مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰
www.gau.ac.ir/journals

برآورد حجم رسوب ناشی از جریان‌های گل‌آلود در مخزن سد دز

عبدالرضا ظهیری[۱]، محمود شفاعی‌بجستان[۲] و *امیراحمد دهقانی[۱]

[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۲٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲٦

چکیده

سد دز به‌دلیل تنظیم فرکانس برق کشور از اهمیت خاصی برخوردار است. در اثر رسوب‌گذاری شدید در مجاورت بدنه این سد، خطر ورود رسوبات ریزدانه به تونل نیروگاه و خسارت به تاسیسات و توربین نیروگاه بسیار جدی است. یکی از روش‌های مؤثر برای حل این معضل، استفاده از پتانسیل جریان گل‌آلود می‌باشد. در این پژوهش، نتایج ۳ مرحله اندازه‌گیری صحرایی شامل سرعت جریان و غلظت رسوب در چند نقطه از مخزن سد دز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و حجم رسوب ورودی ناشی از جریان گل‌آلود به مخزن سد محاسبه شده است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که فقط در سیل اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۲ (با دبی ۲٦۰۰ مترمکعب بر ثانیه)، حدود ۱/۱ میلیون مترمکعب رسوب در اثر جریان گل‌آلود در مجاورت بدنه سد ته‌نشین شده است. بنابراین می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب و انجام عملیات رسوب‌شویی مخزن در فصل سیلاب، رسوب‌گذاری جلوی آبگیر نیروگاه را مهار نمود. حداکثر ضخامت جریان گل‌آلود در این سیل حدود ۲۵ متر تخمین زده شده است. همچنین مشخص شد که برای محاسبه حجم رسوب ناشی از جریان گل‌آلود، علاوه‌بر مقدار دبی سیل، زمان وقوع سیل نیز بسیار مهم است.

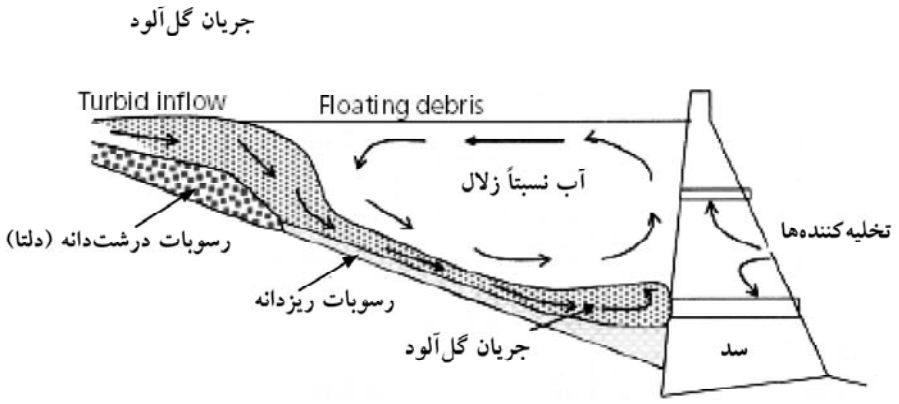
واژه‌های کلیدی: برآورد رسوب جریان گل‌آلود، رسوب‌گذاری در مخازن، سد دز، مدیریت رسوب

*مسئول مکاتبه: amirahmad.dehghani@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

احداث سد مخزنی، هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه را تا حدود زیادی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین پدیده در این میان، رسوب‌گذاری در مخزن سد و کاهش حجم مفید و حجم کنترل سیلاب آن است. در این راستا، برآورد حجم رسوب و تعیین الگوی رسوب‌گذاری در مخزن سد از اقدامات مهم می‌باشد. مدیریت رسوب مخازن سدها به‌طورکلی به دو دسته اقدامات پیش‌گیرانه (کاهش دبی رسوبات ورودی به مخزن سد از طریق انجام عملیات آبخیزداری) و اقدامات درمانی (شامل عملیات رسوب‌شویی[1]، لای‌روبی رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد و تخلیه جریان غلیظ یا گل‌آلود[2] در مواقع سیل) تقسیم می‌شود (بی‌نام، ۲۰۰۸). در مناطق گرم و خشک، بارش‌های شدید باعث فرسایش حوزه و انتقال رسوب معلق به رودخانه می‌شود. در این حالت جریان رودخانه، غلیظ و گل‌آلود شده و به‌دلیل تلاطم و اختلاط جریان، رسوبات معلق در کل بدنه جریان پخش می‌شوند. این جریان در هنگام ورود به مخزن سد و با کاهش شدید سرعت جریان، به شکل یک توده جریان گل‌آلود در کف مخزن به‌سمت بدنه سد حرکت می‌نماید. شکل ۱ این پدیده را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱- حرکت جریان گل‌آلود به‌سمت مخزن سد (موریس و فان، ۱۹۹۸).

1- Flushing
2- Turbidity Currents

www.SID.ir

یکی از راه‌کارهای مهم مدیریت رسوب در مخازن سدها، استفاده از پدیده جریان گل‌آلود می‌باشد (وانگ و هو، ۲۰۰۹). جریان گل‌آلود توأم با حجم قابل‌توجهی از رسوبات معلق رودخانه و حوزه بوده و با توجه به دارا بودن سرعت و غلظت قابل‌توجه، بخشی از رسوبات ته‌نشین شده در دوره‌های قبلی را نیز فرسایش داده و با خود حمل می‌کند. با مانور مناسب دریچه‌های تخلیه‌کننده تحتانی، می‌توان حجم قابل‌توجهی از رسوب ورودی را قبل از ته‌نشین شدن در مجاورت بدنه سد، از بدنه سد خارج نمود. این روش برای مخازن بزرگ که دارای ظرفیت ذخیره چندین ساله بوده و پایین آوردن رقوم سطح آب آن‌ها به دلایل فنی و اقتصادی امکان‌پذیر نباشد، روش مناسبی می‌باشد (موریس و فان، ۱۹۹۸).

برای استفاده از جریان گل‌آلود، باید زمان تشکیل آن و حجم و غلظت رسوب ورودی به مخزن سد مشخص شود. همچنین باید نحوه پخش و انتقال آن در نقاط مختلف مخزن سد تعیین شود. این کار نیازمند برنامه‌ریزی دقیق، اندازه‌گیری‌های میدانی منظم و پیوسته در مخزن سد و نیز بودجه زیادی است (شفاعی و همکاران، ۲۰۰۸). به همین دلیل، بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در زمینه اندازه‌گیری جریان گل‌آلود، آزمایشگاهی بوده و مطالعات محدودی در مخازن سدها انجام شده است. دی‌سزار و همکاران (۱۹۹۸) با اندازه‌گیری سرعت جریان و غلظت رسوب در ورودی مخزن یک سد در کشور سوئیس، رابطه ساده‌ای برای برآورد انتقال رسوب در زمان سیلاب ارایه نمودند. گراف (۱۹۹۸) با بررسی جریان گل‌آلود ورودی به سد مخزنی کلایسن به کمک یک مدل ریاضی یک‌بعدی، ضخامت جریان گل‌آلود و سرعت متوسط آن را به‌ترتیب ۱۰/٦۳ متر و ۲/٤٥ متر بر ثانیه محاسبه نموده است. یومدا و همکاران (۱۹۹۹) با اندازه‌گیری توزیع غلظت رسوبات یک سد در کشور ژاپن، توزیع عمقی غلظت رسوب معلق را به‌صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی نمودند. یو و همکاران (۲۰۰۰) و نیز حسینی و همکاران (۲۰۰٦) با اندازه‌گیری هم‌زمان سرعت و غلظت جریان گل‌آلود در یک فلوم آزمایشگاهی، روابط بدون بعدی را برای محاسبه توزیع عمقی این پارامترها در لایه جریان گل‌آلود ارایه نمودند. شلایس و همکاران (۲۰۰۸) با مطالعه صحرایی ۳ سد مخزنی در مناطق کوهستانی کشور سوئیس به این نتیجه رسیدند که جریان گل‌آلود، مهم‌ترین عامل در تشدید رسوب‌گذاری این مخازن بوده است. شفاعی و همکاران (۲۰۰۸) دستورالعمل اندازه‌گیری جریان گل‌آلود در مخزن سد دز را بیان نموده و با بررسی اجمالی داده‌های به‌دست آمده از یک واقعه سیلاب، ضخامت جریان گل‌آلود در مخزن سد دز را حداکثر ۲۵ متر برآورد نمودند.

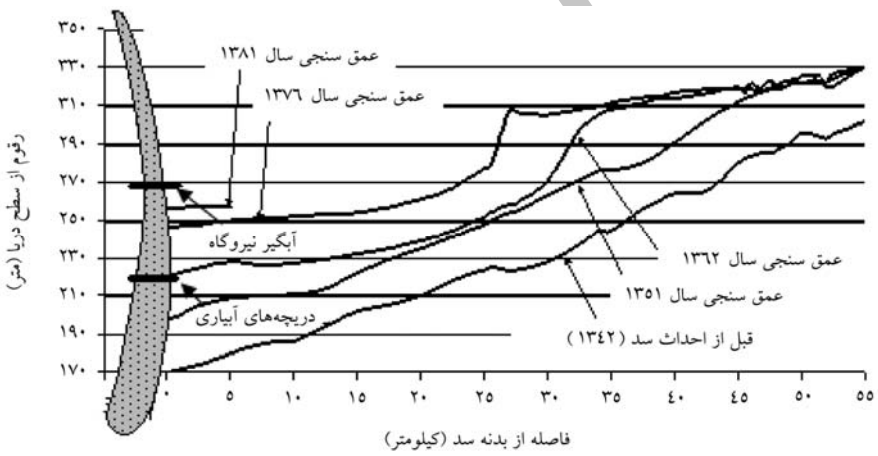
نتایج عمق‌سنجی[1] مخزن سد دز در سال ۱۳۸۱ نشان می‌دهد که به‌دلیل رسوب‌گذاری شدید، رقوم کف مخزن در جلوی دهانه نیروگاه، از ۱۸۰ متر در ابتدای بهره‌برداری به ۲٦۰ متر رسیده است که تا

1- Hydrography

Archive of SID

www.SID.ir

دهانه آبگیر نیروگاه (رقوم ۲۷۰ متر) فاصله بسیار کمی دارد (بی‌نام، ۲۰۰۵). این امر باعث شده که در هنگام وقوع بارندگی و تشکیل جریان غلیظ در مخزن سد، جریان آب ورودی به نیروگاه گل‌آلود باشد. پیش‌بینی می‌شود با ادامه این روند، احتمال ورود رسوبات ریزدانه به دهانه آبگیر نیروگاه جدی بوده و در این صورت، علاوه‌بر صدمات قابل‌توجه به تاسیسات و توربین نیروگاه، تولید برق نیز به‌شدت کاهش یابد. دریچه‌های آبیاری این سد نیز که در ارتفاع ۲۲۰ متری قرار گرفته‌اند، با مشکل جدی در بازشدگی و بهره‌برداری مواجه شده‌اند. شکل ۲، تغییرات پروفیل طولی کف مخزن سد از زمان احداث سد تا سال ۱۳۸۱ را نشان می‌دهد. برای مدیریت رسوب این سد و به‌ویژه جلوگیری از تجمع رسوب در جلوی دهانه آبگیر نیروگاه، اقدامات مختلفی پیش‌بینی شده است که از مهم‌ترین آن‌ها، پایش جریان‌های گل‌آلود ورودی به مخزن سد و برنامه عملی تخلیه این رسوبات از طریق تخلیه‌کننده تحتانی می‌باشد (بی‌نام، ۲۰۰۶).



شکل ۲- تغییرات پروفیل طولی کف مخزن سد دز براساس نتایج هیدروگرافی مخزن (بی‌نام، ۲۰۰۵).

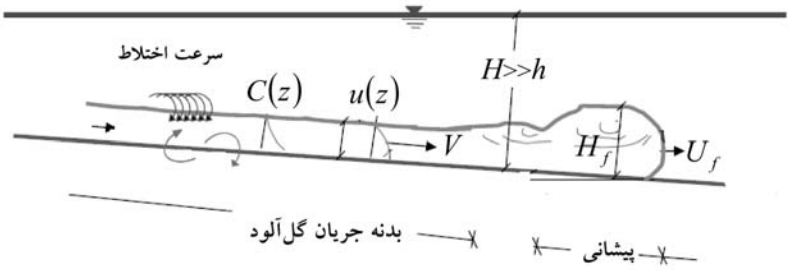
با تحلیل نتایج ٤ مرحله عملیات عمق‌سنجی سد دز، حجم رسوب‌گذاری در مخزن این سد در مدت حدود ٤٠ سال بهره‌برداری، حدود ۷۰۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است. با توجه به این‌که طول دریاچه مخزن این سد حدود ٦٠ کیومتر می‌باشد، بیش از ۲۷۰ میلیون مترمکعب (حدود ٤٠ درصد) از این حجم رسوب‌گذاری، فقط در ۱۰ کیلومتری انتهایی مخزن (حدود ١٦ درصد طول دریاچه) اتفاق افتاده است. به‌نظر می‌رسد که تجمع قابل‌توجه رسوب در محدوده انتهایی مخزن، نشان‌دهنده وقوع جدی

www.SID.ir

جریان‌های گل‌آلود در مخزن این سد باشد. با توجه به لزوم ارایه راه‌کاری سریع برای حفظ نیروگاه سد دز از خطر ورود رسوبات و وجود دلایلی مبنی بر وقوع جریان گل‌آلود، پایش و اندازه‌گیری مشخصات این جریان به‌عنوان سریع‌ترین راه‌حل مشکل، پیشنهاد شده است. به همین منظور، ۳ دوره اندازه‌گیری مشخصات جریان گل‌آلود در مخزن این سد انجام شده است (سال‌های ۸۲-۱۳۸۱، ۸۵-۱۳۸٤ و ۸٦-۱۳۸۵). در این مقاله، نتایج این ۳ دوره اندازه‌گیری که با صرف بودجه قابل‌توجهی انجام شده، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. این مسأله از این جهت قابل تأمل می‌باشد که اندازه‌گیری منظم و مستمر مشخصات جریان گل‌آلود در یک سد مهم با حجم مخزن حدود ۳/۵ میلیارد مترمکعب، در دنیا کم‌نظیر است. هدف اصلی این پژوهش، تحلیل علمی نتایج این اندازه‌گیری‌ها و کاربرد آن در محاسبه حجم رسوب انتقالی به بدنه سد دز و به‌ویژه جلوی نیروگاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تئوری جریان گل‌آلود: جریان گل‌آلود به گونه‌ای از جریان‌های ثقلی یا چگال گفته می‌شود که یک سیال با چگالی متفاوت از چگالی سیالی که به‌نسبت ساکن است، وارد آن شده و در امتداد لایه‌های سیال ساکن به حرکت خود ادامه دهد. این تعریف، تمامی خصوصیات لازم برای تشکیل جریان گل‌آلود را دربر می‌گیرد (احمدی‌رنانی، ۲۰۰۳). در جریان گل‌آلود، عامل افزایش چگالی ناشی از غلظت ذرات رسوب معلق می‌باشد. در این شرایط، اختلاف چگالی سیال ساکن و جریان گل‌آلود حدود ۱٦۰-۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود (گراف، ۱۹۹۸). شکل ۳، پیشانی و بدنه جریان گل‌آلود دوبعدی روی یک سطح شیب‌دار را نمایش می‌دهد که از زیر یک توده سیال ساکن عمیق حرکت می‌نماید. چنین جریانی باید تلاطم کافی جهت حمل رسوبات معلق غیرچسبنده را داشته باشد. نیروی ثقل از اختلاط جریان گل‌آلود با لایه‌های عمیق جلوگیری کرده و جریان گل‌آلود در امتداد شیب حرکت می‌کند (گراف، ۱۹۹۸).



شکل ۳- نمایش شماتیک حرکت جریان گل‌آلود (گراف، ۱۹۹۸).

Archive of SID

www.SID.ir

سرعت جریان در پیشانی جریان گل‌آلود تابعی از دبی جریان و شیب کف مخزن است. محققان مختلف، رابطه ساده‌ای مشابه رابطه شزی را برای برآورد این متغیر پیشنهاد داده‌اند (گراف، ۱۹۹۸):

$$U_f = c\sqrt{g'H_f} \qquad (۱)$$

که در آن، U_f: سرعت پیشانی جریان گل‌آلود، H_f: ارتفاع پیشانی جریان گل‌آلود، g': شتاب ثقل کاهش یافته ناشی از اختلاف چگالی و c: ضریبی است که تابع شیب کف مخزن بوده و براساس داده‌های آزمایشگاهی، مقدار آن بین ۰/۷۵-۰/۶۳ به‌دست آمده است. پارامتر g': از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$g' = g(G_s - ۱) \qquad (۲)$$

که در آن، G_s: چگالی ویژه رسوبات جریان گل‌آلود است.

مطالعات انجام شده در زمینه میزان رسوب منتقل شده توسط جریان گل‌آلود بسیار محدود می‌باشد. وو و ویرا (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های صحرایی محدود، رابطه زیر را ارایه نموده‌اند:

$$C = ۱۲/۷۵\left(\frac{U_f^۳}{gH_f\omega_{۵۰}}\right)^{۰/۲۸۵} \qquad (۳)$$

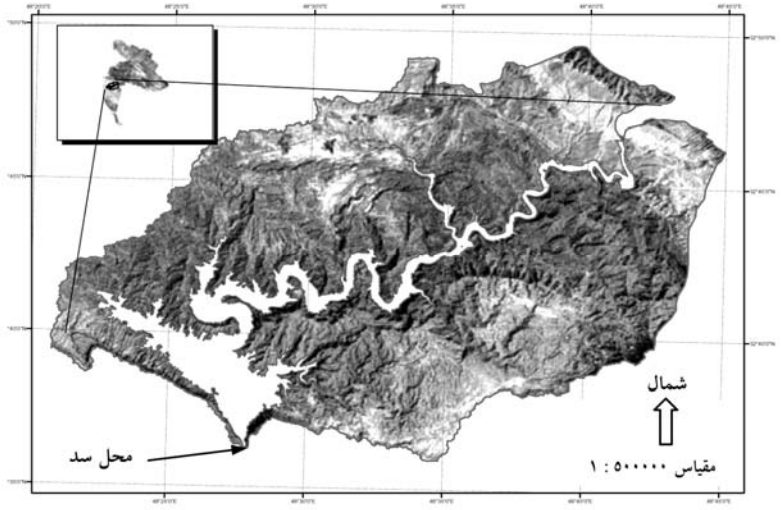
که در آن، C: غلظت رسوب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و $\omega_{۵۰}$: سرعت سقوط ذرات رسوب حمل شده توسط جریان گل‌آلود می‌باشد. همچنین براساس مطالعات میدانی جریان‌های گل‌آلود در یک سد مخزنی در آفریقای جنوبی، رابطه زیر استخراج شده است (بی‌نام، ۲۰۰۸):

$$C = ۰/۰۶۱۵۷\left(\frac{V^۳}{gh\omega_{۵۰}}\right)^{۱/۷۰۳۲} \qquad (٤)$$

منطقه مورد مطالعه: سد مخزنی دز در سال ۱۳۳۸ در ۲۰ کیلومتری شهر اندیمشک و ۲۵ کیلومتری شهر دزفول روی رودخانه دز احداث شده است. ساخت سد و نیروگاه با سه هدف مهم تأمین آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی ۱۲۰۰۰۰ هکتار زمین زراعی، تولید ۵۲۰ مگاوات ساعت انرژی برقابی، کنترل سیل و جلوگیری از طغیان فصلی رودخانه دز انجام شد. نیروگاه این سد، وظیفه تنظیم فرکانس برق کشور را به عهده دارد. بنابراین، نقش مهم این سد و ضرورت مراقبت دایمی و مستمر از نیروگاه آن بیش از پیش آشکار می‌شود. حجم مخزن سد دز در آغاز بهره‌برداری، حدود ۳۵۰۰ میلیون مترمکعب و ارتفاع آن از پی ۲۰۳ متر می‌باشد. در شکل ٤، موقعیت دریاچه سد در حوزه آبریز رودخانه دز نشان داده شده است. نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری به این سد، ایستگاه تله‌زنگ است که حدود ۸۵ کیلومتر از بدنه سد فاصله دارد (بی‌نام، ۲۰۰۵).

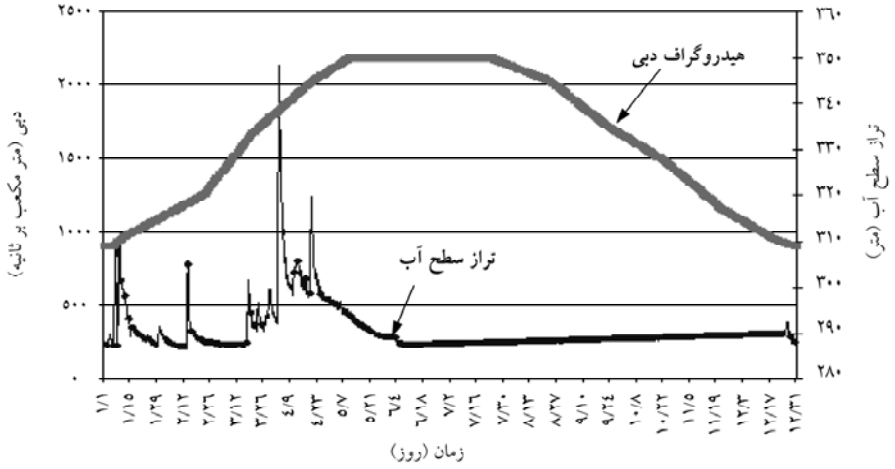
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤- موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوزه آبریز دز (بی‌نام، ۲۰۰۵).

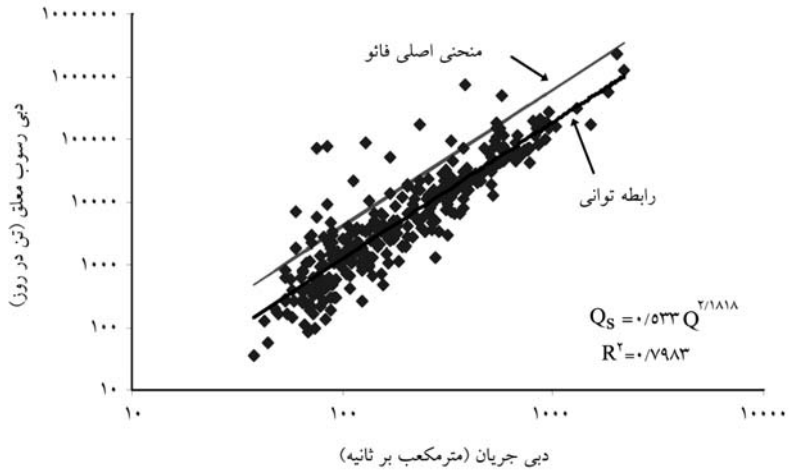
هیدروگراف دبی جریان ورودی و رقوم سطح آب مخزن سد: برای بررسی جریان گل‌آلود، دبی ورودی به مخزن سد به‌خصوص در زمان سیلاب دارای اهمیت بسیار زیادی می‌باشد. هیدروگراف دبی ورودی به مخزن سد و ارتفاع تراز آب در مخزن در شکل ۵ نشان داده شده است (بی‌نام، ۲۰۰٦).



شکل ۵- هیدروگراف تراز آب و دبی ورودی به مخزن سد دز در سال ۱۳۸۱ (بی‌نام، ۲۰۰٦).

www.SID.ir

رابطه سنجه رسوب معلق ایستگاه تله‌زنگ: با اندازه‌گیری دبی جریان و غلظت رسوب معلق رودخانه دز در ایستگاه تله‌زنگ به‌صورت روزانه از دی‌ماه ۱۳۸۲ تا خردادماه ۱۳۸۳، روابط توانی سنجه رسوب معلق و اصلاحی فائو در این ایستگاه استخراج شده است. این روابط در شکل ٦ نشان داده شده است. در این ایستگاه، رابطه اصلاحی فائو مطابقت بهتری با واقعیت دارد (مکوندی و همکاران، ۲۰۰۷).

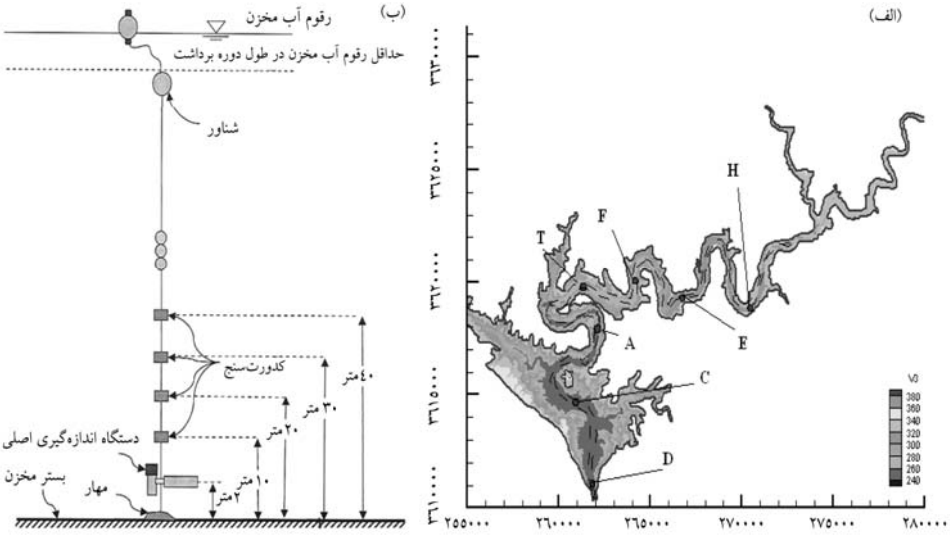


شکل ٦- رابطه سنجه رسوب معلق ایستگاه تله‌زنگ در بالادست سد دز.

انجام عملیات میدانی اندازه‌گیری جریان گل‌آلود

انتخاب ایستگاه‌های اندازه‌گیری: با توجه به هندسه، شکل و توپوگرافی مخزن، طول دریاچه، تعداد و اهمیت شاخه‌های فرعی ورودی به دریاچه سد، چند ایستگاه برای اندازه‌گیری مشخصات جریان گل‌آلود در مخزن سد انتخاب شد. به کمک دستگاه اکوساندر، مقاطع عرضی مخزن در محل ایستگاه‌ها برداشت گردید تا عرض لایه جریان گل‌آلود و سطح مقطع جریان قابل تعیین باشد. در عمیق‌ترین نقطه مقطع عرضی (تالوگ)، با نصب دستگاه‌های ثابت، اقدام به ثبت پارامترهای جریان شامل سرعت، عمق، جهت و کدورت شد. در شکل ۷، موقعیت ایستگاه‌های منتخب برای میدانی اندازه‌گیری پارامترهای سرعت و غلظت جریان گل‌آلود در سری دوم و نحوه نصب تجهیزات اندازه‌گیری نشان داده شده است. از اطلاعات سری اول اندازه‌گیری‌ها، ضخامت جریان گل‌آلود حداکثر ۲۵ متر برآورد شد (شفاعی و همکاران، ۲۰۰۸). به همین دلیل، در سری‌های دوم و سوم، دستگاه اصلی در عمق ۲ متری و دستگاه‌های ثبت کدورت حداکثر تا عمق ٤٠ متری از کف مخزن نصب شده‌اند.

Archive
www.SID.ir



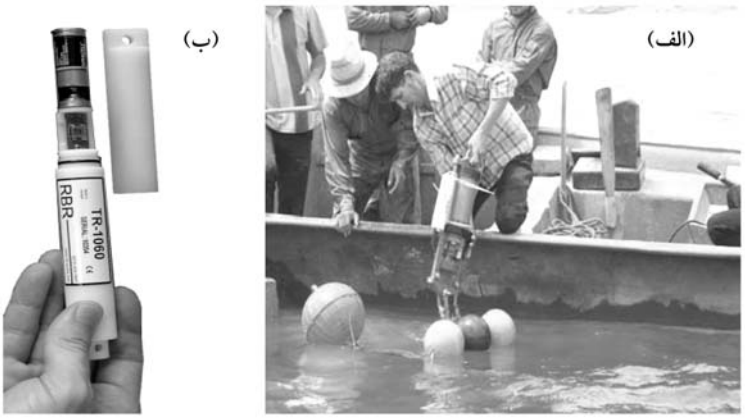
شکل ۷- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان گل‌آلود (الف) و نحوه نصب دستگاه‌ها در مخزن سد دز (ب).

تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده: به‌دلیل طول زیاد دریاچه سد دز و عمیق بودن مخزن، باید تجهیزاتی مورد استفاده قرار گیرند که قابلیت ثبت پارامترهای مختلف جریان مانند سرعت و جهت آن، کدورت، درجه حرارت و پارامترهای کیفی آب را به‌صورت مداوم و پیوسته و در مدت زمان طولانی (مثلاً یک ماه) داشته باشند. جریان‌های گل‌آلود در کف مخزن و در مدت زمان محدودی اتفاق افتاده و به کمک اندازه‌گیری‌های پراکنده و دستی، قابل ردیابی نیستند. به همین دلیل، باید به کمک دستگاه‌های ثبات، روند حرکت و تغییرات سرعت و غلظت این جریان‌ها برداشت شود تا امکان استفاده کاربردی از این نتایج فراهم شود (دی‌سزار و همکاران، ۱۹۹۸). دستگاه‌های مورد استفاده در این طرح شامل دستگاه کدورت‌سنج[1] (برای ثبت پارامترهای عمق آب، درجه حرارت، هدایت الکتریکی و کدورت)، دستگاه جریان‌سنج نقطه‌ای[2] (برای ثبت پارامترهای سرعت، جهت جریان، درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول در آب) و نمونه‌بردار نانسن (برای برداشت پارامترهای کیفی آب) بودند. در شکل ۸، دستگاه‌های جریان‌سنج و کدورت‌سنج نشان داده شده است.

1- Richard Brancker Research (RBR)
2- Recording Current Meter-Model 9 (RCM9)

Archive of SID

www.SID.ir



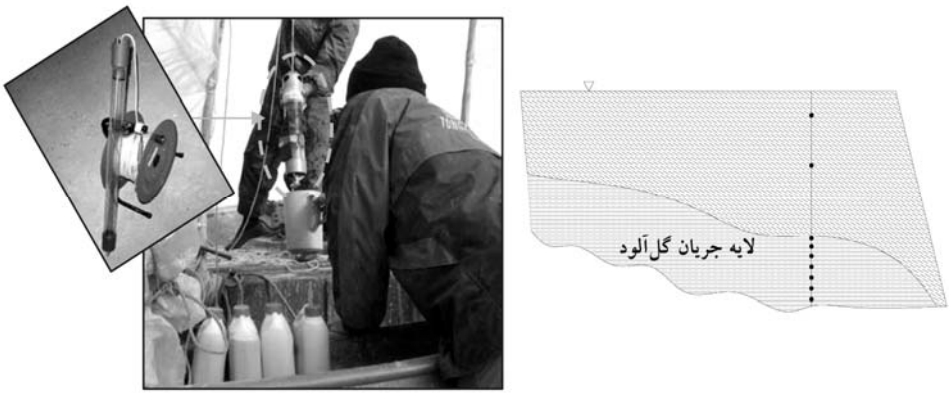
شکل ۸- نمایی از دستگاه‌های جریان‌سنج (الف) و کدورت‌سنج (ب).

اندازه‌گیری غلظت رسوب در زمان سیلاب: در شرایط سیلابی، کدورت آب در نمونه‌های گرفته شده از نزدیکی کف مخزن، به‌میزان معنی‌داری نسبت به شرایط عادی بیش‌تر است. به این منظور، می‌توان با نمونه‌برداری روزانه در بالادست‌ترین ایستگاه اندازه‌گیری، غلظت رسوب را به‌طور مرتب کنترل نمود. به‌محض مشاهده افزایش قابل‌توجه در غلظت رسوب، شرایط موجود به‌عنوان شرایط سیلابی تلقی شده و عملیات اندازه‌گیری غلظت در همه ایستگاه‌ها به‌صورت منظم در طی دوره سیلاب انجام می‌شود. این نمونه‌برداری‌ها با استفاده از نمونه‌بردار نقطه‌ای، از ۲ متری کف مخزن شروع و سپس با فواصل ٤ متری تا جایی‌که آب زلال دیده شود، ادامه یافت. این نمونه‌برداری‌ها در محدوده‌ای معادل ضخامت تقریبی جریان گل‌آلود انجام شده است. تداوم سیلاب در این منطقه حدود ۳ روز بوده و با توجه به حجم وسیع نمونه‌برداری، این‌کار دوبار در روز و تا پایان سیل ادامه یافت. شکل ۹، محل و نحوه نمونه‌برداری رسوب معلق توسط دستگاه نانسن را در شرایط سیلابی نشان می‌دهد.

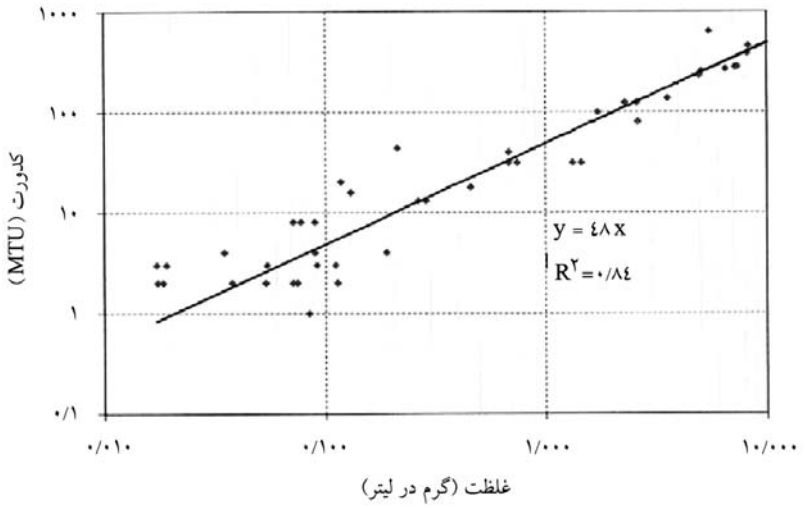
استخراج رابطه کدورت- غلظت رسوبات معلق: برای محاسبه حجم رسوب منتقل شده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری، باید غلظت رسوبات معلق در لایه جریان گل‌آلود اندازه‌گیری شود. در بیش‌تر پروژه‌های تحقیقاتی- کاربردی، از اندازه‌گیری‌های هم‌زمان کدورت و غلظت رسوب معلق استفاده نموده و سپس منحنی کدورت- غلظت استخراج می‌شود. با استفاده از این رابطه و نیز اندازه‌گیری مداوم و پیوسته کدورت جریان، غلظت رسوب معلق برآورد خواهد شد. معمولاً دقت این منحنی برای اغلب کاربردهای عملی، بسیار خوب گزارش شده است (لویس، ۱۹۹٦). در شکل ۱۰، رابطه کدورت- غلظت رسوب معلق در ایستگاه اندازه‌گیری F در مخزن سد دز در شرایط غیرسیلاب نشان داده شده است (بی‌نام، ۲۰۰٤).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹- محل و نحوه نمونه‌برداری بار معلق در عمق مخزن سد در شرایط سیلابی.



شکل ۱۰- رابطه کدورت- غلظت رسوب معلق در مخزن سد دز در ایستگاه F (بی‌نام، ۲۰۰٤).

دانه‌بندی رسوب مخزن سد: به‌منظور بررسی وضعیت رسوب کف مخزن در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از دستگاه گراب از تمامی ایستگاه‌ها، نمونه‌برداری رسوب انجام گردید. قطر متوسط رسوب بستر مخزن در ایستگاه‌های A، C، D و E، حدود ۰/۰۰٤ میلی‌متر و در ایستگاه F، حدود ۰/۰٦ میلی‌متر به‌دست آمد (بی‌نام، ۲۰۰۷).

www.SID.ir

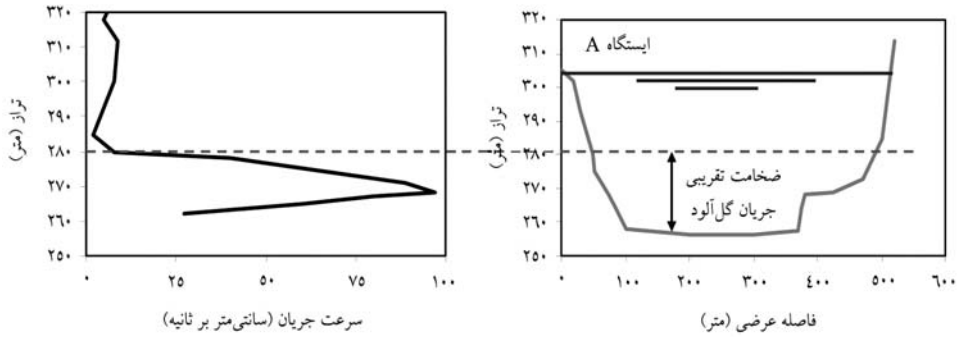
نتایج و بحث

محاسبه حجم رسوب جریان گل‌آلود ورودی به مخزن سد دز (سری اول عملیات اندازه‌گیری): با استفاده از نتایج اندازه‌گیری مشخصات جریان گل‌آلود و هندسه مقطع عرضی، می‌توان حجم رسوب عبوری از هر ایستگاه مطالعاتی در مخزن را از رابطه زیر برآورد نمود:

$$V_s = Q_s t = CbhVt \qquad (۵)$$

که در آن، V_s: حجم رسوب (تن در روز)، Q_s: دبی رسوب، t: زمان و b: عرض لایه جریان گل‌آلود می‌باشند. برای این کار، لازم است دبی جریان گل‌آلود و غلظت آن محاسبه شود.

در شکل ۱۱، نحوه تعیین سطح مقطع جریان گل‌آلود (ضخامت و عرض لایه) و سرعت جریان در ایستگاه A نشان داده شده است. در پروفیل قائم سرعت جریان، یک افزایش سریع در مقدار سرعت در رقوم نزدیک به بستر مشاهده می‌شود که بیانگر بدنه جریان گل‌آلود است. با افزایش عمق، سرعت جریان به صفر نزدیک شده است. این وضعیت توسط سایر محققان تأیید شده است (گراف، ۱۹۹۸، احمدی‌رنانی، ۲۰۰۳). این اندازه‌گیری‌ها مربوط به ۳ اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۲ بوده و دبی جریان در ایستگاه تله‌زنگ در این روز، حدود ۲۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده است.



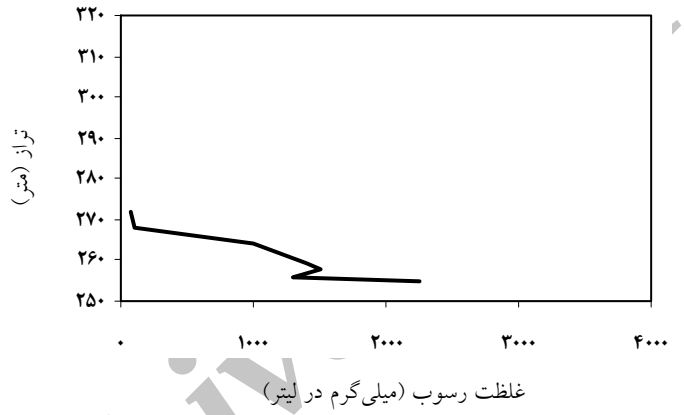
شکل ۱۱- تعیین ضخامت و عرض لایه جریان گل‌آلود در ایستگاه A با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی.

طبق داده‌های ثبت شده سرعت جریان و غلظت رسوب در ایستگاه A، ضخامت جریان گل‌آلود در این ایستگاه حدود ۲۵ متر برآورد می‌شود. سرعت جریان در این ایستگاه، حداکثر ۱ و میانگین سرعت‌ها، ۰/۶ متر بر ثانیه است. همچنین عرض جریان گل‌آلود، برابر عرض متوسط مقطع ایستگاه

www.SID.ir

(حدود ۳۵۰ متر) فرض شده است. مقایسه این نتایج با نتایج گراف (۱۹۹۸) در سد کلایسن نشان می‌دهد که با توجه به این‌که سد مخزنی کلایسن دارای عمق آب و عرض بسیار کم‌تری نسبت به سد دز است، مقادیر به‌دست آمده ضخامت و سرعت جریان گل‌آلود در سد دز منطقی است.

برای محاسبه غلظت متوسط رسوب در بدنه جریان گل‌آلود، از تغییرات غلظت رسوب در ایستگاه A استفاده شده است. پروفیل قائم تغییرات غلظت رسوب در این ایستگاه در شکل ۱۲ ارایه شده است. طبق این شکل، غلظت متوسط رسوب در بدنه جریان گل‌آلود حدود ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. به‌دلیل این‌که ایستگاه A جزو ایستگاه‌های انتهایی است، غلظت رسوب جریان گل‌آلود تقریباً کم می‌باشد.



شکل ۱۲- پروفیل قائم تغییرات غلظت رسوب در ایستگاه A با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی (بی‌نام، ۲۰۰٤).

با توجه به عرض مخزن در محل ایستگاه A (حدود ۳۵۰ متر)، حجم رسوب منتقل شده از این ایستگاه طی سیل مورخ ۳ اردیبهشت‌ماه، حدود ۵۰۰۰۰۰ مترمکعب محاسبه شده است. در این محاسبه، وزن مخصوص مستغرق رسوبات مخزن برابر ۱۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب فرض شده است (شهیدی، ۱۹۹۵). همه این محاسبات برای ایستگاه F که در بالادست ایستگاه A قرار گرفته شده است، تکرار شد. حجم رسوب انتقالی در این ایستگاه، حدود ۱ میلیون تن (یا ۹۲۰۰۰۰ مترمکعب) به‌دست آمد. به‌دلیل این‌که اندازه‌گیری‌ها در این دو ایستگاه هم‌زمان نبوده، متوسط حجم رسوب این دو ایستگاه (یعنی ۷۱۰۰۰۰ متر مکعب)، به‌عنوان حجم رسوب منتقل شده به مخزن سد دز توسط جریان گل‌آلود در نظر گرفته شد. در روز بعد (٤ اردیبهشت‌ماه)، جریان گل‌آلود با غلظت کم‌تری ادامه داشت. محاسبات بالا برای اندازه‌گیری‌های این روز نشان می‌دهد که به‌طور میانگین حدود ۳۷۰۰۰۰

Archive of SID
www.SID.ir

مترمکعب رسوب توسط جریان گل‌آلود وارد مخزن سد دز شده است. بنابراین، مجموع حجم متوسط رسوبات منتقل شده از ایستگاه‌ها در این سیل دو روزه، حدود ۱۱۰۰۰۰۰ مترمکعب برآورد گردید. همین محاسبات برای سیلی که در ۹ بهمن‌ماه ۱۳۸۱ با دبی جریان ۷۵۰ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاده است، تکرار شد. نتایج این محاسبات نشان می‌دهد که در این سیل، حدود ٤٥۰۰۰ مترمکعب رسوب از طریق جریان گل‌آلود وارد مخزن سد دز شده است.

نتایج محاسبات سری دوم عملیات اندازه‌گیری: اندازه‌گیری‌های سری دوم در سال ۱۳۸٤ و در اوایل اسفندماه به‌مدت ۵ ماه انجام شد. متأسفانه، عملیات میدانی با تاخیر یک‌ماهه انجام، و سیلاب تاریخی و بسیار مهم این سال در بهمن‌ماه و قبل از شروع عملیات اندازه‌گیری اتفاق افتاد. دبی حداکثر این سیل بیش از ٤۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است. با وجود وقوع سیلاب ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه در این دوره، اندازه‌گیری‌ها وقوع جریان گل‌آلودی را نشان نمی‌دهد.

نتایج محاسبات سری سوم عملیات اندازه‌گیری: در اندازه‌گیری‌های سری سوم که در زمستان ۱۳۸۵ انجام شد، ۳ واقعه جریان گل‌آلود ثبت گردید. قوی‌ترین مورد، در ١٦ بهمن‌ماه مشاهده شد که جریان گل‌آلود از دریچه‌های نیروگاه نیز عبور نمود. در این روز، دبی جریان در ایستگاه تله‌زنگ حدود ٦٢٦ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است. نتایج محاسبه ضخامت لایه جریان گل‌آلود برای این سیلاب در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری، در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- محاسبات ضخامت لایه جریان گل‌آلود در ایستگاه‌های مختلف در سیلاب ١٦ بهمن ۱۳۸۵.

نام ایستگاه	عمق آب در ایستگاه (متر)	ضخامت لایه جریان گل‌آلود (متر)
C	٦١	۱۰
A	٦۰	۱۲
T	۵۳	۲۱
F	٤١	١٦
E	۷/۵	۷/۵

با بررسی داده‌های صحرایی ثبت شده در سیلاب ١٦ بهمن ۱۳۸۵ مشخص شد که از میان ایستگاه‌های مخزن، فقط ایستگاه A دارای داده‌های هم‌زمان سرعت و غلظت رسوب بوده است. سرعت متوسط جریان گل‌آلود در این ایستگاه در سیل یاد شده، حدود ۰/۳٦ متر بر ثانیه و غلظت

Archive of SID

www.SID.ir

متوسط رسوب، حدود ۲۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. با انجام محاسباتی مشابه محاسبات قبلی، حجم رسوب ورودی به مخزن سد دز ناشی از جریان گل‌آلود برای این واقعه سیلابی حدود ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب به‌دست آمد. همه محاسبات مشخصات جریان گل‌آلود و حجم رسوب ورودی به مخزن سد دز در سه سیلاب اتفاق افتاده در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- خلاصه نتایج مشخصات چند واقعه جریان گل‌آلود و حجم رسوب ورودی به مخزن سد دز.

تاریخ سیل	ایستگاه	مشخصات لایه جریان گل‌آلود				حجم رسوب منتقل شده (مترمربع بر روز)
		عرض (متر)	ضخامت (متر)	سرعت متوسط (متر بر ثانیه)	غلظت متوسط رسوب (میلی‌گرم بر لیتر)	
بهمن ۱۳۸۱	A	۳۰۰	۱۵	۰/۱۷	۸۰۰	٤٥۰۰۰
اردیبهشت ۸۲	F	۲۰۰	۲۵	۰/۷۵	۳۱۳۰	۹۲۰۰۰۰
(روز اول)	A	۳۵۰	۲۰	۰/٦	۱۵۰۰	۵۰۰۰۰۰
					متوسط	۷۱۰۰۰۰
	F	۲۰۰	۱۸	۰/٤	۲۳۰۰	۲۸٦۱۵٦
اردیبهشت ۸۲	A	۳۰۰	۱۰	۰/۳	٤۵۰۰	۵۲٤۸۸۰
(روز دوم)	C	۷۰۰	۱۲	۰/۱	۲۰۰۰	۱٤۵۱۵۰
	D	۱۰۰۰	۲۰	۰/۱	۳۸۰۰	۵۲۵۳۱۲
					متوسط	۳۷۰۰۰۰
					مجموع	۱۰۸۰۰۰۰
بهمن ۱۳۸۵	A	۲۰۰	۱۲	۰/۳٦	۲۲۰۰	۱۵۰۰۰۰

در جدول ۳، خلاصه نتایج محاسبات انجام شده برای ۳ مرحله اندازه‌گیری حجم رسوب ناشی از جریان گل‌آلود مخزن سد دز قابل مشاهده می‌باشد. با دقت در این جدول، مشخص می‌شود که برای وقوع جریان گل‌آلود، علاوه‌بر مقدار دبی جریان سیلاب، زمان وقوع سیلاب نیز بسیار مهم است. به‌عبارت بهتر، حجم رسوب به‌دست آمده رابطه مستقیم با دبی جریان سیلاب و زمان وقوع آن دارد، به‌طوری‌که برای دبی ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه (در مرحله دوم اندازه‌گیری‌ها)، جریان گل‌آلود مشاهده نشده است، اما برای دبی ٦۲٦ مترمکعب بر ثانیه (در مرحله سوم)، جریان گل‌آلود با حجم رسوب

Archive of SID

www.SID.ir

انتقالی ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب ثبت شده است. دلیل این امر آن است که دبی ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه بعد از سیل مهم بهمن‌ماه ۱۳۸٤ با دبی بیش از ٤۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه اتفاق افتاد، در حالی‌که سیل بهمن‌ماه ۸٦ با دبی ٦۲٦ مترمکعب بر ثانیه، تقریباً اولین سیل مهم دوره سوم اندازه‌گیری‌ها بود که در این زمان، حوزه از نظر تولید رسوب دارای شرایط مناسبی بوده است.

جدول ۳- حجم رسوب ته‌نشین شده در مجاورت بدنه سد دز به‌ازای دبی‌های سیلاب در ایستگاه تله‌زنگ.

تاریخ سیلاب	دبی سیل در ایستگاه تله‌زنگ (مترمکعب بر ثانیه)	حجم رسوب در مجاورت بدنه سد (مترمکعب)
بهمن ۱۳۸۱	۷۵۰	٤۵۰۰۰
اردیبهشت ۱۳۸۲	۲٦۰۰	۱۰۸۰۰۰۰
فروردین ۱۳۸۵	۸۰۰	جریان گل‌آلود مشاهده نشد
بهمن ۱۳۸٦	٦۲٦	۱۵۰۰۰۰

نتیجه‌گیری

۱- محاسبات حجم رسوب انتقالی از جریان گل‌آلود نشان می‌دهد که سیلاب‌های رودخانه دز، نقش مهمی در ته‌نشینی رسوبات در مجاورت بدنه این سد دارند. در حالی‌که طبق نتایج عملیات هیدروگرافی مخزن، حجم رسوب‌گذاری سالانه در مجاورت بدنه سد حدود ٦/۷۵ میلیون مترمکعب است، طبق اندازه‌گیری‌های جریان گل‌آلود، فقط طی سیل اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۲، حدود ۱/۱ میلیون مترمکعب رسوب در مجاورت بدنه سد ته‌نشین شده است.

۲- با توجه به اهمیت سهم جریان‌های گل‌آلود در رسوب‌گذاری مخزن و به‌ویژه در مجاورت بدنه سد دز و آبگیر نیروگاه، می‌توان با برنامه‌ریزی دقیق وقوع سیلاب‌ها و مانور دریچه‌ها در این هنگام، رسوبات جریان گل‌آلود را قبل از ته‌نشست از مخزن خارج نمود. تنظیم برنامه مناسب برای عملیات رسوب‌شویی مخزن، از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه است.

۳- تجزیه و تحلیل داده‌های صحرایی سرعت، غلظت رسوب و ضخامت جریان گل‌آلود در مخزن سد دز نشان می‌دهد که علاوه‌بر مقدار دبی سیلاب، زمان وقوع سیل نیز نقش بسیار مهمی در میزان رسوب انتقال یافته به مخزن سد دارد. این مسأله، بیانگر لزوم دقت در برنامه‌ریزی زمانی انجام عملیات میدانی اندازه‌گیری جریان گل‌آلود در مخازن سدهاست.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.Ahmadi Renani, M.R. 2003. Effect of thalweg canalization in reservoir dams on efficiency of turbidity currents venting, M.Sc. Thesis in water structures, Tarbiat Modares University, 185p. (In Persian)
2.Anonymous. 2004. Field measurements for Dez dam flushing program, Final Report, Khozestan Water and Power Authority, 420p. (In Persian)
3.Anonymous. 2005. Field measurements for Dez dam flushing program, Final Report, Khozestan Water and Power Authority, 65p. (In Persian)
4.Anonymous. 2006. Dez dam rehabilitation project, Task 1: Reservoir Operation Review and Sediment Study, ACRES Consulting Engineers, Khuzestan Water and Power Authority, 300p. (In Persian)
5.Anonymous. 2007. Field measurements for Dez dam flushing program, Final Report, Khozestan Water and Power Authority, 70p. (In Persian)
6.Anonymous. 2008. Manual on reservoir sedimentation and desiltation, Ministry of Energy, Report No. 328a, 303p. (In Persian)
7.De Cesare, G., Portner, N.A., Boillat, J.L., and Schleiss, A. 1998. Modeling of erosion and sedimentation based on field investigation in Alpine hydropower schemes. In: The Third 3rd International Conference on Hydroscience and Engineering, Berlin, 3.
8.Graf, W.H. 1998. Fluvial Hydraulics, John Wiley & Sons, England, 682p.
9.Hosseini, S.A., Shamsai, A., and Ataie-Ashtiani, B. 2006. Synchronous measurements of the velocity and concentration in low density turbidity currents using an Acoustic Doppler Velocitimeter, Flow Measurement and Instrumentation, 17: 59-68.
10.Lewis, J. 1996. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation, Water Resources Research, 32: 7. 2299-2310.
11.Makvandi, A., Zahiri, A., and Kurdistani, S. 2007. Investigation of sediment budget of Dez river basin, In: 7th International Conference on River Engineering, Ahwaz, Iran.
12.Morris, G.L., and Fan, J. 1998. Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dam, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use. McGraw-Hill, New York,
13.Schleiss, A.J., De Cesare, G., and Althaus, J.J. 2008. Reservoir sedimentation and sustainable development, In: International Conference on Erosion, Transport and Deposition of Sediments, Switzerland.
14.Shafai, Bejestan, M., Zahiri, A., and Kurdistani, S.M. 2008. Density current measurement in Dez reservoir, In: International Conference on Environmental and Water Resources, Thailand.
15.Shahidi, A. 1995. Evaluation of USBR method in estimation of suspended sediment load in Dez river, M.Sc. Thesis in irrigation, Tarbiat Modares University, 142p. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

16.Umeda, M., Yokoyama, K., and Ishikawa, T. 1999. Field observation and numerical simulation on turbidity and sedimentation in the Shichikashuku reservoir, J. Japanese Soc. of Civil Engin. 18: 43. 599-604.
17.Wang, Z., and Hu, C. 2009. Strategies for managing reservoir sedimentation, J. Sediment Research, 24: 4. 369-384.
18.Wu, W.M., and Vieira, D.A. 2002. One-dimensional channel network model, CCHE1D Technical Manual, University of Mississippi.
19.Yu, W.S., Lee, H.Y., and Hsu, S.M. 2000. Experiments on deposition behavior of fine sediment in a reservoir. J. Hydr. Engin. ASCE, 126: 12. 912-920.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Estimation of sediment volume due to turbidity currents in Dez Reservoir Dam

A.R. Zahiri[1], M. Shafai Bejestan[2] and *A.A. Dehghani[1]
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Professor, Dept. of Water Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz
Received: 2009/12/15 ; Accepted: 2011/01/16

Abstract

Dez dam is very important due to water supply, regulating power frequency and flood control. Because of high sedimentation in front of dam structure, there is a risk that fine sediments enter the power intake and endanger the efficiency of turbine runners. In this regards, use of turbidity currents potentials is one of effective solutions. In this study, the results of three stages of field measurements including current velocity and sediment concentrations in various stations was analyzed and sediment volume entering into reservoir, due to turbidity currents was calculated. The results showed that only in one flood event on April 2003 (with flow discharge of 2600 cms), nearly 1.1 Mm^3 sediment has been deposited in front of dam structure. Maximum thickness of turbidity current has been evaluated to be 25 m in this flood event. Also, it is revealed that in addition to flood discharge magnitude, the time of flooding is also very important for calculation of sediment volume resulting from turbidity currents.

Keywords: Turbidity currents, Reservoir sedimentation, Dez dam, Sediment management

* Corresponding Author; Email: amirahmad.dehghani@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir