



Comparison of Spatial Scaling of Peak Discharge in Caspian Sea Basins and Karkheh River Basin

M. Rahimi^{1*}, R. Modarres², and S. Soltani³

Abstract

The relationship between peak flood and watershed area has always been used for prediction at ungaged basins. In a region with homogenous hydrologic response, this relationship changes with a similar ratio which is called simple scaling. If this ratio changes, it would result in multiscaling relationship between peak floods and watershed area and therefore, basin area cannot be used for flood discharge estimation at ungaged basin alone. Therefore, it is necessary to evaluate this before developing regional flood model. This study investigates the spatial scale method in two Caspian Sea Basin and Karkheh River Basin and then compares the results of two basins. To this end, peak discharge for the 46 hydrometric stations in the Caspian Basin and 24 stations in the Karkheh Basin have been selected. These stations have similar hydrological behavior among the stations in their basin. The statistical method of the spatial scale at these stations was performed using the probability weight moments of annual peak discharge and area covered by each station. The results showed that in the Caspian Sea basin the parameter of the spatial scale is simple and in the Karkheh basin the multiscaling mode of the spatial scale exists. Therefore, it can be said that for estimating the discharge in the ungaged regions for the Karkheh Basin, it is not possible to use the flood index and the discharge-area power relationship. While this is feasible in the Caspian Sea Basin.

Keywords: Spatial Scale Parameter, Peak Discharge, Probability Weight Moment, Basin Area.

Received: February 22, 2018

Accepted: February 26, 2021

مقایسه مقیاس مکانی دبی حداکثر لحظه‌ای در حوضه دریای خزر و حوضه کرخه

مصطفی رحیمی^{۱*}، رضا مدرس^۲ و سعید سلطانی^۳

چکیده

رابطه بین مساحت و دبی پیک حوضه همواره به منظور تعیین دبی در مناطق فاقد آمار مورد استفاده قرار گرفته است. در یک منطقه با پاسخ هیدرواویژیک مشابه این رابطه در حوضه‌های مختلف با نسبت برابر تغییر می‌کند. در این حالت به این نسبت مقیاس ساده گفته می‌شود. اگر تغییرات این نسبت ثابت نباشد رابطه چند مقیاسی بین دبی و مساحت وجود دارد و مساحت به تنهایی نمی‌تواند برای برآورد دبی سیل در مناطق بدون آمار مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین لازم است در توسعه مدل‌های منطقه‌ای سیل ابتدا این مسأله مورد آزمون قرار گیرد. این مطالعه به بررسی روش آماری مقیاس مکانی در دو حوضه آبخیز دریای خزر و رودخانه کرخه می‌پردازد و سپس نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه می‌کند. بدین منظور دبی حداکثر لحظه‌ای ۴۶ ایستگاه هیدرومتری در حوضه دریای خزر و ۲۴ ایستگاه در حوضه کرخه انتخاب شده است. این ایستگاه‌ها دارای رفتار هیدرولوژیک مشابه در بین ایستگاه‌های موجود در حوضه خود هستند. روش آماری مقیاس مکانی در این ایستگاه‌ها با استفاده از گشتاورهای وزنی احتمال دبی حداکثر لحظه‌ای و مساحت تحت پوشش هر ایستگاه انجام گرفت. نتایج نشان داد که در حوضه دریای خزر پارامتر مقیاس مکانی حالت ساده و در حوضه کرخه حالت چند مقیاس مکانی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که برای تخمین دبی در مناطق فاقد آمار حوضه کرخه نمی‌توان از روش شاخص سیلاب و رابطه توانی دبی-مساحت استفاده نمود در حالی که در حوضه دریای خزر این عمل امکان‌پذیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: پارامتر مقیاس مکانی، دبی حداکثر لحظه‌ای، گشتاور وزنی احتمال، مساحت حوضه.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۲/۸

1- M.Sc. Graduate of Watershed Management, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: mostafa_esfahan.us69@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Natural Resources and Center of Excellence on Risk Management and Natural Hazard, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: reza.modarres@iut.ac.ir

3- Professor, Department of Natural Resources and Center of Excellence on Risk Management and Natural Hazard, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی و عضو قطب علمی مدیریت ریسک و بلایای طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استاد دانشکده منابع طبیعی و عضو قطب علمی مدیریت ریسک و بلایای طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۰ امکان‌پذیر است.

Leopold et al (1964) اولین کسانی بودند که به تأثیر ویژگی‌های هندسی حوضه بر دبی پیک اشاره کردند و بعدها Gupta and Wymire (1989) و Rodriguez-Iturbe et al (1992) مفهوم عدم تغییر مقیاس^۴ توابع توزیع فراوانی متغیرهای هیدروژئومورفولوژیک مانند سیل را مطرح کردند. Gupta and Dawdy (1995) بیان کردند که برای بررسی این موضوع که آیا برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار استفاده از عامل مساحت به تنهایی در یک تابع نمایی قابل قبول است یا خیر روش مقیاس مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر اگر پارامتر مقیاس برای دوره‌های برگشت مختلف سیل تغییر نکند، سیل دارای خصوصیت مقیاس‌بندی مکانی ساده^۵ است. در غیر این صورت تغییرات سیل در دوره‌های برگشت مختلف دارای چند مقیاسی^۶ است.

Gupta (2004) در تحقیق خود بیان کرد که لگاریتم دبی‌های حداکثر لحظه‌ای با مقدار لگاریتمی مساحت ایستگاه تحت پوشش خود رابطه معنی‌داری دارد که این رابطه در بعضی از منحنی‌های بدست آمده با منحنی قابل انتظار تفاوت دارد. Furey and Gupta (2007) به منظور صحت‌سنجی برآورد دبی از روش تحلیل ناحیه‌ای (به ویژه سیلاب نمایه)، روش مقیاس مکانی را پیشنهاد دادند.

مقیاس‌بندی مکانی سیل توسط Yue and Gan (2009) برای ۱۰ ناحیه اقلیمی در کانادا انجام شد. آنها به این نتیجه رسیدند که با توجه به مقیاس‌بندی مکانی می‌توان از روش شاخص سیل در ۷ ناحیه از نواحی فوق استفاده کرد. در مطالعه مقیاس مکانی دبی سالانه در آمریکا، Vogel and Sankarasubramanian (2009) به این نتیجه رسیدند که دبی سالانه در همه مناطق آمریکا از مقیاس‌بندی مکانی ساده پیروی می‌کند.

در ایران گرچه مطالعات زیادی در زمینه تحلیل فراوانی سیل انجام شده است اما مطالعه‌ای که به خصوصیات مقیاس‌بندی پرداخته باشد و از قانون توان برای تحلیل تغییرات مکانی سیل استفاده کرده باشد بسیار محدود است. به عنوان مثال Nouri Geidari et al. (2013) با استفاده از قانون توان میزان دبی پیک را برای دو ایستگاه پیردان و پیشین در حوضه رودخانه سرباز برآورد کردند. Ahmadi et al. (2018) نیز نشان دادند سری ۳۰ روزه جریان تطابق خوبی با قانون توانی دارد. آنها پس از انتخاب بهترین توزیع نسبت به برآورد دبی در دوره‌های برگشت مختلف اقدام کردند. با این حال استفاده از مفهوم مقیاس‌بندی ساده در مطالعه سیل در کشور به شکل مورد نظر در این تحقیق انجام نشده است. تنها مورد قابل اشاره در تحلیل مقیاس‌بندی مکانی برای شاخص خشکسالی جریان‌های کم در شمال ایران انجام

پدیده‌های طبیعی دارای ماهیت تصادفی می‌باشند و با توجه به وابستگی سایر پدیده‌ها به طبیعت ناگزیر بایستی از علم آمار و احتمالات در تجزیه و تحلیل پدیده‌های فوق استفاده کرد. Eaton et al. (2002) در تحقیقات خود یافت که در طراحی سازه‌ها و اعمال روش‌های مدیریتی منابع آب، اطلاع از مقادیر دبی با دوره بازگشت‌های مختلف ضروری می‌باشد. Ahuja (2012) اظهار داشت که تحلیل فراوانی یکی از مفیدترین و کاربردی‌ترین روش‌های علم آمار به منظور برآورد مقادیر دبی می‌باشد که طی آن احتمال وقوع رخداد یک دبی خاص با دوره بازگشت معین بررسی می‌گردد. Farmer et al. (2014) به این نتیجه رسید که مشکل عمده در این رابطه وجود مناطق بدون آمار و یا دارای آمار کوتاه‌مدت می‌باشد که برای رفع این مشکل از تکنیک ناحیه‌ای کردن در تحلیل فراوانی سیل استفاده می‌شود.

Borujeni (2009) بیان کرد که روش‌های متعددی برای ناحیه‌ای کردن استفاده می‌شود که کاربردی‌ترین آنها روش سیلاب‌نمایه^۱ می‌باشد. Dalrymple (1960) این مطلب را عنوان کرد که در این روش برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار از دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ثبت شده و تحلیل فراوانی آنها و مساحت حوضه به‌عنوان تنها عامل فیزیوگرافی استفاده می‌شود. Fleming and Franz (1971) نیز در تحقیقات خود با استفاده از سه عامل شاخص سیلاب، دبی متوسط سیلاب و مساحت حوضه و یک رابطه رگرسیونی دبی-مساحت ارتباط بین این دو را بصورت یک تابع نمایی نمایش دادند. این تابع نمایی برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار با توجه به مساحت آن منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Cunnane (1989) در تحقیقات خود به این نتیجه رسید که تحلیل ناحیه‌ای امکان تخمین بزرگی سیلاب T ساله را در هر قسمت رودخانه واقع در یک منطقه فراهم می‌آورد که تلاشی برای برآورد سیلاب در حوضه‌های بدون آمار و بهبود تخمین ایستگاهی بوسیله داده‌های موجود در محدوده‌ی یک منطقه همگن می‌باشد. Alexander (1963) دریافتند که در تحلیل منطقه‌ای سیلاب می‌توان از شباهت در خصوصیات حوضه‌ای مختلف برای برآورد سیل در حوضه‌های دیگر در یک منطقه استفاده کرد. Potter (1987) نیز تحلیل ناحیه‌ای را بر اساس مفهوم همگنی ناحیه‌ای مطرح کرد به صورتی که توابع جریان حدی در یک منطقه دارای توزیع مشابه باشند. این تعاریف از برآورد دبی سیل در یک ناحیه بعدها با واژه مقیاس‌بندی مکانی^۲ بین محققین هیدرولوژی رواج پیدا کرد. از اولین مطالعات در خصوص مقیاس‌بندی و محاسبه پارامتر مقیاس^۳ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

همچنین نرم‌افزار ArcGIS 10 جهت تجزیه و تحلیل داده‌های رقومی استفاده شده است.

طول دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه شامل اطلاعات موجود است تا همه تغییرات در حوضه‌ها در طول زمان را شامل شود. در این مطالعه کمترین دوره آماری ۱۲ و بیشترین دوره آماری ۶۵ سال است. لازم به ذکر است ایستگاه‌هایی که دارای خرابی، سازه‌های هیدرولیکی و سدهای انحرافی، زمین‌های زراعی در بالادست حوضه و همچنین جریان غیردائمی در بالادست هستند از ادامه مطالعه حذف شدند.

۲-۳- روش آماری مقیاس مکانی

اگر i و z دو زیرحوضه باشند و A و Q نیز مساحت و دبی آنها، رابطه بین دبی-مساحت بطور کلی به صورت زیر می‌باشد (Yue and Gan, 2009):

$$E[Q_i^k(A_i)] = \left(\frac{A_i}{A_j}\right)^{k\theta} E[Q_j^k(A_j)] \quad (1)$$

که در آن $E[Q_i^k(A_i)]$ دبی حداکثر سیل مرتبط با گشتاور k ام است. مطابق با روش مقیاس مکانی اگر دبی‌های حداکثر لحظه‌ای حالت ساده باشند رابطه دبی-مساحت مانند رابطه ۱ بیان می‌شود. به عنوان مثال اگر z حوضه دارای آمار و i حوضه بدون آمار باشد رابطه ۱ را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد (Zhang et al., 2009):

$$\ln(E[Q_i^k]) = a_k + b_k \ln(A_i) \quad (2)$$

$$a_k = \ln(E[Q_j^k]), \quad b_k = k\theta \quad (3)$$

a_k و b_k شیب خط رگرسیون بین لگاریتم مساحت و لگاریتم دبی و K مرتبه گشتاور می‌باشد که در اینجا از یک تا ده تعریف می‌شود $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ اما از لحاظ تئوری می‌تواند هر عددی باشد. $K\theta$ را اصطلاحاً پارامتر مقیاس مکانی می‌نامند که باتوجه به شاخص سیلاب محاسبه می‌شود که این مقدار معادل شیب نمودار پراکنش لگاریتم طبیعی گشتاور وزنی احتمال دبی حداکثر لحظه‌ای در مقابل لگاریتم طبیعی مساحت مناطق تحت پوشش ایستگاه‌های هیدرومتری می‌باشد. سپس شیب بدست آمده را در برابر مرتبه گشتاور قرار داده و نمودار پراکنش ساخته شده را تجزیه و تحلیل کردیم که در حالت ساده مقیاس مکانی یک تابع خطی همراه با شیب صفر را نشان می‌دهد اما در حالت پیچیده مقیاس مکانی که رابطه دبی-مساحت قابل قبول نیست این مقدار نیز از حالت تابع خطی با شیب صفر تغییر می‌کند به عبارتی دیگر نمودار پراکنش شیب محاسبه شده در مقابل مرتبه گشتاور در حالت ساده باید یک خط صاف با شیب صفر باشد در غیر این صورت رابطه‌ی دبی-مساحت برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار باتوجه به روش شاخص سیلاب اعتبار خود را از دست

شده که نشان می‌دهد جریان‌های کم دارای مقیاس‌بندی ساده هستند (Modarres, 2006). در مطالعه جدید تر نیز (Boustani et al., 2019) بعد فرکتالی دبی جریان در رودخانه زاینده‌رود را بررسی کردند و آشوبناکی دبی جریان را در بعد دبی ۱۰ روزه نشان دادند.

هدف از این مطالعه تحلیل مقیاس مکانی دبی پیک سالانه در دو حوضه دریای خزر و رودخانه کرخه است. سؤال مهم این تحقیق این است که آیا برای تخمین دبی در مناطق فاقد آمار در حوضه‌های فوق می‌توان از روش سیلاب نمایه و رابطه توانی دبی-مساحت استفاده کرد؟ روش تحقیق و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق در ادامه بیان می‌شود. در ادامه نتایج بدست آمده نشان داده شده و نتیجه‌گیری در مورد نوع مقیاس‌بندی مکانی در حوضه‌های خزر و کرخه ارائه می‌گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه‌های مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریای خزر دارای کشیدگی شرقی-غربی بوده و در بین طول‌های ۴۴ تا ۵۹ درجه شرقی و عرض‌های بین ۳۵ تا ۴۰ درجه شمالی قرار گرفته است. مساحت آن ۱۷۷۰۰۰ کیلومتر مربع است. این حوضه که یکی از شش حوضه اصلی ایران می‌باشد و استان‌های مازندران و گیلان را به‌طور کامل و قسمت‌های عمده‌ای از استان‌های گلستان، اردبیل، زنجان و همچنین بخش‌هایی از استان‌های خراسان شمالی، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی را دربر می‌گیرد. حوضه آبریز رودخانه کرخه با نام اختصاری کرخه بزرگ زیر مجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. مساحت این حوضه، ۵۱۶۴۳ کیلومتر مربع و رود اصلی آن، کرخه است. حوضه آبریز کرخه بزرگ شامل بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان است.

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه به شرح ذیل می‌باشد:

- داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه‌ی آبخیز خزر و رودخانه کرخه
- مساحت بالادست هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی
- نقشه مدل ارتفاع رقومی با استفاده از ماهواره لندست

در این مطالعه به‌منظور بررسی و تحلیل داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای، محاسبه گشتاورهای وزنی احتمال، با استفاده از کدنویسی در برنامه ویژوال بیسیک در محیط نرم‌افزار Excel انجام گرفته و

حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در این ایستگاه‌ها از بدو تأسیس تاکنون گردآوری و مساحت مناطق تحت پوشش هر ایستگاه نیز بر حسب کیلومتر مربع محاسبه و ثبت شده است. N در این جدول تعداد سال آماری را نشان می‌دهد.

Table 1- Satation properties for the Caspian sea

Station code	Station	N	Area km ²
12023	ghazaghoh	38	6560
12019	arzkoose	40	1565
12001	tangrah	37	1594
11031	darkash	32	115
11033	zoalia	32	181
11035	darband	40	1023
11045	ghazan	27	17180
11051	ayrghaye	27	843
12011	gonbad	42	5310
12015	basposhte	27	134
11073	hootan	32	18718
12085	ordoogah	33	134
13013	abloo	30	1962
13029	kardkhil	37	4028
14001	shirgah	65	1759
15005	delija	27	206
15017	karesang	35	4057
16010	noushahr	33	73
16041	haratbar	32	783
16051	ranmsar	35	138
16061	shalman	36	392
16081	valiabad	28	198
16093	kalchal	22	135
17035	galinak	33	848
17039	kelaye	37	678
17041	loshan	36	44613
17057	astane	28	57880
17083	dehgolan	27	238
17201	rajaedasht	25	2445
18021	poonal	35	349
18027	kharjgil	32	279
18029	mashin	34	378
18061	pirsara	23	47
18063	kamadool	24	89
18065	taskooh	26	222
18067	shafee	23	49
18079	jabraeel	21	37
18081	nokhale	22	37.324
18091	katamjan	44	169.36
19015	yaldasht	33	5602
19031	mosagholi	32	623
19051	nir	25	258
19105	ourang	22	951
19131	pahnavar	23	1016
19135	kalir	20	444
19145	barmis	20	78

می‌دهد. رابطه دبی-مساحت را می‌توان به شکل زیر نیز بیان کرد (Yue and Wang, 2004):

$$Q_i \left(\frac{A_i}{A_j} \right) = \left(\frac{A_i}{A_j} \right)^\theta Q_j \quad (4)$$

باتوجه به روش مقیاس مکانی برای محاسبه شیب مورد نظر از رابطه ۵ استفاده می‌شود (Lima and Lall, 2010):

$$\ln(\beta_{A_i}^k) = \ln(\beta_{A_j}^k) + H \ln\left(\frac{A_i}{A_j}\right) \quad (5)$$

همانگونه که در قبل توضیح داده شد در اینجا نیز H شیب نمودار پراکنش لگاریتم طبیعی گشتاورهای وزنی احتمال دبی حداکثر لحظه‌ای در مقابل لگاریتم طبیعی مساحت مناطق تحت پوشش ایستگاه‌های هیدرومتری می‌باشد یا به عبارتی دیگر می‌توان گفت $H = b_k$. البته از لحاظ عددی این دو با یکدیگر برابر نیستند اما از نظر مفهوم هیدرولوژیکی مشترک می‌باشند و در روش مقیاس مکانی نمودار پراکنش این مقادیر با مرتبه گشتاور باید یک تابع خطی با شیب صفر باشد تا رابطه ۴ برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار صحت کافی داشته باشد. برای محاسبه β_A^k از رابطه ۶ استفاده می‌شود (Modarres, 2006):

$$\hat{\beta}_{A_j}^k = \frac{1}{k+1} \sum_{j=1}^{n-k} \frac{\binom{n-j}{k} q_{i(j)}}{\binom{n}{k+1}} \quad (6)$$

در اینجا نیز k مرتبه گشتاور، n تعداد نمونه و q داده دبی حداکثر لحظه‌ای می‌باشد. در این تحقیق برای محاسبه گشتاورهای وزنی احتمال مرتبه یک تا ده دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری از رابطه (Schaefer 1990) استفاده شده است که به شرح زیر می‌باشد:

$$a_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \left[1 - \frac{(i-.35)}{n} \right]^r \quad (7)$$

در این رابطه r برآوردگر مرتبه گشتاور می‌باشد که از لحاظ تئوری می‌تواند هر عدد مثبتی باشد ولی از لحاظ عملی مقادیر ۰ تا ۹ به خود می‌گیرد به عبارتی دیگر برای گشتاور مرتبه اول $r = 0$ و گشتاور مرتبه دوم نیز $r = 1$ و به همین ترتیب برای گشتاور یک تا ده $r = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ محاسبه می‌شود.

در ابتدا باید دبی‌های حداکثر لحظه‌ای را به ترتیب صعودی مرتب نمود تا شماره ردیف هر داده در ترتیب صعودی مشخص گردد n تعداد کل داده‌ها و i شماره ردیف هر داده x_i در ترتیب صعودی می‌باشد و a_r مقدار گشتاور وزنی احتمال مرتبه r ام می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوضه دریای خزر و حوضه رودخانه کرخه در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. تمامی داده‌های دبی

لحظه‌ای در مقابل لگاریتم طبیعی مساحت رسم شده است. بطور کلی این کلس با توجه به مکانیسم سیلاب و نوع اقلیم تا مساحت مشخصی با شیب بسیار کم افزایشی و سپس کاهش و ثابت می‌شود. این نتیجه با مطالعات قبلی مانند Gupta et al. (1994) همخوانی دارد. هرچه حوضه آبخیز از لحاظ رفتار هیدرولوژیک پایدارتر، شیب این شکل کمتر می‌شود تا جایی که می‌توان اظهار داشت ضریب تغییرات نسبت به مساحت حوضه پایدار می‌ماند. بمنظور از رفتار حوضه در واقع پاسخ هیدرولوژیک به بارش و تأثیر متغیرهای فیزیکی بر فرایند بارش رواناب در یک منطقه شامل حوضه‌های مختلف است. به عبارت دیگر فرایندهای مشابه و پاسخ مشابه می‌تواند مقیاس‌بندی ساده را بوجود آورد. در این جا با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان گفت که در حوضه دریای خزر نسبت به رودخانه کرخه ضریب تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای نسبت به مساحت تحت پوشش هر ایستگاه هیدرومتری پایدارتر می‌باشد یا به عبارتی دیگر در حوضه دریای خزر مقدار این ضریب با افزایش مساحت نوسانات کمتری دارد.

پس از محاسبه ضریب H چنانچه آنرا در مقابل رتبه گشتاورهای خطی ترسیم کنیم و تغییرات آن با افزایش رتبه گشتاورها ثابت باشد می‌توان گفت مقیاس مکانی سیل در محدوده مورد مطالعه ساده (Simple Scale) است. در این حالت می‌توان از رابطه توانی مساحت به منظور برآورد سیل در منطقه فاقد آمار استفاده کرد. شکل‌های ۳ و ۴ تغییرات H را در برابر رتبه گشتاورهای خطی برای حوضه خزر و کرخه نشان می‌دهند.

Table 2- Satation properties for the Karkheh River Basin

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های حوضه رودخانه کرخه

Station code	Station	N	Area km ²
21107	Saadoo	12	876
21127	chahar	34	1086
21139	hojatabad	18	1325
21141	Polekane	22	5040
21145	noorabad	31	590
21147	holilan	42	20863
21149	holilan	13	914
21159	tangesazin	35	26436
21161	vergach	14	210
21167	dehno	26	270
21169	kakareza	37	1130
21171	sarab	26	776
21173	kashkan	23	3670
21175	chomanjir	35	1590
21177	Afariine	39	6700
21179	Afariine	38	800
21181	bareftab	26	1108
21183	poldokht	40	9140
21185	jologir	52	39380
21189	polezal	34	600
21197	polshavor	36	349
21389	hydarabad	28	2070
21495	kalam	15	34
21954	daretang	19	166

ابتدا برای درک بهتر رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز دریای خزر و رودخانه‌ی کرخه شکل پراکنش ضریب تغییرات دبی‌های حداکثر

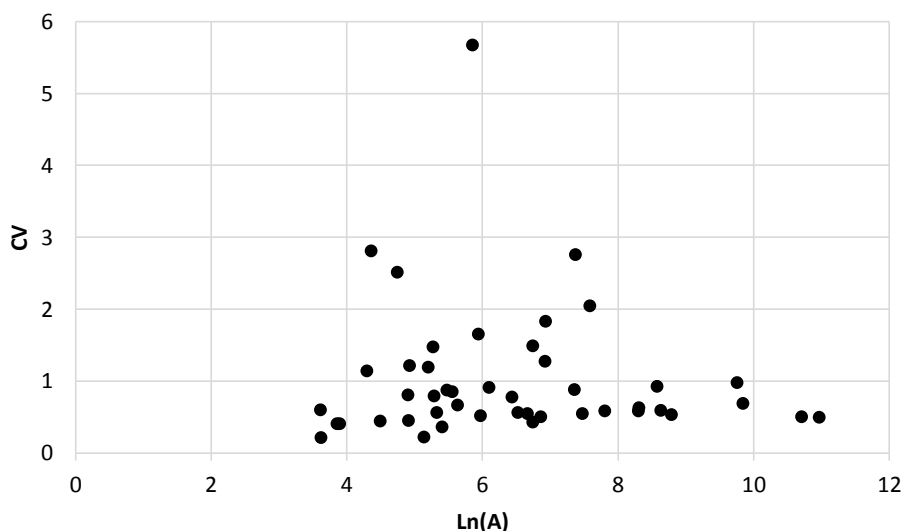


Fig. 1- Plot of coefficient of variation of annual peak discharge versus drainage area for the Caspian sea basin

شکل ۱- ضریب تغییرات در برابر مساحت حوضه دریای خزر

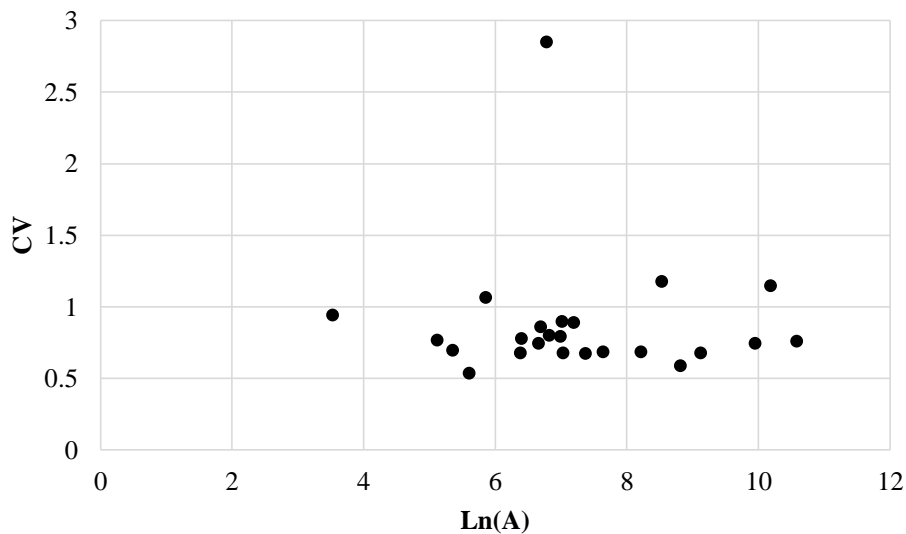


Fig. 2- Plot of coefficient of variation of annual peak discharge versus drainage area for the Karkheh River Basin

شکل ۲- ضریب تغییرات در برابر مساحت حوضه آبریز کرخه

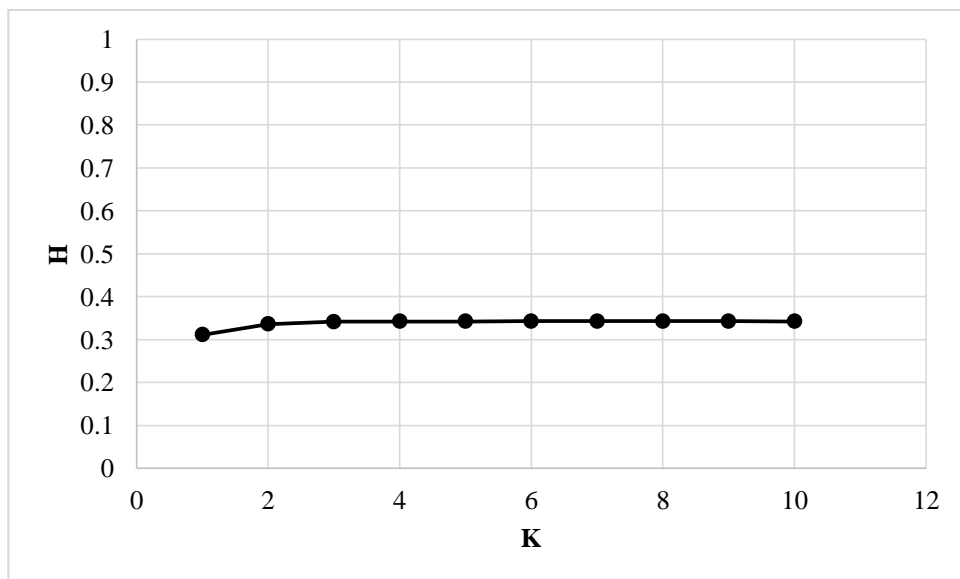


Fig. 3- Plot of scale exponent (H) versus moment order (K) of annual peak discharge for the Caspian sea basin

شکل ۳- پارامتر مقیاس مکانی (H) در مقابل مرتبه گشتاور مربوط به خود (K) حوضه آبخیز دریای خزر

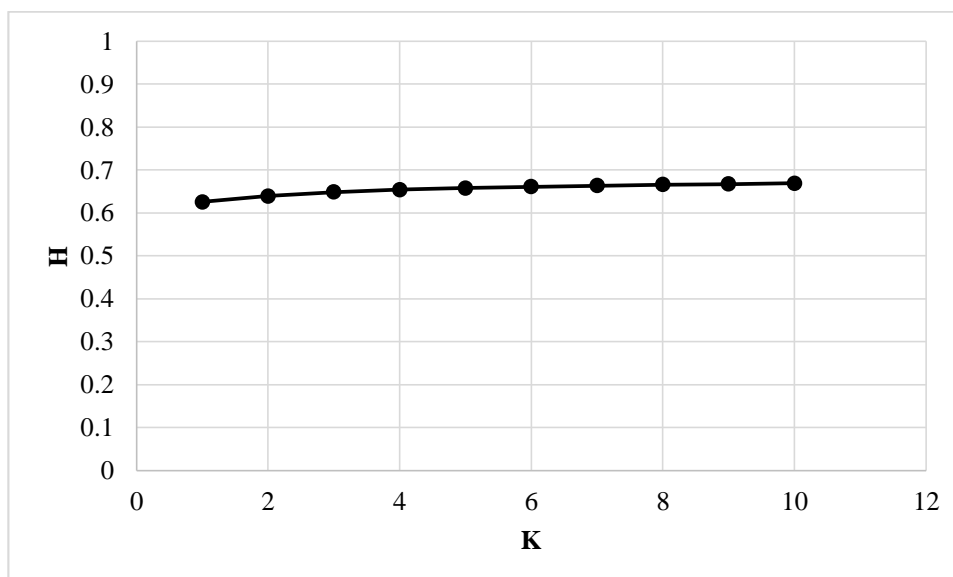


Fig. 4- Plot of scale exponent (H) versus moment order (K) of annual peak discharge for the karkheh river basin

شکل ۴- پارامتر مقیاس مکانی (H) در مقابل مرتبه گشتاور مربوط به خود (K) حوضه آبخیز رودخانه‌ی کرخه

دبی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب و غرب میانه برخلاف مناطق شرقی آمریکا نیز اشاره شده است. با توجه به مطالعه Morrison and Smith (2001)، ساختار زمانی رگبار در کنار پیچیدگی هندسی شبکه رودخانه‌ها در این حوضه می‌تواند باعث ایجاد رفتار چند مقیاسی در حوضه کرخه شده باشد.

در حوضه رودخانه کرخه همانطور که دیده می‌شود پارامتر مقیاس مکانی حالت چند مقیاسی دارد و این مطلب بدین معنی است که برای برآورد دبی در این‌گونه حوضه‌ها و مناطقی با مکانیسم سیلاب مشابه نمی‌توان از رابطه توانی دبی-مساحت استفاده نمود یا استفاده از روش سیلاب نمایه و شاخص سیلاب برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار تحت پوشش این ایستگاه‌ها یا حوضه‌هایی با مکانیسم سیلاب مشابه دارای خطا می‌باشد و باید از مدل‌های جایگزین استفاده نمود (Yue and gan, 2009).

۴- خلاصه و جمع‌بندی

برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار یا دوره آماری کوتاه مدت از روش تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده می‌شود. به بیان دیگر استفاده از رابطه‌ی توانی دبی-مساحت برای تخمین دبی پرکاربردترین روش می‌باشد. برای بررسی کارایی استفاده از این روش آماری در برآورد دبی روش مقیاس مکانی استفاده می‌شود تا صحت رابطه دبی-مساحت در حوضه بررسی گردد. در این تحقیق با استفاده از روش مقیاس مکانی دو حوضه دریای خزر و رودخانه‌ی کرخه مورد بررسی قرار گرفت و

باتوجه به شکل‌های ۳ و ۴ و مقایسه این دو شکل شرط تابع خطی با شیب صفر در شکل ۳ صحیح و پارامتر مقیاس مکانی حالت ساده در حوضه خزر می‌باشد اما در شکل ۴ تابع بوجود آمده دارای شیب ملایمی است که باتوجه به مفهوم مقیاس مکانی این داده‌ها حالت پیچیده چند مقیاس مکانی را نشان می‌دهند یا به عبارتی دیگر شرط وجود تابع خطی با شیب صفر در شکل ۴ برای حوضه کرخه برقرار نیست. از آنجا که منشأ سیل مهمترین عامل در مقیاس ساده یا چند مقیاسی است می‌توان گفت در حوضه دریای خزر بارش باران در زمستان عامل اصلی سیل می‌باشد هرچند عوامل دیگر مانند بارش در تابستان، ذوب برف در زمستان و غیره نیز باعث بوجود آمدن سیلاب‌های کوچک در این حوضه می‌گردند اما با توجه به داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه می‌توان بارش در زمستان را عامل اساسی دانست. مطابق با روش مقیاس مکانی، برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار تحت پوشش ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب در حوضه دریای خزر می‌توان از روش سیلاب نمایه و شاخص سیلاب استفاده نمود و دبی‌های برآورد شده با استفاده از رابطه توانی دبی-مساحت از اعتبار کافی برخوردار می‌باشند. در حوضه رودخانه کرخه در یک دوره زمانی عوامل گوناگونی مانند ذوب برف یا بارش روی برف باعث بوجود آمدن چند مقیاسی سیلاب می‌شوند. ضمن اینکه شبکه هیدروگرافی با ضریب زهکشی بالا نیز از عوامل مؤثر بر چند مقیاسی بودن سیل عنوان شده است. یکدست نبودن اقلیمی در حوضه کرخه از بالا دست زاگرس تا دشت خوزستان نیز از می‌تواند از دلایل چند مقیاسی بودن سیل باشد. این موضوع توسط Vogel and Sankarasubramanian (2009) برای

Ahuja S (2012) Regionalization of river basins using cluster ensemble. *Journal of Water Resource and Protection* 4:560-566

Alexander GN (1963) Using the probability of storm transposition for estimating the frequency of rare floods. *Journal of Hydrology* 1:46-57

Borujeni SC (2009) Development of L-moment based models for extreme flood events. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences* 3(2):281-296

Boustani M, Mousavi SF, Karami Hm, and Farzin S (2019) Analysis of river parameters using chaos theory-based indices. *Iran-Water Resources Research* 14(4):376-280 (In Persian)

Cunnane C (1989) Statistical distributions for flood frequency analysis. *Operational Hydrology Report (WMO)*, No: 33

Dalrymple T (1960) Flood-frequency analyses. *US Geological Survey Water Supply Paper* 543 A

Eaton B, Church M, Ham D (2002) Scaling and regionalization of flood flows in British Columbia. *Canada Hydrological Processes* 16(16):3245-63

Farmer W, Vogel R, Over T, and Kiang J (2014) Multiple regression and inverse moments improve the characterization of the spatial scaling of daily streamflows. *EGU General Assembly Conference Abstracts Vol:16, United States*

Fleming G and Franz DD (1971) Flood frequency estimating techniques for small watersheds. *Journal of the Hydraulics Division* 97(HY9):1441-1460

Furey PR and Gupta VK (2007) Diagnosing peak-discharge power laws observed in rainfall-runoff events in Goodwin Creek experimental watershed. *Advances in Water Resources* 30(11):2387-99

Goodrich DC (1997) Linearity of basin response as a function of scale in a semiarid watershed. *Water Resources Research* 33(12):2951-65

Gupta VK, Mesa OJ, and Dawdy DR (1994) Multiscaling theory of flood peaks: Regional quantile analysis. *Water Resources Research* 30(12):3405- 3421

Gupta VK, Dawdy DR (1995) Physical interpretations of regional variations in the scaling exponents of flood quantiles. *Hydrological Processes* 9(3-4):347-61

Gupta VK (2004) Emergence of statistical scaling in floods on channel networks from complex runoff dynamics. *University Of Colorado CO* 80309 19(2):357-65

Gupta VK, Ayalew TB, Mantilla R, and Krajewski WF (2015) Classical and generalized Horton laws for

نتایج حاصله نشان داد که در ایستگاه‌های انتخابی حوضه کرخه نمی‌توان از رابطه‌ی دبی-مساحت برای برآورد دبی در مناطق فاقد آمار استفاده کرد. در حوضه دریای خزر استفاده از رابطه توانی دبی-مساحت امکان‌پذیر می‌باشد و مقادیر دبی‌های برآورد شده با استفاده از شاخص سیلاب در ایستگاه‌های انتخابی این حوضه صحیح می‌باشد.

با در نظر گرفتن نبود مطالعات دقیق در خصوص کارایی تحلیل فراوانی سیل به روش شاخص سیل و روش مقیاس مکانی می‌توان پیشنهادات ذیل را در راستای مطالعات سیلاب منطقه‌ای ارائه کرد:

۱- مطالعه دقیق تغییر اقلیم و شواهدات اثرات آن بر رابطه بارش- رواناب بخصوص در حوضه کرخه برای استفاده درست از مدل‌های تحلیل منطقه‌ای سیل و کنترل پیامدهای سیلاب

۲- استفاده از روش مقیاس مکانی قبل از هرگونه مطالعه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب و بازبینی مقادیر پیش‌بینی شده در مناطق مختلف با استفاده از این روش

۳- بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی حوضه مانند شیب و نحوه شاخه‌بندی آبراه‌ها (قانون هورتون) بر مکانیسم سیلاب برای بررسی دقیق‌تر روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیلاب بنابر پیشنهادات Gupta et al. (2015)

۴- مطالعه تأثیر شدت بارش بر مقیاس‌بندی مکانی سیل برای دقیق‌تر ساختن روش‌های تحلیل منطقه‌ای سیل

با توجه به این‌که مطالعه حاضر اولین بار برای اولین بار به موضوع مقیاس‌بندی مکانی سیل و تأثیر آن بر دقت و کاربرد روش شاخص سیل می‌پردازد و از سوی دیگر با توجه به تنوع اقلیمی، تنوع کاربری و تنوع هیدروگرافی لازم است مطالعات بیشتری در این مورد در مناطق مختلف کشور انجام شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Index Flood Method
- 2- Spatial Scaling
- 3- Scale Exponent
- 4- Scale Invariance
- 5- Simple Scaling
- 6- Multi Scaling

۵- مراجع

Ahmadi F, Radmanesh F, Parham GA, and Mirabbasi Najafabadi R (2018) Flood frequency analysis using power law approach (Case study: Dez watershed). *Iran-Water Research Journal* 12(2):111-120 (In Persian)

- Potter KW (1987) Research on flood frequency analysis 1983–1986. *Reviews of Geophysics* 25(2):113-8
- Schaefer MG (1990) Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. *Water Resources Research* 26(1):119-31
- Vogel R and Sankarasubramanian A (2009) Spatial scaling properties of annual streamflow in the united States. *Hydrological Sciences Journal* 45(3):465-476
- Yue S and Wang CY (2004) Scaling of Canadian low flows. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 18(5):291-305
- Yue S and Gan TY (2009) Scaling properties of Canadian flood flows. *Hydrological Processes* 23(2):245-58
- Zhang Q, Xu CY, and Yang T (2009) Scaling properties of the runoff variations in the arid and semi-arid regions of China: A case study of the Yellow River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 23(8):1103-11
- peak flows in rainfall-runoff events. *Chaos* 25(7):075408
- Lima CH and Lall U (2010) Spatial scaling in a changing climate A hierarchical Bayesian model for non-stationary multi-site annual maximum and monthly streamflow. *Journal of Hydrology* 383(3):307-18
- Modarres R (2006) Low flow spatial scaling. *Iran-Water Resources Research* 2(3):90-92 (In Persian)
- Modarres R (2009) Low flow scaling with respect to drainage area and precipitation in northern Iran. *Journal of Hydrologic Engineering* 15(3):210-4
- Morrison JE, and Smith JA (2001) Scaling properties of flood peaks. *Extremes* 4(1):5-22
- Nouri Gheidari MH, Danko A, Shahraki M (2013) Application of power law in flood frequency analysis of Sarbaz River. *Water and Soil Science* 24(4):45-59 (In Persian)