نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، بهمن - اسفند ۱۴۰۴، ص. ۹۸۰-۹۶۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 19, Feb.-Mar. 2026, p. 969-980

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی امکان استفاده از رسوبات نهشته‌شده در مخزن سد لتیان به عنوان مواد خام تولید مصالح ساختمانی

مجتبی کریمائی طبرستانی[1*]، امید آسیایی[2] و ابوالفضل سلطانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

چکیده

پدیده رسوبگذاری در مخزن سدها به عنوان یکی از عوامل مهم در کاهش عمر مفید این سازه‌ها محسوب می‌شود. اولین گام در مدیریت و تخلیه این رسوبات، مطالعه بر روی خصوصیات آنها است. در تحقیق حاضر اقدام به مطالعه بر روی خصوصیات کانی‌شناسی رسوبات نهشته‌شده در مخزن سد لتیان به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین آب شهر تهران شد. به این ترتیب پس از شناخت کانی‌های موجود در این رسوبات، تلاش شد کاربردهایی برای این رسوبات تعیین شود. در واقع پیشنهاد شد با جمع‌آوری رسوبات در فصل استراحت و کم آبی سد، مواد اولیه برای تولید مصالح ساختمانی مختلف تامین شود. در این تحقیق پس از انجام عملیات پیمایش، برداشت رسوب از محدوده نزدیک به محور سد (بعنوان معرف مخزن) انجام شد. نتایج مطالعات اشعه ایکس فلورنس (XRF) نشان داد که به ترتیب فراوانی درصد وزنی اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده شامل سیلیکا حدود ۵۵٪، آلومینیا حدود ۱۲٪ و آهک حدود ۵٪ در نمونه رسوب مخزن سد لتیان می‌باشند. ترکیب شیمیایی این رسوب نتیجه مقدار بالای آلومینوسیلیکات‌های فعال است و میزان افت حرارتی حدود ۱۲ درصد آن نشان می‌دهد که شرایط پوزولانی کامل و پتانسیل واکنشی قوی دارد به طوری که می‌تواند در تهیه بتن ژئوپلیمری و سیمان‌های آمیخته بکار رود. در ادامه بررسی‌ها نشان داد که رسوبات سد لتیان در محدوده استانداردهای تولید آجر ایران و آلمان قرار دارند و لیکن به‌غیر از مقدار سیلیکا (کوارتز) بقیه عناصر موجود در رسوبات در محدوده‌ی استاندارد تولید سفال نیستند و لازم است با استفاده از افزودنی های مناسب به این رسوبات، از آنها برای تولید سفال بهره گرفت. در نهایت مطالعه حاضر نشان داد که رسوبات سد لتیان قابلیت تولید سنگدانه سبک را نیز دار هستند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل XRF، خصوصیات شیمیایی، رسوب‌گذاری مخزن، سد لتیان، مصالح ساختمانی

مقدمه

شبکه‌های مخازن سطحی در سرتاسر جهان برای اطمینان از تامین آب ایجاد شده‌اند. ولی دسترسی مطمئن به آب موجود در این مخازن از نظر کمی و کیفی با توجه به رسوب‌گذاری به خطر می‌افتد. به این ترتیب مسئله رسوب‌گذاری مخازن سدها چالشی جدی برای مدیریت آب‌های سطحی در دنیا محسوب می‌شود. اهمیت این موضوع در ایران دوچندان است چراکه فرسایش خاک در کشور جدی بوده و بر اساس مطالعات آماری، مخازن سدها در ایران سالانه ۱/۱۵ درصد از حجم اولیه ذخیره‌سازی خود را از دست می‌دهند که این میزان حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). انباشت رسوبات در مخزن سدها علاوه بر کاهش پایداری سد و تاثیر نامطلوب بر عملکرد تاسیسات خروجی، دریچه‌ها و شیرهای تراز پایین، موجب تاثیرات نامطلوب زیست‌محیطی در بالادست و پایین-دست سد می‌شود. بنابراین، استفاده از روش‌های مدیریت رسوب جهت افزایش هرچه بیشتر عمر مخازن موجود امری ضروری است و در این رابطه یکی از پیش‌نیازهای مهم، تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات مخزن است. به طور کلی، استفاده از رسوبات مخازن سدها می‌تواند در (۱) بالا بردن عمر مفید سدهایی که مخازن آنها از رسوب پرشده است، (۲) بالا بردن کیفیت آب مخزن سدها و (۳) حل مشکل کمبود منابع خاک مرغوب در مناطق مختلف دنیا، نقش موثری داشته باشد.

۱- دانشیار گروه مهندسی ژئوتکنیک و آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲-کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی ژئوتکنیک و آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: karimaei@sru.ac.ir).
DOI: 10.22034/idj.2025.523912.2589

عمده مطالعات انجام شده در این خصوص به بررسی خصوصیات فیزیکی رسوبات ته‌نشین شده و همچنین فرآیندهای انتقال رسوب مرتبط است. مطالعاتی نظیر باسون (Basson, 2009)، شلایس (Schleiss, 2010) و سومی و هیروسه (Sumi and Hirose, 2009) بر روی اهمیت مقابله با پدیده رسوب‌گذاری مخازن سدها نشان می‌دهد که بدون انجام رسوبزدایی مخزن در مدت ۲۵ تا ۵۰ سال آینده، یک چهارم سدهای جهان از بهره‌برداری خارج می‌شوند. این موضوع اهمیت انجام اقدامات ضروری جهت افزایش عمر مفید مخازن سدها به عنوان تاسیسات حیاتی تامین آب را نشان می‌دهد. در ایران نیز مطالعات مختلفی در مورد خصوصیات فیزیکی رسوبات نهشته شده در مخازن سدها انجام شده است. تحقیقاتی توسط صمدی و همکاران (۱۳۸۶ و ۱۳۹۲) بر روی رسوبات سد دز و اخیراً آسیایی و همکاران (۱۴۰۰) بر روی سد لتیان انجام شد. مطالعه بر روی رسوبات سد دز نشان داد که روابط تجربی تعیین جرم مخصوص رسوبات سدها برای تخمین جرم مخصوص رسوبات مخزن سد دز به طور متوسط ۳۰ درصد خطا دارد. همچنین مطالعه بر روی سد لتیان مشخص نمود که با نزدیک شدن از لبه‌های مخزن سد اندازه دانه‌های رسوب به میزان قابل توجهی ریزتر می‌شود، بطوریکه درصد رس و لای موجود در نزدیکی محور سد، بیش از ۸۹ درصد تعیین گردید.

بخش دیگری از مطالعات بر روی رسوبات مخازن سدها شامل مطالعه بر روی خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی رسوبات می‌باشد که هدف اصلی تحقیق حاضر است. به این ترتیب ضمن مشخص شدن ماهیت رسوبات و منشا آنها می‌توان کاربردهایی برای این رسوبات معرفی کرد. در واقع می‌توان طی برنامه‌ای مدون و با هماهنگی ارگان‌های ذیربط در فصل استراحت سد و شرایط کم‌آبی، از رسوبات دپوشده در مخزن سد به خصوص در نواحی بالادستی برای اهداف مختلف نظیر کشاورزی یا به عنوان منبع مواد اولیه در ساخت مصالح عمرانی مورد استفاده قرارگیرد. البته تحقیقات در این خصوص محدود است و مطالعات امکان‌سنجی و اقتصادی بیشتر با توجه به شرایط خاص هر پروژه مورد نیاز است. نکته مهم اینکه تامین مواد اولیه خام برای تهیه مواد و مصالح ساختمانی نظیر آجر و سفال از منابع قرضه کوهی و محل‌های روباز می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. از طرفی دیگر رسوبات مخازن سدهای در حال بهره‌برداری می‌تواند به عنوان یک منبع ریزدانه کمیاب برای ساخت سدهای جدید مورد استفاده قرار گیرد (گلمائی، ۱۳۸۴).

فونسکا و همکاران اشاره می‌کنند که می‌توان با بکارگیری رسوبات مخزن سدها به عنوان خاک کشاورزی، با روند رو به رشد بیابان‌زایی در جهان مقابله نمود. در این تحقیق رسوبات ته‌نشین‌شده در دو مخزن موجود در جنوب کشور پرتغال نمونه‌گیری شد و بر روی آنها آزمایشات شیمیایی، فیزیکی و کانی‌شناسی انجام شد تا مناسب بودن آنها برای استفاده در بخش کشاورزی مورد ارزیابی قرار گیرد. آنها دریافتند که علیرغم تفاوت‌های زیاد در ویژگی‌های ژئومورفولوژی بستر و سنگ‌شناسی حوضه های آبریز، رسوبات ته‌نشین شده دارای سطوح بالایی از عناصر غذایی هستند که برای تولید پایدار فیبر غذایی مورد نیاز است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که رسوبات ماسه‌ای موجود در این مخازن به تنهایی و بدون نیاز به افزودنی می‌توانند به عنوان خاک‌های کشاورزی مرغوب مورد استفاده قرار گیرند (Fonseca et al., 1998).

مطالعه مشابهی توسط فوتسکا و همکاران در سال ۲۰۱۳ در کشورهای برزیل و پرتغال انجام گرفت (Fonseca et al., 2013). لایو و هوانگ تاثیر عملیات حرارتی را بر روی خصوصیات فیزیکی مصالح سبکدانه بدست آمده از رسوبات مخازن سدها را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق چهار عملیات حرارتی مختلف با محدوده دمایی مابین ۱۱۷۰ تا ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد برروی رسوبات یکی از مخازن کشور تایوان مطالعه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سبکدانه‌های بدست آمده در دمای بالاتر از ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد شرایط آیین‌نامه اتحادیه اروپا (EN-13055-1) را که اشاره می‌کند جرم مخصوص سبکدانه‌ها کمتر از ۱۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب باشند را برآورد می‌کند (Liao and Huang, 2011). تانگ و همکاران اقدام به تولید سبکدانه‌ها از رسوبات مخزن سد نمودند و سپس از این سنگدانه‌ها برای بتن سبک استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که عملکرد و خصوصیات بتن‌های تولید شده از رسوبات مخزن بهتر از محصولات مشابه تجاری در بازار است (Tang et al., 2013).

جاناکوا و همکاران بر روی تولید بتن با استفاده از رسوبات مخزن سدی در کشور اسلواکی مطالعه نمودند. ایشان خصوصیات بتن ساخته شده نظیر مقاومت فشاری و خمشی با استفاده از افزودنی رسوب برداشت شده از مخزن سد را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری بتن ساخته شده از رسوبات مخزن به میزان ۲۰ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. همچنین مقاومت خمشی بتن ساخته شده با رسوبات مخزن بیشتر از بتن‌های شاهد متناظر بدست آمد (Junakova et al., 2017).

. براگا و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی به بررسی تحلیل سود-هزینه استفاده مجدد از رسوبات مخازن سطحی برای حاصلخیزی خاک در حوضه‌های نیمه خشک کشور برزیل اقدام نمودند. این تحقیق بیان می‌کند که میزان کل رسوب‌گذاری در مجموعه ۱۰۲۹ مخزن سطحی در کشور برزیل برابر با ۷×۱۰^{۵} تن در سال می‌باشد. مواد اورگانیک مغذی موجود در خاک مخازن با مواد مغذی موجود در خاک مناطق حاصل‌خیز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد در مخازنی که به طور مکرر سطح آب پایین می‌آید و رسوبات مخزن را می‌توان با عملیات حفاری حذف کرد، کوددهی خاک مناطق کشاورزی با رسوب هزینه کمتری نسبت به استفاده از کودهای شیمیایی تجاری دارد (Braga et al., 2019).

. آباگال و آدونگو در تحقیق خود بر روی کیفیت فیزیکوشیمیایی رسوبات مخزن سدها در شمال کشور غنا به این نتیجه رسیدند که این رسوبات حاوی رس و سیلت، مواد اورگانیک مغذی کافی برای استفاده در کشاورزی را دار هستند (Abagale and Adongo, 2022.).

علاوه بر تحقیقات فوق، در مقیاس ملی نیز مطالعات مختلفی با هدف بهره‌برداری از رسوبات مخزن سدها انجام شده است. گلمائی (۱۳۸۴) تحقیقی را بر روی استفاده از رسوبات سد وشمگیر در تولید مصالح ساختمانی انجام داد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که رسوبات شسته شده پشت سد برای در هم آمیختن با خاک‌های شور منطقه و افزایش حاصلخیزی توصیه می‌شود. همچنین ایشان بیان می‌کنند که این رسوبات برای تولید آجر، سفال و همچنین به جای رس در ساخت سیمان مناسب هستند و برای تولید لوله‌های سفالی لازم است به آن نسبت‌های مناسبی از کائولن و پودر میکروسیلیس اضافه نمود. ضیایی و همکاران (۱۳۸۹) اقدام به مطالعه ترکیب کانی‌شناسی، خواص شیمیایی وخصوصیات فیزیکومکانیکی نهشته‌های رسی پشت سد سفیدرود در محدوده شاهرود با هدف بررسی کاربرد صنعتی آنها در تولید آجر و سفال نمودند. نتایج حاصل از تحقیقات آزمایشگاهی و مقایسه داده های حاصل با استاندارد ملی ۱۱۶۲ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی کشور، منجر به این نتیجه شد که نهشته سد سفید رود را می‌توان در صنایع آجر و سفال مورد استفاده قرار داد. مدارایی و همکاران (۱۳۹۵) تولید سبکدانه رسی با استفاده از رسوبات سد مخزنی سفیدرود را مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان می‌کنند که بیش از ۴۰ درصد از مخزن سد سفیدرود با رسوبات پر شده است و با استفاده از این رسوبات در فصل استراحت سد و کاهش تراز آب مخزن می‌توان سبکدانه ساختمانی تولید کرد. البته نتایج این مطالعه نشان داد که رسوبات رسی ته‌نشین شده در مخزن سد قابلیت انبساط و پف کردن را ندارد و لازم است با افزودن اکسید آلومینیوم و اکسید سیلیسیم بترتیب به نسبت ۱ به ۲ و ۱ به ۳ به شرایط مطلوب رسید. نیک‌افکار و همکاران در تحقیق خود، اقدام به تحلیل اقتصادی و تجاری استفاده مجدد از رسوبات مخزن سد به عنوان خاکی حاصل‌خیز برای کشاورزی نمودند. برای اولین بار رسوبات مخزن سد لتیان به عنوان مطالعه موردی در این تحقیق معرفی شد. نتیجه این تحقیق نشان داد که استفاده مجدد از رسوبات مخازن سدها نه تنها منجر به سود قابل توجهی می شود، بلکه صرفه‌جویی در منابع انرژی و کاهش هزینه ها را با محدود کردن واردات و افزایش ورود ارز از طریق صادرات با تهیه کودهای آلی ممکن می‌سازد (Nikafkar et al., 2023).

با توجه به مطالب فوق، نیاز است تا مطالعات عمیق‌تری بر روی خصوصیات شیمیایی مخازن سدهای کشور به منظور حل مشکل رسوب‌گذاری مخازن سطحی و ایجاد کاربری برای آنها انجام شود. بر این اساس، در تحقیق حاضر اقدام به بررسی ساختار شیمیایی رسوبات مخزن سد لتیان به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب شهر تهران می‌شود. در ادامه با استفاده از این اطلاعات و بر اساس آئین‌نامه‌های موجود، امکان استفاده از آن در تهیه مصالح ساختمانی مختلف مورد بررسی و پتانسیل‌یابی قرار می‌گیرد.

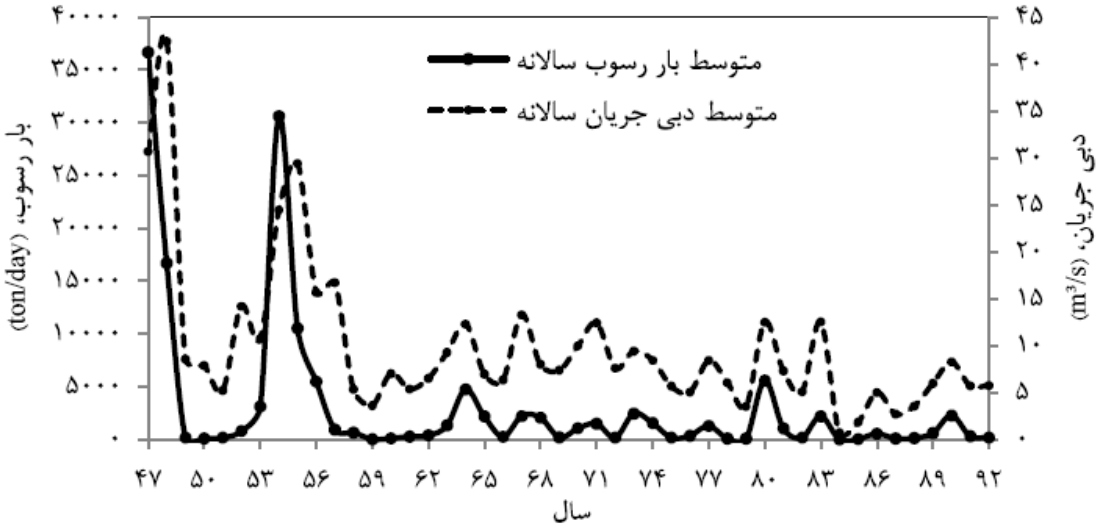
مشخصات سد لتیان و موقعیت منطقه مطالعاتی

سد لتیان با ارتفاع ۸۰ متر از بستر رودخانه و ۱۰۷ متر از پی و طول تاج ۴۵۰ متر در ۲۰ کیلومتری شمال خاوری شهر تهران و در بخش جنوبی رشته کوه‌های البرز مرکزی با عرض جغرافیایی ′۴۷ °۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ′۴۰ °۵۱ شرقی در محل برخورد رودخانه‌های فرعی لوارک، گلندوک، افجه با رودخانه جاجرود واقع شده است. به طور کلی منطقه اطراف ساختگاه سد لتیان از تنوع سنگ‌شناسی بسیار بالایی برخوردار است. از نظر زمین شناسی عمده‌ترین سازندهای ساختاری منطقه سد عبارتند از زایگون، لالون (ماسه‌سنگ)، کوارتزیت رأسی، میلا، جیرود و توف سبز کرج (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۸). تاریخ شروع مطالعات این سد بتنی پشت بنددار به سال ۱۳۳۸ بر می‌گردد و عملیات احداث آن در سال ۱۳۴۲ شروع شد و در سال ۱۳۴۶ به بهره‌برداری رسید. علاوه بر تامین مصرف آب شرب تهران، آبیاری حدود ۳۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی پائین‌دست سد و تولید متوسط سالانه ۷۰۰۰۰ مگاوات ساعت انرژی برقابی از دیگر برنامه‌های بهره‌برداری از این سد است. در ادامه توسعه منابع آب شرب برای مصرف روزافزون شهر تهران بزرگ، از سال ۱۳۷۶ نیز سالانه به طور متوسط ۱۴۰ میلیون مترمکعب آب از سد لار به مخزن سد لتیان انتقال داده شده است؛ که این توسعه باعث بالا رفتن حجم آب قابل تنظیم سد لتیان به میزان ۴۱۰ میلیون مترمکعب شده است. سرریز اصلی این سد ۱۱۰۰ متر مکعب در ثانیه و سرریز اضطراری ۶۵۰ متر مکعب در ثانیه آب را تخلیه می‌کنند. مساحت دریاچه سد لتیان در حداکثر رقوم سطح آب (۱۶۱۰ متر از سطح دریا) برابر با ۲۹۲/۸ هکتار می‌باشد که ۲۴۸ هکتار آن در بخش جاجرود و مابقی در شاخه لوارک برآورد شده است. سطح حوضه آبریز سد ۷۰۰ کیلومتر مربع و میزان بارندگی متوسط سالانه ۷۱۱/۵ میلیمتر است. شکل ۱ تصاویری از نمای مخزن و دیواره سد لتیان را در بازدید آذرماه ۱۳۹۹ نویسندگان مقاله حاضر نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲ متوسط دبی جریان و بار رسوبی سالانه ورودی به مخزن سد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مخزن سد لتیان با حدود ۱۰۰۰۰ تن بر روز رسوب ورودی از پتانسیل رسوبگذاری بالایی برخوردار است (بیات و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعات رسوب‌گذاری مخزن سد لتیان با توجه به شرایط خاص دریاچه، سیستم تخلیه رسوب، شیب تند مخزن به سمت دیواره و

پیشروی سریع پیشانی دلتای رسوبی به سمت دیواره و نیز تأمین آب آشامیدنی شهر تهران از اهمیت های ویژه‌ای برخوردار است. گنجایش کل مخزن سد لتیان در ابتدای بهره‌برداری یعنی در سال ۱۳۴۶ در رقوم ماکزیمم ۱۶۱۰ متر معادل ۹۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در طول سالیان مختلف بهره‌برداری سد، چندین مرحله عمق‌یابی در مخزن انجام گرفت. عمق‌یابی‌های سال ۱۳۵۰ میزان کاهش ظرفیت کل مخزن را برابر با ۳/۹ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۵۳ برابر با ۷/۵ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۶۰ برابر با ۱۲/۲۵ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۶۸ برابر با ۲۱/۳ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۷۵ برابر با ۲۴/۲ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۷۸ برابر با ۱۷/۹۵ میلیون متر مکعب، سال ۱۳۸۵ برابر با ۱۹/۴ و در نهایت در سال ۱۳۹۶ برابر با ۲۴/۵۷ میلیون متر مکعب نشان دادند (وزارت نیرو، ۱۳۹۱ و ضیائی، ۱۳۸۹).

شکل ۱- نمایی از سد لتیان در آذر ماه ۱۳۹۹: (الف) نمایی از جداره سد به همراه مخزن و (ب) نمای بالادست مخزن به همراه رسوبات



شکل ۲- تغییرات دبی جریان و بار رسوبی ورودی به مخزن سد لتیان در سال‌های مختلف (بیات و همکاران، ۱۳۹۵)

با مقایسه نتایج مربوط به دو اندازه‌گیری اخیر مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۶ میزان رسوب انباشته شده در مخزن سد طی ۱۱ سال معادل ۵/۱۶ میلیون مترمکعب محاسبه می‌شود. در نهایت با مقایسه هیدروگرافی اخیر مربوط به سال ۱۳۹۶ مقدار رسوب‌گذاری سالانه مخزن برابر با ۰/۴۷ میلیون متر مکعب بدست می‌آید.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری (برداشت رسوب)

در تحقیق حاضر، برداشت نمونه رسوب از نزدیک دیواره سد لتیان با استفاده از تجهیزات خاص نمونه‌برداری که شامل شناور و همچنین دستگاه نمونه‌گیر چنگکی بود، انجام شد. در شکل ۳ موقعیت محل برداشت و تصاویری از عملیات برداشت نمونه ارائه شده است. موقعیت این ایستگاه در نزدیکی تاج سد انتخاب شد و عمق آب مخزن در این نقطه برابر با ۵۰ متر بود. آسیایی و همکاران تحقیقی را بر روی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی رسوبات بدست آمده از مخزن سد لتیان انجام دادند (آسیایی و همکاران، ۱۴۰۰). خلاصه نتایج این تحقیق نشان داد که خصوصیات رسوب بدست آمده در موقعیت شکل ۳ عبارتست از: رطوبت برابر با ۸۳/۲۵ درصد، دانه‌بندی شامل ۱۰/۷ درصد ماسه، ۴۸/۳ درصد لای و ۴۱ درصد رس (۸۹/۳ درصد عبوری از الک ۲۰۰)، حد روانی برابر با ۵۰/۴ و حد خمیری برابر ۳۴/۶، چگالی ویژه رسوبات G_s برابر با ۲/۶۵، درصد رطوبت بهینه برابر با ۲۴/۸ و وزن مخصوص خشک بیشینه برابر با ۱/۵۶۶ گرم بر سانتی-متر مکعب، مقاومت تراکم تک‌محوری برابر با ۰/۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقادیر پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه خاک با توجه به حاکم بودن شرایط تنش کل (آزمایش نوع CU)، به ترتیب برابر با ۰/۵۱ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و ۲۶/۱ درجه محاسبه شدند. جزئیات بیشتری از این فراسنجه‌ها در تحقیق آسیایی و همکاران (۱۴۰۰) موجود است. در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت انجام مطالعات مربوط به خصوصیات شیمیایی رسوب مخزن، اقدام به مطالعه با استفاده از نتایج آزمایش پراش اشعه ایکس فلورسانس یا به اختصار XRF[1] گردید.

تحلیل اطلاعات XRF برای شناسایی ترکیب شیمیایی رسوب سد لتیان

در تحقیق حاضر، جهت تعیین ترکیب شیمیایی (درصد وزنی اکسیدهای اصلی) و نوع عناصر کمیاب موجود در ترکیب شیمیایی رسوبات سد لتیان از روش XRF استفاده شد. روش کار دستگاه XRF بدین صورت است که طول موج و شدت امواج ساطع شده از اتم‌های مختلف نمونه اندازه گیری می شود که نتیجه آن شناسایی نوع عنصر و میزان اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده ماده مورد نظر است. با استفاده از اکسیدهای اصلی و استانداردهای سیتماتیک، میتوان فرمول شیمیایی و فراوانی هریک از مواد تشکیل دهنده نمونه را تعیین کرد. این فناوری به طور گسترده برای تحلیل کمی اجزا و تحلیل شیمیایی، مخصوصاً در بررسی مواد معدنی و مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش با استفاده از تابش اشعه‌ی ایکس، پدیده‌ی یونیزاسیون رخ می‌دهد. این پدیده باعث جابه‌جا شدن الکترون‌ها در اتم و انتشار اشعه‌ی ایکس فلورسانس از اتم‌های ماده می‌شود. این اشعه با یک شناساگر ارتباط دارد و عناصر موجود در ماده را تشخیص می‌دهد. طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس یک روش تجزیه شیمیایی مقایسه‌ای است و قابلیت شناسایی بخش بزرگی از عناصر جدول تناوبی در مواد مختلف را دارد. همچنین، این دستگاه توانایی انجام تحلیل عنصری به صورت کمّی برای نمونه‌های مختلف مانند: نمونه‌های زمین‌شناسی، کانی‌های فلزی و غیر فلزی، ترکیب کلی سنگ‌ها، کانی‌ها، شیشه، سیمان، سرامیک، آلیاژها، کامپوزیت‌ها، پلیمرها و غیره را دارد. بر این اساس، در آزمون XRF عناصر موجود در نمونه در بازه‌ی سدیم تا اورانیوم از ۰/۰۰۱ درصد تا ۹۹/۹ درصد وزنی گزارش می‌شوند. مهم‌ترین بخش این آزمایش، تهیه نمونه برای قرار دادن در دستگاه می‌باشد. برای آماده‌سازی نمونه جامد، ابتدا پودر خشک همگنی در مقیاس میکرونی از نمونه تهیه شد. از پودر تهیه شده، قرص‌هایی نسبتا متراکم به قطر ۱/۵ تا ۳/۵ سانتیمتر و به ضخامت (ارتفاع) کمتر از ۱ سانتیمتر تهیه و با دقت وزن گردید. نمونه ای از قرص تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در کوره به مدت ۲۴ ساعت حرارت داده شد تا رطوبت، گازها و مواد آلی فرار، آب تبلور کانی‌ها، و گاز دی اکسید کربن موجود از شبکه برخی کربنات‌ها خارج شوند. در نتیجه وزن نمونه نسبت به حالت اولیه کاهش یافت و به پودری همگن‌تر تبدیل گردید. درصد افت وزنی نمونه در اثر حرارت LOI[2] نام دارد که مقدار آن در ستون اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده نمونه (جدول ۱) قرار دارد. مجموع درصد وزن اکسیدهای اصلی به علاوه درصد LOI برابر با وزن اولیه نمونه قبل از اعمال حرارت است (Junakova and Junak, 2017).

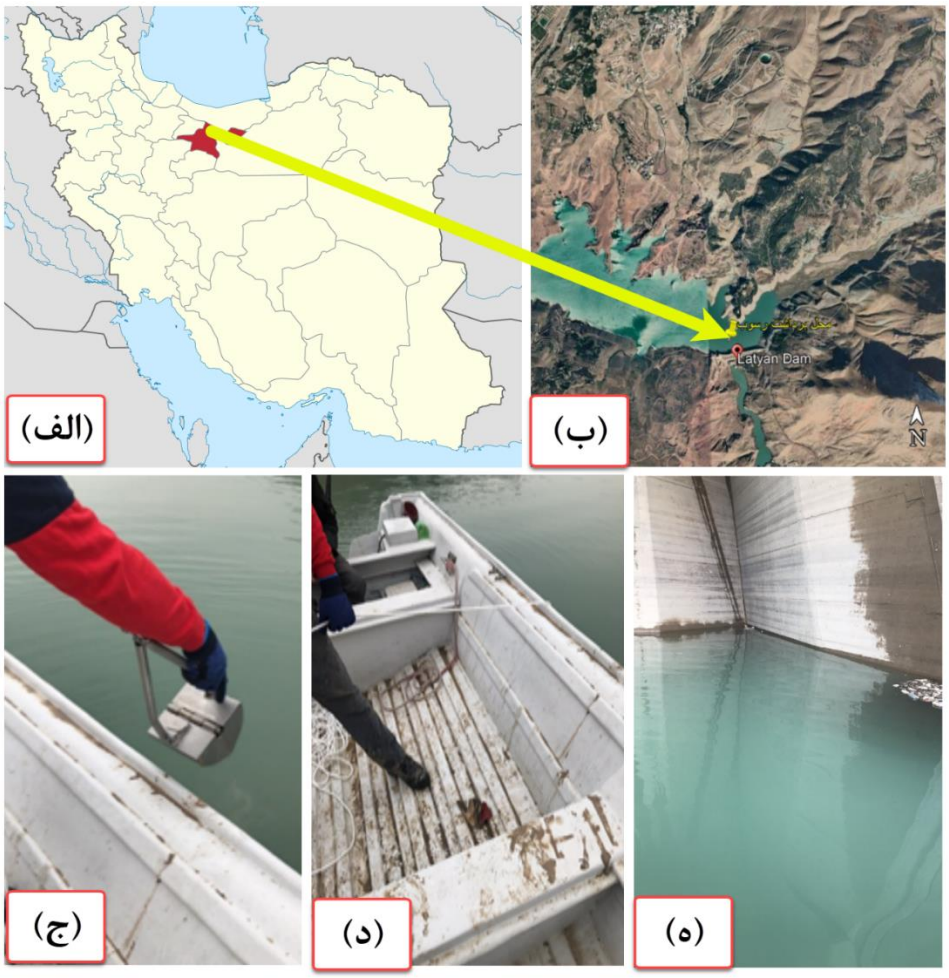
بحث و تحلیل نتایج

جدول ۱، درصد ترکیبات شیمیایی رسوب ته‌نشین شده در مخزن سد لتیان را با استفاده از روش XRF نشان می‌دهد. طبق این جدول، درصد وزنی اکسیدهای اصلی رسوب مخزن سد لتیان شامل ترکیبات سیلیکا (SiO_2)، آلومینا (Al_2O_3)، اکسید کلسیم (CaO)، اکسید آهن

1 X Ray Fluorescence

2 Loss On Ignition

(هماتیت Fe_2O_3)، اکسید سدیم (Na_2O)، اکسید پتاسیم (K_2O)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید تیتانیوم (TiO_2)، اکسید فسفر (P_2O_5) ، اکسید منگنز (MnO) و مقدار بسیار ناچیز عناصر کمیاب زیرکونیوم، مس و گوگرد محاسبه شده است. همچنین، بیشترین میزان اکسیدهای سازنده مربوط به گروه کوارتز (سیلیکا بیش از ۵۵ درصد وزنی)، آلومینا (بیش از ۱۴ درصد وزنی)، آهک (۵ درصد وزنی) و هماتیت (بیش از ۴ درصد وزنی) تعیین شده است.



شکل ۳- نمایی از موقعیت و روش برداشت نمونه رسوب از مخزن سد لتیان. (الف) نقشه ایران و موقعیت استان تهران، (ب) تصویر ماهواره‌ای از مخزن سد لتیان و موقعیت برداشت رسوب (ج) نمونه گیر چنگکی(Grab)، (د) قایق و طناب متصل به نمونه‌گیر و (ه) تصویری از بدنه سد در محل برداشت.

مجموع سه اکسید اصلی (سیلیکا + آلومینا + آهن) بیش از ۷۰٪ وزنی این رسوب را تشکیل می دهند که طبق استاندارد ASTM C618 مانند خاکستر بادی خواص پوزولان‌های صنعتی را دارد. بنابراین، رسوب مخزن سد لتیان می‌تواند به عنوان مصالح ساخت و ساز در مهندسی عمران نظیر بتن پر مقاومت، ملات‌های چسبنده و ژئوپلیمرها استفاده شود. مقدار افت وزنی ناشی از حرارت در این رسوب برابر با ۱۲/۰۸ درصد وزنی است. این مقدار نسبتاً بالاست و حاکی از آنست که در اثر حرارت مقدار قابل توجهی مواد فرار از آن خارج شده است. خروج تمام یا بخشی از اجزای شبکه تبلور منظم کانی‌ها (مانند آب ملکولی، گروه‌های هیدروکسیل، دی‌اکسیدکربن، گازهای حاصل از تجزیه مواد معدنی یا مواد آلی فرار) باعث بی‌نظمی در شبکه تبلور کانی مربوطه می‌شود، یعنی با ایجاد بی‌نظمی در آن، پتانسیل واکنشی کانی فعال می‌شود و اهمیت واکنشی (پوزولانی) آن آشکار می‌گردد. تحلیل اطلاعات XRF رسوبات مخزن سد لتیان در تطابق با نوع سنگ‌های تشکیل‌دهنده بستر و دیواره‌های رودخانه (شیل‌های آهکی، توف‌های مارنی-آهکی و انواع ماسه‌سنگ) است. این سنگ‌ها غنی از ترکیبات آلومینوسیلیکاتی، کربنات‌ها و اکسیدهای آهن هستند که همگی آنها به عنوان مواد اولیه سازنده ترکیبات

پوزولانی شناخته می‌شوند. همچنین، تطابق ترکیب شیمیایی رسوبات سد لتیان با بالابودن چگالی ویژه بیشینه محاسبه شده برای رسوبات رسی نزدیک دیواره آن (چگالی نسبی برابر با ۲/۷ بر اساس یافته‌های آسیایی و همکاران ۱۴۰۰) نشان می‌دهد که بخشی از رس‌های تجمع‌یافته در مخزن سد صرفا حاصل هوازدگی و هیدرولیز کانی‌های آلومینوسیلیکاتی موجود در سنگ‌های بستر رودخانه، کف مخزن و دیواره‌های آن است.

شکل ۴ ترکیب شیمیایی اکسیدهای اصلی (آنالیزهای XRF) رسوبات داخل مخزن چندین سد مورد مطالعه در ایران از جمله سد بارزو (قدیمی و همکاران، ۱۳۹۴)، سد وشمگیر (گلمایی، ۱۳۸۴)، سد سفید رود (مدارایی و همکاران، ۱۳۹۵)، سد مارون (قبادی و کریمی، ۲۰۰۹) در مقایسه با سد لتیان را نشان می‌دهد. مقایسه این رسوبات نشان می‌دهد که در اکثر این سدها مقدار سیلیکا، و دی اکسید منگنز بیشینه است. البته این موضوع در مورد رسوبات سد مارون متفاوت است و درصد وزنی اکسید کلسیم حاصل از تجمع کانی‌های کربناتی در این سد بیشتر می‌باشد. پس از ترکیبات سیلیسی و آهکی، بیشترین نوع کانی‌ها مربوط به ترکیبات آلومینا و اکسیدهای آهن (هماتیت) است. از طرفی، مقادیر اکسیدهای منگنز، فسفر و تیتانیوم موجود در رسوبات تمامی مخازن سدهای مورد مقایسه در شکل ۴ ناچیز است که احتمالا به دلیل کم بودن مقدار آنها در سنگ منشا و یا ضعیف بودن فعالیت هوازدگی شیمیایی در منطقه است. مقایسه رسوبات سد لتیان با سایر سدهای انتخاب شده از ایران مشخص می‌کند که حضور مقدار سیلیکا در رسوبات مخزن سد لتیان قابل توجه و بیشتر از سایر سدها است. پایین بودن مقدار CaO (حدود ۵ درصد وزنی) نسبت به سایر سدهای ایران حاکی از عدم وجود هرگونه بیرون‌زدگی تشکیلات آهکی در مسیر جریان رودخانه است. بر طبق شکل ۴ مقدار سیلیکا بیشترین فراوانی (حدود ۵۵ درصد وزنی) را در بین سایر اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. عمده‌ترین دلایل فراوانی مقدار سیلیس در ارتباط با حضور کانی‌های سیلیکاتی بخصوص کوارتز است که در مورد سد لتیان وجود سنگ‌های اسیدی فراوان عمدتا دارای کوارتز و فلدسپار، مانند توف سبز کرج (دارای کوارتز آمورف یا میکروکریستالین به مقدار زیاد) و نیز وجود ماسه‌سنگ‌هایی در دیواره‌های مخزن، کف بستر و مسیر رودخانه مانند ماسه سنگ لالون (با سن بسیار زیاد و غنی از سیلیکا) گزارش شده است. همچنین در منشا رودخانه (بخش پر انرژی و سرعت زیاد جریان آب)، به دلایل پایداری فیزیکوشیمیایی کوارتز و فلدسپار در مقابل فرایندهای هوازدگی فیزیکی، و نیز مقاومت بالای کوارتز در مقابل اسیدها، بازها، خورندگی، انحلال، سایش و انواع مکانیزم‌های هوازدگی، همگی باعث حضور مقدار زیاد سیلیکا در رسوبات مخزن سد لتیان شده است. لازم به ذکر است که کانی تبلوریافته سیلیکا، کوارتز نام دارد که دارای ساختمان کریستالین منظم است و در نتیجه پتانسیل واکنشی آن صفر است. اما اگر به هر دلیلی ساختمان منظم کریستالین این کانی (کوارتز) بی‌نظم گردد، آمورفیسم توسعه می‌یابد و پتانسیل واکنشی آن بالا می‌رود، به‌طوری‌که در شرایط محیطی با توجه به جنس رسوبات مخزن و حضور اکسیدهای سدیم، پتاسیم و کلسیم، شرایط قلیایی فعال ایجاد می‌شود. با توجه به ترکیب شیمیایی رسوبات مخزن و داشتن انطباق با شرایط پوزولانی ارائه شده توسط استاندارد ASTM C618 و نیز وجود مقدار ۵٪ وزنی اکسید کلسیم (CaO) همگی معرف خواص پوزولانی این رسوب است. از طرفی، رسوبات مخزن سدهای مناطق مرکزی و جنوب ایران مانند سد مارون به دلیل واقع شدن در آب و هوای گرم و خشک (هوازدگی فیزیکی غالب) و عبور رودخانه از بسترهای آهکی–کربناتی، میزان اکسید کلسیم موجود در رسوبات آن‌ها (تا حدود ۴۰ درصد وزنی) بسیار بالاتر از سد لتیان (۵ درصد وزنی) گزارش شده است (شکل ۴).

خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوب سد لتیان حاکی از آنست که این ماده پوزولانی می‌تواند در واکنش‌های ژئوپلیمری تاثیر بسزایی داشته باشد و عامل تشکیل ژل C-S-H[1] و یا ترکیباتی نظیر C-A-S-H[2] گردد که موجب بهبود مقاومت مکانیکی و دوام بتن ژئوپلیمری است. چنانچه مقدار آهک زنده یا $Ca(OH)_2$ در این رسوب افزایش یابد، همراه با مشارکت سیلیس فعال (موجود در رسوب)، برای بهبود واکنش‌های هیدراتاسیون و تولید ژل C-S-H شرایط شیمیایی مناسب‌تری فراهم می‌شود، به‌طوری‌که می‌توان گفت با استفاده از رسوب مخزن سد لتیان تولید ملات‌هایی با خواص سیمانی مشخص و با چسبندگی بالا و دوام کافی بسیار امکان‌پذیر است. اینگونه ملات‌ها در تهیه انواع بتن پیشرفته، انواع ژئوپلیمر، آجر با مقاومت و چگالی بالا، بلوک‌های سیمانی و حتی در تهیه سنگدانه‌های سبک منبسط شده رسی (لیکا) کاربرد دارند.

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش XRF و مقایسه‌ی آن با استانداردهای تولید آجر و سفال ایران و آلمان که در جدول ۲ آورده شده است، میزان افت حرارتی رسوبات سد لتیان با استانداردهای آجر مطابقت دارد. علاوه بر این تمامی درصدهای عناصر موجود در رسوبات لتیان در محدوده‌ی هر دو استاندارد تولید آجر قرار دارند. لیکن به‌غیر از مقدار سیلیکا بقیه اکسیدهای موجود در رسوبات در محدوده‌ی استاندارد تولید سفال نیستند و در مواردی درصدی کم و یا بیش‌تر از حد مجاز دارند که می‌توان با اضافه‌کردن موادی مثل متاکائولن و پودر میکروسیلیس با نسبت‌های معین در تولید سفال هم از آن‌ها بهره گرفت.

همانطور که اشاره شد، امکان استفاده از رسوبات مخزن سد لتیان برای تولید سنگدانه سبک (مانند لیکا) یکی از گزینه‌هاست که در

1- Calcium Silicate Hydrate
2- Calcium Alumino Silicate Hydrate

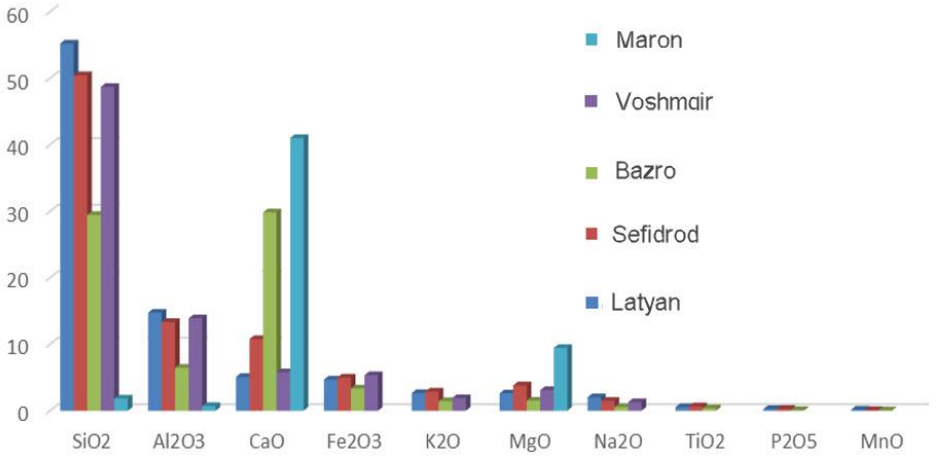
اینصورت تحلیل کانی‌شناسی و درصد هر یک از ترکیبات شیمیایی، مهم‌ترین عامل در قابلیت انبساط‌پذیری خاک مورد نظر محسوب می‌شوند. از طرفی عواملی نظیر محدوده دما و گرادیان حرارتی و مدت زمان پخت نیز بر روی میزان انبساط‌پذیری نمونه موثر هستند (Arioz et al. 2008). البته مقدار بهینه‌ی دما و زمان پخت با انجام آزمایشات مختلف و به صورت تجربی (با روش سعی و خطا) بدست می‌آیند. برای رسیدن به این هدف، مقدار سه ترکیب اساسی در تولید سنگدانه سبک بررسی می‌شود. ۱- ترکیبات فلاکسینگ (اسیدشویی) که شامل Fe_2O_3، Na_2O، K_2O، CaO و MgO است و با توجه به نتایج جدول ۱ برابر با ۱۷/۰۵ درصد وزنی محاسبه می‌شود. ۲- ترکیب SiO_2 که مقدار آن با توجه به جدول ۱ برابر با ۵۵/۲۲ درصد وزنی است. ۳- ترکیب آلومین Al_2O_3 که مقدار آن در رسوبات مخزن سد لتیان (جدول ۱) برابر با ۱۴/۷۳۲ درصد وزنی است. دو فاکتور مهم که لازم است برای تولید سبکدانه کنترل شوند یکی مربوط به ترکیبات فلاکسینگ است که نباید از مقدار بیشینه مجاز (۲۰ درصد) بیشتر باشند و دیگری مقدار نسبت درصد سیلیس به درصد ترکیبات فلاکسینگ است (Fakhfakh et al. 2007) که در رسوبات سد لتیان برابر با ۳/۲ بدست می‌آید و لازمست از کمینه مقدار مجاز یعنی عدد ۲ بیش‌تر باشد. به این ترتیب خوشبختانه هر دو عامل کنترل کننده در محدوده مجاز قرار دارند و رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد لتیان شرایط مناسبی را برای تولید سنگدانه سبک (لیکا) را دارد. خاک‌هایی که خارج از این دو محدوده قرار می‌گیرند، به دلیل گرانروی کم نمی‌توانند مقدار مناسبی گاز در دمای احتراق تولید کنند. بنابراین، نمی‌توانند به‌خوبی منبسط شوند فلذا برای تولید سبکدانه مناسب نیستند، مگر آن‌که با اضافه‌کردن درصد مناسبی افزودنی شرایط‌شان مهیا شود. شکل ۵ نمودار مثلثی تحلیل ترکیب شیمیایی نمونه برای استفاده در تهیه سنگدانه سبک را نشان می‌دهد. در صورتیکه محل قرارگیری نمونه خاک در نمودار مثلثی در فضای مشخص شده قرار گیرد، خاصیت انبساط‌پذیری آن برای تولید سنگدانه سبک مناسب است (Riley, 1951) که در این تحقیق در مورد رسوبات سد لتیان این شرایط مشخص است. نمونه هایی که خارج از این محدوده قرار می‌گیرند عموما شرایط ترکیبات فلاکسینگ بیشتر از ۲۰ درصد و نسبت سیلیس به فلاکسینگ کمتر از ۲ را دارند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر تلاش شد تا خصوصیات ترکیب شیمیایی (نمونه کل) رسوبات نهشته شده در مخزن سد لتیان با استفاده از آزمایش XRF مورد شناسایی و تحلیل قرار گیرد تا بتوان امکان استفاده از این رسوبات را به عنوان مواد خام جهت تولید مصالح ساختمانی فراهم نمود. نتایج کلی به دست آمده از این تحقیق عبارتند از:

جدول ۱- نتایج آنالیز XRF بر روی رسوبات مخزن سد لتیان، شمال شرق تهران

درصد وزنی (wt%)	نام ترکیب شیمیایی	فرمول شیمیایی
۵۵/۲۲	دی اکسید سیلیسیم	SiO_2
۱۴/۷۳	اکسید آلومینیوم	Al_2O_3
۵/۰۸	اکسید کلسیم	CaO
۴/۶۹	اکسید آهن (هماتیت)	Fe_2O_3
۲/۰۱	اکسید سدیم	Na_2O
۲/۶۷	اکسید پتاسیم	K_2O
۲/۶۰	اکسید منیزیم	MgO
۰/۵۴	اکسید تیتانیوم	TiO_2
۰/۲۶	اکسید فسفر	P_2O_5
۰/۱۶	اکسید منگنز	MnO
۱۲/۰۸	افت حرارتی	L.O.I
Rare	زیرکونیوم	Zr
Rare	مس	Cu
Rare	گوگرد	S
۱۰۰/۰۴	-	Total

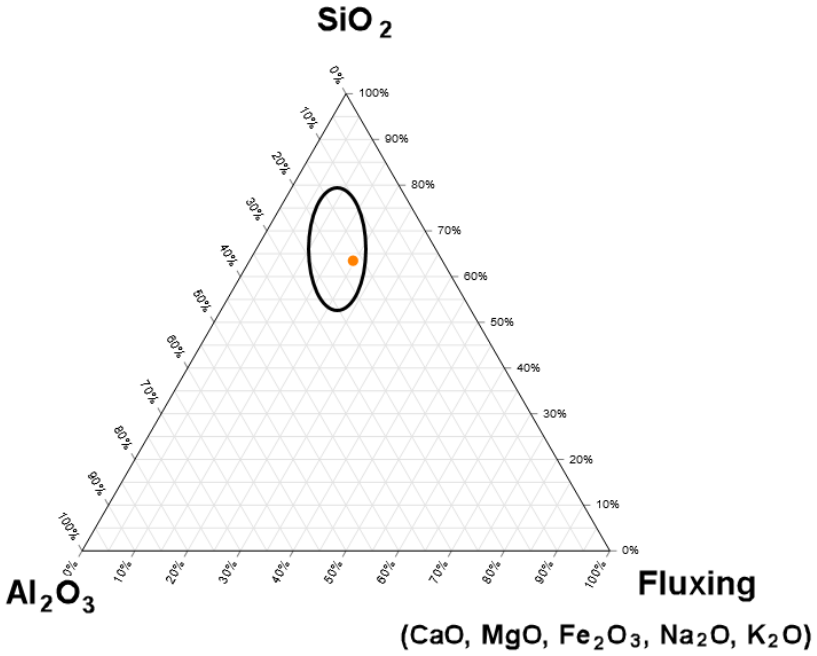


شکل ٤- مقایسه‌ی اکسیدهای اصلی رسوبات سد لتیان با برخی سدهای ایران (محور عمودی درصد وزنی wt%).

جدول ۲- مقایسه ترکیب شیمیایی رسوبات مخزن سد لتیان با استانداردهای موجود برای ساخت آجر و سفال

ترکیب شیمیایی	LOI	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2o_3	CaO	Mgo	SO_3	NaCl
آجر طبق استاندارد ۱۱۶۲ ایران	۱۶>	۶۰–۴۰	۲۱–۹	۱۲–۳	۱۷>	۴>	۰/۵>	۰/۱>
لوله سفال طبق استاندارد DIN1230	۹–۶	۶۵ >	۳۰–۲۵	۴–۳	۱–۰	۱–۰	–	–
آجر طبق استاندارد DIN51070	۱۷>	۱۰> ۵۰–۱۰ ۵۰<	۰/۱ — ۲ ۱۰–۲ ۴۵–۱۰	۰/۰۵ — ۳ ۳ <	۰/۱ — ۰/۵ ۰/۵ — ۵	۰/۱ — ۰/۵ ۰/۵ — ۵	–	--
رسوبات لتیان	۱۲	۵۵	۱۴/۷	۴/۷	۵	۲/۶	دیده شده	–
کائولن	۱۳–۷	۶۲–۵۰	۳۵–۲۶	۱>	۰/۸>	۰/۷>	–	–
میکروسیلیس	۰/۵>	۹۸<	۰/۳>	۰/۱>	–	–	–	–

* اعداد در جدول بر حسب درصد وزنی هستند.



شکل ٥- نمودار سه‌گانه رایلی جهت تحلیل انبساط‌پذیری سه ترکیب اساسی رسوب مخزن سد لتیان

(۱) بیشترین میزان اکسیدهای اصلی تشکیل‌دهنده رسوبات مخزن سد لتیان شامل ترکیبات سیلیکا، آلومینا، آهک و هماتیت به ترتیب به میزان حدود ۵۵، ۱۴، ۵، و ۴ درصد وزنی می‌باشند. مجموع درصد وزنی سیلیکا+آلومینا+آهن بیش از ۷۰ درصد وزنی محاسبه گردید که طبق استاندارد ASTM C618 مانند خاکستر بادی دارای خاصیت پوزولانی قابل توجهی است. همچنین، مقدار افت وزنی در اثر حرارت برابر با ۱۲/۱ درصد وزنی بدست آمد که بالا بودن این مقدار به دلیل کلسینه شدن کربنات‌ها و فرار دی‌اکسیدکربن، خروج آب تبلور از شبکه کانی‌های رسی، خروج رطوبت طبیعی در دماهای اولیه، خروج گازها و خروج مواد هیدروکربنی ناپایدار است. باتوجه به ترکیب شیمیایی که معرف خاصیت پوزولانی این رسوب است، مقدار بالای افت وزنی آن نشان می‌دهد که این ماده پوزولانی درصورت کلسینه-شدن، پتانسیل واکنشی آن فعال می‌شود به‌طوری‌که در تهیه بتن ژئوپلیمری، بتن پرمقاومت، آجر، ملات‌ها و چسباننده ها، بلوک های سیمانی و سنگدانه سبک کاربرد دارد.

(۲) مقایسه ترکیب شیمیایی رسوبات سد لتیان با برخی سدهای ایران شامل بارزو، وشمگیر، سفیدرود و مارون نشان داد که سد لتیان دارای بیشترین مقدار سیلیکا، آلومینا و اکسید سدیم است و تا حدودی به رسوبات سد سفیدرود شباهت دارد. میزان فراوانی این اکسیدها در سد لتیان نتیجه فرسایش سنگ‌های کوارتز و فلدسپاری هستند که در مسیر رودخانه رخنمون دارند و منبع اصلی آلومینوسیلیکات‌های لازم برای تشکیل خاک رس و تولید پوزولان طبیعی برای تهیه سیمان های آمیخته محسوب می‌شوند.

(۳) مقایسه‌ی مقدار اکسیدها با استانداردهای تولید آجر و سفال ایران و آلمان نشان داد که ترکیب شیمیایی و میزان افت حرارتی رسوبات سد لتیان با استانداردهای آجر مطابقت دارد. علاوه بر این تمامی درصدهای عناصر موجود در رسوبات لتیان در محدوده‌ی هر دو استاندارد تولید آجر می‌باشد.

(۴) رسوبات سد لتیان مناسب برای تولید سفال نیستند ولی می-توان با اضافه‌کردن موادی مثل کائولن و پودر میکروسیلیس با نسبت‌های معین به آنها در تولید سفال هم از آن‌ها بهره گرفت.

(۵) مطالعه بر روی امکان استفاده از رسوبات برای تولید سنگدانه سبک (مانند لیکا) نشان داد که این رسوب شرایط تولید سبکدانه ساختمانی را دارد. مقدار ترکیبات فلاکسینگ با حدود ۱۷ درصد وزنی و سیلیکا با حدود ۵۵ درصد وزنی نشان داد که مواد تشکیل دهنده این رسوب قابلیت انبساط پذیری مناسبی در شرایط اعمال حرارت دارند. این نتیجه‌گیری توسط نمودار مثلثی سه‌گانه تقویت گردید.

سپاسگزاری

این مقاله، حاصل مطالعات و پژوهش‌های مربوط به پروژه تحقیقاتی است که تحت حمایت مالی گروه تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای تهران طبق قرارداد شماره ۶۶۷۸/۱۱۱/ص۰۸/۹۸ مورخ ۱۳۹۸/۹/۵ با کد ۱۷۰۱۶۵-۱۳۸۱۲ با نویسندگان اول و دوم منعقد و به اتمام رسیده است. نویسندگان این مقاله از همکاری‌های ارزشمند شرکت آب منطقه‌ای تهران، کمال تشکر را دارند.

منابع

آسیایی، ا.، کریمائی طبرستانی، م.، سلطانی، ا. و پایان، م. ۱۴۰۰. بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی رسوبات ته‌نشین‌شده در مخزن سد لتیان با استفاده از اندازه‌گیری میدانی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۹): ۲۴۵۷-۲۴۷۰.

بیات، م.، قادری، ک. و احمدی، م. ۱۳۹۵. آنالیز عدم قطعیت در برآورد حجم رسوب مخازن سدها با استفاده از روش آلفا-برش فازی مطالعه موردی: سد لتیان. نشریه سد و نیروگاه برقابی ایران. ۳(۱۰): ۱-۱۰.

صمدی، ح.، شفایی بجستان، م. و فتحی مقدم، م. ۱۳۸۶. بررسی فرآیند رسوب‌گذاری و تحکیم رسوبات چسبنده مخزن سد دز. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی۱۱(۴۰): ۱-۱۱.

صمدی، ح.، فتحی مقدم، م. و زلفی، ع. ۱۳۹۲. بررسی خواص فیزیکی رسوبات همیشه مستغرق مخزن سد دز با استفاده از اندازه‌گیری میدانی و روش‌های تجربی. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۶(۱): ۵۷-۶۷.

ضیایی، ر.، گنجی، ع. و حکیمی، س. ۱۳۸۹. بررسی خواص کانی‌شناسی، شیمیایی و فیزیکومکانیکی رسوبات رسی مخزن سد سفیدرود به منظور مطالعه کاربرد صنعتی آنها. مجله زمین و منابع. ۳(۳): ۷۵-۸۲.

فاطمی عقدا، م.، رهبر، م.، معجزی، م. و اسدالله فردی، غ. ۱۳۸۸. بررسی ویژگی‌های زمین شناسی محیطی و نقش آنها در وقوع زمین‌لغزش‌های اطراف سد لتیان. نشریه علوم زمین. ۱۹(۷۴): ۶۹-۷۶.

قدیمی، ع.، خداشناس، س. اکبرزاده، م. و قهرمان، ب. ۱۳۹۴. منشأیابی رسوبات ورودی به دریاچه سدها با استفاده از عناصر شیمیایی (مطالعه موردی : رودخانه قلجق در استان خراسان شمالی). نشریه سد و نیروگاه برقابی ایران. ۲(۶): ۲۰-۳۱.

گلمایی، ح. ۱۳۸۴. ارزیابی کارایی استفاده از رسوبات سد وشمگیر در

تولید مصالح ساختمانی. نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۵): ۱۷-۲۶.

مدرایی، ع.، قنادزاده، ع.، شرفی، ح. و قربانی، م. ۱۳۹۵. تولید سبکدانه رسی با استفاده از رسوبات سد سفیدرود، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۶ تا ۱۷ فروردین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

وزارت نیرو. ۱۳۹۱. راهنمای مطالعات رسوبگذاری و رسوبزدایی مخازن سدها. نشریه شماره ۵۸۹.

Abagale, F. K. and Adongo, T. A. 2022. Physicochemical quality of reservoir sediment in irrigation dams of Northern Ghana. Lakes and Reservoirs. 27 (2): e12404.

Arioz. O., Kilinc.K. and Karasu, B. 2008. A preliminary research on the properties of lightweight expanded clay, aggregate. Journal of the Australian Ceramic Society. 44: 23-30.

ASTM C618-22. 2023. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. American Society for Testing and Materials.

Basson, G.R. 2009. Management of siltation in existing and new reservoirs. General Report Q. 89. Proc. of the 23rd Congress of the Int. Commission on Large Dams CIGBICOLD (vol. 2).

Braga, B., Carvalho, T., Brosinsky, A., Foerster, S., Medeiros, P. 2019. From waste to resource: cost-benefit analysis of reservoir sediment reuse for soil fertilization in a semiarid catchment. Science of The Total Environment. 670 (20): 158–169.

Fakhfakh, E., Hajjaji, W., Medhioub, M., Rocha, F., López-Galindo, A., Setti, M., Kooli, F., Zargouni, F. and Jamoussi, F. 2007. Effects of sand addition on production of lightweight aggregates from Tunisian smectite-rich clayey rocks. Applied Clay Science. 35: 228–237.

Fonseca, R., Barriga, F. and Fyfe, W. S. 1998. Reversing desertification by using dam reservoir sediments as agriculture soils. Episodes. 21(4): 218-224.

Fonseca, R.G., Barriga, F.J. andFyfe, W.S. 2003. Dam Reservoir Sediments as Fertilizers and Artificial Soils: Case Studies from Portugal and Brazil. Geology, Corpus ID: 127604152.

Ghobadi .M.H. and Karimi, R 2009. Solubility of limestone and seepage problems in the left abutment of the Marun dam, southwest of Iran. Journal of Engineering Geology. 3(1): 615-632.

Junakova, N., Junak, J. and Balintova, M. 2015. Reservoir sediment as a secondary raw material in concrete production. Clean Technologies and Environmental Policy. 17: 1161–1169.

Junakova. N. and Junak, J. 2017. Recycling of reservoir sediment material as a binder in concrete. Procedia Engineering. 180: 1292-1297.

Liao, Y.C. and Huang, C.Y. 2011. Effects of heat treatment on the physical properties of lightweight aggregate from water reservoir sediment", Ceramics International. 37: 3723–3730.

Nikafkar, N., Vakil Alroaia, Y., Heydariyeh, A. and Schleiss, A. J. 2023. Economic and commercial analysis of reusing dam reservoir sediments. Ecological Economics, Vol. 20.4, Part B, 107668.

Riley, C.M. 1951. Relation of chemical properties to the bloating of clays. Journal of the American Ceramic Society. 34: 121–128.

Schleiss, A.J., and De Cesare, G. 2010. Physical model experiments on reservoir sedimentation. IAHR Hyrolink, 4, 54–57.

Sumi, T. and Hirose, T. 2009. Accumulation of sediment in reservoirs. Water storage, transport and distribution (pp. 224–252). Paris, France: UNESCO-IHE and EOLSS Publishers Co. Ltd.

Tang, C.W., Chen, H. J., Wang, S.Y. and Spaulding, J. 2011. Production of synthetic lightweight aggregate using reservoir sediments for concrete and masonry. Cement Concrete Compos. 33: 292–300.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 19, Feb.-Mar. 2026, p. 969-980

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۹، بهمن - اسفند ۱۴۰۴، ص. ۹۸۰-۹۶۹

Investigation of the Feasibility of Using Sediments Deposited in the Latian Dam Reservoir as Raw Materials for Building Constructions

M. Karimaei Tabarestani [1*], O. Asiaei[2], A. Soltani[3]
Recived: May.16, 2025 Accepted: Sep.22, 2025

Abstract

Sedimentation in dam reservoirs is a critical factor contributing to the reduction of the operational lifespan of these infrastructures. Effective management and removal of these sediments first require a thorough understanding of their characteristics. This study investigates the chemical properties of sediments accumulated in the Latian Dam reservoir, an active water supply source for Tehran city. Following the identification of the major oxides composition, potential applications for these sediments were explored. It was proposed that sediment collected during periods of low water and reservoir rest could serve as raw material for the production of various construction materials. After conducting a systematic survey, sediment samples were extracted from areas proximate to the dam axis, representing the reservoir's sediment profile. X-ray fluorescence (XRF) analysis revealed that the main oxides by weight in the sediment samples were SiO_2 (~55%), Al_2O_3 (~12%), and CaO (~5%) contents. Further analysis indicated that the Latian Dam sediments comply with the brick production standards established in Iran and Germany. However, with the exception of silica (quartz), other elemental concentrations fall outside the acceptable range for ceramics manufacturing, suggesting the need for appropriate additives to adapt these sediments for tile production. Ultimately, the study demonstrated that the Latian Dam sediments possess suitable properties for producing lightweight expanded clay aggregates (LECA).

Keywords: Construction materials, Latian dam, Reservoir sedimentation, Mineralogical properties, XRF test

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2- Master in Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Rajae Teacher Training University, Tehran, Iran
(*-Corresponding Author Email: karimaei@sru.ac.ir)