

خصوصیت خود پالایی و نیاز نداشتن به قطع آب برای تمیز کردن بعنوان یک گزینه کارآمد مطرح می‌باشند. همچنین متداولترین روش جداسازی رسوبات در نیروگاه‌های برق آبی و یا سیستم‌های آبیاری می‌باشد.

تحقیقات زیادی تحقیقات زیادی برای طراحی مناسب این حوضچه انجام شد (کوری و همکاران [۳]، سالاخوف [۱۰]، مشیوری [۶]، الکوایر و همکاران [۱]، کریسوستوما [۲]). پال [۹] قطر حوضچه را بصورت ۵ برابر عرض کانال ورودی پیشنهاد داد که با آزمایش‌ها تأیید شد. پال و همکاران [۱۰] دو مدل از حوضچه رسوبگیر گردابی ارائه دادند که یکی از آن‌ها جریان ساعتگرد و در دیگری پادساعتگرد ایجاد می‌کرد. ضیائی [۱۲] مدلی جدید و خودپالا از حوضچه رسوبگیر گردابی را ارائه کرد که در واقع ترکیبی از دو مدل ساعتگرد و پادساعتگرد پال و همکاران [۱۰] می‌باشد. کشاورزی و غیثی [۵] به منظور افزایش بازده حوضچه ساختار جریان درون حوضچه مدل ضیائی [۱۲] را مورد بررسی قرار داد. برای این منظور توسط دستگاه سرعت سنج ADV سرعت را در حالت پادساعتگرد جریان در ۳۸۴ نقطه و در سه بعد اندازه‌گیری کرد و در نهایت مدل با دفلکتور سراسری را پیشنهاد داد. علاوه بر این، محققانی نظیر غیثی [۴] و نیک‌نیا [۷] نیز بر روی عملکرد تک حوضچه مطالعه داشته‌اند. با توجه به تحقیقات پیشین ملاحظه می‌شود، عملکرد گروه حوضچه‌ها در هیچ مطالعه‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این تحقیق راندمان رسوبگیری و تله‌اندازی (راندمان) دو حوضچه رسوبگیر گردابی کاملاً یکسان که به صورت پیاپی به هم متصل شده‌اند، در دبی‌های مختلف ورودی به سیستم و خروجی از روزنه، مورد بررسی قرار گرفته است. حوضچه رسوبگیر استفاده شده، مدل حوضچه ضیائی [۱۲] می‌باشد که طبق پیشنهاد کشاورزی و غیثی [۵] دفلکتور سراسری به آن اضافه شده است.

### مواد و روش‌ها

پلان، مقطع طولی و مشخصات حوضچه رسوبگیر گردابی موجود در آزمایشگاه (آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشگاه شیراز) در شکل ۱ و جدول ۱ ارائه شده است تحقیق حاضر. حوضچه رسوبگیر گردابی دوم با مشخصات ساخته شد و توسط یک کانال اتصال به طول ۷۵ و ارتفاع ۷۰ سانتیمتر و شیب کف ۱:۱۰۰ از محل سرریز حوضچه اول به آن متصل شد. قطر ورق استفاده شده برای ساخت حوضچه‌ها ۳ میلیمتر و از جنس گالوانیزه بود.

## بررسی اثر اتصال پیاپی حوضچه‌های رسوبگیر گردابی بر راندمان جداسازی رسوبات

رضا پیشگیر<sup>۱</sup> و علیرضا کشاورزی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۲۳

### چکیده

در این تحقیق عملکرد دو حوضچه رسوبگیر گردابی که به صورت پیاپی به هم متصل شده‌اند، تحت تاثیر متغیرهای دبی ورودی به سیستم و دبی خروجی از روزنه مرکزی کف (دبی شستشو)، بصورت آزمایشگاهی مطالعه شده است. نتایج نشان داد که راندمان تله‌اندازی حوضچه‌ها با افزایش نسبت دبی افزایش، و با افزایش دبی ورودی به سیستم کاهش می‌یابد. استفاده از حوضچه‌های پیاپی بجای تک حوضچه میانگین راندمان را حدود ۱۵ درصد افزایش می‌دهد و راندمان حداکثر را از ۷۵ درصد به ۹۰ درصد می‌رساند. نتایج همچنین نشان داد راندمان رسوبگیری حوضچه‌ها با نسبت دبی شستشو و دبی ورودی به سیستم رابطه مستقیم دارد و استفاده از حوضچه‌های پیاپی بجای تک حوضچه موجب افزایش حدود ۱۲ درصدی در راندمان رسوبگیری شده است.

**کلید واژه‌ها:** پیاپی، جداسازی، حوضچه رسوبگیر گردابی،

راندمان

### مقدمه

یکی از روش‌های جداسازی رسوبات از جریان‌های آبیاری شده از رودخانه‌ها که حدود سه دهه اخیر توسعه یافته و بسیار مورد توجه است استفاده از حوضچه رسوبگیر گردابی<sup>۳</sup> می‌باشد. در این حوضچه از گردش جریان آب برای جداسازی بار معلق و یا بار کف کانال ورودی استفاده می‌شود. این حوضچه‌ها بدلیل داشتن مزایای مهمی چون نیاز به فضای اندک، صرف هزینه کم جهت ساخت،

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. پست الکترونیک: rezapishgar2009@gmail.com

۲- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز  
3- Vortex Settling Basin (VSB)

ذرات رسوب، سامانه تزریق رسوب و اندازه‌گیری دبی دانه‌بندی ذرات استفاده شده در تحقیق از روش الک‌های انجام شد که قطر متوسط ذرات  $0.207$  میلیمتر می‌باشد و ذرات دارای ضریب یکنواختی ( $C_u = d_{90} / d_{10} = 1.3$ ) و ضریب دانه‌بندی ( $C_c = d_{90}^2 / (d_{10} \times d_{50}) = 1.8$ ) می‌باشند. برای تزریق رسوب از سامانه تغذیه کننده رسوب با قابلیت خروج نرخ‌های کاملاً متفاوت و یکنواختی رسوب استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی خروجی از روزنه مرکزی و سرریز جانبی حوضچه‌های رسوبگیر گردابی، نیز، از سرریزهای مثلثی  $60^\circ$  درجه و عمق سنج با دقت یک میلیمتر استفاده شد. برای ایجاد امکان بین مقایسه نتایج این تحقیق و نتایج مطالعات قبلی و نیز در نظر گرفتن محدوده‌ای از جریان ورودی که با توجه به ابعاد حوضچه‌های موجود امکان آزمایش وجود داشت، سه دبی بکار رفته در این آزمایش‌ها  $12$ ،  $15$  و  $18$  لیتر بر ثانیه و نسبت‌های دبی شستشو  $10$  و  $15$  درصد می‌باشند. بنا به توصیه محققین پیشین از جمله الکوایر و همکاران [۱] و امیدی [۸] که به ترتیب مقدار  $10$  درصد و محدوده  $15-10$  درصد را برای نسبت دبی شستشو پیشنهاد کردند، دو مقدار نسبت دبی شستشو  $10$  و  $15$  درصد انتخاب گردید.

لازم به ذکر است که نسبت دبی شستشو هر یک از حوضچه‌ها  $10$  و  $15$  درصد دبی ورودی به حوضچه اول می‌باشد، بطوریکه نسبت دبی شستشو مجموع دو حوضچه  $20$  و  $30$  درصد دبی کل می‌شود. نسبت دبی شستشو

نسبت دبی شستشو عبارت است از دبی خروجی از روزنه کف به دبی ورودی حوضچه که در زیر رابطه آن نشان داده شده است.

$$q_r = \frac{q_o}{q_{in}} \quad (1)$$

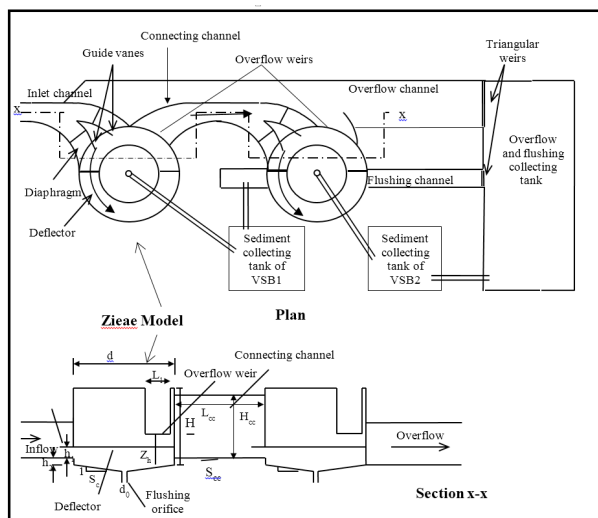
که در آن  $q_r$  نسبت دبی شستشو،  $q_o$  دبی خروجی از روزنه کف و  $q_{in}$  دبی ورودی به حوضچه می‌باشد.

راندمان رسوبگیری حوضچه رسوبگیر گردابی

راندمان رسوبگیری حوضچه رسوبگیر گردابی عبارت است از نسبت میزان رسوباتی که از روزنه مرکزی حوضچه خارج می‌شود به میزان رسوبات ورودی به حوضچه:

$$\eta_e = \frac{M_o}{M_{in}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $M_{in}$  جرم رسوبات وارد شده به حوضچه،  $M_o$  جرم رسوبات خارج شده از روزنه مرکزی حوضچه و  $\eta_e$  راندمان



شکل ۱- پلان حوضچه‌های رسوبگیر پیاپی.

Figure 1. Vortex settling basin plan

جدول ۱- جدول مشخصات، مدل ضیائی [۱۲].

Table 1. The properties of Ziaei [12] model

عرض و وضعیت دفلکتور	عرض ورودی	شیب Bed slop ( $S_c$ ) درصد	عرض سرریز جانبی weir width	ارتفاع ورودی Internal height	پائین افتادگی کف نسبت به کف کانال ورودی Elevation difference of internal canal & VSB bed	قطر روزنه تحتانی Bottom hole diameter	ارتفاع Height	قطر داخلی Internal diameter
Deflector situation	B (cm)		L1 (cm)	h1 (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	d <sub>0</sub> (cm)	(cm)	d (cm)
half , 20 cm	20	10	50	20	6	6	70	100

آن‌ها بطور متوسط ۲۰ درصد می‌باشد. مهمترین دلیل کاهش راندمان در حوضچه دوم تله‌اندازی رسوبات دارای قطر بزرگتر در حوضچه اول و ورود رسوبات ریز با سرعت سقوط کم به حوضچه دوم می‌باشد این نتیجه با نتایج امیدی [۸] است.

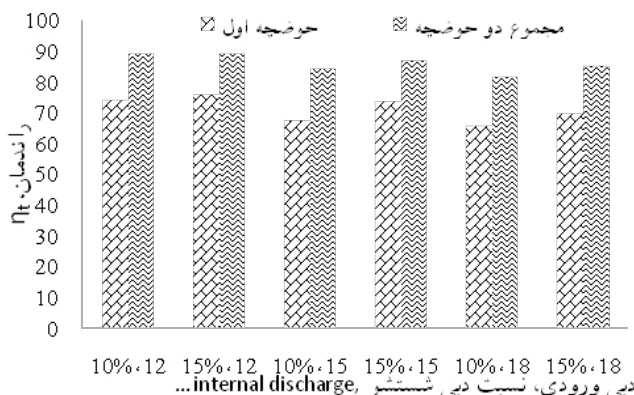
شکل ۳ که مقایسه سیستم تک حوضچه با حوضچه‌های پیاپی می‌باشد، نشان می‌دهد که اثر افزایشی نسبت دبی شستشو و اثر کاهش میزانی دبی ورودی بر راندمان هر یک از حوضچه‌ها، منجر به بروز آن‌ها در مجموع حوضچه‌ها می‌شود. مشاهده می‌شود استفاده از حوضچه دوم در کنار حوضچه اول راندمان سیستم را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. مقایسه راندمان‌های تک حوضچه با حوضچه‌های پیاپی نشان می‌دهد راندمان حوضچه‌های پیاپی بطور میانگین حدود ۸۵٪ می‌باشد، در حالیکه در استفاده از تک حوضچه راندمان بطور میانگین حدود ۷۰ درصد می‌باشد.

عملکرد حوضچه‌ها برای راندمان رسوبگیری،  $\eta_e$

بر اساس شکل ۴ افزایش نسبت دبی شستشو موجب افزایش رسوبگیری حوضچه‌ها شده است. این روند برای حوضچه دوم نیز وجود دارد. همینطور در شکل ۵ شاهد هستیم دو حوضچه در رابطه با افزایش دبی ورودی رفتاری مشابه دارند و راندمان رسوبگیری آن‌ها با دبی ورودی افزایش می‌یابد.

بر اساس شکل ۵. با افزایش نسبت دبی شستشو و افزایش دبی ورودی شاهد افزایش راندمان رسوبگیری حوضچه‌های پیاپی هستیم. در تمام آزمایش‌ها استفاده از حوضچه‌های پیاپی موجب افزایش قابل توجهی در راندمان رسوبگیری شده است. برای مثال در آزمایش‌های انجام شده حداکثر راندمان رسوبگیری حوضچه اول در دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و نسبت دبی شستشو ۱۵ درصد رخ داده و مقدار آن ۵۸/۳۷ درصد بوده است در حالیکه مقدار متناظر برای مجموع دو حوضچه ۷۰/۲۶ درصد می‌باشد.

هر اندازه سازه رسوبگیر با میزان تلفات کمتر جریان (راندمان هیدرولیکی بیشتر) رسوبات بیشتری را خارج نماید کارایی بالاتری خواهد داشت. در تمام نتایج ارائه شده در این تحقیق، افزایش نسبت دبی شستشو از ۱۰ به ۱۵ درصد تاثیر زیادی بر راندمان‌ها ندارد. بعبارت دیگر با کاهش راندمان هیدرولیکی از ۹۰ به ۸۵ درصد مقدار قابل ملاحظه‌ای



شکل ۳- مقایسه راندمان حوضچه‌های پیاپی و تک حوضچه  
Figure 3. Comparison of Series and single VSBs efficiency

حوضچه به درصد می‌باشد. قابل توجه اینکه برای محاسبه راندمان هر حوضچه میزان رسوبات وارد شده به آن حوضچه معیار محاسبه می‌باشد. برای مثال، میزان رسوباتی که از سرریز حوضچه اول خارج می‌شود به عنوان رسوبات ورودی به حوضچه دوم لحاظ می‌شود. برای محاسبه راندمان رسوبگیری مجموع حوضچه‌های پیاپی  $M_{in}$  میزان کل رسوبات وارد شده به سیستم و  $M_o$  مجموع جرم رسوبات خارج شده از روزنه‌های مرکزی حوضچه اول و دوم می‌باشد.

راندمان تله‌اندازی حوضچه رسوبگیر گردابی

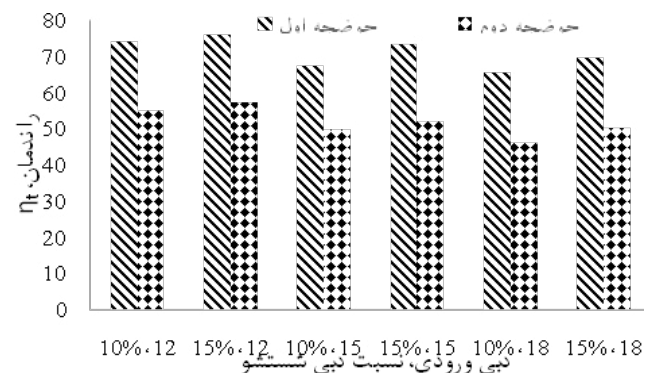
راندمان تله‌اندازی حوضچه رسوبگیر گردابی عبارت است از نسبت میزان رسوباتی که داخل حوضچه تله‌اندازی شده است (شامل رسوبات خارج شده از روزنه مرکزی و ته‌نشین شده روی کف و دفلتور حوضچه) به میزان رسوبات وارده به حوضچه:

$$\eta_t = \left( \frac{M_{in} - M_w}{M_{in}} \right) \times 100 \quad (3)$$

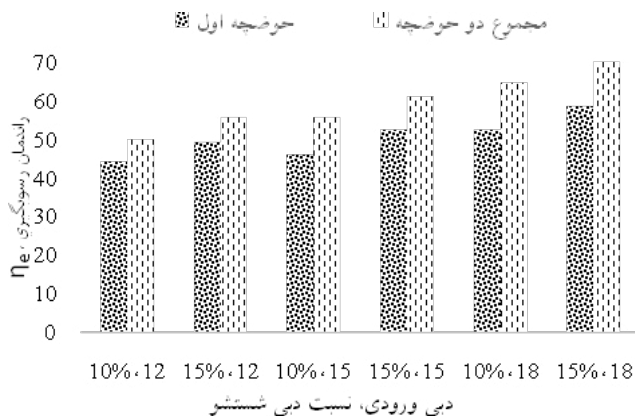
که در آن  $M_w$  جرم رسوبات تله‌اندازی شده در حوضچه و  $\eta_t$  راندمان تله‌اندازی حوضچه به درصد می‌باشد. برای محاسبه راندمان تله‌اندازی مجموع حوضچه‌های پیاپی،  $M_{in}$  میزان کل رسوبات وارد شده به سیستم و  $M_{out}$  جرم رسوبات خارج شده از سرریز حوضچه دوم (=خارج شده از سیستم) می‌باشد.

## نتایج و بحث

عملکرد حوضچه‌ها برای راندمان تله‌اندازی (راندمان)،  $\eta_t$  در شکل ۲ ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت دبی شستشو راندمان حوضچه‌ها نیز افزایش می‌یابد. این اثر در هر سه دبی ورودی مشاهده می‌شود. افزایش نسبت دبی شستشو از ۱۰ به ۱۵ درصد منجر به خروج دبی بیشتری از روزنه کف حوضچه و موجب تقویت جریان چرخشی و سوق دادن رسوبات بیشتری به سمت روزنه کف و خروج از حوضچه می‌گردد. آنچه از تاثیر افزایش دبی ورودی بر راندمان حوضچه‌ها مشاهده می‌گردد یک اثر کاهش می‌باشد. در هر دو حوضچه با افزایش دبی ورودی به حوضچه راندمان کاهش می‌یابد. مقایسه حوضچه اول و دوم نیز نشان می‌دهد، راندمان حوضچه اول از حوضچه دوم بیشتر است و اختلاف



شکل ۲- مقایسه راندمان حوضچه اول و دوم  
Figure 2. Comparison of VSB 1 & 2 efficiency



شکل ۵- راندمان رسوبگیری تک حوضچه و حوضچه‌های پیاپی  
Figure 2. Comparison of series and single VSBs removing efficiency

4. Gheisi, A.R. 1385. Investigation of vortex settling basin's flow structure to increase the efficiency, MSc Thesis, Shiraz University. (In Persian)

5. Keshavarzi A.R., and Gheisi, A.R., 2006. Three-dimensional fractal scaling of bursting events and their transition probability near the bed of vortex chamber, journal of Chaos, Solitons & Fractals, 33, 342–357.

6. Mashauri, D.A. 1986. Modeling of vortex settling chamber for primary clarification of water, PhD thesis, Tampare University of Technology.

7. Niknia, N. 1387. Study of deflector effect on Vortex settling basin's flow structure, MSc Thesis, Shiraz University. (In Persian)

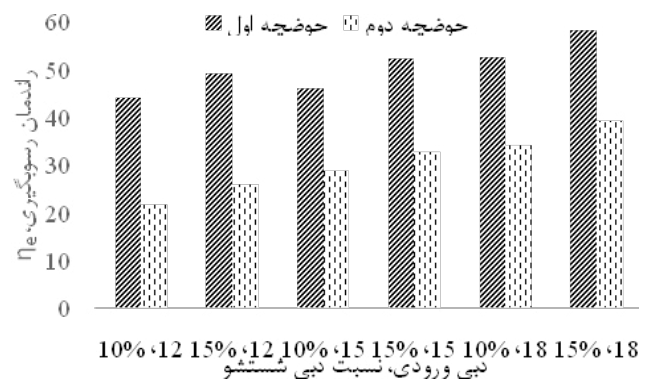
8. Omidi, A. 1387. Study the influence of sediment size and flow discharge on vortex settling basin's extraction and sedimentation efficiency, MSc Thesis, Shiraz University. (In Persian)

9. Paul, T.C. 1983. Circulation chamber sediment extractor, Report No OD 58, Hydraulics Research, Wallingford, England.

10. Paul, T.C. Sayal, S.K. Sakhanja, V.S. Dhillon, G.S. 1991. Vortex settling chamber design consideration, J. Hydraulic Eng., ASCE; 117 (2):172–89.

11. Salakhov, F.S. 1975. Rotational designs and methods of hydraulic calculation of load-controlling water intake structures for Mountain Rivers, Proc. of Ninth Congress of the ICID.

12. Ziaei, A.N. 2000. Study on the efficiency of vortex settling basin (VSB) by physical modeling. MSc Thesis, Shiraz University, 154 pages. (In Persian)



شکل ۴- راندمان رسوبگیری حوضچه اول و دوم.  
Figure 4. Comparison of VSB 1 & 2 removing efficiency

به عملکرد حوضچه‌ها افزوده نمی‌شود. اما با استفاده از حوضچه‌های پیاپی افزایش قابل ملاحظه‌ای را در عملکرد کل سیستم شاهد هستیم.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق عملکرد دو حوضچه که به صورت پیاپی به هم متصل شده‌اند تحت تاثیر دبی ورودی به سیستم و دبی خروجی از روزنه مرکزی کف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد: (۱) راندمان رسوبگیری حوضچه‌ها با نسبت دبی شستشو (دبی خروجی از روزنه مرکزی کف) و دبی ورودی به سیستم رابطه مستقیم دارد و استفاده از حوضچه‌های پیاپی بجای تک حوضچه موجب افزایش حدود ۱۲ درصدی در راندمان رسوبگیری شده است. (۲) راندمان حوضچه دوم کمتر از راندمان حوضچه اول است و میزان این کاهش، در این آزمایشات، بطور میانگین حدود ۲۰ درصد می‌باشد. (۳) راندمان حوضچه‌ها با افزایش نسبت دبی شستشو افزایش، و با افزایش دبی ورودی به سیستم کاهش می‌یابد. استفاده از حوضچه‌های پیاپی بجای تک حوضچه میانگین راندمان را با حدود ۱۵ درصد افزایش از ۷۵ درصد به ۹۰ درصد می‌رساند.

### منابع

- Alquier, M., Delmas, D. and Pellerej, M. 1982. Improvement of swirl concentrator, Journal of Environmental Engineering Division, Vol. 108, No. 2, pp. 379-390.
- Chrysostomou, V. 1983. Vortex-type settling basin, M.Sc thesis, University of Southampton, Southampton, England.
- Curi, K.V. Esen, I.I. and Velioglu, S.G. 1975. Vortex type solid-liquid separator, Progress in Water Technology, Vol. 7, No. 2, pp 183-190, Pergamum Press, Printed in UK.

*Abstract***Investigation of the Effect of Two Series Connected Vortex Settling Basins (VSBs)  
on the Efficiency of Sediment Extraction**R. Pishgar<sup>1</sup> and A. R. Keshavarzi<sup>2</sup>

Received: 2014/08/16 Accepted: 2015/11/14

The Vortex Settling Basins is one of the sediment separation methods used by researchers. In the previous researches, the geometric and hydraulic conditions of basin have been considered to maximize the efficiency. In this study, the trap efficiency of two series connected settling basins is investigated. The effect of the system inflow and the central orifice outlet discharge of basin on the removing efficiency and trapping efficiency -or efficiency- are investigated in this research. The results showed: 1) in comparing with one basin, the use of two series connected settling basins increased the removing efficiency and trapping efficiency about 12% and 15%, respectively; 2) the maximum efficiency was increased from 75% to 90%; 3) the removing efficiency of basins is directly related with the inflow discharge and the washout flow rate (outlet discharge of basin central orifice); 4) the basin efficiency increases with increase of washout flow rate and decreases with increase of inflow discharge.

**Keywords:** *Efficiency, Extraction, Series, Vortex settling basins (VSBs)*

---

1. Ph.D. Student of Water Structures Engineering Department, Tarbiat Modares University. Corresponding author. E-mail: rezapishgar2009@gmail.com.  
2. Professor of Water Structures Engineering Department, Shiraz University