



تعیین سرعت سقوط رسوبات چسبنده مخزن سد دز

علی آرمان^۱، منوچهر فتحی مقدم^۲ و حسین صمدی بروجنی^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشیار دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

Email: armaan59@gmail.com

خلاصه

در این تحقیق فرآیند ته‌نشینی رسوبات چسبنده مخزن سد دز با توجه به آزمایشات انجام شده در مدل فیزیکی استوانه ته‌نشینی و تحکیم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و شبیه‌سازی لازم صورت گرفته است. هدف از این تحقیق بررسی اصول ته‌نشینی ذرات رسوب و ارزیابی پارامترهایی است که بر روی سرعت سقوط ذرات رسوبی موثر می‌باشند. به منظور انجام این تحقیق از یک مدل فیزیکی استوانه‌ای شکل به ارتفاع ۲/۵ متر و قطر ۳۰ سانتیمتر از جنس پلکسی‌گلاس استفاده شد و با انجام آزمایشات، سرعت سقوط رسوبات چسبنده تحت غلظتهای مختلف اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت.

از مهمترین نتایج این تحقیق می‌توان به این نکته اشاره نمود که ماکزیمم سرعت سقوط در هر عمق در زمان ۱۵ دقیقه رخ می‌دهد که این عمل بدلیل رشد ذرات چسبنده و ایجاد پدیده فولکولاسیون است. همچنین ماکزیمم سرعت سقوط برای غلظت ۵ گرم بر لیتر بدست آمد.

کلمات کلیدی: رسوبات چسبنده، سرعت سقوط، سد دز

مقدمه

رسوبگذاری در مخازن سدها از بزرگترین مشکلاتی است که بسیاری از سدها با آن مواجهند. بر اساس گزارش کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ^۴، در حال حاضر بیش از ۴۰۰۰ سد بزرگ در دنیا وجود دارد که برای تامین آب، تولید انرژی و کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی در اثر رسوبگذاری هر ساله بطور متوسط ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد از حجم کل ذخیره این سدها از بین می‌رود. از بزرگترین معضلات رسوبگذاری در سدها، می‌توان به پرشدن مخزن، افزایش حجم مرده و کاهش حجم آب قابل بهره‌برداری اشاره کرد. در بعضی موارد، پر شدن مخزن و بالا آمدن رسوبات در پشت سد بقدری سریع است که عملاً عمر مفید سد را نصف می‌کند. در کشور ما نیز نرخ رسوبگذاری در سدهای مخزنی بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد در سال متغیر گزارش شده است. این ارقام بدین معنی است که هر ساله ۲ سد مخزنی با حجم مخزن ۲۰۰ میلیون متر مکعب به نیمه عمر خود می‌رسند.

سرعت حد ته‌نشینی ذرات رسوبی در مایعات که اغلب تحت عنوان سرعت سقوط ذرات از آن یاد می‌شود، از جمله خواص بسیار مهم در تعیین خصوصیات فیزیکی انتقال، ته‌نشینی و تحکیم رسوبات است که به شدت متأثر از خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آب و ذرات رسوب است. در اکثر معادلات و روابط موجود برای تعیین سرعت سقوط ذرات رسوبی، مقدار قطر ذرات یا فلوکها بعنوان یکی از پارامترهای اصلی مورد استفاده قرار گرفته‌است. اما واقعیت این است که در فرآیند ته‌نشینی رسوبات چسبنده، در اعماق و زمانهای مختلف قطر مواد رسوبی متغیر است. رفتار رسوبات چسبنده بدلیل خاصیت فولکوله‌شدن آنها بسیار پیچیده است و کارهای تحقیقاتی زیادی در جهت شناخت و تبیین رفتار این نوع رسوبات انجام شده و یا در حال انجام است. با این حال هنوز بسیاری از رفتارهای رسوبات چسبنده در پرده ابهام قرار دارد و قوانین محکمی برای تبیین و تفسیر رفتار آنها بوجود نیامده است.

در این تحقیق، به دنبال رفع این نقیصه، سرعت سقوط ذرات رسوبی مخزن سد دز با استفاده از ارتباط بین غلظت ذرات، عمق و زمان بدست آمد که در ادامه در این مورد به تفصیل بحث خواهد شد.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

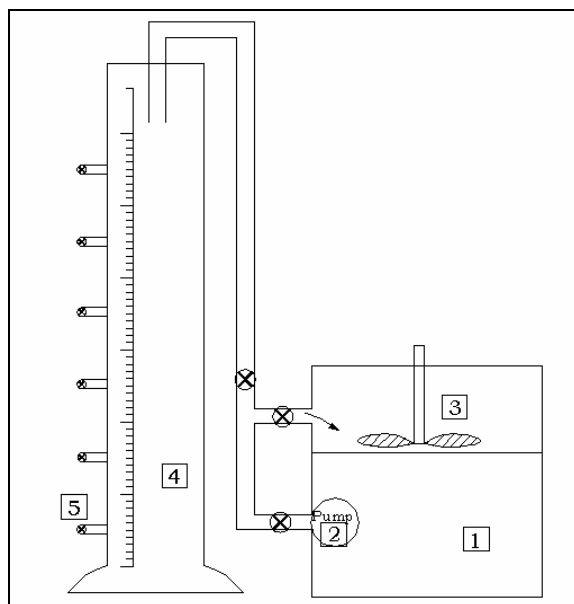
۲- دانشیار دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران

۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایشات این تحقیق نیاز به نمونه رسوبی بود که دارای بالاترین درصد مواد ریزدانه باشد. بدین منظور نمونه رسوب مخزن سد دز (در نزدیکی بدنه این سد و از محل دریچه دوم آبیاری این سد) برداشت شد. آزمایش دانه‌بندی بر روی مواد آزمایشی با استفاده از دستگاه دیجیتالی Master Sizer انجام پذیرفت که در نتیجه نمونه‌ها شامل ۴۵٪ رس و ۵۵٪ سیلت بودند. سپس آزمایشات لازم بصورت ذیل بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت.

در ابتدا مخلوط آب و رسوب در یک مخزن ۴۰۰ لیتری ایجاد شد. سپس این مخلوط توسط یک همزن برقی و یک پمپ کف کش بمدت ۳ ساعت بهم زده شد تا مخلوط یکنواختی از آب و رسوب ایجاد گردد. نهایتاً غلظت‌های ۳/۵، ۵، ۱۰، ۱۷ و ۳۰ گرم بر لیتر ایجاد گردید. سپس هر یک از این مخلوط‌های ایجاد شده بداخل یک استوانه از جنس پلکسی‌گلاس به ارتفاع ۲/۵ متر پمپاژ گردید. بر روی بدنه این استوانه در ۸ عمق ۰ تا ۲۴۰ سانتی‌متر (به فواصل مساوی ۳۰ سانتی‌متر) مکانهایی جهت نمونه‌برداری ایجاد گردید. در شکل ۱ نمای شماتیک مدل ارائه گردیده است.



شکل ۱- نمای شماتیک مدل آزمایشی

➤ اجزای مدل آزمایشی:

- (۱) مخزن ۴۰۰ لیتری به منظور تهیه مخلوط آب و رسوب با غلظت‌های دلخواه
- (۲) پمپ جهت پمپاژ رسوب به داخل استوانه ۳ متری
- (۳) همزن
- (۴) استوانه از جنس پلکسی‌گلاس مدرج به قطر ۳۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲/۵ متر
- (۵) لوله‌های نمونه‌برداری بر روی بدنه استوانه ته‌نشینی

فرمولی که برای این تحقیق در نظر گرفته شد، رابطه‌ای است که ارتباط بین غلظت، عمق و زمان را مشخص می‌سازد که بصورت روبروست:

$$(\bar{wC})_{z=d} = -\int_0^d \frac{\partial C}{\partial t} dz = -\frac{\partial}{\partial t} \int_0^d C dz$$



$$wC = - \left[\frac{\partial \int C dz}{\partial t} + \frac{\partial \int C dz}{\partial z} \frac{dz}{dt} \right]$$

با توجه به اینکه: $\frac{dz}{dt} = w$ است، بنابراین خواهیم داشت:

$$wC = - \frac{\partial \int C dz}{\partial t} - \frac{\partial \int C dz}{\partial z} \cdot w$$

$$w = \frac{- \frac{\partial \int C dz}{\partial t}}{C + \frac{\partial \int C dz}{\partial z}} \quad (1)$$

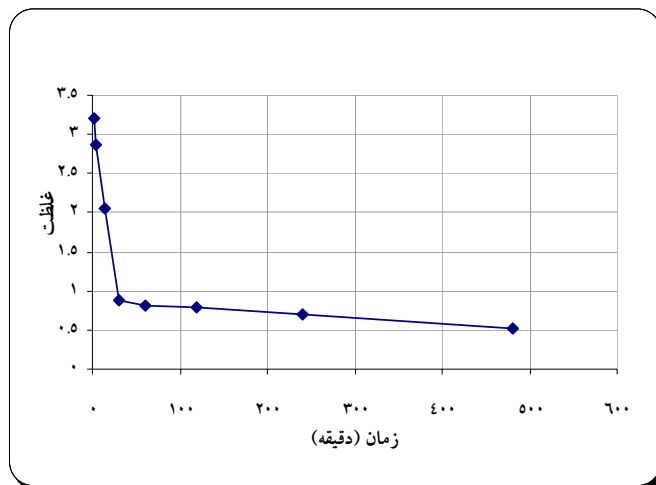
در این بخش بعنوان نمونه مراحل محاسبات برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر به اختصار ارائه می‌گردد. پس از ایجاد غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در مخزن و پمپاژ آن به داخل استوانه ۲/۵ متری، بلافاصله پس از قطع پمپاژ، نمونه شاهد از سطح استوانه برداشت گردید. غلظت نمونه شاهد برای این نمونه برابر با ۳/۴۹۷ گرم بر لیتر بود. سپس نمونه‌برداری در زمانهای ۳، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ دقیقه و در اعماق ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۱۰ و ۲۴۰ سانتی متری بصورت وزنی صورت پذیرفت. بدین ترتیب تعداد نمونه‌های هر یک از آزمایشات شامل ۶۵ نمونه می‌شد. سپس نمونه‌های اندازه‌گیری شده بتدریج بداخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. در جدول ۱ محاسبات مربوط به غلظت برای زمان ۳ دقیقه ارائه گردیده است:

جدول ۱- داده‌ها و محاسبات مربوط به غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در زمان ۳ دقیقه

عمق (cm)	زمان (min)	وزن نمونه خشک (gr)	حجم خاک (cm ³)	حجم آب (cm ³)	غلظت (gr/lit)
30	3	0.169	0.0939	52.459	3.216
60	3	0.275	0.1528	84.991	3.23
90	3	0.267	0.1483	52.281	3.239
120	3	0.261	0.145	80.229	3.247
150	3	0.297	0.165	91.049	3.256
180	3	0.22	0.1222	67.326	3.262
210	3	0.31	0.1722	94.431	3.277
240	3	0.233	0.1294	70.719	3.289
نمونه شاهد	0	0.575	0.3194	164.098	3.497

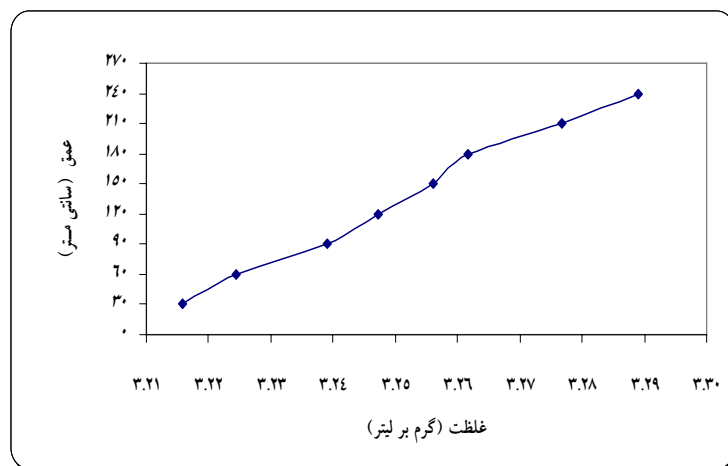
با توجه به غلظت‌های بدست آمده، بمنظور بدست آوردن پارامترهای مربوط به معادله اساسی این تحقیق می‌بایست نمودار غلظت در برابر عمق در هریک از بازه‌های زمانی ترسیم می‌گردید.

در نمودار ذیل بعنوان نمونه، تغییرات زمان در برابر غلظت برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در عمق ۳۰ سانتی متری ارائه گردیده است:



شکل ۲- نمودار تغییرات غلظت در برابر زمان در عمق ۳۰ سانتی متر برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر

سپس در ادامه نمودار غلظت در برابر عمق در هر یک از بازه های زمانی ترسیم گردید. بعنوان مثال نمودار غلظت در برابر عمق برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در زمان ۳ دقیقه ارائه گردیده است:



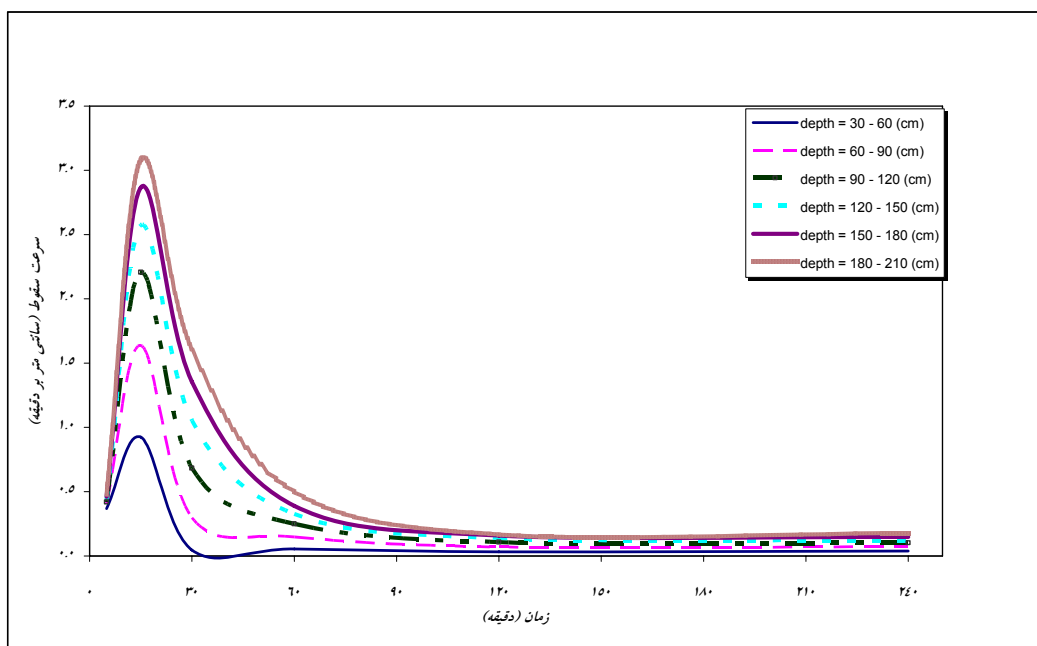
شکل ۳- نمودار غلظت در برابر عمق برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در زمان ۳ دقیقه

لازم به توضیح است که در این تحقیق بمنظور ترسیم نمودار سرعت سقوط در برابر زمان، بدلیل وجود مواد درشت دانه اندکی که در نمونه رسوب وجود داشت، مبدأ مکانی عمق ۳۰ سانتی متر و مبدأ زمان پس از ۳ دقیقه از شروع آزمایش در نظر گرفته شد. همچنین بدلیل آنکه از میانگین حسابی غلظت‌های اندازه‌گیری شده بین بازه‌های زمانی استفاده گردید، تعداد منحنی‌های مربوط به سرعت سقوط در برابر عمق، در هر یک از غلظت‌ها به ۶ منحنی تقلیل یافت. در نهایت با توجه به فرمول ۱، مقادیر نمودار سرعت سقوط برای هر یک از غلظت‌های آزمایش بدست آمد. بعنوان نمونه، نمودار سرعت سقوط برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در اعماق مختلف و در بازه‌های زمانی متفاوت بصورت شکل (۴) بدست آمد.



جدول ۲- مقادیر سرعت سقوط برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر در اعماق و زمانهای مختلف (سانتی متر بر دقیقه)

زمان عمق	3	5	15	30	60	120	240
30	0.0365	0.0317	0.053	0.0468	0.9238	0.3676	0.9332
60	0.0721	0.0697	0.1487	0.2969	1.636	0.4049	1.2549
90	0.1033	0.107	0.2501	0.684	2.2081	0.4191	1.5532
120	0.1247	0.1398	0.326	1.0548	2.572	0.437	1.8145
150	0.1468	0.1598	0.3906	1.3547	2.8662	0.4587	2.0191
180	0.1763	0.1657	0.4991	1.06055	3.0816	0.4753	2.194



شکل ۴- نمودار سرعت سقوط برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر

همچنین در بخشی دیگر از این تحقیق، بمنظور بررسی میزان تغییرات غلظت و سرعت سقوط رسوبات چسبنده با توجه به تاثیر ماده فولکوله‌ساز نمک و پراکنده‌ساز کالگن برای غلظت ۱۷ گرم بر لیتر پرداخته شد. همانگونه که می‌دانیم، نمک از انواع مواد فولکوله‌ساز است که باعث افزایش سرعت سقوط می‌شود. همچنین ماده شیمیایی هگزامتاسفات سدیم (با نام شیمیایی کالگن) از نوع مواد پراکنده‌ساز است که باعث کاهش سرعت سقوط رسوبات چسبنده می‌شود. بدین منظور پس از آنکه مخلوط رسوبی با غلظت ۱۷ گرم بر لیتر ایجاد شد، در مراحل جداگانه بمیزان ۵ گرم بر لیتر از این مواد به مخلوط مورد نظر افزوده گردید. سپس این مخلوط ایجاد شده به درون استوانه ته‌نشینی پمپاژ گردید. بقیه مراحل همانند مراحل است که برای غلظت ۳/۵ گرم بر لیتر شرح داده شد.



نتایج:

- ۱- نمودارهای توزیع سرعت سقوط نسبت به عمق نشان می‌دهند که بیشترین سرعت‌های سقوط برای هر عمق، در بازه زمانی ۱۵ دقیقه تا ۳۰ دقیقه و همچنین ۳۰ دقیقه تا ۶۰ دقیقه بیش از هر ۲ زمان دیگری است که این تغییرات بیانگر تشکیل فولکولاسیون می‌باشد.
- ۲- در اکثر نمودارهای توزیع سرعت سقوط نسبت به عمق، برای هر یک از اعماق، ماکزیمم سرعت سقوط در زمان ۱۵ دقیقه رخ داده است. این عمل نشانگر این واقعیت است که فرآیند فولکولاسیون رسوبات چسبنده در این زمان به حداکثر خود می‌رسد و فلوکها بدلیل رشد زیاد سنگین‌تر شده و با سرعت بیشتری ته‌نشین می‌شوند.
- ۳- نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت رسوبات چسبنده تا ۵ گرم بر لیتر، سرعت سقوط رسوبات چسبنده رفته رفته افزایش می‌یابد و پس از آن روند کاهشی دارد. بنابراین می‌توان این استدلال را داشت که غلظت ۵ گرم بر لیتر بعنوان بالاترین غلظتی است که می‌تواند بیشترین سرعت سقوط را دارا باشد.
- ۴- در اثر افزودن ماده فولکوله ساز نمک طعام با غلظت ۵ گرم بر لیتر به مخلوط رسوبات چسبنده با غلظت ۱۷ گرم بر لیتر، با توجه به تمامی نمونه‌های برداشت شده و مقایسه با نمونه ۱۷ گرم بر لیتر، بطور نسبی تمامی نمونه‌های ۱۷ گرم بر لیتر با نمک طعام ۵ گرم بر لیتر دارای ۱۰٪ تا ۱۵٪ کاهش غلظت در هر عمق متناظر با آن می‌باشد.
- ۵- در اثر افزودن ماده پراکنده‌ساز کالگن با غلظت ۵ گرم بر لیتر به مخلوط رسوبات چسبنده با غلظت ۱۷ گرم بر لیتر، با توجه به تمامی نمونه‌های برداشت شده و مقایسه با نمونه ۱۷ گرم بر لیتر، بطور نسبی تمامی نمونه‌های ۱۷ گرم بر لیتر با کالگن ۵ گرم بر لیتر دارای ۳٪ تا ۸٪ افزایش غلظت در هر عمق متناظر با آن می‌باشد.
- ۶- همچنین برای ۲ حالت فوق نیز بیشترین سرعت‌های سقوط برای هر عمق، مربوط به بازه زمانی ۱۵ دقیقه تا ۳۰ دقیقه و ۳۰ دقیقه تا ۶۰ دقیقه بوده و ماکزیمم سرعت سقوط نیز در زمان ۱۵ دقیقه رخ داده است.
- ۷- با توجه به نمودارهای سرعت سقوط در برابر زمان برای نمونه ۱۷ گرم بر لیتر و مقایسه آن با شرایط مشابه برای نمک، بطور نسبی میزان درصد افزایش سرعت سقوط برای این حالت بین ۳٪ تا ۹٪ مشاهده گردید.
- ۸- با توجه به نمودارهای سرعت سقوط در برابر زمان برای نمونه ۱۷ گرم بر لیتر و مقایسه آن با شرایط مشابه برای کالگن، بطور نسبی میزان درصد کاهش سرعت سقوط برای این حالت بین ۲٪ تا ۸٪ مشاهده گردید.



منابع:

- 1- C. Kranenburg. "Effect of floc strength on viscosity and deposition of cohesive sediment suspensions." *Journal of Continental Shelf Research*. 1998.
- 2- Fan, J., and Morris, G.L., 1992. *Reservoir sedimentation. II: Desiltation and long- term storage capacity. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 118(3), pp: 370- 384.*
- 3- J.C. Winterwerp, "On the flocculation and settling velocity of estuarine mud" *Journal of Continental Shelf Research*. 2001.
- 4- Krishnappan, B.G.,and J. Marsalek, " Modelling Of Flocculation and Transport of Cohesive Sediment from an on- stream Storm water Detention Pond." *Journal of Water- Research- Oxford; 36(15): 3849- 3859, 2002.*
- 5- Krishnappan, B.G., "In situ size Distribution of Suspended Particles the Fraser River." *Journal of hydraulic engineering, Vol.126, No.8:561- 569, 2000.*
- 6- Krone, R.R. "A Study of Rheologic Properties of Estuarial Sediment." *Hyde Eng. Lab. And Soni Eng. Lab., Unive of California, Berkeley, 1963.*
- 7- McLaughlin, R.T. "Settling Properties Of Suspensions." *Proc.ASCE Paper No.2311, December 1959.*
- 8- Morris, G.L., and Fan, J.,1997. "Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use, " *McGraw- Hill, New York*
- 9- Samadi- Boroujeni, H. "Modelling Of Sedimentation and Self- Weight Consolidation of Cohesive Sediments." *PhD. thesis, Shahid Chamran University Of Ahvaz, Iran.*
- 10- Simons, D.B. and F. Senturk (1992), "Sediment Transport Technology. " *Book Craters Inc., Chelsea, Michigan, U.S.A*