



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran

بر آورد میزان بار رسوب در مخزن ایستگاه سیرا ورودی سد امیرکبیر

سید علیرضا آشفته، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، st_a_ashofteh@azad.ac.ir

چکیده

مخزن سدها نقش مهمی در سامانه‌های منابع آب دارا می‌باشند. سدهایی که در مسیر رودخانه‌ها ساخته می‌شوند بر خصوصیات جریان رودخانه تأثیر گذاشته و باعث می‌شوند که رودخانه بخشی از رسوبات در حال انتقال خود را در مخزن سد ته‌نشست دهد. باید میزان رسوب‌گذاری در مخزن سد قبل از احداث آن و در هنگام بهره‌برداری با اطمینان قابل قبولی برآورد شود. بعضی از اثرات رسوب‌گذاری در مخزن سد شامل تأثیر بر رفتار هیدرولیکی جریان خروجی از مخزن سد، کاهش ظرفیت آبیگری مخزن، امکان مسدود شدن آبیگرهای عمقی، اختلال در سامانه بهره‌برداری مخزن هستند. روش‌های متعددی مانند هیدروگرافی مخزن، اندازه‌گیری مستقیم ضخامت رسوب در مخازن، سنجش از راه دور، استفاده از مدل‌های ریاضی و کامپیوتری و استفاده از آمار هیدرومتری جهت تعیین حجم رسوبگذاری در مخازن وجود دارد ولی تفاوت تکنیک‌ها و پیچیده بودن مسأله رسوبگذاری نمی‌تواند یک روش جامع و مقرون به صحت، دقت و در عین حال کم هزینه را در همه موارد توصیه نمود. مقدار رسوبگذاری در مخازن سدها تابع حجم رسوب ورودی به آنها و همچنین حجم رسوب خروجی از آنها می‌باشد. برآورد مقدار رسوبی که یک جریان مشخص قادر به حمل آن است یکی از موضوعات اصلی رسوب می‌باشد. رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان رسوب بالایی را حمل می‌کنند و مهم‌ترین مشکل پرشدن مخازن سدهای کشور توسط رسوبات برجا مانده درون سدها می‌باشد. هدف تحقیق دانه‌بندی رسوبات رودخانه کرج و طبقه‌بندی رخساره‌ها با توجه به تقسیم‌بندی و همچنین برآورد بار کل رسوب وارد شده بر سد کرج می‌باشد.

کلیدواژه‌ها

رسوب، روش USBR، روش FAO، سیرا، بار معلق، سد امیرکبیر.

مقدمه

نمونه‌گیری بر اساس تغییر رخساره و نوع رسوبات انجام می‌شود. سپس مطالعات ماکروسکوپی و صحرایی را بر روی آنها صورت خواهد گرفت. برای تکمیل اطلاعات نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال و سپس گرانولومتری انجام خواهد گرفت و رسوبات طبقه‌بندی می‌شوند. با تعبیر و تفسیر مجموعه اطلاعات مذکور و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel تجزیه و تحلیل نهایی انجام و سپس متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح بررسی و اندازه‌گیری متغیرها صورت خواهد گرفت. ایستگاه سیرا که از ایستگاه‌های رودخانه کرج



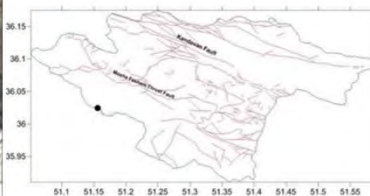
The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

می‌باشد که دارای ارتفاع ۱۸۱۹ و مساحت ۷۱۶ کیلومترمربع می‌باشد نمونه‌گیری از رسوبات در ایستگاه مربوط بر اساس تغییر اندازه رسوبات و رخساره از آبراهه‌های منتهی به ایستگاه مذکور انجام خواهد شد. مقدار هر نمونه با توجه به اندازه رسوبات متفاوت خواهد بود. بعد از تهیه نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و جمع‌آوری آمار و اطلاعات از زمین‌شناسی و هواشناسی و مطالعات صحرایی بر حسب اندازه رسوبات و تغییرات رخساره‌ای و همچنین تعداد آبراهه‌های منتهی به ایستگاه تعدادی نمونه به منظور تعیین پارامترهای آماری برداشت می‌شود و موقعیت جغرافیایی دقیق نمونه‌ها توسط GPS تعیین می‌گردد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه و آماده‌سازی به روش الک کردن مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. مرحله بعد جامعه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه تعداد نمونه‌ها بر اساس تعداد آبراهه‌ها و نمونه‌گیری‌هایی که سازمان آب در اختیار قرار خواهد داد انجام می‌شود. مرحله بعدی روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها، دانه‌بندی رسوبات و اطلاعات هیدرولیکی (بار معلق و بار بستر) دریافت شده از سازمان آب می‌باشد.

۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

محدوده در شمال استان البرز با وسعتی حدود ۰٫۲۵ کیلومتر مربع در حاشیه رودخانه کرج و در حدود مدارهای ۳۶° ۰۱' ۳۹" تا ۳۶° ۰۱' ۲۱" عرض شمالی و ۵۱° ۰۹' ۲۷" تا ۵۱° ۰۹' ۱۳" طول شرقی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی استان البرز در جنوب بخش آسارا در حد فاصل دو شهرستان کرج در جنوب و چالوس در شمال واقع شده است. روستای سیرا روستایی از توابع بخش آسارا شهرستان کرج در استان البرز ایران است. منطقه مورد نظر در ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ مرزن‌آباد با مختصات طول‌های جغرافیایی شرقی ۵۱° ۳۰' ۵۱" تا ۵۱° ۳۰' ۳۶" و عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۶° ۰۰' ۳۶" تا ۳۶° ۰۰' ۳۶" در گوشه جنوب‌غربی چهارگوش ۱:۲۵۰,۰۰۰ آمل جای گرفته است. عمده رخنمون‌های منطقه متعلق به بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز می‌باشد.



شکل (۱) تصویر ماهواره‌ای سه‌بعدی و نقشه گسل‌های محدوده حوضه آبریز سیرا

۲- چینه‌شناسی حوضه آبریز

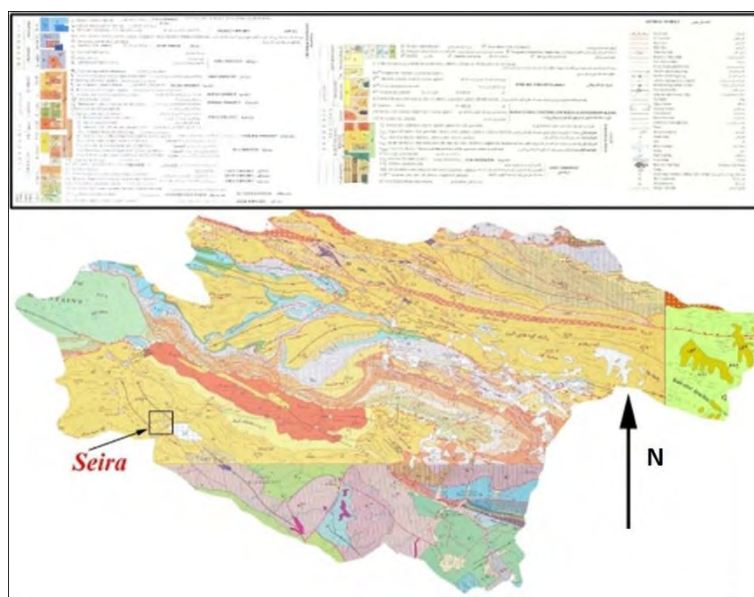
با استفاده از لایه‌های ارتفاعی ۳۰ متر با نرم‌افزار زمین‌شناسی Global Mapper 15 حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن بر اساس تقسیم‌بندی فاصله سلولی فواصل ۵۰ متر برای تقسیم‌بندی حوضه آبریز انتخاب و سپس اقدام به پردازش در محیط نرم‌افزار شده است. به



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran

این ترتیب خود حوضه اصلی از زیرحوضه‌های فرعی تشکیل شده است که شامل حدود ۴۰ زیرحوضه اصلی در منطقه حوضه اصلی آبریز است. هر کدام از این زیرحوضه‌ها شامل یک یا چند سازند می‌باشد که رسوبات رودخانه‌ای و آبراهه‌ای از آنها منشأ گرفته‌اند. حوضه‌های آبریز این زیر حوضه‌ها دارای تنوع سنگ‌شناختی نامنظمی هستند که حوضه‌های جنوبی و شمالی منطقه با توجه نقشه‌های زمین‌شناسی بیشتر از سازندهای ائوسن و سازندهای میانی بیشتر از سازندهای پرکامبرین تا تریاس تشکیل شده‌اند. زیرحوضه‌های مشخص شده دارای فرسایش پذیری یکسانی نبوده و در مناطق مختلف متفاوت هستند. واحدهای ائوسن به دلیل وجود توف و برش و رسوبات آذرآواری مقاومت کمتری داشته که البته سن کم زمین‌شناسی در آنها نیز مزید بر علت است. از طرف دیگر واحدهای قدیمی‌تر از واحدهای ماسه‌سنگی و شیل تشکیل شده هستند و با داشتن سن زمین‌شناسی زیاد دارای سخت‌شدگی دوچندان می‌باشند و در برابر فرسایش از خود مقاومت بسیار بیشتری را نشان می‌دهند که این خصوصیات نقطه مقابل واحدهای سنگی ائوسن است. فرسایش در واحدهای ائوسن که در زیرحوضه‌های مناطق شمالی و جنوبی آمده به دلیل نوع واحدهای سنگی آن بسیار بیشتر از واحدهای میانی منطقه است که از واحدهای پرکامبرین تا تریاس می‌باشند. به صورت کلی واحدهای متنوعی در حوضه آبریز ترسیمی در سیرا وجود دارد. ذکر این مسئله ضروری است که شسته شدن و حمل رسوبات از بالادست مهم‌ترین شاخص برای بررسی واحدهای چینه‌ای ذکر شده در زیر است. به عبارت دیگر در این بخش واحدهایی بررسی می‌شوند که در مسیر رودخانه کرج و یا آبراهه‌های منتهی به منطقه سیرا باشند. سازند کهار Pe_k ، سازند باروت Ca_b ، سازند زاگون Ca_z ، سازند لالون Ca_l ، کوارتزیت کامبرین (تاپ‌کوارتزیت) Ca^q ، سازند میلا EO_m ، سازند جیروود DC_j ، سازند دورود Pa_d ، سازند روت Pr_r ، سازند الیکا، سازند دلیچای J_d ، سازند لار J_l ، سازند فجن (فاجان) PeE_f ، سازند کرج E_k .

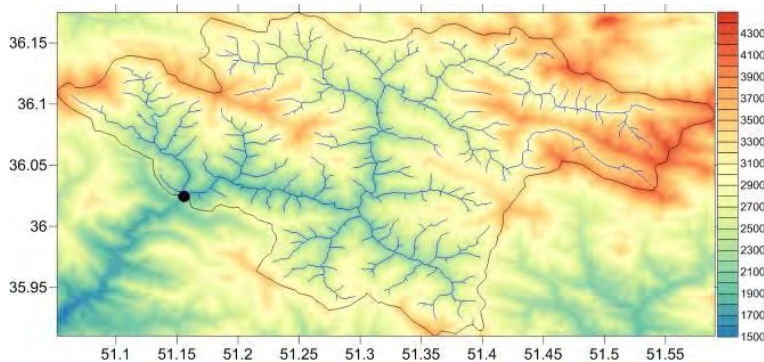


شکل (۲) واحدهای زمین‌شناسی منطقه به همراه زیرحوضه‌های محدوده مورد مطالعه

The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

اصلی‌ترین و بزرگ‌ترین واحد چینه‌شناسی موجود دارای زیرواحدهای متعددی است و پیچیدگی چینه‌ای بسیار زیادی را به حوضه آبریز منطقه داده است. در حوضه آبریز منطقه سازند کرج دارای شش بخش می‌باشد که به ترتیب شامل واحد E^1 که از سنگ آهک و سنگ آهک مارنی تشکیل شده است در جنوب منطقه و در حوالی کوه مورد قرار دارد. واحد $E_{k.sh1}$ شیل زیرین این واحد شامل شیل‌های سیلیسی تیره رنگ با درون لایه‌های توف و توف سنگی. ویژگی‌های دریایی عمیق را در جنوب منطقه نشان می‌دهند در حالی که بقیه عضوهای سازند کرج از نوع رسوبات دریایی هستند. واحد $E_{k.t2}$ وسعت بسیار زیادی از منطقه در نگاه اول به صورت بسیار شاخصی از این واحد بزرگ تشکیل شده است. این واحد که عضو توف میانی می‌باشد از خاکستر - توف‌های ضخیم لایه با رنگ سبز زیتونی تا سبز مایل به آبی پدید آمده که بعضاً درون لایه‌های توف بلوردار دانه درشت و شیل‌های توفی همراه آنها است. واحد $E_{k.a}$ این عضو شیلی که شیل آسارا می‌باشد در بخش‌هایی از منطقه به خصوص منطقه آسارا که به همین اسم نامگذاری شده است در شمال روستای سیرا گسترده شده است. این واحد دارای میکروفسیل‌های انوسن میانی تا بالایی است و از شیل‌های آهکی رس‌دار تیره با مقدار بیتومین قابل توجه و اغلب با آثار گیاهی فراوان تشکیل می‌گردند. در میان آنها مقداری توف‌های جریان‌یافته دانه درشت و نازک لایه گسترش دارند. واحد $E_{k.t3}$ واحد قرمز رنگ واقع در جنوب غسل مشا - فشم که در شمال روستای سیرا واقع شده است و بیشتر از توف بلوردار، توف شیشه‌ای و توف سنگی ریزدانه پدید آمده و شیل‌های توف‌دار به صورت درون لایه هستند. در برخی نقاط شیل‌های ماسه‌ای - مارنی را به طور محلی می‌توان دید. اولیگوسن، میوسن و کواترنری از واحدهای زمین‌شناسی منطقه هستند.



شکل (۳) نقشه ناهمواری‌های (DEM) منطقه مورد مطالعه

۳- آنالیز، دانه‌بندی و نام‌گذاری رسوبات

زمین‌شناسان سه راهبرد اساسی را در نمونه‌برداری به کار می‌برند. نمونه‌برداری هدفمند (انتخابی)، نمونه‌برداری آماری (احتمالاتی) و نمونه‌برداری بر هم کنشی که در این تحقیق از شیوه و راهبرد نمونه‌برداری سوم یعنی نمونه‌برداری بر هم کنشی استفاده گردیده است. برای آنالیز ذرات ابتدا بایستی منحنی‌های دانه‌بندی را رسم کنیم و سپس پارامترهای آماری رسوب را محاسبه کنیم. همچنین برای نامگذاری و طبقه‌بندی رسوبات منطقه سیرا از روش‌های معمول و متداول استفاده شده است با توجه به این جدول نوع بافت رسوب و مجاورتی در ردیف نوع نمونه قابل مشاهده می‌باشد که بر این اساس بیشتر رسوبات جز ۲ نمونه (۱ و ۴) دارای جورشدگی بد یا بسیار بد



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

می‌باشند. نام دقیق بر اساس تجزیه و تحلیل‌های نرم‌افزار در ردیف سوم قرار دارد که به عنوان نام رسوب مشخص‌کننده دقیق‌ترین و بهترین نام رسوب می‌باشد که از روش‌های مختلف به دست می‌آید. بعد از تعیین نام رسوب به روش فولک و وارد معیارهای اصلی توصیف خصوصیات بافتی یعنی میانه، جورشدگی، کج‌شدگی یا چولگی، کشیدگی یا میزان برجستگی در قله آماری در جدول قابل مشاهده است. تمامی تحلیل‌های انجام‌شده بر اساس روش فولک و وارد (Folk & Ward, 1957) از نوع معیارهای توصیفی بوده در ردیف اول میانه قطر دانه‌ها می‌باشد که در واقع به توصیف قرارگیری میانه قطر ذرات می‌پردازد و بر این اساس قطر اکثر دانه‌ها از نوع ماسه درشت می‌باشد. معیار بعدی بر طبق روش توصیفی مدنظر جورشدگی می‌باشد که مانند روش محاسباتی - توصیفی که در جدول به عنوان نوع نمونه قابل مشاهده است جورشدگی به دست آمده برای اکثر دانه‌ها از نوع جورشدگی خیلی ضعیف تا ضعیف می‌باشد. دو نمونه از این امر مستثنی هستند نمونه شماره ۱ و نمونه شماره ۴ که در جدول با جورشدگی خیلی خوب و خوب مشخص می‌شوند. ردیف بعدی از معیار توصیفی فولک و وارد مربوط چولگی یا کج‌شدگی دنباله منحنی می‌باشد که بار دیگر جز نمونه‌های ۱ و ۴ بقیه دارای کج‌شدگی خیلی خوب می‌باشند. کشیدگی نمونه‌ها متفاوت بوده و تغییرات دیگری را نشان می‌دهد به شکلی که از نمونه شماره ۱ تا نمونه شماره ۵ از نوع منحنی پهن‌تر و پلتی‌کورتیک بوده و از نمونه شماره ۵ تا نمونه ۱۰ از نوع لپتوکورتیک نامیده می‌شود.

ANALYST AND DATE		Site1	Site2	Site3	Site4	Site5
BEHAVIOR ERRORS						
TEXTURAL GROUP		Bimodal, Very Well Sorted	Bimodal, Poorly Sorted	Bimodal, Poorly Sorted	Trimodal, Very Well Sorted	Trimodal, Poorly Sorted
SEDIMENT NAME		Sandy Gravel	Muddy Sandy Gravel	Muddy Sandy Gravel	Gravel	Muddy, Sandy Gravel
METHOD OF MOMENTS						
SEDIMENT NAME		Slightly Very Fine Gravel	Medium Silty Sandy Very Fine Gravel	Very Fine Gravel	Coarse Silty Sandy Very Fine	
MEAN (φ _s)		145.6	442.7	383.1	18.49	229.7
SORTING (σ _s)		577.1	784.1	832.8	176.3	698.5
SKEWNESS (S _k)		1.638	2.078	2.071	0.548	2.147
KURTOSIS (K _t)		5.957	5.951	5.735	173.4	52.06
MEAN (φ _m)		1.769	28.39	7.729	1.168	3.559
SORTING (σ _m)		0.931	21.82	29.34	2.582	16.13
SKEWNESS (S _k)		3.211	4.006	4.983	3.319	1.145
KURTOSIS (K _t)		13.79	1.293	2.228	42.84	2.609
MEAN (φ _w)		0.624	0.879	0.533	0.959	0.676
SORTING (σ _w)		0.224	1.621	1.786	2.144	1.626
SKEWNESS (S _k)		6.825	1.378	2.074	0.512	2.452
KURTOSIS (K _t)		65.13	5.727	8.098	110.2	9.248
MEAN (φ _v)		1059.1	659.9	683.5	-568.4	961.7
SORTING (σ _v)		0.715	2.544	2.265	0.886	2.204
SKEWNESS (S _k)		0.273	-1.434	-1.686	0.000	-1.872
KURTOSIS (K _t)		0.473	-0.571	-4.754	0.738	438.8
MEAN (φ _v)		-0.841	0.218	0.624	-0.686	0.953
SORTING (σ _v)		-0.485	1.347	1.173	-0.543	1.140
SKEWNESS (S _k)		-0.278	1.434	1.088	0.000	1.972
KURTOSIS (K _t)		0.473	0.821	-4.754	0.738	439.8
MEAN		Very Coarse Sand	Coarse Sand	Coarse Sand	Very Coarse Sand	Coarse Sand
SORTING		Very Well Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Well Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS		Coarse Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Symmetrical	Very Fine Skewed
KURTOSIS		Very Platykurtic	Very Platykurtic	Very Platykurtic	Platykurtic	Extremely Leptokurtic
ANALYST AND DATE						
BEHAVIOR ERRORS						
TEXTURAL GROUP		Unimodal, Poorly Sorted	Bimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Trimodal, Poorly Sorted	Trimodal, Poorly Sorted
SEDIMENT NAME		Slightly Gravelly Muddy Sand	Sandy Gravel	Sandy Gravel	Sandy Gravel	Sandy Gravel
METHOD OF MOMENTS						
SEDIMENT NAME		Slightly Very Fine Gravel Silty Fine Sand	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel	Sandy Very Fine Gravel
MEAN (φ _s)		248.8	535.9	556.9	551.0	641.0
SORTING (σ _s)		302.3	627.6	632.0	627.1	691.5
SKEWNESS (S _k)		4.032	1.162	1.364	1.526	1.565
MEAN (φ _m)		33.99	4.214	4.606	4.127	4.094
SORTING (σ _m)		135.5	20.77	16.68	28.72	21.58
SKEWNESS (S _k)		3.585	26.88	26.84	27.82	21.87
KURTOSIS (K _t)		-1.424	0.282	0.467	0.678	-0.271
MEAN (φ _w)		8.668	1.186	1.520	1.173	1.287
SORTING (σ _w)		2.765	0.769	0.887	0.978	0.422
SKEWNESS (S _k)		1.697	0.948	1.147	1.239	1.462
KURTOSIS (K _t)		1.188	1.309	3.369	1.884	1.974
MEAN (φ _v)		4.620	11.302	17.453	8.390	8.275
SORTING (σ _v)		171.8	1373.1	1489.4	1168.2	1706.1
SKEWNESS (S _k)		2.827	1.581	1.480	2.925	2.565
KURTOSIS (K _t)		-0.184	-2.486	-2.896	-1.873	-1.921
MEAN (φ _v)		1.680	1.173	14.14	0.970	1.134
SORTING (σ _v)		2.548	-0.487	-0.555	-0.251	-0.148
SKEWNESS (S _k)		1.383	0.861	0.545	1.978	1.174
KURTOSIS (K _t)		0.154	2.488	3.486	1.873	1.921
MEAN		1.680	1.173	14.14	0.970	1.134
SORTING		Fine Sand	Very Coarse Sand	Very Coarse Sand	Very Coarse Sand	Very Coarse Sand
SKEWNESS		Flocculent	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
KURTOSIS		Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed

جدول (۱) نتایج تحلیل در نرم‌افزار GRADISTAT v.4 که نشان‌دهنده نام دقیق و خصوصیات بافتی رسوبات منطقه است

۳-۱- منحنی‌های دانه‌بندی

- منحنی هیستوگرام یا میله‌ای



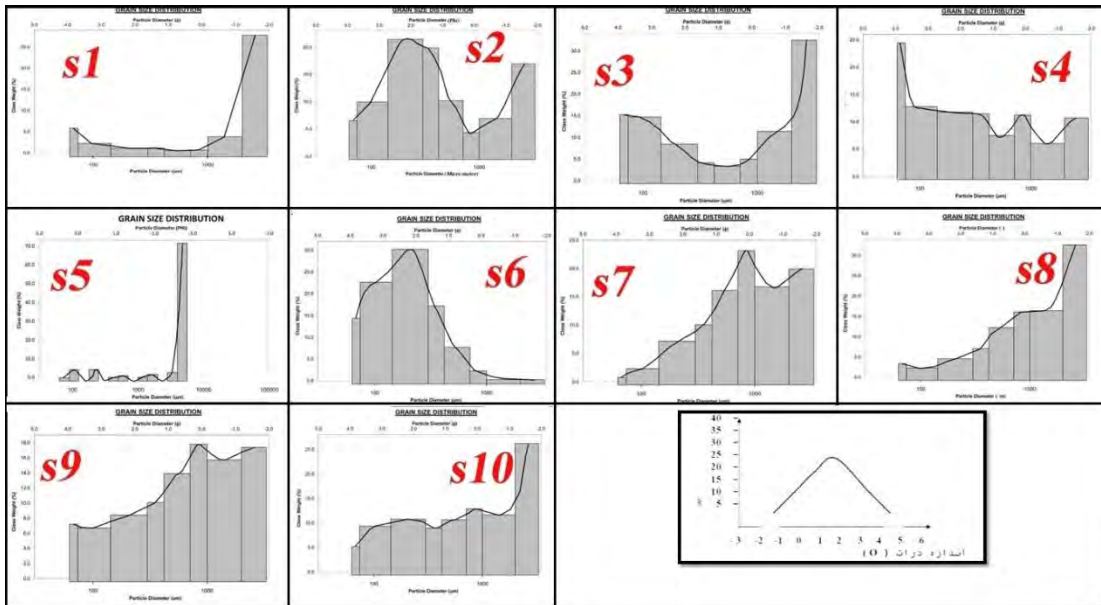
The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

در مورد رسوبات منطقه سیرا تعداد منشاء رسوبات بوده و اکثرا نمونه‌ها دارای دو یا چند منشاء می‌باشند که در نوع خود جالب توجه است و نشان از ورود رسوبات از چند منشا جداگانه به داخل حوضه رسوبی است.

• منحنی نرمال یا زنگی یا منحنی فراوانی

نمونه‌های منطقه سیرا توزیع اندازه ذرات در رسوب یکنواخت نباشد شکل منحنی‌ها نیز نامتقارن می‌باشد و به اصطلاح کج‌شدگی پیدا می‌نماید. بر این اساس دنباله نمودار بسیاری از رسوبات به سمت دانه‌های ریزتر می‌باشد.



شکل (۴) منحنی‌های میله‌ای و زنگوله‌ای برای رسوبات منطقه سیرا و نمونه منحنی زنگوله‌ای متقارن با نرمال

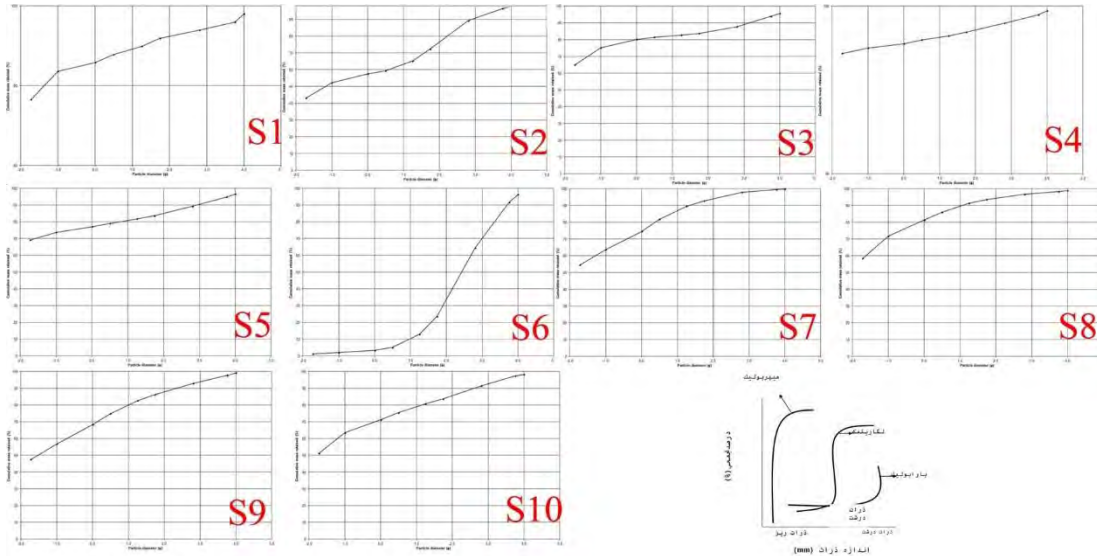
• منحنی‌های تجمعی

در منطقه سیرا شیب منحنی تجمعی کج‌شکل کم بوده که نشان‌دهنده جورشدگی ضعیف رسوبات در این منطقه می‌باشد. الف- اگرچه نمونه شماره ۴ و ۱ دارای شیب زیادی نمی‌باشند ولی قرارگیری دانه‌های موجود در این نمونه‌ها در بالای خط ۹۰ درصد روی خط دانه گراول ریزدانه باعث شده که جورشدگی این دو نمونه از نوع خوب و خیلی خوب باشد. ب- اگرچه شیب نمونه شماره ۶ کم می‌باشد ولی چون دنباله نمودار به سمت دانه‌های درشت می‌باشد باعث شده که جورشدگی دانه‌ها از نوع ضعیف باشد. محل‌های خمیدگی در منحنی تجمعی کج‌شکل و نقاط شکستگی در منحنی تجمعی خط مستقیم بیانگر مکانیزم‌های مختلف حمل و نقل و رسوب‌گذاری (غلطیدن، جهیدن، تعلیق) می‌باشد. در منطقه سیرا منحنی تجمعی رسوبات بر اساس میکرون ترسیم شده است که دقیقا الگوی مشابهی را از خود نشان داده و منحنی تجمعی به شکل پارابولیک می‌باشد.



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran



شکل (۵) منحنی‌های تجمعی منطقه که دارای پراکندگی دانه‌های غیر یکنواخت بوده و جو رشدگی ضعیفی را نشان می‌دهند (نمونه ۱ و ۴ استثناء هستند) و شکل مختلف منحنی‌های تجمعی در محیط‌های مختلف رسوبی

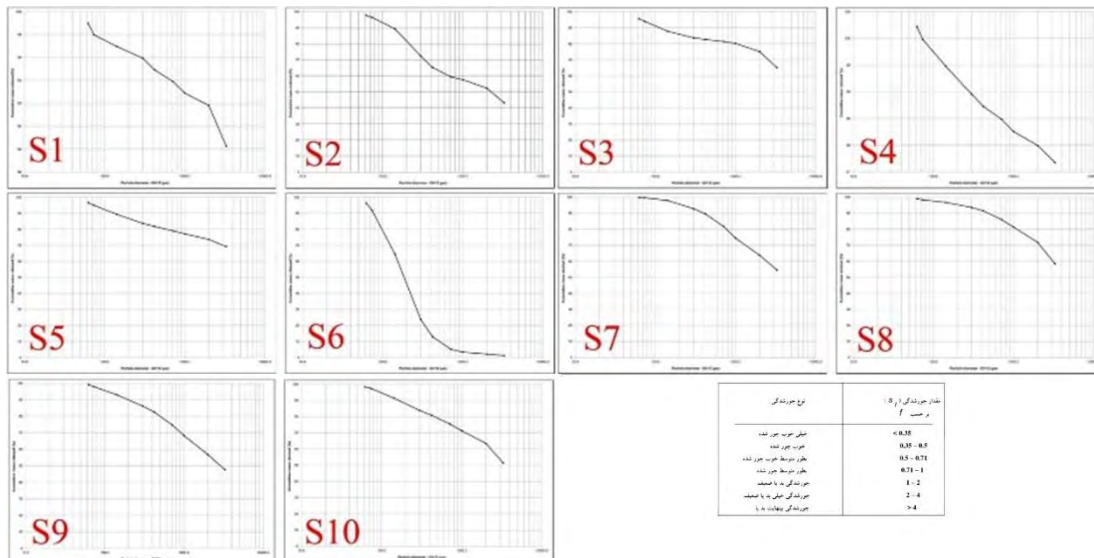
• اندازه‌گیری پارامترهای آماری به روش ترسیمی

برای اندازه‌گیری متوسط اندازه ذرات بایستی ابتدا منحنی‌های دانه‌بندی رسوب را ترسیم کنیم و سپس از روی منحنی‌ها به خصوص منحنی تجمعی پارامترهای آماری را محاسبه می‌کنیم. پارامترهای آماری که در این روش محاسبه می‌شوند شامل میانه، مد یا نما و میانگین هستند. جو رشدگی میزان یکنواختی اندازه ذرات رسوب را نشان می‌دهد یعنی جو رشدگی نشان دهنده این است که چقدر اندازه ذرات یک رسوب به یکدیگر نزدیک است.



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran



شکل (۶) منحنی تجمعی پارابولیک که نشان از چند منشاء بودن و جورشدگی بد در رسوبات منطقه است و انواع جورشدگی برای اعداد به دست آمده از فرمول انحراف معیار ترسیمی جامع.

• اندازه‌گیری پارامترهای آماری به روش لحظه‌ای

در این روش نیازی به رسم منحنی‌های دانه‌بندی وجود ندارد و پارامترها از روی یک سری فرمول‌ها محاسبه می‌گردد. این روش دقیق‌تر از روش ترسیمی است زیرا در روش ترسیمی از برخی نقاط منحنی استفاده می‌شود. نقطه وسط رده رسوبی است. f فراوانی هر رده رسوبی است. n مجموع فراوانی رده‌های رسوبی که معمولاً برابر ۱۰۰ می‌باشد.

$$\bar{x} = \frac{\sum f \cdot m}{n} \text{ میانگین}$$

$$SK = \frac{\sum f(m - \bar{x})^3}{100\sigma^3} \text{ کج‌شدگی}$$

$$K = \frac{\sum f(m - \bar{x})^4}{100\sigma^4} \text{ کشیدگی}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{x})^2}{100}} \text{ جورشدگی}$$

۳-۲- بررسی آنالیز اندازه دانه‌ها

ویژگی‌های بافتی رسوبات منطقه اکثر رسوبات در حد گراول تا ماسه درشت بوده که شاخص مناطق رودخانه‌ای می‌باشد. جورشدگی ضعیف رسوبات نیز دیگر ویژگی رسوبات منطقه سیرا می‌باشد تنها دو نمونه دارای جورشدگی خوب می‌باشند و علت آن نیز به احتمال زیاد خطای نمونه‌برداری و شسته شدن رسوبات و عدم برداشت یکنواخت رسوبات در محل نمونه‌های ۱ و ۴ است. کج‌شدگی نمونه‌ها نیز به همین شکل به جز نمونه‌های ۴ و ۶ بقیه نمونه‌ها دارای کج‌شدگی خیلی خوب می‌باشند که دلیل آن وجود ذرات دانه ریز در لابلای ذرات درشت بوده که



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

باعث می‌شود که کج‌شدگی در بسیاری از نمونه‌ها مثبت باشد. نمونه‌های ۶ و ۴ از این نظر استثنا بوده و این تقارن به صورت نسبی می‌باشد و نحوه توزیع دانه‌ها در نمودار به صورت متقارن نمی‌باشد و در واقع شکل نمودار تقارن را نشان نمی‌دهد ولی مقادیر عددی که در فرمول‌ها کج‌شدگی نمونه‌ها کمی متفاوت بوده و این ناهمگونی به دلیل ورود رسوبات از منشا دیگر است که باعث شده تقارن منحنی به هم خورده و حضور این گونه رسوبات مسئله‌ای کاملاً طبیعی بوده که باعث به هم ریختن بافتی در رسوبات شده و در برخی موارد برگشتگی بافتی را سبب می‌شود. کشیدگی رسوبات کمی متفاوت بوده به طوری که گفته شد میزان کشیدگی با جورشدگی رابطه مستقیم دارد ولی همیشه این جور نمی‌باشد. به طور موردی نمونه‌های شماره ۳ و ۵ و ۶ و ۸ دارای جورشدگی بسیار ضعیف بوده ولی بعضاً کشیدگی آنها از نوع فوق‌العاده کشیده معرفی شده است بالعکس نمونه شماره ۴ با این که دارای جورشدگی بسیار خوبی است ولی کشیدگی آن از نوع پلتی‌کورتیک یا پخ شده است. کشیدگی قله منحنی معیار کشیدگی ترسیمی است که همه نمونه‌ها از این ویژگی بیان شده توسط رسوب‌شناسان پیروی می‌کنند ولی به طور مطلق نمی‌تواند با جورشدگی رابطه مستقیم داشته باشد در نتیجه این گونه باید پیچیدگی‌ها و عدم تطبیق خصوصیات بافتی را نسبت به هم مقایسه کرد که

۱- جورشدگی خوب و خیلی خوب ممکن است که در مناطق آبرفتی و رودخانه‌ای نیز دیده شود که بستگی به محل نمونه‌برداری و شیوه نمونه‌برداری دارد که باید به آن دقت شود (صادق اسدی و همکاران، ۱۳۹۱).

۲- مهم‌ترین عامل بر هم زدن یکدستی یا جورشدگی رسوبات رودخانه‌ای کرج در منطقه سیرا ورود رسوبات ریزدانه با منشا متفاوت می‌باشد که مهم‌ترین شاهد این مدعا کج‌شدگی مثبت نمودارهای میله‌ای می‌باشد. این مسئله توسط دیگر رسوب‌شناسان نیز مشاهده و تایید شده است که مخصوص محیط‌های رودخانه‌ای می‌باشد (Fisk, 1944, 1947).

۳- میزان کشیدگی در برخی از نمونه‌ها زیاد بوده ولی لزوماً این کشیدگی به معنای جورشدگی خوب در آنها نیست. یک روش تفسیر فرآیندها از روی توزیع‌های اندازه دانه تحلیل ساده منحنی جمعیتی و جدا کردن جمعیت‌هایی است که نظر قطعات خط مستقیم منحنی را تشکیل می‌دهند و تا زمانی که جمعیت‌های شناخته شده (که در مورد منطقه سیرا بیشتر جمعیت کشتی می‌باشد) فقط وابسته به روش‌های تحلیلی باشند بایستی از دیگر روش‌های موجود به ویژه شناخت فابریک رسوبات برای درک هرچه بهتر محیط رسوبی بهره برد.

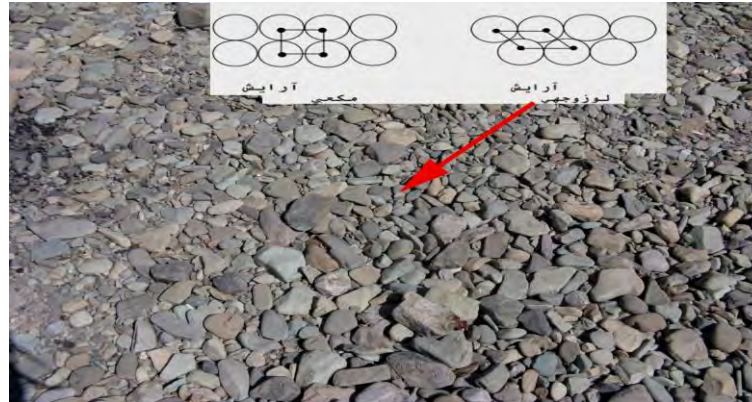


شکل (۷) نمایی از جهت جریان در رودخانه کرج و نحوه آرایش دانه‌های پیل در کف رودخانه



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran



شکل (۸) آرایش ذرات به صورت مکعبی و لوزوجهی و رسوبات بستر رودخانه که بیشتر دارای آرایش لوزی شکل می باشند

این آرایش‌ها درون رسوبات سخت نشده وجود دارد ولی همین آرایش پس از سخت شدن رسوبات در سنگ حفظ می‌شود و به علت آواری بودن رسوبات رودخانه‌ای در این منطقه نحوه آرایش رسوبات به صورت متراکم می‌باشد که آرایش لوزالوجهی را سبب می‌شود. اغلب رسوبات موجود در بستر رودخانه‌ها به ویژه رودخانه کرج از نوع رسوبات ماسه‌ای و پس از آزاد شدن دانه‌های آواری از منشا شکل دانه‌ها در هنگام حمل و نقل تغییر پیدا خواهد کرد و همچنین ممکن است ذرات دانه‌ریز در محیط رسوبگذاری از ذرات دانه‌درشت شسته و جدا شوند و به منطقه دورتری حمل شوند لذا در محیط رسوبگذاری کم‌کم دانه‌ها با جورشدگی خوب و ماتریکس خیلی کم یا بدون ماتریکس در گروه های ماسه‌ای و گراولی تجمع حاصل می‌کنند. اگر دانه‌های ماسه دارای جورشدگی خوبی باشد و بین دانه‌ها را ماتریکس پرکند خود مویید این است که رسوبگذاری نهایی در یک محیط نسبتاً کم انرژی صورت گرفته است برای مثال در جدول بلوغ بافتی تهیه شده برای منطقه سیرا در زیر اگرچه بخش عمده رسوبات را ماسه درشت تا گراول ریز تشکیل می‌دهد ولی در کانال رودخانه‌ای رود کرج در فصول سرد که میزان بارش زیاد بوده و رودخانه سیلابی می‌باشد این رسوبات تشکیل می‌شوند. از طرف دیگر در فصول گرم سال که میزان بارندگی کاسته می‌شود عمدتاً رسوبات ریزدانه‌تر مانند ماسه متوسط تا سیلت ته‌نشست می‌یابد ولی به علت پراثری و سیلابی بودن محیط رسوبگذاری سیلت ریز تا رس را به میزان بسیار ناچیزی در حد کمتر از ۵ درصد یا حتی صفر می‌باشد به عبارت دیگر ته‌نشست رسوبات در حد سیلت تا رس در این حوضه رسوبی ممکن نیست زیرا که شدت جریان باعث می‌شود این رسوبات به صورت معلق باشند و در بار بستر حضور نداشته باشند. بیشتر رسوبات رودخانه‌ای در این منطقه از نوع رسوبات کنگلومرای و ماسه‌سنگ‌های پیلی که دارای فابریک کلاستی بوده و فابریک کلاستی آنها همراه محور طویل (a) به سمت بالای رودخانه می‌باشد که این مسئله می‌تواند نشان‌دهنده این می‌باشد که رسوبات از یک توده مجزا رسوب کرده که بدون کشش بار بستر می‌باشد. این مسئله در نقطه مقابل جهت‌یافتگی معمول از کلاست‌های هموار درون کنگلومرا می‌باشد که توسط انتقال کششی رسوب کرده‌اند مانند آنچه که در رودخانه‌های گراولی (مانند کرج) دیده می‌شود البته در مطالعات گراول فقط تحت شرایط انرژی بالای محیطی حرکت می‌کند و تمایل به نشان دادن تغییرات خطی پایین را دارد. آشفته بودن محیط رسوبی در این منطقه در برخی نقاط باعث به هم ریختن فابریک رسوبی می‌شود و برگشتگی بافتی را تداعی می‌کند. برای منطقه سیرا در رودخانه کرج میزان رسیدگی یا برگشتگی بافتی توسط فاکتورهای ذکر شده در بالا یعنی میزان ماتریکس، جورشدگی و گردشدگی محاسبه می‌شود. بر این اساس و برای مطالعه و شناخت بهتر خصوصیات اصلی محاسبه میزان رسیدگی یا بلوغ بافتی با توجه به فاکتورهای ذکر شده انجام شد و در جدولی که به این منظور تهیه شده است علاوه بر فاکتورهای ذکر شده برخی از خصوصیات دیگر مانند تعداد مد یا میانه نیز که تعداد



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

منشاء حمل رسوب را نشان می‌دهند آورده شده است. از نظر برخی رسوب شناسان مانند فولک ممکن است به تشخیص برگشته بودن یا نبودن بافتی رسوبات منطقه کمک کند.

۴- بحث و بررسی

رسوبات سیرا به دلیل این که در کانال سیلابی رودخانه قرار دارند به جز دو مورد بقیه دارای جورشدگی بد یا خیلی بدی می‌باشند. جورشدگی رسوبات رودخانه‌ای از نوع جورشدگی بد یا ضعیف بوده که در این منطقه نیز به همین صورت می‌باشد اگر جورشدگی رسوبات از نوع ضعیف است چگونه میزان ماتریکس رسی در رسوبات به شکل بسیار شاخصی پایین بوده و همچنین میزان گردشدگی دانه‌های گراول بسیار بالا بوده و دانه‌ها گردشده یا حتی خوب گردشده می‌باشند و چگونه می‌توان نوع فابریک و برگشتگی فابریک رسوبی را در این رسوبات تشخیص داد؟ ۱- به دلیل بالا بودن انرژی جریان رودخانه‌ها و کانال‌های سیلابی به ویژه رودهای اصلی و مهمی همچون رودخانه کرج میزان آشفستگی و حمل جریان رسوبات معلق مانند سیلت و رس بالا بوده و رسوبات ماسه‌ای و گراول‌ها نیز از راه غلتیدن حمل می‌شوند که این عامل اصلی شسته شدن و نبود ماتریکس رسی در نمونه‌های رسوبی برداشت شده است ۲- در مورد محیط رسوبی رودخانه‌های سیلابی دارای مناطقی می‌باشند که در آنها جریان آب از تلاطم کمتری برخوردار بوده و در آنها اکثرا رسوبات ریزدانه ته‌نشین می‌شوند که یکی از این مناطق حوضچه‌های بریده حاشیه‌ای و برخی از نقاط پیچ‌های رودخانه که از عرض بیشتری برخوردار هستند. این مناطق یا در رودخانه کرج شکل نگرفته‌اند یا که به شکل ضعیف و غیر قابل رویت می‌باشند از این رو رسوبات گلی در نمونه‌ها بسیار کم مشاهده شده است ۳- میزان حمل، جابجایی و سایش در دانه‌های رسوبات رودخانه‌ای بالا بوده و عامل اصلی گردشدگی در این رسوبات در پایین‌دست رودخانه‌ها است. در منطقه سیرا نیز مانند سایر مناطق و رودخانه‌های مطالعه شده عامل اصلی گردشدگی رسوبات سایش و حمل‌شدگی شدید دانه‌های رسوبی می‌باشد ۴- به استثنا دو نمونه که دارای گردشدگی و جورشدگی خوب و فاقد ماتریکس رسی می‌باشد و با داشتن بیش از 90 درصد گراول رسوبات بالغی را دارا می‌باشند بقیه نمونه‌ها همگی نشان از رسوبات نابالغ و یا نیمه بالغ هستند در مجموع عامل اصلی و کنترل‌کننده بلوغ بافتی در این بخش از رودخانه کرج میزان جورشدگی رسوبات است زیرا به علت انرژی بالای حمل جریان رسوبات اکثرا دارای گرد-شدگی خوبی بوده و زوایای کمی را دارا می‌باشند ۵- برگشتگی بافتی از نظر دانشمندانی همچون فولک دارای نتایج بسیار ارزشمندی است زیرا نشان‌دهنده مخلوط‌شدن رسوبات یک محیط با انرژی‌های متفاوت است در این مورد فولک با شفافیت برگشتگی بافتی را در رودخانه‌ای مثال می‌زند که در آن ماسه‌سنگ‌های قدیمی فرسایش یافته با ماسه‌های جدیدتری که اندازه آنها با ماسه‌های قدیمی متفاوت بوده و باعث کاهش جورشدگی و برگشتگی بافتی می‌گردد در نتیجه جز دو نمونه سایر نمونه‌های رسوبی برداشت شده دارای فابریک برگشته نوع 2 - (Type 2) می‌باشند که نشان از گردشدگی غیر معمول در کنار جورشدگی ضعیف در رسوبات است. علت اصلی آن نیز آشفته و سیلابی بودن جریانات رودخانه‌ای است که از یک سو باعث سایش و گردشدگی خوب در رسوبات و از طرف دیگر باعث به هم ریختن و مخلوط شدن ذرات با اندازه‌های متفاوت می‌شود که جورشدگی را به صورت چشمگیری کاهش می‌دهد و باعث برگشتگی بافتی در رسوبات می‌شود با توجه به این که رودخانه کرج یکی از رودهای اصلی البرز می‌باشد و عامل اصلی حمل رسوبات به داخل سد کرج می‌باشد بایستی میزان فرسایش را در این رودخانه تعیین کنیم.

The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran

جدول (۲) نتایج نمره‌دهی به عوامل فرسایش خاک به روش پسیاک

نمرات سیرا	نمرات مشخص‌کننده تاثیر عوامل در فرسایش خاک و تولید رسوب	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	ردیف
۶	۱۰ - ۰	زمین‌شناسی سطحی	۱
		Surface Geology	
۸	۱۰ - ۰	خاک	۲
		Soil	
۹	۱۰ - ۰	آب و هوا	۳
		Climate	
۸	۱۰ - ۰	روان آب	۴
		Run off	
۱۰	۲۰ - ۰	پستی و بلندی	۵
		Topography	
+۹	۱۰+ - ۱۰-	پوشش زمین	۶
		Ground Cover	
+۹	۱۰+ - ۱۰-	استفاده از زمین	۷
		Land Use	
۱۲	۲۵ - ۰	وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوزه	۸
		UP Land Erosion	
۱۳	۲۵ - ۰	فرسایش رودخانه ای و حمل رسوب	۹
		Channel Erosion and Sediment Transport	

The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran

۸۴	۱۲۰		
		جمع کل	

۵- برآورد رسوبات رودخانه کرج

در این روش از آمار دبی رسوب رودخانه کرج برای اندازه‌گیری میزان رسوب حوضه استفاده می‌شود سپس با دخالت دادن ضریب رسوب-دهی به میزان فرسایش حوضه آبخیز بالادست پی‌برده می‌شود. در این روش اطلاعاتی از سطح حوضه آبخیز جمع‌آوری نمی‌شود و به اطلاعات خروجی حوضه استناد می‌شود. در این روش عموماً بار معلق رودخانه کرج نمونه‌برداری شده بار بستر با توجه به خصوصیات مواد بستر و بار معلق و بار محلول تخمین زده می‌شود و از جمع آنها بار کل به دست آورده می‌شود. بار رسوب به کل مواد رسوبی که پس از جدایش از منشا وارد شبکه جریان شده به طرف پایین دست منتقل گردیده و به یک نقطه کنترل مثل ایستگاه سیرا وارد می‌شود اطلاق می‌گردد. بار رسوب تابعی از مساحت حوزه آبریز است. میزان رسوبات تولیدی در واحد سطح در واحد زمان را تخریت مخصوص می‌نامند. در آزمایشگاه گل‌آلودگی یا میزان رسوب موجود در حجم معین آب نمونه بار معلق به دست آورده می‌شود و می‌توان به دبی رسوب معلق رسید.

$$Q_s = Q_w * C$$

Q_s دبی رسوب معلق (گرم بر ثانیه)، Q_w دبی آب (مترمکعب بر ثانیه)، C گل‌آلودگی یا میزان رسوب موجود در حجم معینی از آب نمونه بار معلق (گرم بر متر مکعب) که در جدول‌های آب‌شناختی با نام CM آمده است. معمولاً دبی رسوب معلق به تن در روز تبدیل شده و در ترسیم منحنی‌سنج رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور و برای محاسبه دبی رسوبات برحسب تن بر روز با استفاده از داده‌های موجود از سازمان آب منطقه‌ای ابتدا فیلد CM در فیلد $debi$ ضرب و سپس ضرب در عدد ثابت 0.0864 می‌شود.

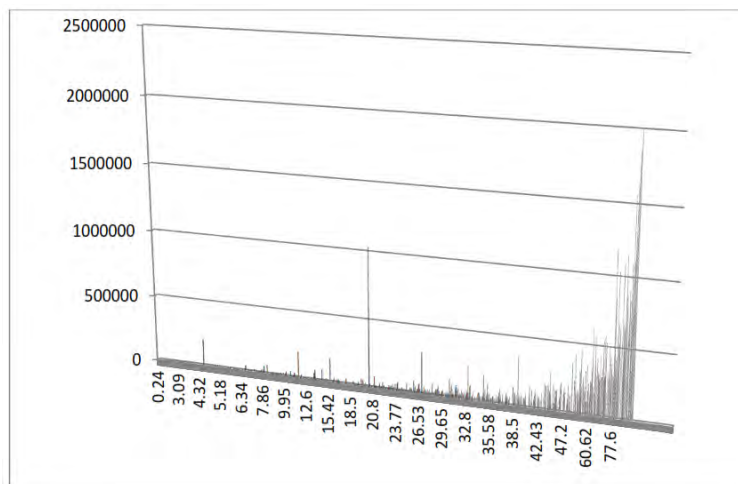
$$Q_s = C_m * Debi * 0.0864$$

اعداد به دست آمده در نرم‌افزار اکسل برای بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۴۵ میزان دبی متوسط 1637 تن در روز را برای رسوبات معلق نشان می‌دهند و میزان کل رسوب حمل شده نیز برابر با $86,959,801$ تن می‌باشد اما میزان بار رسوبات حمل شده برای 46 سال و برای 365 روز سال برابر است با $27,485,230$ تن که عدد منطقی و قابل قبولی می‌باشد. برای مشخص شدن ارتباط هر چه بهتر دبی و غلظت جریان منحنی‌هایی ترسیم شده در این منحنی‌ها عموماً دبی آب بر روی محور X بر حسب متر مکعب در ثانیه و دبی رسوب معلق در محور Y بر حسب تن در روز نشان داده می‌شود. در شکل زیر بر این اساس نسبت دبی رسوب معلق بر حسب تن در روز در مقابل دبی آب رودخانه برای منطقه سیرا برای سال‌های آبی 1345 تا 1392 به دست آمده است که در این نمودار میزان بیشینه حمل رسوبات در سال‌های آبی که دارای ترسالی است تا حدود 2 میلیون تن در روز هم می‌رسد و در بسیاری از موارد نیز این میزان به صفر نزدیک است که به دلیل کم بودن آن را صفر در نظر گرفته‌ایم.

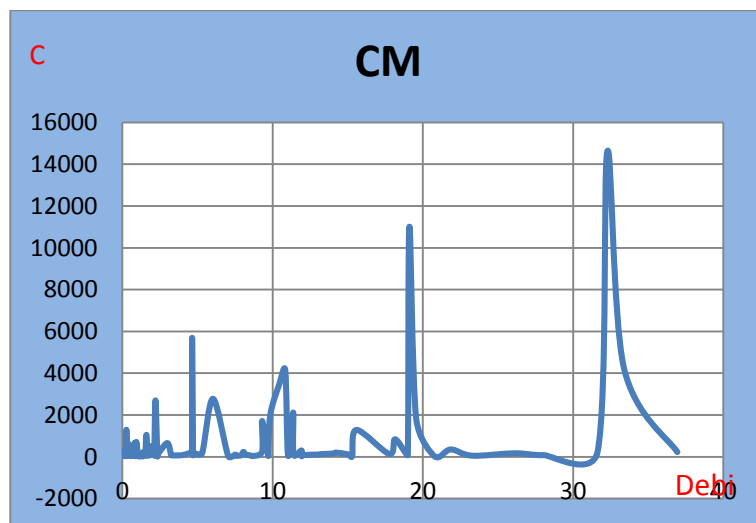


The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran



شکل (۹) نسبت دبی رسوب معلق بر حسب تن در روز در مقابل دبی آب رودخانه برای منطقه سیرا



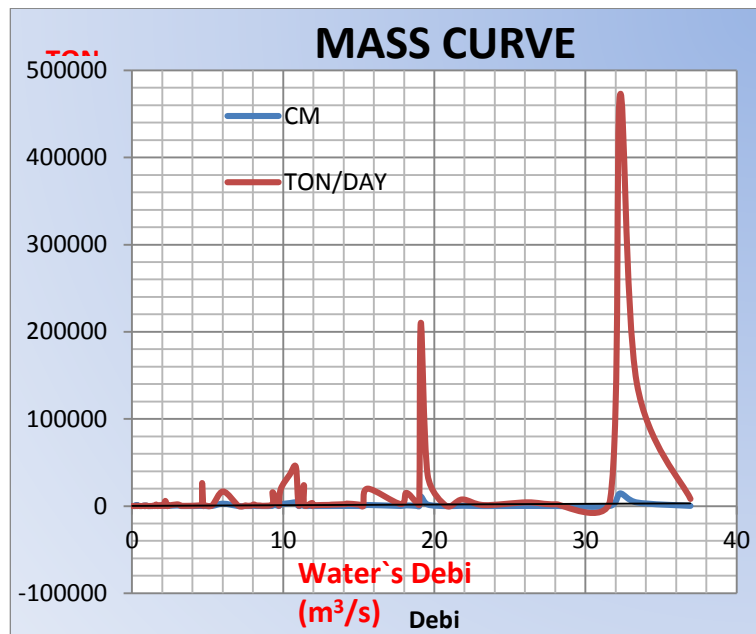
شکل (۱۰) نمودار میزان غلظت رسوبات در مقابل دبی آب رودخانه که به نمودار CM معروف است

در نمودار دیگری برای سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ دبی آب رودخانه با دبی رسوبات معلق در آن مقایسه شده و در نموداری جداگانه میزان رسوبات معلق در رودخانه (CM) نیز آمده است. این نمودار نشان‌دهنده میزان رسوبات معلق در آب رودخانه به اضافه دبی رسوب حمل شده در مقابل دبی آب رودخانه است. با توجه به این نمودار که یک نمودار جرمی می‌باشد اگرچه که میزان رسوبات معلق در آب رودخانه ظاهراً کم است ولی در واقع این میزان می‌تواند دبی بسیار بالایی از رسوبات معلق و حتی محلول را به ما نشان دهد.



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran



شکل (۱۱) نمودار دبی رسوبات (روز/تن) در مقابل دبی آب رودخانه کرج در منطقه سیرا

بخش عمده رسوبات رودخانه‌ای در زمان سیلاب در مدت کوتاهی عبور می‌کنند و سهم نمونه‌های غلظت مربوط به این دوره‌های آماری از سیلاب در رودخانه کرج و در مقطع سیرا کم می‌باشد که دلیل آن تغییرات شدید غلظت رسوب در طول هیدروگراف سیلاب می‌باشد که نمونه‌برداری‌های فشرده را ضروری می‌سازد. منحنی سنج رسوب از میانگین میزان دبی رسوبات حاصل شده و در آن نمودار مدنظر با شیب ملایمی به سمت بالا افزایش یافته است. خط میانگین سیاه رنگی که نشان از منحنی سنج رسوب می‌باشد میزان دبی متوسط را نیز بیان کرده است. بار بستر یا بار کف درصدی از کل مواد رسوبی رودخانه است که در تماس مستقیم با بستر رودخانه حرکت می‌نماید. میزان بار بستر رودخانه عمدتاً در ارتباط با سه متغیر اصلی زیر است که شامل شیب کانال یا سرعت میانگین رودخانه، طبیعت کانال (عمق، اندازه، شکل، زبری بستر و کناره‌ها)، سرعت برقراری ذرات که در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی حوضه است. برای ارزیابی تاثیر عوامل بالا روی بار کف معیارهای زیر پیشنهاد شده است.

- ۱- هرچه میزان مواد معلق واقعی رودخانه کمتر باشد درصد بار بستر بیشتر خواهد بود که این مسئله در تخمین بار بستر بسیار مهم است.
- ۲- هرچه اختلاف اندازه ذرات مواد بستر و مواد معلق کمتر باشد درصد بار بستر به بار کل بیشتر خواهد بود.
- ۳- نسبت بار بستر به بار معلق برای مراحل پایه و متوسط رودخانه بیشتر از مراحل حداکثر است بنابراین در رودخانه‌ای که جریان نوسان زیادی ندارد احتمالاً درصد بیشتری از مواد به صورت بار بستر حمل خواهد شد (رودخانه کرج).
- ۴- رودخانه‌های با کانال‌های کم عمق و پهن عموماً درصد بالاتری از رسوب را به عنوان بار بستر از رودخانه‌های با کانال تنگ و عمیق حمل می‌کنند. رودخانه کرج بر طبق مشاهده و مطالعات انجام شده عمدتاً دارای کانال‌های کم عمق و پهن می‌باشد که درصد بالاتری را از بار بستر می‌تواند حمل کند.
- ۵- آبراهه‌ها با آشفتگی زیاد دارای مقدار کمتری بار بستر هستند.



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

۶- یک کلید برای تصحیح میزان بار بستر منشا رسوبات است. سه نوع فرسایش اصلی که رسوبات را تولید می کنند شامل فرسایش سطحی، فرسایش آب کندی و فرسایش کناره‌ای می باشند. رودخانه‌هایی که رسوبات ناشی از این فرسایش را حمل می کنند دارای بار بستر کمی می باشند. فرسایش آب کندی و کناره‌ای مواد درشت تری را حمل می کنند و بار بستر زیادتری را ایجاد می نمایند.

۷- در زمان‌های طغیانی یا سیلابی عمق جریان و آشفتگی جریان بیشتر است و میزان بار بستر عموماً کاهش می یابد بنابراین در زمان‌های طغیانی بار بستر کمتر از بار معلق نسبت به زمان‌های دبی پایه است.

در این تحقیق بار بستر مستقیماً ارزیابی نشده است بلکه مطابق کارهای دقیق کارشناسی صورت گرفته بخشی از بار معلق ۱۵ تا ۳۰ درصد به عنوان سهم بار بستر تلقی شده و بار کل ارزیابی گردیده است. بر طبق این تحقیق شیب رودخانه کرج ۱۸.۵ در هزار و شیب متوسط رودخانه شاهرود ۷ در هزار است و رودخانه کرج در این تحقیق به عنوان یک رودخانه کوهستانی و پرشیب بوده است. فرض حدود ۳۰ درصد بار معلق برای بار بستر برای رودخانه کرج بسیار دست پایین بوده و به مراتب نسبت بیشتری را باید به آن اختصاص داد بنابراین بار بستر از نظر کمی در این رودخانه‌ها بیشتر از بار معلق بوده است. این تخمین در ارزیابی عمر مفید سدها تاثیر زیادی می‌گذارد. شرایط متنوع آب و هوایی، ویژگی‌های زمین‌ساختی، سایر عوامل حوضه‌ای و رفتار ناموزون هیدرولوژیکی رودخانه‌های ایران باعث می‌شوند که در نظر گرفتن بار بستر به صورت درصدی از بار معلق در تمامی حوضه درست نباشد. مخازنی مانند مخزن سد کرج که در امتداد رودخانه‌ها ساخته می‌شوند بر خصوصیات جریان رودخانه تاثیر می‌گذارند و باعث می‌شوند رسوبات خود را در مخزن ته‌نشست دهد. در یک رودخانه فرسایش، حمل و رسوب در حال تعادل هستند اما وقتی سدی احداث می‌شود با توجه به این که سطح اساس محلی بالا می‌رود حالت توازن به هم‌خورده ته‌نشست رسوب صورت می‌گیرد تا رودخانه دوباره به حالت توازن برسد. در نتیجه رسوب‌گذاری به تدریج از حجم اولیه مخزن کاسته می‌شود که این اتفاق برای اکثر سدهای کشور از جمله سد کرج در حال رخ دادن است. یکی از روش‌ها در نظر گرفتن ظرفیتی به نام حجم مرده در مخازن سدها است اما رسوبات اغلب در حجم مرده تجمع نمی‌یابند بلکه در حجم اصلی مخزن جمع می‌شوند. با توجه به قرارگیری منطقه سیرا در بالادست سد کرج تمامی خصوصیات هیدرولوژیکی و رسوبی رودخانه کرج در مقطع سیرا در مخزن سد کرج نیز وجود دارد. دلیل این مدعا قرارگیری مخزن سد کرج در پایین دست منطقه سیرا می‌باشد که می‌تواند رسوبات را به صورت بار بستر و بار معلق حمل و در پشت سد رسوب دهد. عواقب فنی و اقتصادی رسوب‌گذاری در مخازن سدها نامطلوب است و بایستی مقدار رسوباتی که در مخزن سد برجا می‌ماند و همچنین توزیع رسوبات در مخزن سد پیش‌بینی شود. برخی از اثرات رسوب‌گذاری در مخزن سد شامل تاثیر بر رفتار هیدرولیکی آب موجود در مخزن سد، کاهش حجم ذخیره‌ای سد، امکان مسدود شدن آب‌گیرهای عمقی، اختلال در سامانه بهره‌برداری مخزن و فرسایش بستر پایاب است (فیض‌نیا، ۱۳۸۷). هنگامی که رودخانه به داخل مخزن وارد می‌شود مساحت مقطع کانال افزایش می‌یابد که این مسئله باعث کاهش سرعت رودخانه می‌شود. مسیر جریان آب رودخانه به وسیله چگالی آب مخزن و چگالی آب رودخانه تعیین می‌گردد. جریان آب رودخانه رسوب‌دار دارای چگالی بالاتری است و در داخل دریاچه مخزن در امتداد کف جریان می‌یابد و ایجاد جریان زیرین یا جریان گل‌آلود را می‌کند و در نتیجه مقدار زیادی از رسوبات ریزدانه در قسمت‌هایی تجمع می‌یابد که قبلاً تصور نمی‌شد. در بیشتر موارد چگالی آب رودخانه مابین چگالی آب بالایی و پایینی مخزن است در نتیجه آب در بین این دو قسمت جریان می‌یابد. مطالعات دقیقی بر روی رسوبات مخزن سد کرج و نحوه پراکنش رسوبات درون مخزن بعد از ورود رودخانه به مخزن سد کرج معلوم نیست ولی با توجه به مورفولوژی مخزن سد این مخزن به مانند یک دریاچه عمل کرده و خصوصیات دریاچه را دارد که رسوبات فصلی و سیلابی به ترتیب در فصول مختلف در آن نهشته می‌شود. نحوه پخش رسوبات در مخزن سد متنوع می‌باشد و به چند عامل زیر شامل اندازه ذرات رسوب، شیب طولی اولیه بستر رودخانه، ارتباط بین جریان‌های ورودی و خروجی در مخزن، اندازه و شکل مخزن و نوع عملکرد مخزن بستگی دارد. در مخازنی که مدت طولانی از سال خالی یا کم‌آب بوده و رسوبات به صورت لایه‌های ممتد در



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

کف نهشته می‌شوند. عامل اصلی رسوب گذاری رسوبات در مخازن سدها نحوه پراکندگی و حرکت رسوبات در پشت مخزن سدها می‌باشد که سه حالت مختلف را نشان می‌دهد که این سه حالت شامل شکل بالا یعنی حرکت رسوبات ریزدانه در سطح؛ وسط یعنی حرکت رسوبات متوسط تا ریز در اعماق میانی و پایین یعنی حرکت رسوبات درشت و ته‌نشست آنها در کف می‌باشد. رسوباتی که در سطح و در بخش میانی آب مخزن حرکت می‌کنند عمدتاً رسوبات ریزدانه بوده و اکثراً از دریاچه‌های مختلف تخلیه سدها خارج می‌شوند ولی رسوبات درشت که در کف ته‌نشست می‌یابند پشت مخزن سدها ته‌نشین شده و مشکل آفرین خواهند شد مسئله‌ای که ما در کشورمان با آن روبرو هستیم. برای بررسی نحوه پراکندگی رسوبات در مخازن سدها مدل‌های متعددی را پیشنهاد کرده‌اند که شاخص‌ترین آن‌ها مدل HEC-RAS می‌باشد. با استفاده از مدل عددی HEC-RAS مخزن سد کرج را شبیه‌سازی کرده‌اند. وی با بررسی‌های دقیق بیان داشته که مدل HEC-RAS دقیق‌تر از مدل‌های تجربی پیشین بوده و با استفاده از آمار و اطلاعات ثبت شده برای غلظت جریان ورودی در مخزن سد و استفاده از روش FAO همچنین نسبت بار بستر به بار معلق که برابر ۰,۴۱ به دست آمد و وزن مخصوص خشک رسوبات برابر ۱,۳ برابر میزان رسوب ورودی به مخزن حدود ۲۷ میلیون متر مکعب به دست آمده و با استناد به آمار موجود میزان رسوب نشسته در مخزن حدود ۲۱,۵ میلیون متر مکعب است. برای تخمین میزان رسوبی که در مخازن سدها باقی می‌ماند از روش‌های تجربی استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های تجربی استفاده از ضریبی به نام ضریب ماند رسوب است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

ضریب ماند رسوب = میزان رسوب ورودی به مخزن که در داخل مخزن باقی می‌ماند تقسیم بر میانگین

سالیانه دبی جریان یا حجم جریان ورودی به مخزن یا حجم مخزن

ضریب ماند رسوب بستگی به چند عامل به شرح زیر دارد.

- ۱- خصوصیات رسوب مخصوصاً اندازه ذرات رسوب که ذرات درشت‌تر در قسمت بالادست مخزن نهشته می‌شوند و ذرات ریزتر به مدت طولانی معلق باقی می‌مانند.
- ۲- زمان باقی ماندن جریان در داخل مخزن یا دوره نگهداری که بستگی به دبی جریان ورودی و خروجی، حجم مخزن و عملکرد مخزن دارد. مخازن کنترل‌کننده سیلاب که چند روزه خالی می‌شوند ضریب رسوب گذاری کمتری از مخازن ذخیره آب را دارا می‌باشند.
- ۳- نسبت ظرفیت مخزن به دبی سالیانه جریان آب به داخل مخزن که اگر دبی سالیانه جریان آب به مخزن بیش از حجم مخزن باشد زمان باقی ماندن مواد در مخزن کم است و رسوبات از سد می‌گذرند.
- ۴- نوع و محل سرریزها و خروجی سد که سدهایی که خروجی‌های بزرگتری دارند رسوب کمتری را به تله می‌اندازند.

The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

خطا (درصد)	درصد تله اندازی	روش	
۰/۲۵	۷۹/۸	HEC-RAS (روش لارسن - روی)	
۱۶/۲۵	۹۳	ریزدانه	برون ۱۹۵۳
۲۰/۶۳	۹۶/۵	متوسط	
۲۳/۷۵	۹۹	درشت	
۲۴/۷۵	۹۹/۸	جرچیل	
۱۹/۲۸	۹۵/۴۲	ریزدانه	براون
۲۲/۳	۹۷/۸۴	متوسط	
۲۴/۷۳	۹۹/۷۸	درشت	
۱۵/۶۳	۹۲/۵	متوسط	کراپوشف
۲۱/۱۸	۹۶/۹۴	متوسط	راکاش و گارج
۲۲/۸۴	۹۸/۲۷	درشت	
۲۳/۸۸	۹۹/۱	درشت	جیل
۱۸/۳۸	۹۴/۷	دندی	

جدول (۳) درصد تله اندازی در مخزن سد کرج با استفاده از روش های مختلف

نتایج

۱- توضع و پراکندگی اکثر رسوبات در حد گراول تا ماسه درشت بوده که شاخص مناطق رودخانه ای می باشد. جورشدهای ضعیف رسوبات نیز دیگر ویژگی رسوبات منطقه سیرا می باشد و تنها دو نمونه دارای جورشدهای خوب می باشند و علت آن نیز به احتمال زیاد خطای نمونه برداری و شسته شدن رسوبات (شسته شدن سیلت و رس) و عدم برداشت یکنواخت است همچنین کج شدگی بیشتر نمونه ها به دلیل وجود ذرات دانه ریز در لابلای ذرات درشت رسوبات نمونه برداری شده مثبت بوده است اما روش های محاسباتی برخی تغییرات را در تقارن نمودارها نشان می دهند و بین مقادیر عددی و نمودار توزیع اندازه دانه ها در برخی موارد ناهمگونی وجود دارد که به علت ورود رسوبات از منشا دیگری است (Folk, 2002). بیشتر رسوبات معلق را رسوبات ماسه درشت، گراول ریز و اندکی رسوبات گلی را تشکیل می دهند و بار بستر را بیشتر رسوبات ماسه درشت تا گراول ریز تشکیل می دهند بر طبق نتایج تحلیل کلی از رسوبات میزان هر کدام از این رسوبات، حجم رسوبات معلق بیشتر از نوع رسوبات ماسه ریز تا سیلت است که این رسوبات در نمونه برداری های انجام شده بسیار کم است.

۲- جورشدهای در محل سد دماغه ای در محلی که رودخانه مستقیم می باشد ممکن است به وجود آید. دلیل اصلی آن هم پایین بودن انرژی جریان در این محل می باشد که قبلا تصور می شد در نتیجه اشتباه در نمونه برداری بوده است. بیشتر رسوباتی که در این محل ته نشین می شوند از نوع رسوبات ماسه و گراولی هستند که به مرور زمان یا سفت شده و یا سفت و سنگ شدگی کنده شده و به محل دیگری حمل می شوند.

۳- سرازیر شدن رودخانه کرج به سوی پایین دست در منطقه سیرا به سمت سد امیرکبیر و به دنبال حرکت این رود در جهت جریان ثقلی - فرسایشی خود است. مدلی که برای فرسایش، حمل و رسوب گذاری در حوضه آبریز سیرا و سد کرج ارائه شده تصویری شماتیکی از تمامی این فرایندها است. بر طبق این الگو عوامل آب و هوا و زمین شناسی تاثیر مستقیم در فرسایش واحدهای مختلف بالادست منطقه



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran

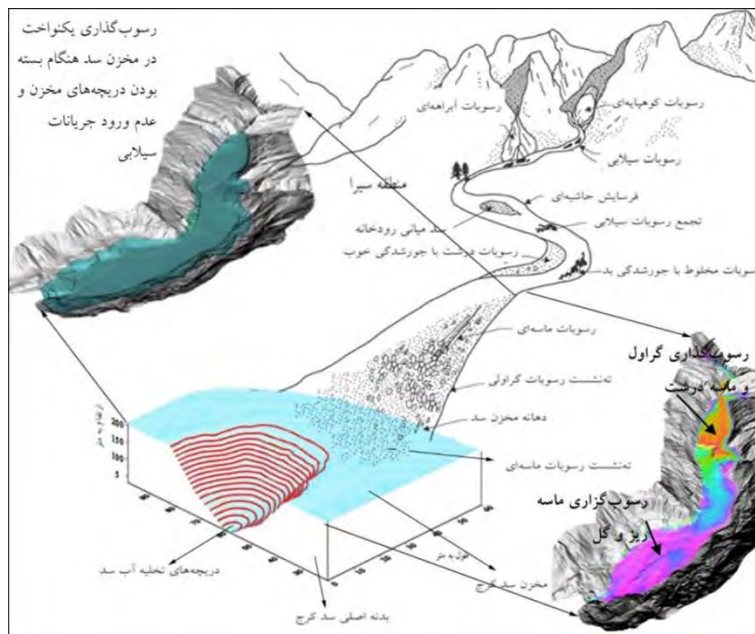
سیرا داشته و باعث فرسایش متوسط خاک می شود در ادامه فرسایش تولید رسوب در رودخانه و آبراهه و سطح خاک رخ داده که این رسوبات توسط آبراهه های کوچک و بزرگ حمل شده و به داخل رودخانه کرج وارد می شود. با حمل متوسط روزانه ۱۶۳۷ تن رسوب در روز رسوبات در طول کانال رسوبی حرکت کرده بر دبی آب و میزان وجود رسوبات عمل فرسایش و حمل رسوبات به نوبت تکرار خواهد شد. در فرآیند جابجایی رسوبات در کانال رودخانه در برخی از نقاط تجمع رسوبات سیلابی را با جورشدگی بد می توان شاهد بود و در برخی نقاط که جریان آب از شدت کمتری در کانال رودخانه برخوردار است جورشدگی رسوبات خوب است. با نزدیک شدن رسوبات به محل مخزن سد در ابتدا رسوبات درشت دانه مانند ماسه درشت و گراول که به صورت بار بستر بوده و با فرآیند کشش حمل می شدند رسوب می کنند در ادامه و در مخزن سد به تدریج اندازه رسوبات کاهش یافته و در داخل مخزن سد ماسه ریز تا گل ته نشین می شوند. میزان حمل رسوبات معلق که بیشتر ماسه ریز و گل را تشکیل می دهند حدود ۲۷,۵ میلیون و رسوبات بستر که بیشتر ماسه درشت تا گراول ریز است حدود ۱۱ میلیون تن است که تقریباً ۱۰ درصد مخزن بسیار بزرگ سد کرج را در طی سالیان گذشته پر کرده است.

- زمین شناسی و ساختارهای زمین شناسی موجود در منطقه با وجود فرسایش پذیر بودن واحدهای سنگی تولید رسوبات را بیشتر در مناطق خردشده و گسلی انجام می دهند. مناطق خردشده و گسلی محل عبور آبراهه های فرعی و یا سرشاخه های ورودی به رودخانه کرج است. در مجموع فرسایش پذیر بودن و تراکم بالای شکستگی عامل اصلی حمل رسوبات فراوان به منطقه است.
- نتایج حاصل از بررسی فرسایش خاک به روش پسیاک پیشرفته نشان از فرسایش حدود ۶۰ درصدی رسوبات است که در حوضه آبریز سیرا در بالادست سد کرج به دست آمده است که این میزان فرسایش نقش فرسایش مداوم را در این منطقه به خوبی نشان می دهد.
- بیشتر رسوبات موجود در رودخانه کرج از نوع ماسه درشت تا گراول ریز می باشد که از بستر رودخانه نمونه برداری شده است که در نتیجه بیشتر رسوبات بستر رودخانه از نوع ماسه درشت تا گراول و رسوبات معلق از نوع رسوبات ماسه ریز تا سیلت می باشند.
- به دلیل وجود جریان های کشندی که بار بستر رودخانه ها را حمل می کند بیشتر رسوبات رودخانه از نوع رسوبات گراول تا ماسه درشت است که در کف رودخانه کرج وجود دارد. رسوبات ریزدانه ای که به صورت بار معلق و بسیار کم تر بار محلول حمل می شود به داخل مخزن سد کرج وارد شده و بخش زیادی از آن رسوب می کند.
- بیشتر رسوبات رودخانه کرج دارای برگشتگی بافتی می باشند که جریان سیلابی در فصول بارش عامل اصلی آن است و دلیل عدم جورشدگی در بسیاری از رسوبات نیز همین مسئله است البته در برخی از نقاط میزان به هم ریختن کم بوده و رسوبات دارای جورشدگی خوبی می باشند که این مناطق سدهای دماغه ای می باشند که در زمان سیلاب در جهت مسیر سیلاب قرار نگرفته اند.
- حوضه آبریز سیرا یک منطقه با فرسایش متوسط ۶۴,۵ درصدی می باشد که سالیانه در حدود ۸۰ هزار تن رسوب را در کانال های رود تولید، حمل و ته نشین می کند. با گذشت بیش از ۴۵ سال از تاسیس سد امیرکبیر حدود ۳۸,۵ میلیون تن رسوب در مخزن این سد ته نشین شده که حدود ۱۰ درصد مخزن این سد را پر کرده است. بیشتر رسوبات پرکننده مخزن سد را رسوبات معلق پرمی کنند که بعد از ورود رسوبات به دریاچه سد به آرامش رسیده و رسوب می کنند.



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht, Iran



شکل (۱۲) تصویر شماتیکی از رودخانه کرج و سد آن در پایین دست رودخانه به همراه تصویر ماهواره ای منطقه با پرشدن در یک حوضه آرام رسوبی (تصویر ارتفاعی بالا - چپ) و حوضه واقعی که جریان رسوبات در آن برقرار است (تصویر ارتفاعی پایین - راست) که همراه مدل سه بعدی از مخزن سد کرج در محل تاج سد آورده شده است. دلیل اصلی پرنشدن بیش از حد انتظار می تواند یعنی عدم فرسایش بیش از حد رسوبات و واحدهای رسوبی بالادست رودخانه، وجود جریانات سیلابی در فصول سرد و وجود دریاچه های تخلیه که باعث آشفته گی در بستر مخزن شده و رسوب گذاری در کف را برهم می زند باشد.

نتایج

- ۱- مطالعه ماکروسکوپی سنگدانه ها برای ساخت بتن، قدرت الله محمدی و سید علیرضا آشفته، اولین کنفرانس ملی معماری و شهرسازی اسلامی، دانشگاه جامع علمی کاربردی با همکاری دانشگاه علمی کاربردی زاهدان (۲)، ۲۰ بهمن ماه ۱۳۹۲
- ۲- رسوب شناسی ماسه های ساحلی با روش ترسیمی و لحظه ای، سید علیرضا آشفته و قدرت الله محمدی، اولین همایش تخصصی و ملی کاربرد سیالات درگیر در علوم زمین، دانشگاه زنجان با همکاری مرکز مطالعات فلونید اینکلوزن دانشگاه مونتان لنوین اتریش، ۹ تا ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴
- ۳- تشریح پتروگرافی رسوبات آبرفتی شمال ساختگاه سد باروق، قدرت الله محمدی، امیر موسوی و سید علیرضا آشفته، اولین همایش ملی پژوهش های کاربردی در علوم و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ۴ تا ۶ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲



The 1st National Conference on the Natural Environment

29 Feb 2016, Rasht , Iran

۴- تشریح پتروگرافی رسوبات آبرفتی سد حاجیلر خاروانا در شهرستان ورزقان (شمال غرب ایران)، فرانک فیضی و سید علیرضا آشفته، نهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، دانشگاه بیرجند، انجمن علمی کرونا با همکاری وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان نظام مهندسی معدن خراسان جنوبی، ۶ تا ۸ آذر ماه ۱۳۹۲

۵- برآورد میزان بار رسوب در مخزن سد دهستان پشتکوه، سید علیرضا آشفته، نوزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، دانشگاه پیام نور و انجمن زمین شناسی ایران با همکاری سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و شرکت زراژما، ۲۶ تا ۲۷ آذر ماه ۱۳۹۴