بررسی خصوصیات فیزیکی رسوبات همیشه مستغرق مخزن سد دز با استفاده از اندازه‌گیری میدانی و روش‌های تجربی

حسین صمدی بروجنی[1*]، منوچهر فتحی مقدم[2] و ابراهیم زلقی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد و رئیس مرکز تحقیقات منابع آب
۲- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- کارشناس ارشد سازه های آبی و مدیر بخش کنترل رسوب، سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۱/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۱۷

چکیده

رسوبگذاری در مخازن سدها به عنوان عامل اصلی کوتاه کردن عمر مفید سد حائز اهمیت زیادی است. در این تحقیق بررسی خصوصیات فیزیکی مخزن سد دز، با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی و روش‌های تجربی مورد توجه قرار گرفته است. طی عملیات اندازه‌گیری میدانی انجام گرفته در مخزن این سد، در۱۲ مقطع از قسمت همیشه مستغرق مخزن، تعداد ۷۹ نمونه رسوب برداشت شده و آزمایش‌های مختلف فیزیکی بر روی آنها انجام گرفته است. نتایج نشان داد که در بازه مورد مطالعه (تا ۲۵ کیلومتر بالادست بدنه سد) رسوبات مخزن از نظر دانه‌بندی و جرم مخصوص از یک یکنواختی نسبی بالائی برخوردار هستند. همچنین نتایج نشان داد روش‌های تجربی تعیین جرم مخصوص رسوبات سدها برای تخمین جرم مخصوص رسوبات مخزن سد دز به طور متوسط ۳۰ درصد خطا داشت که این نتیجه بیانگر عدم کارائی آنها می‌باشد. این خطا عمدتاً مربوط به خطای برآورد جرم مخصوص رسوبات رسی مخزن بر می‌گردد. همچنین در این تحقیق یک رابطه جدید برای محاسبه جرم مخصوص رسوبات مخزن سد دز بر مبنای دو پارامتر درصد رسوبات ریزدانه (مجموع درصد رس و سیلت) و درصد رسوبات درشت دانه (مجموع درصد ماسه و شن) به دست آمد.

کلید واژه‌ها: *خصوصیات فیزیکی، رسوبات مستغرق، سد دز، روش‌های تجربی.*

Survey Physical Properties of the Always Submerged Sediments in Dez Dam Reservoir Using the Field Data and the Empirical Methods Application

H. Samadi-Boroujeni[1] , M. Fathi-Moghadam[2] and E. Zallaghi[3]

1- Assistant Professor Shahrekord University and Head of Water Resources Research Center, Shahrekord, Iran
2- Professor, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.
3- The Head of Sediment Control Division Khuzestan Water and Power Authority, Iran.

Received: 25.Jan.2012 Accepted: 8.Oct.2012

Abstract

Sediment deposition is the principal problem affecting the useful life of reservoirs. Here we quantify the physical properties of sediments deposited in Dez dam reservoir by field investigations and empirical methods. Upon field investigation performed in the reservoir, 79 undisturbed sediment samples were taken from 12 cross sections of a 25 km of the reservoir upstream dam body where the sediments deposited have always been submerged. Results showed that grain size and bulk density of sediment deposited in the studied reach (up to 25 km upstream Dez dam body) are almost uniform and empirical methods for calculating bulk density in comparing of field data has averagely an error of 30%. This shows that the empirical methods aren't capable accurately to predict bulk density of fine sediment in Dez reservoir. Analysis of the results showed that the error mostly refer bulk density calculation of the clay sediments.

Keywords: *Physical properties, Submerged sediments, Dez dam, Empirical methods.*

مقدمه

بر اساس مطالعات کارشناسان فائو و با توجه به مشاهدات صحرائی و تفسیر عکس‌های هوائی، تولید سالیانه رسوب حوضه سد دز بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ تن در هر کیلومتر مربع تخمین زده شده، که معادل فرسایش سالیانه ۰/۱۵ تا ۱/۵ میلی‌متر خاک در تمامی سطح حوضه آبریز می‌باشد (۷). اکثر این رسوبات را بخش‌هائی از حوضه که در ارتفاعات قرار دارند تولید می کند و چون عمدتاً رسوبات ریزدانه هستند، به همراه جریان آب به نقطه خروجی حوضه می رسند. از زمان احداث سد دز، عمده رسوبات ورودی در مخزن ته نشین شده است. نرخ رسوبگذاری در مخزن سد دز با توجه به نتایج هیدروگرافی سال ۱۳۸۳ معادل ۱۵/۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است.

به طور معمول الگوی رسوبگذاری در مخازن سدها به‌گونه‌ای است که در قسمت‌های ابتدائی مخزن (موسوم به دلتای مخزن) رسوبات از نوع درشت دانه بوده و هرچه به بدنه سد نزدیک‌تر می‌شویم، رسوبات ریزدانه‌تر شده به طوریکه غالباً رسوبات ته‌نشین شده در پشت بدنه سد از نوع رسوبات چسبنده می‌باشند. در این رابطه حرکت جریان‌های غلیظ در بستر مخزن باعث می‌شود میزان ته‌نشینی رسوبات ریزدانه و چسبنده در پشت بدنه سد افزایش یابد (۵).

با توجه به اهمیت رسوبگذاری در مخازن سدها، استفاده از روش‌های مدیریت رسوب جهت افزایش هرچه بیشتر عمر مخازن امری ضروری است و در این رابطه یکی از پیش‌نیازهای مهم تعیین پارامترهای فیزیکی رسوبات از جمله دانه‌بندی، جرم مخصوص و نسبت پوکی می‌باشد.

سرویس حفاظت از منابع طبیعی آمریکا[1] به جای یک عدد مشخص برای جرم مخصوص رسوبات در مخازن سدها، بازه‌ای مطابق جدول(۱) ارائه دادند.

لارا و پمبرتن[2] با آنالیز بیش از۱۳۰۰ نمونه رسوب ازمخازن سدها، روش تجربی زیر را برای تعیین جرم مخصوص اولیه رسوبات ارائه دادند (۵):

$$\rho_1 = \rho_C P_C + \rho_M P_M + \rho_S P_S \qquad (۱)$$

که درآن ρ_1 : جرم مخصوص اولیه رسوبات ته‌نشین شده (در سال اول)، Pc، P_M و P_S: به ترتیب درصد ذرات رس، سیلت و ماسه، ρ_C ، ρ_M و ρ_S به ترتیب جرم مخصوص اولیه برای رسوبات رس، سیلت و ماسه که طبق جدول(۲) تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه با گذشت زمان رسوبات مخازن سدها متراکم شده و جرم مخصوص آنها کاهش می‌یابد لذا محققین دیگر سعی کرده‌اند تغییرات جرم مخصوص رسوبات را نسبت به زمان به دست آورند که از جمله آنها می‌توان به رابطه ارائه شده توسط لین و کالزر[3] (۳) اشاره کرد که به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho_t = \rho_1 + \sum_{i=1}^{3} \frac{(B_i \times P_i)}{100} \times \log t \qquad (۲)$$

که در آن ρ_1 : جرم مخصوص ظاهری رسوبات پس از گذشت یک سال که از طریق رابطه لارا و پمبرتن به دست می‌آید، B_i : ضریب معادله که برحسب نوع رسوب از جدول(۳) تعیین می‌گردد، p_i: درصد هر یک از رسوبات در کلاسهای مختلف رس، سیلت و ماسه؛ ρ_t : جرم مخصوص ظاهری رسوبات پس از گذشت زمان t سال.

میلر[4] نیز رابطه زیر را برای محاسبه متوسط جرم مخصوص رسوبات ته نشین شده پس از t سال ارائه داده است(۴) .

$$\rho_t = \rho_1 + 0.4343 \times \left(\sum_{i=1}^{3} \left(\frac{(B_i \times P_i)}{100} \right) \right) \times \left[\frac{t}{t-1} (\ln t) - 1 \right] \qquad (۳)$$

رابطه دیگری که در این زمینه ارائه شده است، رابطه نمائی به شرح زیر است (۹):

$$\rho_t = \rho_1 . t^{0.5 \log(1+\frac{2B}{\rho_1})} \qquad (۴)$$

کالزر و لارا[5] رابطه زیر را برای تعیین جرم مخصوص رسوبات ته‌نشین شده در مخازن سدها ارائه دادند(۳):

$$\gamma_s = 51(p+2)^{0.13} \qquad (۵)$$

که در آن: γ_s جرم مخصوص رسوبات (بر حسب پوند بر فوت مکعب) و p : درصد رسوب با اندازه بزرگتر از ۰/۰۵ میلی‌متر است.

با توجه به اینکه با گذشت زمان، رسوبات مخزن دچار تراکم و یا تحکیم می‌شوند، جرم مخصوص رسوبات افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر بین جرم مخصوص رسوبات و سایر پارامترهای فیزیکی، روابطی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \qquad (۶)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e} \qquad (۷)$$

1- United State of Natural Resources Conservation Service
2- Lara and Pamberten
3- Lane and Koelzer
4- Miller
5- Koelzer and Lara

جدول ۱- محدوده تغییرات جرم مخصوص رسوبات (۸)

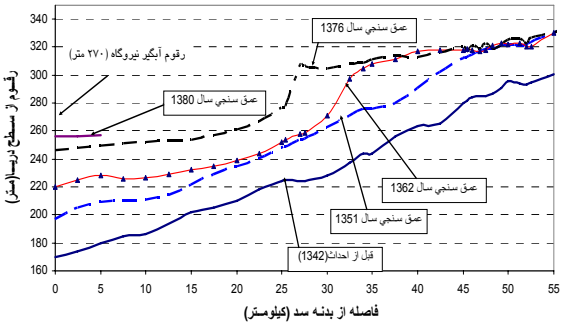
نوع رسوب	محدوده جرم مخصوص خشک رسوبات (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	
	همیشه مستغرق	بخ طور معمول خشک
رس	۰/۶۴ تا ۰/۹۶	۰/۹۶ تا ۱/۲۸
لای	۰/۸۸ تا ۱/۲	۱/۲ تا ۱/۳۶
مخلوط رس-لای	۰/۶۴ تا ۱/۰۴	۱/۰۴ تا ۱/۳۶
مخلوط ماسه-لای	۱/۲ تا ۱/۵۲	۱/۵۲ تا ۱/۷۶
ماسه	۱/۳۶ تا ۱/۶	۱/۳۶ تا ۱/۶
شن	۱/۳۶ تا ۲	۱/۳۶ تا ۲

جدول۲- مقادیر جرم مخصوص ظاهری خشک رسوبات (ρ_1) برای شرایط مختلف بهره برداری از مخزن سد (kg/m^3)

وضعیت رسوبات	ماسه	سیلت	رس
همیشه مستغرق	۱۱۵۰	۱۱۲۰	۴۱۶
به طور دوره‌ای خشک	۱۱۵۰	۱۱۴۰	۵۶۱
به طور معمول خشک	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۶۴۱

جدول۳. مقادیر پارامتر B رسوبات برای شرایط مختلف بهره برداری از مخزن سد (kg/m^3)

وضعیت رسوبات	ماسه	سیلت	رس
همیشه مستغرق	۰	۹۱	۲۵۶
بطور دوره‌ای خشک	۰	۲۹	۱۳۵
بطور معمول خشک	۰	۰	۰



شکل۱- نیمرخ طولی رسوبات مخزن سد دز در سال‌های مختلف

که در روابط بالا γ_d: جرم مخصوص خشک رسوب، γ_{sat}: جرم مخصوص اشباع رسوب، γ_w: جرم مخصوص آب (در سیستم متریک بر حسب نیوتن برمترمکعب) و G_s و e به ترتیب چگالی ذرات رسوب و نسبت پوکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف) سابقه رسوبگذاری در مخزن سد دز

سد دز با ارتفاع ۲۰۳ متر و حجم اولیه مخزن ۳/۳۱۵ میلیارد مترمکعب از سال ۱۳۴۲ مورد بهره‌برداری است. ظرفیت نیروگاه این سد ۵۲۰ مگاوات با متوسط تولید برق ۲۴۰۰ گیگاوات ساعت در سال و میانگین سالانه دبی جریان ورودی به مخزن سد ۲۶۰

مترمکعب‌برثانیه است. نتیجه عملیات هیدروگرافی مخزن سد دز نشان می‌دهد از زمان بهره‌برداری سد، رسوبگذاری باعث شده به طور متوسط ۱۵/۸ میلیون مترمکعب در سال از گنجایش مخزن کسر شود و ضخامت رسوبات در پشت بدنه سد به حدود ۱۰۰ متر برسد (۲). در شکل(۱) نیمرخ طولی رسوبات مخزن سد دز بر مبنای عملیات هیدروگرافی مخزن در سال‌های مختلف ارائه شده است. بر این اساس ارتفاع رسوبات پشت بدنه سد با نرخ متوسط ۲ متر در سال افزایش یافته و پیشانی دلتای سد هر ساله نیم تا یک کیلومتر به سمت بدنه سد پیشروی داشته است(۷).

ب) نمونه برداری رسوبات مخزن سد دز

با توجه به تجمع بیش از حد رسوبات در جلوی آبگیر نیروگاه و برنامه‌های آتی سازمان آب و برق خوزستان در انجام عملیات رسوب‌شوئی از طریق دریچه‌های آبیاری سد و تونل تحتانی جدید رسوب، تعیین خصوصیات فیزیکی رسوبات به عنوان یک پیش‌نیاز مورد نیاز می‌باشد. اگرچه نمونه‌برداری دست نخورده از رسوبات چسبنده مخازن سدهای بلند در شرایط بالا بودن تراز آب مخزن از جمله کارهای بسیار دشوار و هزینه‌بر می‌باشد، ولی سازمان آب و برق خوزستان با توجه به ضرورت تعیین مشخصات فیزیکی رسوبات مخزن سد دز، در سال ۱۳۸۳ از طریق شرکت ماندرو این عملیات را انجام داد که از نتایج آن در این مقاله استفاده می‌شود(۱). در این عملیات رسوب سنجی، از یک شناور حفاری استفاده شد که دو سیستم نمونه برداری بر روی آن تعبیه شده بود(شکل۲). سیستم اول که به دستگاه نمونه بردار جرمی[1] معروف است متشکل از یک لوله ای است که پائین آن قسمت نمونه بردار و قسمت بالا جرمه با پره های هدایت کننده برای سقوط آزاد در آب در وضعیت قائم می باشد. این سیستم در مواردی استفاده می‌شد که عمق آب روی رسوبات مخزن به حد کافی زیاد بود (بیشتر از ۱۵ متر) تا لوله به یک سرعت مناسب (تا حدود ۷ متر بر ثانیه) برسد تا در لحظه برخورد با سطح رسوبات تا عمق مورد نظر در رسوبات وارد شود. با استفاده از این سیستم تا عمق حدود ۸ متر نیز نمونه‌های دست نخورده به دست آمد. سیستم دوم دستگاه نمونه‌برداری بود که تواماً با استفاده از دو نیروی چرخشی و فشاری (با جک هیدرولیکی) تا عمق ۸ متر از رسوبات نمونه‌های رسوب دست نخورده می‌گرفت.

با توجه به اینکه از ۶۵ کیلومتر طول مخزن سد دز، ۲۵ کیلومتر بالادست بدنه بازه‌ای است که رسوبات آن همیشه مستغرق است و چون هدف این مطالعه بررسی خصوصیات فیزیکی رسوبات همیشه مستغرق است لذا در این بازه ۲۵ کیلومتری در ۱۲ مقطع عرضی گمانه‌های رسوب حفر شد. در این عملیات در هر مقطع عرضی یک تا سه نقطه انتخاب شد و شناور حفاری در موقعیت نقاط قرار گرفته و از اعماق مختلف، از سطح رسوب تا عمق ۸ متری نمونه‌برداری دست‌نخورده انجام گرفت و در ۲۳ محل گمانه‌زنی مجموعاً ۷۹ نمونه رسوب برداشت شد که موقعیت آنها در نقشه شکل (۳) نشان داده شده است. در گمانه D نمونه‌ها تا عمق ۸ متر (فواصل عمقی یک متری)، در گمانه‌هایE، R و V نمونه‌ها تا عمق ۶ متر (فواصل عمقی یک متری)، در گمانه F نمونه‌ها تا عمق ۴ متر (فواصل عمقی یک متری) برداشت شد و در سایر گمانه‌ها نمونه‌ها تا عمق ۱/۵ متر (یعنی اعماق ۰، ۰/۷۵ و ۱/۵ متر از سطح رسوب) برداشت شد.

عمق آب روی رسوبات مخزن در مقاطع مورد نظر از ۳۸ تا ۸۵ متر متفاوت بود. نکته قابل توجه این است که در حین عملیات نمونه-برداری مشخص شد که رسوبات سطحی در محل‌هائی که رسوبات از نوع ریزدانه بودند، کاملاً شل بوده و امکان نمونه‌برداری از آنها وجود نداشت. لذا ابتدا سطح رسوب با استفاده از یک جرمه با تنش ۰/۲ نیوتن بر سانتی‌متر مربع تعیین می‌شد و نمونه‌ای که از این سطح برداشت می‌شد به عنوان نمونه عمق صفر در نظر گرفته می‌شد.

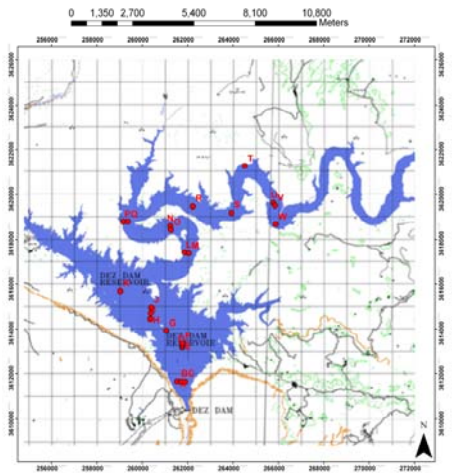
ج) آزمایش‌های انجام گرفته بر روی نمونه‌های رسوب

از جمله پارامترهای اندازه‌گیری شده بر روی نمونه‌های به دست آمده از رسوبات مخزن سد دز می‌توان به دانه‌بندی و طبقه‌بندی رسوب، جرم مخصوص رسوبات، درصد رطوبت و نسبت پوکی اشاره کرد. برای طبقه بندی نمونه‌های رسوب از استاندارد ASTM D2488 ؛ برای دانه‌بندی نمونه‌های رسوب از استاندارد ASTM D421-422، برای تعیین درصد رطوبت خاک از استاندارد ASTM D854 و برای تعیین جرم مخصوص ظاهری رسوبات از استاندارد ASTM D854 استفاده گردید (۱). با توجه به اینکه چگالی ذرات رسوب تغییرات قابل ملاحظه ندارند، لذا برای شش عدد از نمونه‌ها مقدار G_s اندازه‌گیری شد که متوسط آن برای نمونه‌های رسوب برابر ۲/۶۹ به دست آمد. همچنین حد خمیری و حد روانی رسوبات مخزن سد دز به طور متوسط به ترتیب ۱۵ و ۳۵ درصد به دست آمده است. با توجه به اینکه نمونه‌های رسوب از عمق‌های مختلف (صفر تا ۸ متر) برداشت شد، لذا عمر رسوبات برای محاسبه جرم مخصوص رسوبات مورد نیاز بود. به منظور تعیین عمر رسوبات در عمق‌های مختلف، از روی نیمرخ طولی بستر مخزن در زمان نمونه برداری و با مقایسه با بستر مخزن قبل از ساخت سد (شکل۱)، ارتفاع کل رسوبگذاری در محل نمونه‌برداری‌ها تعیین و بر این اساس زمان مربوط به رسوبگذاری در لایه مورد نظر تخمین زده شد. این نتیجه این امکان را فراهم آورد که بتوان از روش‌های تجربی مختلف برای محاسبه جرم مخصوص رسوبات استفاده کرد.

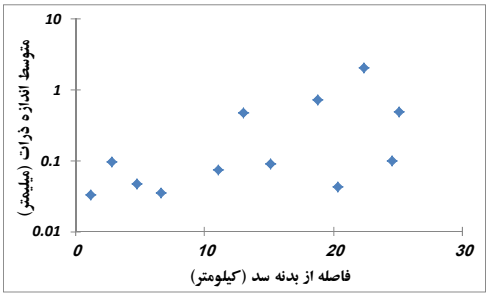
1-Gravity Corer



شکل۲- شناور حفاری مورد استفاده جهت نمونه‌برداری از رسوبات مخزن سد دز



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری از رسوبات مخزن سد دز



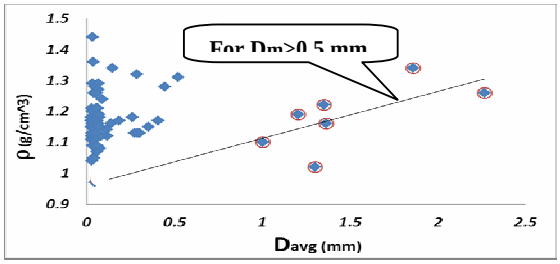
شکل۴- تغییرات متوسط اندازه رسوبات مخزن سد دز نسبت به فاصله از بدنه سددز

نتایج و بحث

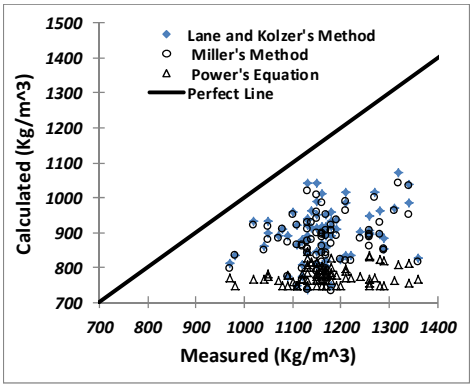
در این تحقیق به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی رسوبات همیشه مستغرق مخزن سد دز، از نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی استفاده شد و علاوه بر آن از روش‌های تجربی برای تعیین جرم مخصوص رسوبات استفاده گردید. نتایج نشان داد رسوبات مخزن سد دز در بازه ۲۵ کیلومتری بالادست بدنه سد به طور متوسط متشکل از ۳۶ درصد رس،۵۷ درصد سیلت، ۶ درصد ماسه و ۱ درصد شن می‌باشد و اگرچه تغییرات دانه‌بندی رسوبات خیلی زیاد نمی‌باشد ولی طبق نمودار شکل(۴) هرچه به سمت بالادست سد حرکت کنیم متوسط اندازه ذرات رسوب بیشتر می‌شود. با توجه به مکانیزم انتقال رسوب در مخازن سدها چنین نتیجه‌ای منطقی می‌باشد. براساس داده‌های به دست آمده، مشخص شد جرم

مخصوص اشباع نمونه‌های رسوب با متوسط ۱/۷۲ بین ۱/۵۳ تا ۱/۹۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب و نسبت پوکی رسوبات با متوسط۱/۳۱ بین حداکثر ۱/۷۸ تا حداقل ۰/۸۶ در تغییر بود. نتایج نشان داد با افزایش اندازه متوسط دانه‌های رسوب، بر جرم مخصوص رسوب افزوده می‌شد (شکل۵). این امر به خاطر پائین‌تر بودن جرم مخصوص رسوبات ریزدانه نسبت به درشت دانه بود.

همچنین به منظور ارزیابی دقت روابط تجربی محاسبه جرم مخصوص رسوبات از نتایج اندازه‌گیری جرم مخصوص رسوبات استفاده شد. لذا محاسبات با روش‌های مختلف از جمله روش میلر، روش لین و کالزر و روش رابطه نمائی برای تعیین جرم مخصوص رسوبات همیشه مستغرق مخزن دز انجام گرفت که نتیجه در جدول(۴) ارائه شده است. لازم به توضیح است جهت انجام محاسبات برای رسوباتی که از عمر آنها بیش از یک سال گذشته بود (منظور نمونه‌های رسوب مربوط به رقوم‌های زیر سطح رسوبات) لازم بود عمر آنها تخمین زده شود. این تخمین براساس عمق نمونه و با توجه به نرخ بالا آمدن تراز رسوبات در هر مقطع انجام گرفت. نرخ بالا آمدن تراز رسوب نیز با توجه به نتیجه هیدروگرافی سال‌های قبل برای هر مقطع تعیین شد. به طور مثال اگر در یک مقطع نرخ بالا آمدن تراز رسوب ۰/۵ متر در سال بود، عمر نمونه‌ای که از عمق دو متر گرفته شده بود، برابر چهار سال تخمین زده شد. براساس نتایج به دست آمده (جدول۴)، مشخص شد متوسط خطای (مطلق) روش‌های تجربی لین-کالزر، میلر و روش نمائی در تخمین جرم مخصوص رسوبات همیشه مستغرق مخزن سد دز به ترتیب ۲۳ ، ۲۵ و ۳۳ درصد و برای روش کالزر-لارا برابر ۱۴ درصد می‌باشد. همچنین مقادیر محاسباتی (با روش‌های مختلف) و اندازه‌گیری شده جرم مخصوص در نمودارهای شکل(۶) و (۷) نسبت به خط آرمانی نشان داده شده است. در این نمودار نیز دیده می‌شود همخوانی لازم بین مقادیر اندازه‌گیری و محاسباتی وجود ندارد. اگرچه این نتایج نشان می‌دهد روش‌های تجربی مذکور دارای خطای زیادی هستند ولی از بین این روش‌ها، به ترتیب روش کالزر-لارا و روش لین-کالزر دقت بیشتری دارد. همچنین با تفکیک رسوبات ریزدانه و درشت دانه مشخص می‌شود برای رسوباتی که متوسط قطر ذرات آنها بیشتر از یک میلی‌متر بود، متوسط خطای (مطلق) روش‌های تجربی مذکور در تخمین جرم مخصوص رسوبات همیشه مستغرق مخزن سد دز با افزایش اندازه متوسط ذرات کاهش می‌یافت. این نتیجه نشان می‌دهد هرچه رسوبات ریزدانه‌تر باشد، کارائی روش‌های تجربی تخمین جرم مخصوص رسوبات کمتر می‌شود.



شکل۵- تغییرات جرم مخصوص رسوبات نسبت به متوسط اندازه ذرات رسوبات



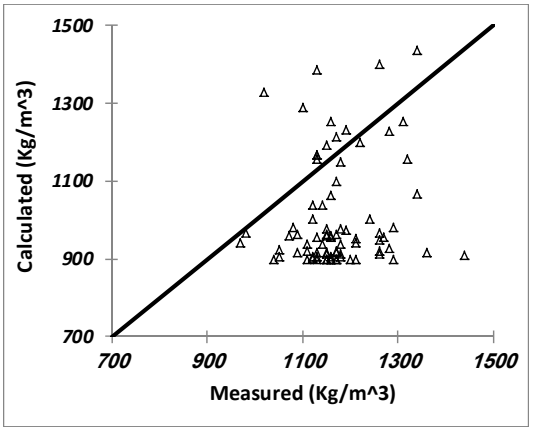
شکل ۶-. مقایسه جرم مخصوص مشاهده‌ای و محاسبه‌ای نسبت به خط آرمانی در روش‌های ذکر شده در جدول ۳

جدول۴- مقادیر جرم مخصوص محاسبه شده برای نمونه‌های رسوب با روش‌های مختلف (کیلوگرم بر مترمکعب)

ردیف	نام گمانه و مختصات	عمق نمونه از سطح رسوب (متر)	جرم مخصوص اندازه گیری (Kg/m^3)	جرم مخصوص محاسبه شده (Kg/m^3)			خطای محاسبه جرم مخصوص (٪)		
				Lane and Kolzer's Method	Miller's Method	Pow 's Equation	Lane and Kolzer's Method	Miller's Method	Power's Equation
۱	A	۰	۱۱۱۰	۷۴۸	۷۴۸	۷۴۸	-۳۳	-۳۳	-۳۳
۲	X=261542	۰/۷۵	۱۱۲۰	۸۰۷	۷۹۶	۷۶۷	-۲۸	-۲۹	-۳۲
۳	Y=3611624	۱/۵	۱۱۵۰	۸۱۰	۷۹۱	۷۸۲	-۳۰	-۳۱	-۳۲
۴	B	۰	۱۱۱۰	۹۲۱	۹۲۱	۷۴۸	-۱۷	-۱۷	-۳۳
۵	X=261725	۰/۷۵	۱۱۳۰	۹۳۷	۹۲۸	۷۶۲	-۱۷	-۱۸	-۳۳
۶	Y=3611617	۱/۵	۱۱۵۰	۹۱۳	۸۹۷	۷۷۵	-۲۱	-۲۲	-۳۳
۷	C	۰	۱۰۹۰	۷۷۳	۷۷۳	۷۴۸	-۲۹	-۲۹	-۳۱
۸	X=261902	۰/۷۵	۱۱۲۰	۷۷۴	۷۶۲	۷۶۸	-۳۱	-۳۲	-۳۱
۹	Y=3611609	۱/۵	۱۱۵۰	۸۱۰	۷۹۱	۷۸۲	-۳۰	-۳۱	-۳۲
۱۰		۱	۱۲۱۰	۸۳۴	۸۲۰	۷۷۱	-۳۱	-۳۲	-۳۶
۱۱		۲	۱۱۸۰	۸۹۰	۸۶۹	۷۸۵	-۲۵	-۲۶	-۳۳
۱۲	D	۳	۱۱۶۰	۸۴۵	۸۱۶	۸۰۵	-۲۷	-۳۰	-۳۱
۱۳		۴	۱۱۶۰	۱۰۱۲	۹۸۷	۷۹۳	-۱۳	-۱۵	-۳۲
۱۴	X=261772	۵	۱۱۴۰	۹۱۵	۸۸۱	۸۱۷	-۲۰	-۲۳	-۲۸
۱۵	Y=3613147	۶	۱۱۴۰	۹۶۲	۹۲۸	۸۱۷	-۱۶	-۱۹	-۲۸
۱۶		۷	۱۱۸۰	۹۵۸	۹۲۰	۸۲۶	-۱۹	-۲۲	-۳۰
۱۷		۸	۱۱۳۰	۹۲۰	۸۷۷	۸۴۴	-۱۹	-۲۲	-۲۵
۱۸		۱	۱۱۸۰	۷۴۷	۷۳۲	۷۷۶	-۳۷	-۳۸	-۳۴
۱۹	E	۲	۱۱۷۰	۸۲۱	۷۹۸	۷۹۱	-۳۰	-۳۲	-۳۲
۲۰		۳	۱۱۳۰	۸۸۰	۸۵۲	۸۰۰	-۲۲	-۲۵	-۲۹
۲۱	X=261772	۴	۱۱۸۰	۹۳۴	۹۰۶	۸۰۰	-۲۱	-۲۳	-۳۲
۲۲	Y=3613147	۵	۱۱۳۰	۹۳۹	۹۰۸	۸۰۹	-۱۷	-۲۰	-۲۸
۲۳		۶	۱۱۳۰	۸۹۲	۸۵۵	۸۲۷	-۲۱	-۲۴	-۲۷
۲۴	F	۱	۱۱۷۰	۸۰۶	۷۹۲	۷۷۳	-۳۱	-۳۲	-۳۴
۲۵		۲	۱۱۷۰	۸۵۹	۸۳۷	۷۸۸	-۲۷	-۲۹	-۳۳
۲۶	X=261772	۳	۱۱۶۰	۹۱۹	۸۹۴	۷۹۴	-۲۱	-۲۳	-۳۲
۲۷	Y=3613289	۴	۱۱۳۰	۱۰۴۰	۱۰۱۸	۷۸۶	-۸	-۱۰	-۳۰
۲۸	G X=261066	۰	۱۲۰۰	۸۲۵	۸۲۵	۷۴۸	-۳۱	-۳۱	-۳۸
۲۹	Y=3613871	۰/۷۵	۱۱۵۰	۸۴۵	۸۳۵	۷۶۵	-۲۶	-۲۷	-۳۳
۳۰	H	۰	۱۰۸۰	۹۱۰	۹۱۰	۷۴۸	-۱۶	-۱۶	-۳۱
۳۱	X=260360	۰/۷۵	۱۰۴۰	۸۶۱	۸۵۱	۷۶۵	-۱۷	-۱۸	-۲۶
۳۲	Y=3614403	۱/۵	۱۰۵۰	۹۳۳	۹۱۶	۷۷۵	-۱۱	-۱۳	-۲۶
۳۳	I	۰	۱۱۱۰	۸۶۶	۸۶۶	۷۴۸	-۲۲	-۲۲	-۳۳
۳۴	X=260383	۰/۷۵	۱۰۷۰	۸۹۳	۸۸۳	۷۶۴	-۱۷	-۱۷	-۲۹
۳۵	Y=3614663	۱/۵	۱۰۹۰	۸۹۰	۸۷۳	۷۷۸	-۱۸	-۲۰	-۲۹
۳۶	J	۰	۱۱۵۰	۸۰۸	۸۰۸	۷۴۸	-۳۰	-۳۰	-۳۵
۳۷	X=260405	۰/۷۵	۱۱۶۰	۸۷۰	۸۵۹	۷۶۵	-۲۵	-۲۶	-۳۴
۳۸	Y=3614904	۱/۵	۱۱۶۰	۹۰۵	۸۸۸	۷۷۶	-۲۲	-۲۳	-۳۳
۳۹	K	۰	۱۲۹۰	۸۵۳	۸۵۳	۷۴۸	-۳۴	-۳۴	-۴۲
۴۰	X=260405	۰/۷۵	۱۳۶۰	۸۲۶	۸۱۴	۷۶۷	-۳۹	-۴۰	-۴۴
۴۱	Y=3614904	۱/۵	۱۴۴۰	۸۸۱	۸۶۳	۷۷۹	-۳۹	-۴۰	-۴۶
۴۲	L	۰	۱۱۷۰	۸۹۳	۸۹۳	۷۴۸	-۲۴	-۲۴	-۳۶
۴۳	X=261876	۰/۷۵	۱۱۵۰	۹۵۲	۹۴۲	۷۶۳	-۱۷	-۱۸	-۳۴
۴۴	Y=3617369	۱/۵	۱۱۷۰	۸۶۰	۸۴۱	۷۸۳	-۲۶	-۲۸	-۳۳
۴۵	M	۰	۱۱۶۰	۸۹۹	۸۹۹	۷۴۸	-۲۲	-۲۲	-۳۶
۴۶	X=262056	۰/۷۵	۱۱۲۰	۸۷۴	۸۶۳	۷۶۶	-۲۲	-۲۳	-۳۲
۴۷	Y=3617331	۱/۵	۱۱۲۰	۸۷۹	۸۶۰	۷۸۱	-۲۲	-۲۳	-۳۰

ادامه جدول۴.

ردیف	نام گمانه و مختصات	عمق نمونه از سطح رسوب (متر)	جرم مخصوص اندازه گیری (Kg/m^3)	جرم مخصوص محاسبه شده (Kg/m^3)			خطای محاسبه جرم مخصوص (٪)		
				Lane and Kolzer's Method	Miller's Method	Power's Equation	Lane and Kolzer's Method	Miller's Method	Power's Equation
۴۸	**N**	۰	۱۱۷۰	۹۵۰	۹۵۰	۷۴۸	-۱۹	-۱۹	-۳۶
۴۹	X=261244	۰/۷۵	۱۱۸۰	۹۱۸	۹۰۸	۷۶۵	-۲۲	-۲۳	-۳۵
۵۰	Y=3618546	۱/۵	۱۰۵۰	۸۹۷	۸۷۸	۷۸۰	-۱۵	-۱۶	-۲۶
۵۱	**O**	۰	۱۱۳۰	۸۴۲	۸۴۲	۷۴۸	-۲۵	-۲۵	-۳۴
۵۲	X=261272	۰/۷۵	۱۱۰۰	۹۶۰	۹۵۳	۷۵۹	-۱۳	-۱۳	-۳۱
۵۳	Y=3618365	۱/۵	۱۰۲۰	۹۳۴	۹۲۳	۷۶۷	-۸	-۱۰	-۲۵
۵۴	**P**	۰	۹۸۰	۸۳۵	۸۳۵	۷۴۸	-۱۵	-۱۵	-۲۴
۵۵	X=259178 Y=3618737	۰/۷۵	۹۷۰	۸۱۱	۷۹۸	۷۷۱	-۱۶	-۱۸	-۲۱
۵۶	**Q**	۰	۱۱۹۰	۹۳۵	۹۳۵	۷۴۸	-۲۱	-۲۱	-۳۷
۵۷	X=259378 Y=3618737	۰/۷۵	۱۱۷۰	۹۱۶	۹۰۶	۷۶۵	-۲۲	-۲۳	-۳۵
۵۸		۱	۱۲۲۰	۸۳۳	۸۲۱	۷۷۰	-۳۲	-۳۳	-۳۷
۵۹	**R**	۲	۱۱۹۰	۹۰۹	۸۹۲	۷۸۰	-۲۴	-۲۵	-۳۴
۶۰		۳	۱۱۶۰	۸۶۶	۸۴۴	۷۹۴	-۲۵	-۲۷	-۳۲
۶۱	X=262237	۴	۱۱۵۰	۹۸۸	۹۶۰	۸۰۲	-۱۴	-۱۷	-۳۰
۶۲	Y=3619405	۵	۱۲۸۰	۹۶۴	۹۲۸	۸۲۲	-۲۵	-۲۷	-۳۶
۶۳		۶	۱۱۵۰	۱۰۴۳	۱۰۰۸	۸۱۵	-۹	-۱۲	-۲۹
۶۴	**S**	۰	۱۲۶۰	۸۹۳	۸۹۳	۷۴۸	-۲۹	-۲۹	-۴۱
۶۵	X=263935 Y=3619129	۰/۷۵	۱۲۶۰	۹۰۵	۸۹۲	۷۶۸	-۲۸	-۲۹	-۳۹
۶۶	**T**	۰	۱۱۳۰	۷۳۷	۷۳۷	۷۴۸	-۳۵	-۳۵	-۳۴
۶۷	X=264526	۰/۷۵	۱۲۶۰	۸۹۴	۸۸۹	۷۵۷	-۲۹	-۲۹	-۴۰
۶۸	Y=321215	۱/۵	۱۳۴۰	۱۰۴۰	۱۰۳۴	۷۵۶	-۲۲	-۲۳	-۴۴
۶۹	**U**	۱	۱۲۴۰	۹۰۲	۸۸۵	۷۷۶	-۲۷	-۲۹	-۳۷
۷۰	X=265793	۳	۱۲۱۰	۱۰۱۵	۹۸۸	۷۹۷	-۱۶	-۱۸	-۳۴
۷۱	Y=3619567	۴	۱۲۶۰	۸۹۹	۸۶۱	۸۳۱	-۲۹	-۳۲	-۳۴
۷۲		۱	۱۲۷۰	۱۰۱۴	۱۰۰۰	۷۶۹	-۲۰	-۲۱	-۳۹
۷۳	**V**	۲	۱۲۱۰	۹۸۵	۹۶۲	۷۸۸	-۱۹	-۲۱	-۳۵
۷۴		۳	۱۲۹۰	۸۸۴	۸۴۹	۸۱۹	-۳۱	-۳۴	-۳۷
۷۵	X=265855	۴	۱۳۴۰	۹۸۴	۹۵۱	۸۱۱	-۲۷	-۲۹	-۳۹
۷۶	Y=3619441	۵	۱۲۶۰	۹۴۸	۹۰۸	۸۳۴	-۲۵	-۲۸	-۳۴
۷۷		۶	۱۳۲۰	۱۰۷۴	۱۰۴۳	۸۰۸	-۱۹	-۲۱	-۳۹
۷۸	**W**	۰	۱۲۸۰	۸۹۵	۸۹۵	۷۴۸	-۳۰	-۳۰	-۴۲
۷۹	X=265883 Y=3618623	۰/۷۵	۱۳۱۰	۹۷۱	۹۶۱	۷۶۴	-۲۶	-۲۷	-۴۲
	متوسط		**۱۱۷۲**	**۸۹۷**	**۸۸۱**	**۷۷۸**	**-۲۳**	**-۲۵**	**-۳۳**



شکل۷- مقایسه جرم مخصوص مشاهده‌ای و محاسبه‌ای با روش کالزر و لارا نسبت به خط آرمانی

برای نمونه‌های تازه تـه نـشین شـده (رسـوبات سـطحی) خطـای محاسبه جرم مخصوص ۲۶ درصد و برای رسوبات با عمـر بیـشتر از سه سال این خطا ۱۸ درصد به دست آمده است. این نتیجـه نـشان می‌دهد عمده خطای روش‌هـای تجربـی بـه نحـوه محاسـبه جـرم مخصوص اولیه رسوبات (یک سال پس از رسوبگذاری) برمی‌گـردد. برای بررسـی بیـشتر ایـن مـسئله بـا عنایـت بـه اینکـه در جـدول پیشنهادی لارا-پمبرتن، جرم مخـصوص رسـوب بـه صـورت یـک معادله خطی سه متغیره ($\rho_1 = \sum \rho_i P_i$) نوشته مـی‌شـود، آنـالیز رگرسیون سه متغیره بر اساس داده‌های اندازه‌گیری جرم مخـصوص اولیه رسوبات انجام و رابطه زیر با R^2=۰/۹۵ به دست آمد.

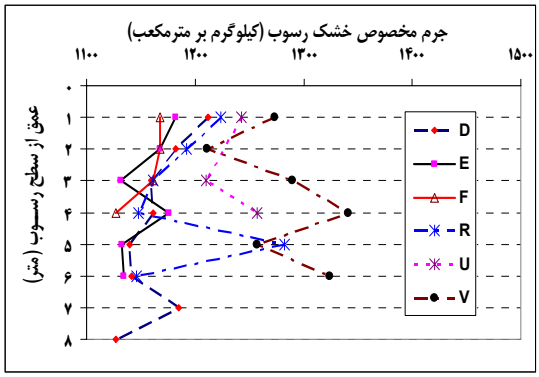
$$\rho_1 = 1026P_C + 1203P_M + 1262P_S \qquad (۸)$$

کـه در آن ρ_1: جـرم مخـصوص اولیـه رسـوب (کیلـوگرم برمترمکعب)، P_C، P_M و P_S: به‌ترتیب درصد رسوبات رس، سیلت و ماسه می‌باشد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود جرم مخصوص خـشک رسـوبات رس، سـیلت و ماسـه بـه ترتیـب ۱۰۲۶، ۱۲۰۳ و ۱۲۶۲ کیلوگرم برمترمکعب به دست آمده که نسبت به مقـادیر ارائـه شـده توسـط لارا و پمبـرتن (جـدول۲) بـه ترتیـب۱۴۷، ۷ و ۱۰ درصـد اختلاف دارد. این درصدهای اخـتلاف بـرای رسـوبات رسـی خیلـی بیشتر است. بالا بودن جرم مخصوص رسوبات رسـی ممکـن اسـت بخاطر نوع کانی‌های رسی و حد خمیری و حد روانی پائین باشد.

از سوی دیگر با توجه به‌اینکـه رابطـه کـالزر-لارا دقـت بیـشتری نسبت به سایر روش‌ها داشت لذا براساس قالب این روش سعی شـد یک رابطه جدید برای محاسبه جرم مخصوص رسوبات سد دز ارائـه شود. بدین منظور از تکنیک آنالیز رگرسیون چند متغیره استفاده شد و بر اساس داده‌های اندازه‌گیـری جـرم مخـصوص اولیـه رسـوبات، رابطه زیر با R^2=۰/۹۶ به دست آمد.

$$\rho = 4.03P_f^{1.229} + 12.1P_s^{1.05} \qquad (۹)$$

که در آن ρ: جرم مخصوص رسوب (کیلوگرم برمترمکعب)، P_f و P_s: به ترتیب درصد رسوبات ریزدانه (مجموع درصدرس و سیلت) و درصد رسوبات درشت دانه (مجموع درصد ماسه و شن) می‌باشد. خطای متوسط این رابطه پنج درصد می‌باشد و از نظر آماری این رابطه در سطح اعتماد یک درصد معتبر می‌باشد. این رابطه برای



شکل۸- تغییرات جرم مخصوص خشک رسوب نسبت به عمق برای گمانه‌های مختلف

رسوبات تا عمق ۸ متر رسوبات مخزن سد دز معتبر می‌باشد.

نکته دیگر تغییرات جرم مخصوص رسوبات نسبت به عمق می‌باشد. با توجه به اینکه رسوبات لایه‌های زیرین زمان بیشتری از ته نشین‌شدن آنها می‌گذرد و علاوه بر آن تحت فشار لایه های بالائی هستند، انتظار می‌رود جرم مخصوص رسوبات لایه‌های زیرین بیشتر از لایه های بالائی باشد. اگرچه این قاعده ممکن است در مواردی در عمل اتفاق نیافتد ولی اغلب مشاهدات این نظریه را تأیید کرده‌اند. در روابط لین و میلر، تغییرات جرم مخصوص نسبت به عمر آنها به صورت یک رابطه لگاریتمی نشان داده شده است. حال با توجه به اینکه در تحقیق حاضر در برخی نقاط چند نمونه از اعماق مختلف گرفته شده است لذا در اینجا این موضوع بررسی می‌شود. در گمانه‌هایD، E، F، R، U و V نمونه برداری از عمق-های مختلف انجام شده که در نمودار شکل(۸) تغییرات جرم مخصوص خشک رسوب نسبت به عمق برای هر یک از این گمانه‌ها نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود در مواردی روند کلی تغییرات جرم مخصوص با عمق افزایشی بوده ولی در مواردی هم (مانند گمانه F) روند کلی تغییرات جرم مخصوص با عمق کاهشی است. این امر بخاطر این است که در فرآیند متراکم شدن رسوبات عوامل زیادی دخالت دارند که باعث می‌شوند در مواردی هم نتیجه برعکس باشد و البته تعیین دلایل روشن این مسئله نیازمند انجام بررسی‌های بیشتر می‌باشد. به هرحال در کل گمانه‌ها کمترین جرم مخصوص مشاهده شده نسبت به بیشترین مقدار حدود ۱۲ درصد اختلاف دارد و این اختلاف به طور متوسط هفت درصد و در مواردی به سه درصد هم می‌رسد. به منظور تعیین نرخ تغییرات جرم مخصوص رسوبات با توجه به تخمین عمر رسوبگذاری لایه‌های مختلف مشخص شد که این نرخ برای رسوبات سد دز ۰/۵ درصد می‌باشد که در مقایسه با مقادیر روشهای لین و میلر (با توزیع لگاریتمی نسبت به زمان) که به ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۰۵ درصد است اختلاف معنی دار دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌داد رسوبات مخزن سد دز در بازه ۲۵ کیلومتری از بدنه سد به سمت بالادست دارای تغییرات زیاد نبوده و عمدتاً ریزدانه هستند ولی نتایج روند درشت دانه تر شدن رسوبات از بدنه سد به سمت بالادست مخزن را تأیید می‌کند. همچنین کاربرد روش‌های تجربی برآورد جرم مخصوص رسوبات مخازن سدها برای سد دز نشان داد که این روش‌ها به طور متوسط دارای خطای حدود ۳۰ درصد می‌باشند که این نتیجه بیانگر کارائی پائین روش‌های تجربی برای برآورد جرم مخصوص رسوبات سد دز می‌باشد. بررسی بیشتر نشان داد علت اصلی پائین بودن دقت این روش‌ها، خطای تعیین جرم مخصوص اولیه رسوبات بوده لذا جرم مخصوص خشک رسوبات رس، سیلت و ماسه برای رسوبات مخزن سد دز با توجه به نتایج آنالیز رگرسیون چند متغیره به ترتیب ۱۰۲۶، ۱۲۰۳ و ۱۲۶۲ کیلوگرم برمترمکعب به دست آمد که نسبت به مقادیر ارائه شده توسط لارا و پمبرتن به ترتیب۱۴۷ ،۷ و ۱۰ درصد اختلاف داشت و این نشان می‌دهد منبع اصلی خطا در روش‌های تجربی، نحوه برآورد جرم مخصوص رسوبات رسی می-باشد.

همچنین در این تحقیق یک رابطه جدید برای محاسبه جرم مخصوص رسوبات مخزن سد دز بر مبنای دو پارامتر درصد رسوبات ریزدانه (مجموع درصد رس و سیلت) و درصد رسوبات درشت دانه (مجموع درصد ماسه و شن) به دست آمد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از سازمان آب و برق خوزستان به خاطر اطلاعاتی که در اختیار این تحقیق قراردادند سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱- بی‌نام. ۱۳۸۴. مطالعات و تحقیقات ژئوتکنیک بر روی رسوبات سد دز. گزارش طرح تحقیقاتی، مهندسین مشاور ماندرو، سازمان آب و برق خوزستان. اهواز.

2- Anonymous. 2004. Dez dam rehabilitation project. Stage1: Sedimentation study. Acres International and Dezab Consulting Engineering, Report to Khuzestan Water and Power Authority, Ahwaz, Iran.

3- Lane, E.W. and V. A. Koelzer. 1943. Density of sediments deposited in reservoirs. Report No.9, In A Study of Methods Used in Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams. Hydraulic Lab. U.S. of Iowa.

4- Miller, Carl. R. 1953. Determination of the unit weight of sediment for use in sediment volume compaction. Bureau of Reclamination, Denver. Colorado.6pp

5- Morris, G. L. and J. Fan. 2000. Reservoir sedimentation handbook. McGraw-Hill, New York, USA.

6- Swamee, P. K. 2001. Reservoir capacity depletion on account of sedimentation. International Journal of Sediment Research, 16(3): 408-415.

7- Samadi, H. and V.J. Galay, 2005. Turbidity current measurements within the Dez reservoir, Iran. Proeedings of the 17th Canadian Hydrotechnical Conference, Hydrotechnical Engineering: Cornerstone of a Sustainable Environment, August 17-19, 2005, Edmonton, Alberta, pp: 127-127.

8- Geiger, A. F., 1965, Developing sediment storage requirements for upstream retarding reservoirs in Proc. of Federal Inter-Agency Sedimentation Conf., Jackson, Miss., 1963:U.S. Dept. Agriculture, Agr. Research Service Misc. Pub. 970, p. 881-885.