b \quad [۱۷]$$

با توجه به رابطه و جدول فوق، با افزایش دبی اوج، زمان اوج و زمان پایه هیدروگراف ورودی، دبی مرجع نیز افزایش می‌یابد. برای ارزیابی رابطه فوق، از یک هیدروگراف ورودی متفاوت با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله استفاده گردید و نتیجه با روابط سایر محققین مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه عملکرد رابطه ۱۷ با سایر روابط تعیین

پارامتر	دبی مرجع		
	رابطه ویلسون	رابطه پانس	رابطه آکان
دبی مرجع (m^3s^{-1})	۹۲/۷۵	۹۲/۲۵	۹۲/۲
RMSE (m^3s^{-1})	۲/۰۸۱	۲/۰۸۵	۲/۰۸۹
E	۰/۹۹۳۹۱	۰/۹۹۳۹۳	۰/۹۹۳۹۸

همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، بر اساس معیارهای RMSE و E، رابطه ارائه شده در این مطالعه دقیق‌تر از روابط نظیر سایر محققین می‌باشد. علاوه بر این، طبق جدول ۴ و شکل ۸، مشخصات نقطه اوج و زمان پایه هیدروگراف خروجی از مدل ماسکینگام- کونژ تطابق بسیار خوبی با مدل MIKE11 دارد.

جدول ۴ - مقایسه هیدروگراف‌های خروجی از مدل

ماسکینگام- کونژ و مدل MIKE11.

هیدروگراف	دبی اوج (m^3s^{-1})	زمان اوج (hr)	زمان پایه (hr)
ورودی	۱۸۵	۴/۸	۸
ماسکینگام- کونژ	۱۸۱/۶	۵/۲	۹/۱
هیدرودینامیکی	۱۸۲/۷	۵/۱	۱۰/۳۵

بیانگر آن بود که رابطه تجربی ارائه شده در مطالعه حاضر از دقت بالاتری نسبت به بقیه روابط نامبرده شده برخوردار می‌باشد. برای ادامه این مطالعه می‌توان از روش D-Vine برای مدل‌بندی سیلاب‌ها که در کار شفائی و همکاران (۲۰۱۷) نیز استفاده شده بهره گرفت.

منابع مورد استفاده

- Akan AO, 2006. Open Channel Hydraulics. Elsevier Ltd. Oxford Burlington.
- Anonymous, 2012. Mike 11-A Modeling System for Rivers and Channels. Reference manual. Danish Hydraulic Institute (DHI). Denmark.
- Cunge JA, 1969. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). Journal of Hydraulic Research 7(2): 205-230.
- France PW, 1985. Hydrologic routing with a micro-computer. Advances in Engineering Software 7(1): 8-12.
- Fread DL, 1981. Flood routing: A synopsis of past, present and future capability. Pp. 521-541. Proceeding of International Symposium on Rainfall-Runoff Modelling. May 18-21. Mississippi State University USA.
- Kim JS and Jun KS, 2010. Estimation of Muskingum-Cunge parameters for natural streams. Journal of Korea Water Resources Association 43(2): 233-243.
- Laouacheria F, Kechida S and Chabi M, 2018. Estimation of the parameters of Muskingum methods for the prediction of the flood depth in the Moudjar river catchment. International Journal of Urban and Civil Engineering 12(10): 921-924.
- Linsley RK, Kohler MA and Paulus JLH, 1982. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill New York USA.
- Nash JE and Sutcliffe JV, 1970. River flow forecasting through conceptual models part I: A discussion of principles. Journal of Hydrology 10(3): 282-290.
- Nourani V and Mano A, 2007. Semi-Distributed flood runoff model at the sub - continental scale for south western Iran. Hydrological Processes 21(23): 3173-3180.
- Oladghaffari A, Fakhri-Fard A, Nazemi AH and Ghorbani MA, 2010. Hydraulic flood routing using dynamic wave method and comparison with linear and nonlinear hydrologic Muskingum routing methods (Case study: Lighvan-Chai). Water and Soil Science - University of Tabriz 20(3): 47-60 (In Persian with English abstract).
- Perumal M, and Sahoo B, 2012. Comparison of variable parameter Muskingum-Cunge and variable parameter McCarthy-Muskingum routing methods. Pp. 1270-1279. In World Environmental and Water Resources Congress. May 20-24. New Mexico United States.
- Ponce VM, 1989. Engineering Hydrology, Principles and Practices. Prentice Hall Englewood Cliffs New Jersey USA.
- Ponce VM and Chaganti PV, 1994. Variable parameter Muskingum- Cunge method revisited. Journal of Hydrology 162(3-4): 433-439.
- Samimi M, Kouchakzadeh S and Parvaresh-Rizi A, 2009. Comparison of field application of Muskingum-Cunge based schemes in rivers. Journal of Range and Watershed Management 62(1): 81-98 (In Persian with English abstract).
- Shafaei M, Fakhri-Fard A, Dinpashoh Y, Mirabbasi R and De Michele C, 2017. Modeling flood event characteristics using D-vine structures. Theoretical and Applied Climatology 130(3-4): 713-724.
- Wilson BN and Ruffini JR, 1988. Comparison of physically-based Muskingum methods. Transactions of the ASAE 31(1): 91-97.