



## Technical Note

### Comparison and Evaluation of Methods for Suspended Sediment Estimation using Data Classification (Case of Study: Doab Mark, Shirgah and Krikla Stations)

L. Gholami<sup>1\*</sup>, J. Hadi Ghoroghi<sup>2</sup>, Z. Abdollahi<sup>3</sup> and A. Khaledi Darvishan<sup>4</sup>

## Abstract

The present study compared different methods for suspended sediment estimation with data classification method as well as the observation and estimation sediments in all methods for three stations of Doab Merk, Shirgah, and Krikla which are located in totally different climatic zones. The results introduces the normal rating curve using hydroseason as the optimized model with the lowest root mean square error (700.96) in Doab Mark station. While, in the Shirgah and Krikla stations the CF<sub>2</sub> method using calendar method had better performance with root mean square error of 12074.648 and 559.73, respectively. FAO model had a low performance in all three stations for all three applied methods. Also, the comparison of estimated and observed sediment in Shirgah station using hydroclimate without data classification for the modified CF<sub>2</sub> method and in Krikla station using the normal sediment rating curve had better estimation with percents of change of -9.56% and -6.17%, respectively. While, the results showed that for Krikla station the calendar and hydroclimatic classification in modified CF<sub>2</sub> method had the best estimation with percent of change of -22.33 and -22.55%, respectively. The conclusion showed that the climate region in which the studied station is located affected the optimal models in estimating suspended sediments.

**Keywords:** Calendar Method, Combinatorial Method, Method of Climate Seasons, Sediment Concentration, Sediment and Discharge Estimation.

Received: February 18, 2016

Accepted: January 23, 2017

## یادداشت فنی

### مقایسه و ارزیابی روش‌های برآورد رسوب معلق با استفاده از دسته‌بندی داده‌ها (مطالعه موردی: ایستگاه‌های دوآب مرک، شیرگاه و کریکلا)

لیلا غلامی<sup>۱\*</sup>، جبار هادی قورقی<sup>۲</sup>، زهرا عبداللهی<sup>۳</sup> و عبدالواحد خالدی درویشان<sup>۴</sup>

## چکیده

پژوهش حاضر به منظور مقایسه کارایی روش‌های برآورد رسوب معلق در دو ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک و شیرگاه و کریکلا که به طور واضح در دو منطقه اقلیمی کاملاً متفاوت در کشور قرار دارند، انجام شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه دوآب مرک منحنی سنجه معمولی با استفاده از فصول هیدرواقلیمی با کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (۷۰۰/۹۶) به عنوان مدل بهینه معرفی گردید. در حالی که در ایستگاه‌های شیرگاه و کریکلا روش CF<sub>2</sub> اصلاحی بر اساس تقسیم‌بندی فصول تقویمی با مقدار مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب ۱۲۰۷۴/۶۴۸ و ۵۵۹/۷۳ دارای عمل کرد بهتری بوده است. اما مدل FAO در هر سه ایستگاه و با استفاده از سه روش به کار برده شده از کارایی بالایی برخوردار نبود. همچنین مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی در ایستگاه شیرگاه در دسته‌بندی هیدرواقلیمی روش CF<sub>2</sub> اصلاحی با درصد اختلاف برآورد ۹/۵۶- و در ایستگاه کریکلا در روش کلی بدون دسته‌بندی داده‌ها، روش منحنی سنجه رسوب معمولی با درصد اختلاف برآورد ۶/۱۷- بهترین برآورد را ارائه نموده است. در حالی که در در دسته‌بندی هیدرواقلیمی و تقویمی روش CF<sub>2</sub> اصلاحی در ایستگاه کریکلا به ترتیب با درصد اختلاف برآورد ۲۲/۲۳- و ۲۲/۵۵- بهترین برآورد را داشتند. جمع‌بندی نتایج نشان داد که تغییر منطقه اقلیمی بین ایستگاه مورد بررسی موجب تغییر مدل‌های بهینه برآورد رسوب معلق انتخابی شد.

**کلمات کلیدی:** تخمین دبی و رسوب، غلظت رسوب، روش فصول اقلیمی،

روش تقویمی، روش ترکیبی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۱/۴

1- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: l.gholami@sanru.ac.ir

2- Technical Expert, General Directorate of Natural Resources in Kurdistan Province, Kamyaran, Mochesh Forestry, Iran

3- Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: a.khaledi@modares.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- استادیار، گروه مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ساری، ساری، ایران

۲- کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان کردستان، کامیاران، موش

۳- دانشجوی دکتری آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ساری، ساری، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان اسفند ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

مشاهده‌ای بود. جمع‌بندی سوابق پژوهش نشان می‌دهد روابطی که تاکنون برای تعیین بار رسوب معلق به کارگرفته شده‌اند بیش‌تر بر اساس مقادیر دبی متوسط روزانه و یا کلاس‌بندی مقادیر دبی می‌باشند و به عبارت دیگر، تنها به دبی رسوب به عنوان تابعی از دبی جریان توجه داشته و عوامل دیگری چون زمان وقوع جریان و یا وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه برای دسته‌بندی داده‌ها کم‌تر در نظر گرفته شده است. بنابراین پژوهش حاضر به منظور مقایسه کارایی روش‌های برآورد رسوب معلق با لحاظ زمان وقوع جریان و وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه در دو ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک و شیرگاه و کریکلا انجام شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرک، شیرگاه و کریکلا انجام گردید و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ مشخصات ارائه شده است.

### ۲-۲- روش مطالعه

در این مطالعه داده‌های مورد استفاده شامل غلظت مواد معلق بر حسب میلی‌گرم بر لیتر گذر حجمی متناظر با آن از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی تهیه گردید. داده‌ها بر اساس شرایط خاص اقلیمی منطقه تفکیک و با استفاده از روش‌های منحنی سنج‌رسوب شامل روش ایالات متحده (USBR) (رابطه ۱)، ضریب اصلاحی فائو (حداقل مربعات به مقادیر لگاریتمی رابطه ۱ که مقدار  $a$  از تقسیم میانگین  $Q_s$  ها بر میانگین  $Q_w$  های متناظر اندازه‌گیری شده به دست می‌آید (Jones et al. (1981))، ضریب اصلاحی پارامتری  $(CF_1)$  (رابطه ۲ و ۳) و LQMLE (رابطه ۴) و غیر پارامتری  $(CF_1)$  (رابطه ۵ و ۶) و Smearing (رابطه ۷) بررسی شدند (Walling and Webb, 1981; Duan, 1983; Thomas, 1985; Koch and Asmillie, 1986).

رشد و توسعه جوامع شهری و فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در دهه‌های اخیر سبب تشدید فرآیندهای فرسایش و تولید رسوب شده است (Feiznia et al., (2002)). اهمیت رسوب معلق در مطالعات مرفولوژی رودخانه‌ها، طراحی سازه‌های کنترل رسوب و مخازن و همچنین کیفیت آب‌های سطحی و آلودگی‌ها در حوزه‌های آبخیز است (Sadeghi et al., (2012)). با توجه به ضرورت برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها، تاکنون روش‌های متعددی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که در این میان منحنی سنج رسوب یکی از معمول‌ترین آن‌هاست (Zangane et al., (2012)). Arabkhedri et al. (2004) و Mirzaei et al. (2005) بیش‌ترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا را مربوط به روش‌های FAO و USBR سالانه بیان کردند. Mosaedi et al. (2006) و Mohammadi Ostad Kalaye et al. (2007)، Zoratipour et al. (2009) نیز مدل حد وسط دسته را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل در برآورد بار معلق معرفی نمودند. از طرفی Piri et al. (2005) و Mosaedi et al. (2006) بیان داشتند که منحنی سنج بدون دسته‌بندی داده دارای بیشترین درصد خطا بود. همچنین Feiznia et al. (2011) در ایستگاه‌های باغ تنگه، نارون و گلینک، در حوزه‌های آبخیز سد لتیان و طالقان، نشان دادند که منحنی سنج حد وسط دسته‌ها مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب معلق بود. Zanganeh et al. (2011) در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه در حوضه گرگان‌رود بیان کردند که روش حدواسط دسته‌ها مناسب‌ترین روش در برآورد بار معلق بود. Hadi Ghoroghi et al. (2013) دسته‌بندی داده‌ها بر اساس شرایط آب و هوایی به فصول تقویمی و هیدرواقلمی در منطقه غرب کشور نشان دادند که دسته‌بندی داده‌ها به روش هیدرواقلمی از دقت مناسب‌تری نسبت به فصول تقویمی سال برخوردار بود. همچنین Hadi Ghoroghi and Khaledi (2015) نشان دادند که در دبی‌های کم، مقادیر برآوردی رسوب بیش‌تر و در دبی‌های بالا، مقادیر برآوردی رسوب کمتر از مقادیر

Table 1- Locations and characteristics of Doab Mark, Shirgah and Krikla hydrometric stations

جدول ۱- موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرک، شیرگاه و کریکلا

Station	River	Province	Latitude	Longitude	Elevation (m)	Area (Km <sup>2</sup> )	Statistical period	Years number of statistical period
Doab Mark	Gharasoo	Kermanshah	34° 33'	46° 74'	1310	1260	1346-1378	41
Shirgah	Talar	Mazandran	36° 17'	52° 53'	270	1768	1344-1390	46
Krikla	Alahband	Mazandran	36° 06'	52° 59'	570	524	1360-1391	30

LQMLE رسوب برآورد شده،  $L_{RC}$  رسوب برآورد شده با استفاده از منحنی سنجه یک خطی،  $S^2$  مجذور میانگین اشتباه رگرسیون،  $\varepsilon_i$  خطای برآورد،  $L_S$  رسوب برآورد شده از روش اصلاحی،  $L_{RC}$  رسوب برآورد شده از روش USBR،  $\varepsilon_i$  حداقل مربعات باقی مانده با استفاده از معادله منحنی سنجه به دست می آید.

### ۳- نتایج و بحث

جدول های ۲ تا ۴ مقایسه مقادیر رسوب برآوردی و مشاهده ای به ترتیب در ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک و نیز شیرگاه و کرکیلا را نشان می دهند.

بر اساس نتایج شاخص های مورد بررسی در ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک در استان کرمانشاه در روش دسته بندی داده ها بر اساس فصول هیدرواقليمی مدل منحنی سنجه معمولی دارای کمترین مقدار RMSE (۷۰۰/۹۶) و MAE (۱۸۲/۳۷) بوده و دارای شاخص d (۰/۶۶) و ER (۶۶/۳۷) مناسب می باشد. به این ترتیب این روش با توجه به ۴ شاخص آماری به عنوان مدل بهینه در ایستگاه دوآب مرک معرفی می گردد، اما مدل های FAO در هر سه حالت، روش کلی با RMSE (۱۷۷۱/۲۹)، MAE (۵۴۷/۷۸)، شاخص d (۰/۷۹) و ER (۳۸۹/۰۴) فصول هیدرواقليمی با RMSE (۱۹۷۵/۱۹)، MAE (۵۲۹/۷۱)، شاخص d (۰/۷۳) و ER (۲۳۷/۱۶) و فصول تقویمی با RMSE (۱۴۷۹/۲۱)، MAE (۴۹۳/۹۷)، شاخص d (۰/۷۴) و ER (۲۳۷/۲۱) نامناسب ترین مدل برای برآورد بار معلق در این ایستگاه می باشد.

جهت ارزیابی مدل بهینه، داده های متناظر دبی جریان و دبی رسوب اندازه گیری شده به دو گروه ۸۰ و ۲۰ درصد تقسیم شده و لذا رابطه های مربوط بر اساس ۸۰ درصد داده ها که به طور تصادفی انتخاب شده اند، استخراج گردیدند. سپس برای بررسی دقت این معادلات با استفاده از ۲۰ درصد باقی مانده، دبی رسوب برآورد شده و با مقادیر اندازه گیری شده بر اساس شاخص های آماری مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور مقایسه دقت معادلات از شاخص های ضریب تبیین، خطای نسبی، شاخص توافق، میانگین مربعات خطا و متوسط خطای مطلق استفاده شد (Krause et al., 2005). بر این اساس روش هایی که دارای ضرایب تبیین و کارایی و شاخص توافق بیش تر و میانگین مربعات خطا، متوسط خطای مطلق و خطای نسبی تخمین کمتری باشند به عنوان روش بهینه معرفی می شوند.

$$Q_s = Q_w^b \quad (1)$$

$$CF_1 = \exp 2.65S^2 \quad (2)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\log c_i - \overline{\log c_i})^2}{n-2} \quad (3)$$

$$LQMLE = L_{RC} \times \exp \frac{S^2}{2} \quad (4)$$

$$CF_2 = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n 10^{\varepsilon_i}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_i = \log c_i - \overline{\log c_i} \quad (6)$$

$$L_S = L_{RC} \times \frac{\sum_{i=1}^n \exp \varepsilon_i}{n} \quad (7)$$

$Q_s$  دبی رسوب بر حسب تن در روز،  $Q_w$  دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $a$  و  $b$  ضرایب منطقه ای برای معادله انتقال رسوب،  $S$  اشتباه استاندارد منحنی سنجه رسوب در لگاریتم پایه ۱۰،  $n$  تعداد نمونه ها،  $\overline{\log c_i}$  و  $\log c_i$  لگاریتم های مقادیر برآوردی و مشاهده ای،

Table 2- Comparing estimated and measured values of sediment in Doab Mark hydrometric station (ton)

جدول ۲- مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده ای در ایستگاه هیدرومتری دوآب مرک (تن)

Data analysis	Measured sediment	LQMLE	Smearing	CF <sub>1</sub>	CF <sub>2</sub>	Normal	FAO	Modified CF <sub>1</sub>	Modified CF <sub>2</sub>	ified FAO
		Sediment amount of model estimation								
Total	164108.32	105394.88	92768.12	73651.32	38731.01	85265.49	312099.62	262191.62	137878.53	39004.37
	Estimated difference (%)	-35.78	-43.47	-55.12	-76.40	-48.04	90.18	59.77	-15.98	-76.23
Hydroclimate seasons	138968.73	115762.43	101043.06	120006.18	60622.12	92942.48	281195.02	298210.96	150964.59	81254.28
	Estimated difference (%)	-16.70	-27.29	-13.65	-56.38	-33.12	102.34	114.59	8.63	-41.53
Calendar seasons	163533.56	118517.32	105080.55	136197.87	228715.14	102672.12	311967.94	313036.03	157346.51	84672.48
	Estimated difference (%)	-27.53	-35.74	-16.72	-56.27	-37.22	90.77	91.42	-3.78	-47.22
Total	a coefficient	1.24	1.09	3.07	1.62	3.56	13.03	3.07	1.62	1.11
Hydroclimate seasons	Modified coefficient	1.22	1.08	2.58	1.78	3.37	6.07	2.58	1.78	2.75
	Calendar seasons	1.23	1.08	2.42	1.57	3.27	7.72	2.42	1.57	0.89

**Table 3- Comparing estimated and measured sediment in Shirgah hydrometric station (ton)**

جدول ۳- مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه (تن)

Data analysis	Measured sediment	Sediment amount of model estimation								
		LQMLE	Smearing	CF <sub>1</sub>	CF <sub>2</sub>	Normal	FAO	Modified CF <sub>1</sub>	Modified CF <sub>2</sub>	ified FAO
Total	164108.32	1913150.32	746988.83	664105.72	291917.30	167354.33	1124984.48	4006401.56	1422242.07	648905.61
	Estimated difference (%)	-66.08	-25.66	29.67	109.41	-41.20	-91.25	-84.74	-65.29	-66.08
Hydroclimate seasons	1176488.53	1018868.53	265344.95	621317.51	907955.53	3629181.53	2608499.68	1723992.40	1603251.25	
	Estimated difference (%)	-38.28	-46.55	-86.08	-93.09	-52.37	90.38	89.29	-9.56	-1.90
Calendar seasons	1896564.48	1090646.78	947665.77	272178.212	139490.09	836183.50	39283222.43	3448390.56	1675373.19	1513003.43
	Estimated difference (%)	-42.49	-50.03	-85.65	-92.65	-55.91	107.13	81.82	-11.66	-20.22
Total	a coefficient	1.32	1.17	4.39	2.52	7.07	60.21	4.39	2.52	1.78
Hydroclimate seasons	Modified coefficient	1.31	1.16	4.24	2.46	8.72	40.04	4.33	2.43	1.54
Calendar seasons	Modified coefficient	1.31	1.16	4.24	2.46	8.72	40.04	4.24	2.46	1.455

**Table 4- Comparing estimated and measured sediment in Krikla hydrometric station (ton)**

جدول ۴- مقایسه مقدار رسوب برآوردی و مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری کریکلا (تن)

Data analysis	Measured sediment	Sediment amount of model estimation								
		LQMLE	Smearing	CF <sub>1</sub>	CF <sub>2</sub>	Normal	FAO	Modified CF <sub>1</sub>	Modified CF <sub>2</sub>	ified FAO
Total	83678.09	100374.92	98182.22	48401.07	32251.64	78512.92	494860.97	303354.54	202137.76	112866.65
	Estimated difference (%)	19.95	6.58	-42.16	-61.46	-6.17	491.39	262.53	141.57	34.88
Hydroclimate seasons	80456.01	44452.98	39294.63	12582.20	6666.24	35872.13	145767.52	112476.00	62572.25	59613.43
	Estimated difference (%)	-44.75	-51.16	-84.36	-91.71	-55.41	81.18	39.80	-22.23	-25.91
Calendar seasons	80456.01	41847.93	36933.44	12886.77	4081.60	33197.28	154003.28	113757.94	63311.02	17300.32
	Estimated difference (%)	-47.99	-54.09	-53.98	-91.20	-58.74	91.41	41.39	-22.55	-78.50
Total	a coefficient	1.29	1.15	3.80	2.61	12.90	39.93	3.80	2.61	1.60
Hydroclimate seasons	Modified coefficient	1.29	1.13	3.55	2.45	13.07	44.46	3.55	2.45	1.63
Calendar seasons	Modified coefficient	1.27	1.13	3.54	2.32	12.49	43.19	3.54	2.32	1.59

مقدار واقعی نزدیک‌تر بود، بر اساس شاخص‌ها روش معمولی CF<sub>2</sub> اصلاحی دارای RMSE (۱۴۱۵/۷۵) و MAE (۳۱۳/۲۰) کمتر بوده و دارای شاخص d (۰/۷۲) و ER (۱۳۵/۳۱) مناسب می‌باشند. با توجه به جدول ۲ مشاهده گردید که در ایستگاه دوآب مرک تمام روش‌ها به جز روش FAO و CF<sub>2</sub> مقدار رسوب برآوردی را کمتر از مشاهداتی

در حالی که روش FAO اصلاحی به عنوان یکی از ۲ روش مناسب دارای کمترین شاخص RMSE (۷۰۴/۲۴) و MAE (۱۸۲/۳۸) و هم-چنین d (۰/۶۳) و ER (۵۸/۴۸) مناسب برآورد گردید. با توجه به دسته‌بندی حالت فصول هیدرواقليمی، تمام مدل‌ها (به جز FAO و CF اصلاحی) مخصوصاً CF<sub>2</sub> اصلاحی نسبت به دیگر روش‌ها به

برآورد کردند. در ایستگاه دو آب مرک مقدار رسوب برآورده شده در روش‌های منحنی سنجه معمولی، Smearing و LQMIE (در حالت روش کلی و سال پرآب و کم آب) کمتر از مقدار مشاهده‌ای بوده و در روش‌های  $CF_1$ ،  $CF_2$ ، FAO و LQMIE (در حالت روش فصول هیدرواقليمی و فصول اصلی و روش ترکیبی) بیشتر از مقدار مشاهده‌ای بوده است که علت آن را می‌توان تغییرات میزان ضرایب و مقدار  $a$  توجیه کرد که در مواقعی که میزان ضرایب کمتر از مقدار  $a$  باشند کم تخمینی و مواقعی که بیشتر از مقدار  $a$  باشد مدل بیش تخمینی دارد.

همچنین نتایج شاخص‌های مورد بررسی در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه در استان مازندران نشان داد که در روش دسته‌بندی داده‌ها بر اساس فصول تقویمی  $CF_2$  اصلاحی دارای کم‌ترین مقدار RMSE (۱۲۰۷۴/۶۵) و MAE (۲۱۳۲/۸۴) بوده و دارای شاخص  $d$  (۰/۵۵) و ER (۲۹۵/۳۳) می‌باشد. و مدل FAO در روش کلی با RMSE (۲۶۶۸۶/۳۱) و MAE (۴۴۷۴/۰۱)، شاخص  $d$  (۰/۷۴) و ER (۱۱۳۱/۷۷) نامناسب‌ترین مدل برای برآورد بار معلق در این ایستگاه معرفی شد. علاوه بر آن با توجه به جدول ۱ در ایستگاه هیدرومتری کریکلا در استان مازندران روش اصلاحی در روش دسته‌بندی داده‌ها بر اساس فصول تقویمی دارای کم‌ترین مقدار RMSE (۵۵۹/۷۳) و MAE (۱۸۶/۱۹) بوده و دارای شاخص  $d$  (۰/۶۳) و ER (۲۴۵/۵۸) می‌باشد. مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی اول نشان داد که مقدار رسوب برآورده شده در تمامی حالات تفکیک داده‌ها (به‌جز مدل FAO و  $CF_1$  اصلاحی) کمتر از مقدار مشاهده‌ای بود (جدول‌های ۱ تا ۳).

در ایستگاه هیدرومتری شیرگاه بر اساس مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی در دسته‌بندی هیدرواقليمی و تقویمی روش‌های  $CF_2$  اصلاحی و FAO اصلاحی به‌ترتیب با درصد اختلاف برآورد ۹/۵۶- و ۱۵/۹۰- برای دسته‌بندی فصول هیدرواقليمی و ۱۱/۶۶- و ۲۰/۲۲- برای دسته‌بندی فصول تقویمی بهتر از سایر روش‌ها بودند. و در روش کلی بدون دسته‌بندی  $CF_2$  اصلاحی،  $CF_1$  اصلاحی و منحنی سنجه معمولی به‌ترتیب با درصد اختلاف برآورد ۲۵/۶۶-، ۲۹/۶۷ و ۴۱/۲۰- نتیجه بهتری را نسبت به سایر روش‌های استفاده شده ارائه دادند (جدول ۲). همچنین در ایستگاه هیدرومتری کریکلا نتایج حاصل از مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی نشان داد که در روش کلی بدون دسته‌بندی داده‌ها، روش منحنی سنجه رسوب معمولی با درصد اختلاف برآورد ۶/۱۷- بهترین برآورد را ارائه نموده است در حالی که در دسته‌بندی هیدرواقليمی و تقویمی روش  $CF_2$  اصلاحی به‌ترتیب با درصد اختلاف برآورد ۲۲/۲۳- و ۲۲/۵۵- بهترین برآورد را داشته‌اند. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، در ایستگاه

هیدرومتری کریکلا بر اساس مقایسه مقادیر رسوب مشاهده‌ای و برآوردی تمام مدل‌های حالت روش کلی (بدون دسته‌بندی داده‌ها) از عملکرد خوبی برخوردار بوده است. همچنین در این ایستگاه در مدل‌های اصلاحی  $CF_1$ ، FAO،  $CF_2$  تقسیم‌بندی داده‌ها به‌صورت فصول تقویمی و هیدرواقليمی موجب افزایش دقت برآوردها گردید، اما برای روش کلی نتیجه‌ای حاصل نشد. به‌طور کلی با مقایسه دو روش تقسیم‌بندی فصول تقویمی و هیدرواقليمی در این مطالعه، و با توجه به نزدیکی شاخص‌ها به یکدیگر ارجحیت یکی از این دو روش بر دیگری اثبات نشد ولی هر دو روش نسبت به روش کلی بدون دسته‌بندی داده‌ها عمل کرد بهتری را نشان دادند. (Piri et al. (2005) و (Mosaedi et al. (2006) در تحقیقات خود بیان داشتند که منحنی سنجه بدون دسته‌بندی داده‌ها دارای بیش‌ترین خطا می‌باشد که با نتایج ارائه شده در این تحقیق هم‌خوانی دارد. همچنین بررسی نتایج نشان داد که در دبی‌های کم، رسوب بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای و برعکس در دبی‌های بالا کم‌تر از مقدار مشاهده‌ای برآورد شد که نتایج حاصل با نتایج ارائه شده توسط Hadi Ghoroghi et al. (2013) و Hadi Ghoroghi and Khaledi Darvishan (2015) هم‌خوانی دارد.

نتایج نشان داد که در روش FAO، میزان رسوب معلق برآوردی بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای بود که با نتایج Hadi Ghoroghi and Khaledi Darvishan (2015) و Zanganeh et al. (2011) نیز مطابقت داشت. علاوه بر آن، روش منحنی سنجه بر اساس تقسیم‌بندی داده‌ها طبق فصول هیدرواقليمی در منطقه غرب کشور نتایج بهتری نسبت به فصول تقویمی ارائه داد که با نتایج تحقیق Hadi Ghoroghi et al. (2013) هم‌سو می‌باشد. همچنین جذر میانگین مربعات خطا در تمام حالت‌های دسته‌بندی داده‌ها، در روش FAO بیش‌تر از روش منحنی سنجه معمولی بوده که با نتایج محققان دیگر از جمله Arabkhedri et al. (2004) و نتایج Hadi Ghoroghi and Khaledi Darvishan (2015) مطابقت دارد. نتایج به‌دست آمده در هر سه ایستگاه نشان داد که مقدار  $a$  در رابطه (۱) کم‌تر از مقادیر ضریب در روش‌های  $CF_1$ ،  $CF_2$ ، Smearing و LQMIE بوده و این امر موجب کم‌تخمینی مقادیر رسوب برآوردی در این روش‌ها نسبت به رسوب مشاهده‌ای شد، درحالی‌که مقدار این ضریب در روش FAO بیش‌تر محاسبه شده و باعث بیش‌تخمینی مقادیر رسوب برآوردی نسبت به رسوب مشاهده‌ای گردید.

#### ۴- نتیجه گیری

Journal of Natural Resources 64(3):231-242 (In Persian)

Feiznia S, Majdabadi Farahani F, Mohseni Saravi M, Arabkhedri M (2002) Evaluation of the proper length of record for estimation of main annual sediment yield and its relation with area variation of annual sediment yield, climate, geology and vegetation cover. Journal Agriculture Science and Natural Resources 9(3):3-16 (In Persian)

Hadi Ghoroghi H, Habibnejad Roshan M, Khaledi Darvishan AV (2013) Efficiency of different data separation methods to increase the accuracy of sediment rating curve; Case Study a part of the Sefidrood watershed. The Iranian Society of Irrigation and Water 2(2):97-111 (In Persian)

Hadi Ghoroghi J, Khaledi Darvishan (2015) the estimation of suspended sediment yield models in north and west of Iran (Case of study: Gharasoo and tajan rivers). Journal of Iran Water Research 9(2):73-78 (In Persian)

Jones KR, Berney O, Carr DP, Barret EC (1981) Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper 37:271-284

Kakaei Lafdani E, Moghaddamnia A, Ahmadi A (2013) Daily suspended sediment load prediction using artificial neural networks and support vector machines. Journal of Hydrology, 478(25):50-62

Koch RW, Smillie GM (1986) Comment on "River loads underestimated by rating curves". Water Resources Research 22(13):2121-2122

Krause P, Boyle DP, Base F (2005) Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences 5:89-97

Melesse AM, Ahmad S, McClain ME, Wang X, Lim YH (2011) Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. Agricultural Water Management, 98(5):855-866

Mirzaei MR, Arabkhedri M, Feiznia S, Ahmadi H (2005) A comparison of methods of estimation of suspended sediment. Iranian Journal of Natural Resources 58(2):301-315 (In Persian)

Mohammadi Ostad Kalaye A, Mosaedi A, Heshmat Pur A (2007) Determination of the most suitable method for estimation of suspended sediment in hydrometric station of Ghazaghli over GorganRud River. Journal of agricultural science and natural resources 14(4):232-240 (In Persian)

Mosaedi A, Mohammadi Ostadkelayeh A, Najafinejad A, Yaghmaiee, F (2006) Optimization of the relations between flow discharge and suspended sediment discharge in selected hydrometric stations

در ایستگاه‌های شیرگاه و کریکلا روش  $CF_2$  اصلاحی بر اساس تقسیم‌بندی فصول تقویمی دارای عمل‌کرد بهتری بوده است. همچنین، با در نظر گرفتن ضریب اصلاحی در روش‌های  $CF_1$ ،  $CF_2$  و FAO میزان رسوب معلق برآورده شده به طور چشم‌گیری بیش‌تر از مقدار مشاهده‌ای محاسبه شد. جمع‌بندی نتایج نشان داد که تغییر منطقه اقلیمی بین ۳ ایستگاه مورد بررسی موجب تغییر مدل‌های بهینه برآورد رسوب معلق انتخابی شد. نتایج به‌دست آمده در هر سه ایستگاه نشان داد که مقدار ضریب  $a$  کم‌تر از مقادیر ضریب در روش‌های  $CF_1$ ،  $CF_2$ ، Smearing و LQMLE بوده و این امر موجب کم‌تخمینی مقادیر رسوب برآوردی در این روش‌ها نسبت به رسوب مشاهده‌ای شد، درحالی‌که مقدار این ضریب در روش FAO بیش‌تر محاسبه شده و باعث بیش‌تخمینی مقادیر رسوب برآوردی نسبت به رسوب مشاهده‌ای گردید.

#### ۵- مراجع

Arabkhedri M, Varvani J, Hakiamkhani Sh (2004) The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(3):123-131 (In Persian)

Arabkhedri M, Lai FS, Noor-Akma I, Mohamad-Roslan MK (2010) An application of adaptive cluster sampling for estimating total suspended sediment load. Journal of Hydrological Research 41(1):63-67

Bardestani S, Akbari GhH, Kivehchi M (2010) Comparison of artificial nerve network method and sediment curve method for sediment yield in Shapor river. 6<sup>th</sup> National Conference on watershed Management Engineering and Science and the 4<sup>th</sup> National Conference of Sediment and Erosion, 28 and 29 April, Iran p 91 (In Persian)

Dehghani AA, Zanganeh ME, Mosaedi A, Kohestani N (2009) Comparison of suspended sediment estimation by artificial neural network and sediment rating curve methods (Case Study: Dogh River in Golestan Province). Journal of Agricultural Sciences of Natural Resources 16(1):1-12 (In Persian)

Duan N (1983) Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. Harvard University Press, Cambridge, Mass, 456p

Feiznia S, Ghafari G, Karimizade K, Tabatabayzade M.S (2011) Determination of the most suitable method for estimation of suspended sediment in hydrometric stations upland of Latian and Taleghan dams. Journal of Natural Environment (Iranian

- Walling DE, Webb BW (1981) The reliability of suspended sediment load data, in: erosion and sediment transport (Proc. of Florence Symp. June 1981), IAHS. Public, 133:177 - 194
- Wang S, Yan Y, Li Y (2012) Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. *Catena*, 92:30-37
- Zanganeh ME, Mosaedi A, Meftah Halghi M, Dehghani AA (2011) Determination of suitable method for estimating suspended sediments discharge in arazkooose hydrometric station (Gorganroud Basin), *Journal of Water and Soil Conservation* 18(2):85-104 (In Persian)
- Zhu YM, Lu XX, Zhou Y (2007) Suspended sediment flux modeling with artificial neural network: An example of the Longchuanjiang river in the upper Yangtze catchment, China. *Geomorphology*, 84(1):111-125
- Zoratipour A, Mahdavi M, Khalighi Sigaroudi Sh, Salajegheh A, Shams Almaali N (2009) Assessment of the effect of classification on the improved estimation of suspended sediment load using hydrological methods (Case study: Taleghan Basin). *Journal of the Iranian Natural Resources* 61(4):809-819 (In Persian)
- of Gorganroud river. *Iranian Journal of Natural Resources* 59(2):331-342 (In Persian)
- Piri A, Habibnejad Roshan M, Ahmadi MZ, Solaimani K, Mosaedi A (2005) Optimization of the relationship between water and sediment discharge rates in Amameh representative watershed, Iran. *Journal of Khazar Natural Resources and Agriculture Science* 3(3):30-40 (In Persian)
- Sadeghi SHR, Kiani Harchegani M, Younesi HA (2012) Suspended sediment concentration and particle size distribution, and their relationship with heavy metal content, *Journal of Earth System Science*, 121(1):63-71
- Sadeghi SHR, Mizuyama T, Miyata S, Gomi T, Kosugi K, Fukushima T, Mizugaki S, Onda Y (2008) Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed. *Geoderma* 144:198-211
- Thomas RB (1985) Estimating total suspended sediment yield with probability sampling. *Water Resources Research* 21:1381-1388
- Ulke A, Tayfur G, Ozkul S (2009) Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz river, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(9):954-965