نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال سیزدهم- شماره ۴۸- بهار ۱۴۰۴ Vol. 13, No. 48, Spring 2025

مطالعه ویژگی‌های ژئوتکنیکی منابع قرضه ریزدانه سد مخزنی آزارود

مجتبی فرهادزاده[۱]، حیدر داودیان[۲]، ملیحه اکبری[۳]، فاطمه تمجید[٤]، پریسا ملکی[۵*]

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۰۴
DOI: 10.22034/WMJI.2025.2047357.1093

چکیده

تأمین منابع قرضه برای سدهای خاکی یکی از مباحث اساسی در مطالعات امکان‌سنجی احداث سدها است. عدم توانایی در تأمین منابع قرضه با ویژگی‌های ژئوتکنیکی مناسب و اقتصادی، ساخت سد را غیرموجه می‌سازد. اهداف احداث سد مخزنی رودخانه آزارود تنکابن (غرب مازندران)، تأمین کمبود آب شرب و کشاورزی پایین‌دست سد است. در این پژوهش ویژگی‌های ژئوتکنیکی منابع قرضه ریزدانه موردنیاز برای ساخت سد بررسی شد. این منابع در فاصله حدود ٦/٥ کیلومتر پایین‌دست به مساحت حدود ۱۸هکتار شناسایی گردید. جهت شناسایی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی، ۱۵ چاهک به عمق پنج متر حفاری و نمونه‌برداری‌ها انجام شد. سپس آزمایش‌های دانه‌بندی، حدود آتربرگ، تشخیص شاخص‌های پلاستیسیته، پتانسیل تورم‌زایی و واگرایی و رده‌بندی ASTM انجام شد. منحنی دانه‌بندی ترسیمی و آزمایش‌های حدود اتربرگ نشان داد که حدود ۷٤ درصد ذرات در حد رس بوده و عمده مصالح رس با خمیری بالا (CH) می‌باشد. میانگین درجه فعالیت کانی‌های رسی در مصالح (۰/۳۹) نشان‌دهنده غالبیت کانی‌های ایلیت و کائولینیت است که جزو کانی‌های تقریباً غیرفعال با تورم‌زایی پایین می‌باشند. روش تجربی چن و آزمایشات سوراخ‌زنی و هیدرومتری مضاعف نیز نشان داد پتانسیل تورم خاک پایین بوده و کاملاً غیر واگرا هستند، نتایج آزمون‌های کرامب و شرارد نیز این مسئله را تأیید نمودند. درمجموع، منابع قرضه ریزدانه کاملاً مناسب برای بدنه سد بوده و خطر تورم‌زایی و واگرایی در آن‌ها وجود ندارد.

۱- مدیر فنی آب، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ایران
۲- مدیرعامل، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ایران
۳- کارشناس ارشد فنی آب، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ایران
٤- کارشناس فنی آب، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ایران
۵- کارشناس ارشد فنی آب، شرکت آب منطقه‌ای مازندران، ایران و نویسنده مسئول: * Email: P.Maleki1368@gmail.com

واژگان کلیدی: ویژگی‌های ژئوتکنیکی، منابع قرضه ریزدانه، سد مخزنی آزارود، استاندارد ASTM

مقدمه

ازآنجایی‌که برای سدسازی حجم بسیار زیادی از منابع قرضه موردنیاز است و از طرفی به دلیل هزینه بالای حمل‌ونقل مصالح، اولویت تأمین منابع قرضه با گزینه‌های نزدیک به محل سد است؛ بنابراین بررسی منابع قرضه در دسترس محلی در فرایند ساخت سد دارای اهمیت زیادی است. وفاییان [۲٤] در بررسی پارامترهای موردنیاز جهت انتخاب منابع قرضه مناسب برای استفاده در بدنه سدها مواردی مانند بعد مسافت، حجم منبع، امکان حمل مواد، جاده دسترسی و شرایط هزینه‌ای در مراحل اولیه امکان‌سنجی احداث سدها موردتوجه قرار می‌گیرد [۱]. مطالعه میزان قابل استحصال منابع قرضه و پارامترهای ژئوتکنیکی مهم آن پیش از طراحی و احداث سازه‌های مهمی مانند سدها ضرورت دارد. قبادی و همکاران [۱۵] یکی از این پارامترها مقدار تورم مصالح قرضه ریزدانه است. اگر میزان رطوبت یک خاک متورم شونده بدون تغییر باقی بماند، تورم انقباضی صورت نخواهد گرفت. ازاین‌رو پارامتر مهم در بررسی پدیده‌های تورم انقباضی، اثر تغییر رطوبت محتوای خاک‌های متورم شونده است. تریپادی و همکاران [۲۰] در مناطقی که بسته به شرایط محیطی، خاک در معرض تر و خشک شدن متوالی قرار می‌گیرد، تغییرات شدید حجمی در آن مشاهده می‌شود. پارسایی و همکاران [۱٤] پارامتر مهم دیگر در مبحث منابع قرضه ریزدانه واگرایی است. واگرایی از مهم‌ترین عوامل در تخریب و بی‌ثمر شدن سدهای خاکی، فرسایش درونی و ایجاد مجاری ناشی از آب شستگی در بدنه و به‌ویژه هسته رسی این سدها می‌باشد. شرارد [۱۹] در این خاک‌های واگرا، ذرات در مجاورت جریان آب حتی در سرعت‌های پایین چسبندگی خود را از دست می‌دهند و به سهولت شسته می‌شوند. بووانشواری و همکاران [۵] نقطه شروع پدیده واگرایی می‌تواند ترک‌های حاصل از انقباض خاک، نشست نابرابر و یا منافذ ناشی از ریشه گیاهان باشد. دیکسیت و گوپتا [۸] هرچند در سیلت غیر چسبنده و ماسه خیلی ریز که اساساً دارای چسبندگی کم یا فاقد چسبندگی می‌باشند، نیز فرسایش درونی خاک مشاهده می‌شود، اما ماهیت آن مکانیکی بوده و با پدیده واگرایی ناشی از خواص شیمیایی خاک متفاوت است. فنگ و همکاران [۹] خاک‌های واگرا جزو خاک‌های رسی می‌باشند و حداقل مقدار رس در آن‌ها ۱۰

درصد است. رضایی و همکاران [۱۶] از نظر شیمیایی تفاوت بین رس‌های واگرا و غیر واگرا در نوع کاتیون‌های موجود در آب منفذی خاک رس می‌باشد. رس‌های واگرا دارای مقدار زیادی کاتیون سدیم و رس‌های معمولی دارای مقدار زیادتری کاتیون‌های کلسیم پتاسیم و منیزیم می‌باشند [۱۷].

گری و مورفی [۱۰] با بررسی منابع قرضه ریزدانه نشان دادند که هر چه درصد سیلیس در سنگ مادر بالاتر باشد، درصد سدیم در خاک ایجادشده بیش‌تر خواهد بود. تجزیه فلدسپارهای سدیم دار در این نوع سنگ‌ها می‌تواند به تولید رس‌های سدیم دار منجر شود. آکا و همکاران [۲] خواص ژئوتکنیکی منابع قرضه را جهت استفاده در کارهای ساختمانی در نیجریه ارزیابی کردند و مصالح موجود را بر اساس استانداردهای شاخص و مکانیکی طبقه‌بندی نمودند. خان و همکاران [۱۱] به بررسی ژئوتکنیکی نمونه‌های برداشت‌شده از محل پیشنهادی برای منابع قرضه پرداختند تا مناسب بودن آن‌ها را برای استفاده در هسته سد خاکی در بخش مرکزی هند تعیین نمایند. نتایج شاخص‌ها و ویژگی‌های مهندسی به‌دست‌آمده از بررسی‌های ژئوتکنیکی نشان داد که نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از مناطق مختلف، برای ساخت هسته سد خاکی مناسب نیستند.

خانلری و همکاران [۱۳] ضمن بررسی موقعیت و مکان تأمین منابع قرضه ریزدانه سد باباخان در کردستان، ویژگی‌های ژئوتکنیکی آن از قبیل دانه‌بندی، واگرایی، نفوذپذیری، برش مستقیم و تراکم را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها با توجه به تورم پذیری پایین خاک و سایر نتایج حاصل از آزمایشات، منابع قرضه ریزدانه پیشنهادی را برای هسته رسی سد مناسب تشخیص دادند. داداش زاده و همکاران [۷] خاک‌های ریزدانه منابع قرضه هسته سد خاکی حاجیلر در شمال استان آذربایجان شرقی را موردبررسی قرار دادند. نتایج بررسی نشان داد که خاک‌های رسی با منشأ رسوبات تبخیری نئوژن، دارای پتانسیل واگرایی بالایی هستند. ولی خاک‌های ریزدانه اطراف رودخانه حاجیلر که دارای منشأ سنگ آذرین هستند، غیر واگر می‌باشند. آزادی قطار و همکاران [٤] خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی خاک‌های باقیمانده جنوب همدان را به‌عنوان منابع قرضه موردمطالعه قرار دادند. ازنظر آن‌ها خواص ژئوتکنیکی خاک مانند وزن مخصوص، اندازه ذرات، درصد رس و مقاومت برشی در تعیین کاربری خاک برای ساخت سازه‌ها اهمیت زیادی دارد.

شرایط خاص سدهای خاکی به لحاظ تراکم‌پذیری، نفوذناپذیری و زهکشی آب از بدنه سد، ضرورت انجام مطالعات کافی بر روی خصوصیات منابع قرضه ریزدانه را ایجاب نموده است. لذا در این پژوهش نخست محل تأمین و حجم منابع قرضه ریزدانه موردنیاز برای احداث سد مخزنی آزارود تنکابن موردبررسی قرارگرفته و سپس با استفاده از نتایج آزمایش‌های مختلف، پارامترهای مهم فیزیکی و شیمیایی منابع قرضه ریزدانه این سد تعیین و ارزیابی‌شده است.

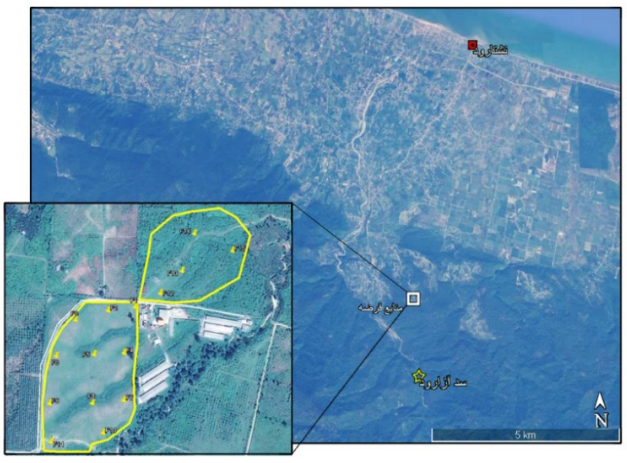
مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده موردمطالعه

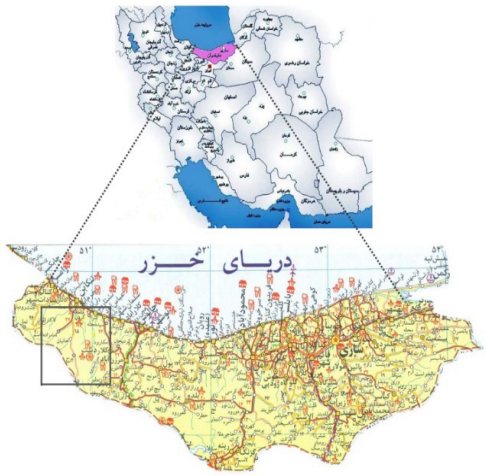
رودخانه آزارود یکی از سرشاخه‌های جاری در غرب استان مازندران است که ازنظر کمی و کیفی یکی از بهترین پتانسیل‌های آب در محدوده شمال کشور به شمار می‌رود. با توجه به آورد سالیانه قابل‌توجه این رودخانه (حدود ۷۰ میلیون مترمکعب) طرح سد مخزنی آزارود بر روی این رودخانه در حال مطالعه است. مشخصات این سد در جدول ۱ ارائه‌شده است. بر اساس گزارش مطالعات مرحله اول طراحی بدنه سد آزارود (طوس آب، ۱٤۰۲)، موقعیت ساختگاه سد بر اساس سیستم UTM (زون ۳۹) در مختصات، X= ٤۹۹۷٦۹ طول شرقی و Y= ٤۰٥۷۸۱۰ عرض شمالی، در فاصله حدود ۸ کیلومتری جنوب شهر نشتارود تنکابن واقع‌شده است (شکل ۱). هدف از احداث این سد، کنترل سیلاب، تأمین حقابه اراضی کشاورزی پایین‌دست و تأمین نیاز آبی شرب و بهداشت بخش غربی زون ۲ طرح جامع آب‌رسانی استان مازندران خزر آب [۱۲] می‌باشد. محل تأمین منابع قرضه ریزدانه سد آزارود در پایین‌دست ساختگاه و در محدوده اراضی روستای کنسکوه به مساحت حدود ۱۸ هکتار شناسایی‌شده است. استفاده از این قرضه مستلزم تملک اراضی این محدوده است. فاصله حمل از مرکز ثقل این قرضه تا محور سد، حدود ٦/٥ کیلومتر است. موقعیت محدوده برداشت منابع قرضه ریزدانه بر روی تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: خلاصه مشخصات سد مخزنی آزارود در مطالعات مرحله اول

نوع سد	سنگریزه‌ای با رویه بتنی (CFRD)
ارتفاع سد از بستر رود	۱۰٥ متر
تراز نرمال از سطح دریا	۳۲٥ متر
حجم مخزن	۲۰/۷ میلیون مترمکعب
مساحت مخزن در تراز نرمال	٦٤ هکتار



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده سد آزارود



شکل ۲: موقعیت محدوده برداشت منابع قرضه ریزدانه بر روی تصویر گوگل ارث

شیوه مطالعه

برای شناسایی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی منابع قرضه ریزدانه، اقدام به حفر ۱۵ چاهک به عمق ۵ متر و نمونه‌برداری شده است (شکل ۲). عنوان و مختصات چاهک‌های قرضه ریزدانه در جدول ۲ ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که ۰/۵ متر فوقانی مصالح در تمامی چاهک‌ها از نوع خاک نباتی بوده است. آزمایش‌های انجام‌شده بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از منابع قرضه ریزدانه شامل دانه‌بندی، شاخص‌های پلاستیسیته و رده‌بندی مصالح، پتانسیل تورم‌زایی و واگرایی می‌باشد. قابل‌ذکر است که جهت انجام این پژوهش از نتایج مندرج در گزارش منابع قرضه مطالعات مرحله اول سد آزارود طوس آب [۲۳] استفاده‌شده است.

- حجم منابع قرضه ریزدانه موردنیاز

نتایج حفاری‌ها و بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که مصالح قرضه ریزدانه با حجم بسیار بیش‌تر ازآنچه موردنیاز است، در محدوده شناسایی‌شده است. مساحت محدوده شناسایی‌شده برای منابع قرضه ریزدانه حدود ۱۸ هکتار است. با احتساب میانگین عمق استخراج مصالح معادل با ۵ متر (پس از حذف خاک سطحی و پیش از برخورد به لایه‌های درشت‌دانه یا سنگی)، حجم مصالح قابل‌برداشت ۹۰۰ هزار مترمکعب برآورد می‌شود. با توجه به ضریب بازدهی ۸۰ درصد حجم قابل استحصال مصالح حدود ۷۲/۰۰۰ مترمکعب به دست می‌آید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در گزینه سد CFRD، حجم قرضه ریزدانه موردنیاز حدود ۲۲/۰۰۰ مترمکعب است که در بخش بالادست بدنه سد، بر روی دال پاشنه و ترازهای تحتانی دال رویه و هسته ریزدانه فرازبند مورداستفاده قرار خواهد گرفت؛ بنابراین ضریب اطمینان تأمین مصالح قرضه ریزدانه با فرض بدنه CFRD در این مرحله از مطالعات برابر با ۳۳ به دست می‌آید [۲۲].

جدول ۲: مشخصات عمومی چاهک‌های قرضه ریزدانه سد مخزنی آزارود

ردیف	نام چاهک	مختصات (UTM) Zone39S		عمق (متر)
		Y	X	
۱	F1	٤٠٦٢٤٥١	٤٩٩٨٥٥	
۲	F2	٤٠٦٢١٤٤	٤٩٩٧٨١	
۳	F3	٤٠٦٢١٢١	٤٩٩٦٩٢	
٤	F4	٤٠٦٢٠٣٢	٤٩٩٨٢١	
٥	F5	٤٠٦٢٠٣٠	٤٩٩٧٤٠	
٦	F6	٤٠٦٢٠٢٩	٤٩٩٦٣٨	٥
٧	F7	٤٠٦١٩٠٩	٤٩٩٨١٧	
٨	F8	٤٠٦١٩٠٥	٤٩٩٧٣٢	
٩	F9	٤٠٦١٩٠٨	٤٩٩٦١٨	
١٠	F10	٤٠٦١٨٢٧	٤٩٩٧٥٩	
١١	F11	٤٠٦١٨١٠	٤٩٩٦٢٠	
١٢	F12	٤٠٦٢١٨٦	٤٩٩٩٢٦	
١٣	F13	٤٠٦٢٢٤٥	٤٩٩٩٨٨	
١٤	F14	٤٠٦٢٣٤٦	٥٠٠٠٢٧	
١٥	F15	٤٠٦٢٢٩٧	٥٠٠١٣٢	

نتایج و بحث

بررسی منابع قرضه ریزدانه شامل حفر چاهک‌های آزمایشی و نمونه‌گیری‌های نقطه‌ای و انجام آزمایش‌هایی به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مهندسی مصالح ساختمانی است. وفاییان [۲۳] لذا در این پژوهش جهت شناخت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی منابع قرضه ریزدانه، آزمایش‌های انجام‌شده بر روی آن‌ها موردبررسی قرارگرفته و نتایج حاصل از آن‌ها تجزیه‌وتحلیل شده است.

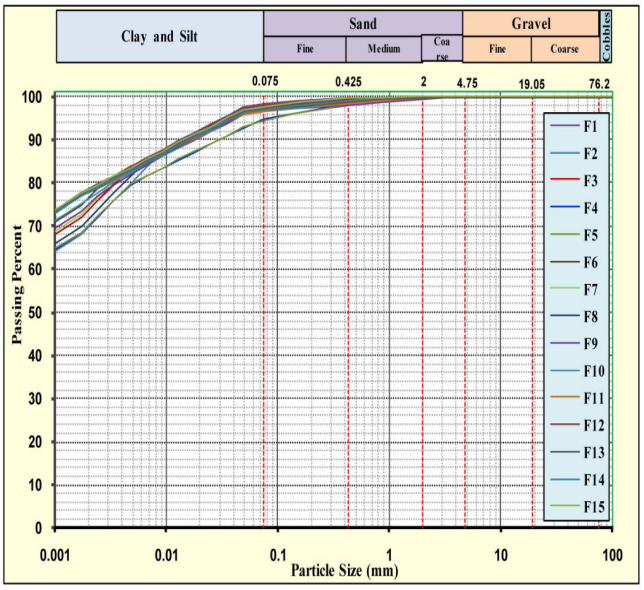
-آزمایش‌های انجام‌شده بر روی منابع قرضه ریزدانه

-دانه‌بندی

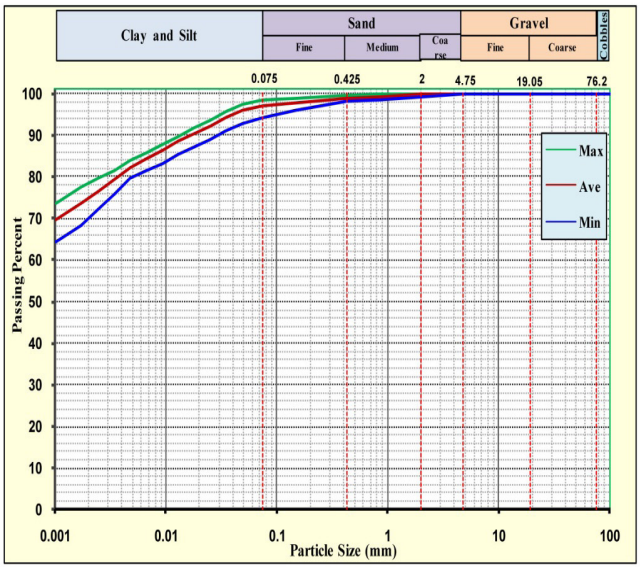
منحنی‌های دانه‌بندی مصالح در کل عمق حفاری‌شده در چاهک‌های قرضه ریزدانه با حذف خاک نباتی در شکل ۳ نشان داده‌شده است. منحنی‌های پوش و منحنی میانگین معرف توزیع دانه‌بندی عمومی مصالح چاهک‌های قرضه ریزدانه نیز در شکل ٤ قابل‌مشاهده است.

بر اساس منحنی دانه‌بندی میانگین چاهک‌ها، درصد مصالح مختلف در قرضه ریزدانه بر مبنای استاندارد ASTM D2487-10 [۳] ASTM International به شرح جدول ۳ ارائه‌شده است. طبق این جدول، درصد ذرات ریزتر از ماسه ۹۷ درصد است. مقدار میانگین

درصد دانه‌های دارای ابعاد کم‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر (در حد رس) نیز حدود ۷٤ درصد است.



شکل ۳: منحنی‌های دانه‌بندی کامل آزمایشگاهی چاهک‌های قرضه ریزدانه



شکل ٤: منحنی‌های پوش و میانگین دانه‌بندی کامل آزمایشگاهی چاهک‌های قرضه ریزدانه

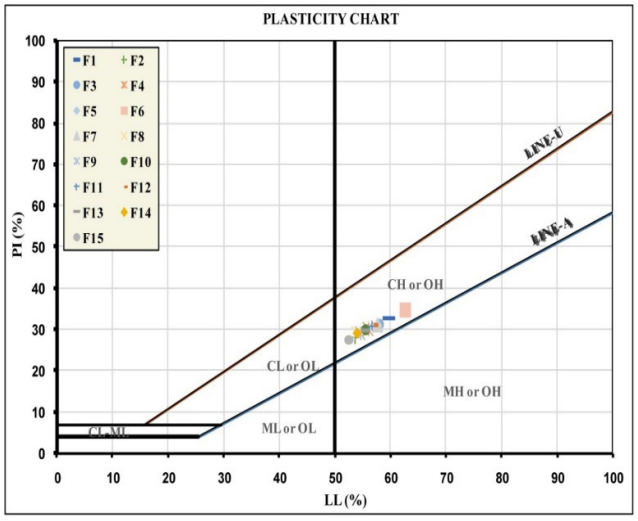
جدول ۳: مقدار میانگین درصد دانه‌های با ابعاد مختلف در منابع قرضه ریزدانه

نام قرضه	شن (٪)	ماسه (٪)	دانه‌های به ابعاد رس ریزدانه (٪)	(ریزتر از ۰/۲۰۰میلی‌متر) (٪)
قرضه ریزدانه (چاهک‌های سری F)	۰	۳	۹۷	۷٤

- شاخص‌های پلاستیسیته و رده‌بندی مصالح

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های حدود اتربرگ که طبق دستورالعمل استاندارد ASTM D4318, ASTM D2487 [۳]ASTM International انجام‌شده، وضعیت مصالح در نمودار پلاستیسیته نشان داده‌شده است (شکل ۵). با توجه به این نمودار، عمده مصالح قرضه ریزدانه برداشت‌شده از چاهک‌ها در رده رس‌های با خمیری بالا (CH) قرار می‌گیرند.

مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین شاخص‌های پلاستیسیته منبع قرضه ریزدانه در جدول ٤ ارائه‌شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین حد روانی ٥٦، میانگین حد خمیری ۲٦ و میانگین شاخص خمیری ۳۰ است.



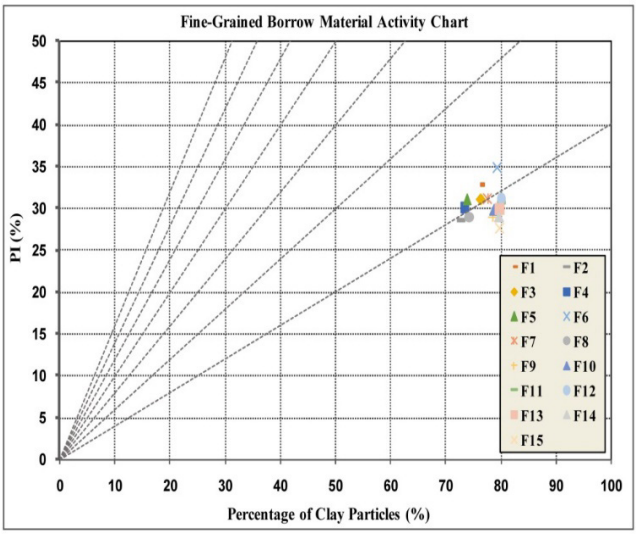
شکل ۵: نمودار پلاستیسیته مصالح چاهک‌های منابع قرضه ریزدانه

جدول ٤: مقادیر مرزی و میانگین حدود اتربرگ مصالح قرضه ریزدانه

سری چاهک	حد روانی(LL)			حد خمیری(PL)			شاخص خمیری(PL)		
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین
F1-F15	٦۳	٥۳	٥٦	۲۸	۲٥	۲٦	۳٥	۲۸	۳۰

فعالیت نمونه‌های ریزدانه اخذشده از چاهک‌ها که به‌صورت نسبت شاخص خمیری به درصد دانه‌های به ابعاد رس تعریف می‌شود، محاسبه و برای تمامی چاهک‌های قرضه ریزدانه در شکل ٦ ارائه گردیده است. در این شکل‌ها که پایه آن‌ها رابطه معرفی‌شده توسط سید [۲۲] است خط‌چین‌ها از کم شیب تا پرشیب مربوط به درجه فعالیت کانی‌ها از ۰/٤ تا ۱/٦ با فواصل ۰/۲ هستند. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، میزان حداقل، حداکثر و میانگین درجه فعالیت کانی‌های رسی در مصالح چاهک‌ها عبارت از ۰/۳٤ ۰/٤٤ و ۰/۳۹

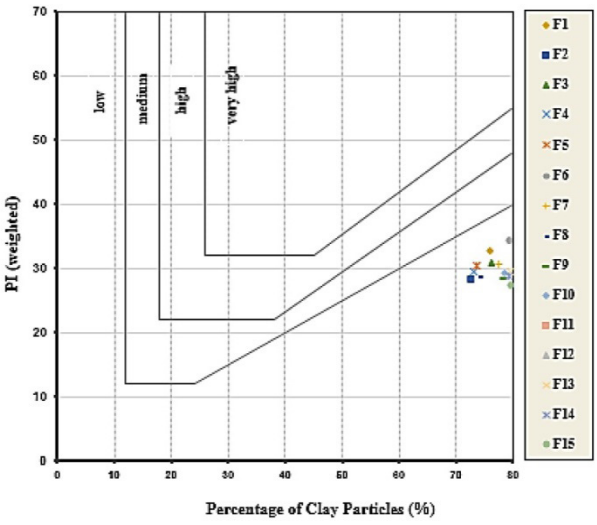
است که نشان‌دهنده غالب بودن کانی‌های ایلیت و کائولینیت در ذرات ریزدانه رسی است. این کانی‌ها در رده کانی‌های تقریباً غیرفعال به‌حساب می‌آیند.



شکل ٦: مقدار شاخص خمیری برحسب درصد دانه‌های با ابعاد رس در مصالح چاهک‌های ریزدانه

- پتانسیل تورم‌زایی در قرضه ریزدانه

به‌منظور ارزیابی خاصیت تورم‌زایی مصالح چاهک‌ها از روش اصلاح‌شده واندر مرو [۲۵] استفاده‌شده است. نتایج در شکل ۷ نمایش داده‌شده است. از نمودار رسم شده چنین بر می‌آید که مصالح از تورم‌زایی پایینی برخوردارند که با نوع کانی غالب مصالح یعنی ایلیت و کائولینیت کاملاً همخوانی دارد.



شکل ۷: وضعیت تورم‌زایی مصالح چاهک‌های منابع قرضه ریزدانه

با توجه به اینکه روش واندر مرو یک روش کاملاً تجربی است و قادر به توجیه تغییرات تورم ناشی از تغییر رطوبت یا وزن مخصوص خاک نیست، لذا برای حصول اطمینان بیش‌تر، درجه تورم خاک با روش تجربی چن [٦] نیز به‌دست‌آمده است. با توجه به فشار تورمی خاک که از نتایج آزمایشگاهی به‌دست‌آمده است و تقسیم‌بندی‌های معیار چن، وضعیت تورم خاک برای چند نمونه منتخب مشخص‌شده است (جدول ۵). طبق بررسی‌های انجام‌شده فرمول چن در مقایسه با سایر روش‌های تجربی تطابق بهتری با واقعیت داشته است. درنهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت پتانسیل تورم خاک پایین است و بر اساس آزمایشات انجام‌شده فعلی مشکل خاصی از این بابت وجود ندارد.

- واگرایی

روش‌های گوناگونی برای ارزیابی واگرایی مصالح خاکی مطرح است که مهم‌ترین آن‌ها روی تعدادی از نمونه‌های برداشت‌شده از چاهک‌های قرضه ریزدانه شامل F6، F7، F11 و F15 انجام پذیرفته است.

- آزمایش سوراخ زنی (Pinhole)

بر اساس نتایج آزمایش‌های سوراخ زنی (Pinhole) هر چهار نمونه مورد آزمایش غیر واگرا و در رده NDI معرفی‌شده‌اند.

- آزمایش هیدرومتری مضاعف

با توجه به نمودارهای دانه‌بندی کامل حاصل از آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف، نسبت ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر مورد آزمایش بدون مواد پراکنده ساز برای چهار نمونه ساخته‌شده (F.13A, F.11A, F.7A, F.6A) برابر صفر به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده مصالح کاملاً غیر واگرا است.

-آزمایش کرامب

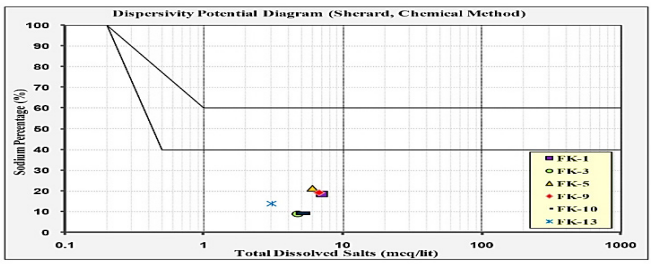
آزمایش کرامب که به آزمایش امرسون نیز معروف است، برای بررسی واگرایی خاک انجام می‌شود. در این آزمایش ابتدا تکه کوچکی از خاک (به قطر ده تا شش میلی‌متر) در داخل ظرفی حاوی ۱۵۰ سانتی‌متر مکعب آب مقطر انداخته می‌شود. نمونه تدریجاً شروع به جذب آب می‌نماید. پس از پنج تا ۱۰ دقیقه وضعیت نمونه ازنظر تمایل ذرات کلوئیدی به جدا شدن از نمونه و شناور شدن در آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس نحوه واکنش ذرات خاک در مقابل آب به‌صورت بدون واکنش، واکنش ضعیف، واکنش متوسط و واکنش شدید بیان می‌شود. افزایش شدت واکنش در این آزمون نشانه افزایش میزان واگرایی خاک است. تجربه نشان داده که برخی خاک‌های واگرا ممکن است نسبت به این آزمایش واکنش نشان ندهند. لذا درصورتی‌که خاک در این آزمایش واکنش نشان دهد واگرا خواهد بود؛ اما عدم واکنش نشان‌دهنده عدم واگرایی نخواهد بود. نتایج آزمایش بر روی نمونه‌هایی از چاهک‌های F6، F7 و F13 وضعیت بدون واکنش و در چاهک F11 وضعیت با واکنش خفیف را نشان داد.

-روش شرارد (Sherard)

به این منظور نتایج آزمایش‌های شیمیایی اندازه‌گیری کاتیون‌های چهارگانه موجود در نمونه‌های منتخب قرضه اشباع بر روی نمودار شرارد [۱۹] منتقل‌شده است (شکل ۸). بر اساس این نمودار تمامی نمونه‌ها در منطقه غیر واگرا قرار گرفته‌اند.

جدول ۵: بررسی پتانسیل تورم مصالح قرضه ریزدانه بر اساس معیار چن

ردیف	شماره چاهک	عمق (میلی‌متر)	درصد رطوبت (٪)	میزان تورم	فشار تورم (کیلوگرم بر سانتی متر مربع	درجه تورم خاک برحسب روش "چن"
۱	F1	۰-۵	۲۳/٤٥	۰/٥۳٤	۲/٥٤۷	پایین
۲	F7	۰-۵	۲۲/۹۷	۰/٤۸٤	۳/۰٥۷	متوسط
۳	F11	۰-۵	۲٤/۹٥	۰/۲۹۰	۲/۲۹۲	پایین
٤	F13	۰-۵	۲۳/۹۸	۰/۱٥۲	۱/٥۲۸	پایین



شکل ۸: بررسی واگرایی مصالح قرضه‌های ریزدانه به روش شیمیایی (معیار Sherard)

واگرایی عملاً در دو وجه قابل تفسیر است. واگرایی شیمیایی ناشی از وجود کانی‌های فعال در خاک و واگرایی فیزیکی که می‌تواند معادل فرسایش‌پذیری (Erodibility) باشد. واگرایی شیمیایی به‌اندازه واگرایی فیزیکی تابع سرعت جریان آب در مجاور محیط خاکی نیست. با توجه به نحوه و مراحل انجام آزمایش‌ها نتایج آزمایش pinhole معرف هر دو نوع واگرایی است؛ اما نتایج آزمون‌های هیدرومتری مضاعف و روش شیمیایی بیش‌تر به واگرایی شیمیایی مرتبط هستند؛ بنابراین می‌توان گفت آزمایش Pinhole مدل‌سازی مناسب‌تری نسبت به سایر آزمایش‌ها برای بررسی موضوع واگرایی است. درنهایت با توجه به کلیه آزمایش‌های انجام‌شده خطر واگرایی در مصالح ریزدانه موردمطالعه وجود نخواهد داشت.

نتیجه‌گیری

جهت تأمین منابع قرضه ریزدانه موردنیاز برای سد مخزنی آزارود که مطالعات مرحله اول آن به‌تازگی انجام‌شده است، محدوده‌ای به مساحت ۱۸ هکتار شناسایی‌شده و پارامترهای ژئوتکنیکی آن‌ها با انجام آزمایش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام‌شده به شرح زیر است:

– بر اساس منحنی دانه‌بندی میانگین چاهک‌ها بر مبنای استاندارد ASTM D2487-10، درصد ذرات ریزتر از ماسه ۹۷ درصد است. مقدار میانگین درصد دانه‌های دارای ابعاد کم‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر (در حد رس) حدود ٧٤ درصد است.

– نتایج حاصل از آزمایش‌های حدود اتربرگ بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد ASTM D4318, ASTM D2487 نشان می‌دهد که عمده مصالح قرضه ریزدانه برداشت‌شده از چاهک‌ها در رده رس‌های با خمیری بالا (CH) قرار می‌گیرند. میانگین حد روانی مصالح ٥٦، میانگین حد خمیری ٢٦ و میانگین شاخص خمیری ۳۰ است.

–بر اساس نمودار سید [۱۸] میانگین درجه فعالیت کانی‌های رسی در مصالح چاهک‌ها ۰/۳۹ است که نشان‌دهنده غالب بودن کانی‌های ایلیت و کائولینیت در ذرات ریزدانه رسی است. این کانی در رده کانی‌های تقریباً غیرفعال به‌حساب می‌آیند.

–نتایج حاصل از ارزیابی خاصیت تورم‌زایی مصالح چاهک‌ها با استفاده از روش اصلاح‌شده واندر مرو[۲۵] نشان می‌دهد که مصالح از تورم‌زایی پایینی برخوردارند که با نوع کانی غالب مصالح (ایلیت و کائولینیت) کاملاً همخوانی دارد. برای حصول اطمینان بیش‌تر، درجه تورم خاک با روش تجربی چن [٦] نیز بررسی شد و نتایج آن پایین بودن پتانسیل تورم خاک را تأیید نمود.

– با توجه به نتایج آزمایش سوراخ زنی (Pinhole)، مصالح قرضه ریزدانه موردبررسی از نوع غیر واگرا هستند. نتایج آزمایش هیدرومتری مضاعف نیز نشان داد که مصالح مورد آزمایش کاملاً غیر واگرا است. بررسی نمونه‌ها با آزمایش کرامب و روش شرارد [۱۹] نیز غیر واگرا بودن مصالح ریزدانه شناسایی‌شده را تأیید کردند.

تشکر وقدردانی

از شرکت‌های مهندسین مشاور طوس آب و پندام که در مراحل مختلف مطالعات همکاری داشتند تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

1. Aghamelai, A., Lashkripour, G.R., and Ghafouri, M. 2011. Investigating the geotechnical characteristics of the fine-grained borrow resources of the Safa dam, the 7th Conference on Engineering and Environmental Geology of Iran, Shahrood University of Technology, Shahrood.(In Persian)

2. Aka, M., Effiong, C., Agbasi, O.E., and Akpan, D. 2022. Geotechnical investigation of borrow pit as a subgrade material for road construction at victor attah international airport, uyo, nigeria, Structure and Environment 14(2):44-54

3. ASTM International. 2011. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes

(In Persian)

13. Khanleri, G., and Khodamuradpour, S. 2014. Locating and investigating the geotechnical characteristics of the fine-grained sediment resources of the Babakhan dam in Bijar city, Kurdistan, 34th international specialized congress of earth and science, Tehran (In Persian)

14. Parsai, B., Raisi Estbaraq, A., and Moradi, M. 2010. Investigating the swelling-contraction behavior of a swelling soil, Journal of Water and Soil Research, 41(1): 87-94.(In Persian)

15. Qobadi, M. H., Rasouli, F., Mohammad, R., Tasli Lain, N., Hossein Abadi, goddess, and Khodamuradpour, S. 2014. The study of geotechnical characteristics of soils south of Behesht Garden in Hamedan as soil sources, the first national conference on soil mechanics and engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Tarbiat University, Tehran (In Persian)

16. Rezaei, M., Ajalloeian, R., and Ghafoori, M. 2012. Geotechnical properties of problematic soils emphasis on collapsible cases. International Journal of Geosciences, 3: 105-110. (In Persian)

17. Sayehvand, S., and Dehghani, M. 2004. Identification and management of dispersive soils. Electronic Journal of Geotechnical Engineering: 1-44. (In Persian)

18. Seed, H., Woodward, R.J., and Lundgren, R., 1964. Clay Mineralogical Aspects of the Atterberg Limits, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 90: 4.

19. Sherard, J. 1976. Identification and Nature of Dispersive Soils, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(4): 287-301.

20. Tripathy, S., Subba Rao, K.S, and Fredlund, D.G. 2002. Water content-void ratio swell-shrink paths of compacted expansive soils. Canadian Geotechnical Journal, 39: 938-959.

21. Tos Ab Consulting Engineers Company. 2023. Studies of the first stage of Azarood Reservoir Dam - Dam body design report, Mazandaran Regional Water Company, Sari (In Persian)

22. Tos Ab Consulting Engineers Company. 2023. (Unified Soil Classification System)- ASTM D2487-10, American Society for Testing and Materials

4. Azadighatar, R., Qobadi, M. H., and Heydari, M. 2013. Investigating the engineering geological characteristics of the remaining soils in south Hamedan as loan sources, Journal of Applied Geology, 10(4): 289-301. (In Persian)

5. Bhuvaneshwari, S., Soundra, B., Robinson, R., and Gandhi, S., 2007.Stabilization an microstructural modification of dispersive clayey soils, Proceedings of the First International Conference on Soil and Rock Engineering, Srilankan Geotechnical Society, Colombo, Sri Lanka, 1-7.

6. Chen, F.H. 1965. The Use of Piers to Prevent Uplifting of Lightly Loaded Structure Founded on Expansive Soils, Concluding Proceedings of 4th International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas, United States

7. Dadashzadeh, N., Asghari Koljahi, I., Mansouri, and Haditha. 2018. Investigating the divergence of the fine-grained soils of the borrow sources of Hajiler and Varzeghan earthen dam core and its relationship with the mother rock, Journal of Engineering Geology, 12(2): 27-41(In Persian)

8. Dixit, M.,andGupta, S., 2011. Problems in characterization and identification of dispersive soils-a case study. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 4: 143-146.

9. Fang, Y., Chung, Y., Yu, F., and Chen, T. 2001, Properties of soil-cement stabilised with deep mixing method. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement, 5: 69-74

10. Gray, J., and Murphy, B., 2002. Parent material and world soil distribution, 17th world congress of soil science. Bangkok, Thailand. Citeseer

11. Khanna, R., Gupta, M., and Chitra, R. 2022. Geotechnical Investigations of Blended Borrow Area Materials for Suitability of Construction of Core for Proposed Earthen Dam, Conference of Soil Behavior and Characterization of Geomaterials, India.

12. Khazarab Consulting Engineers Company. 2014. Water Master Plan of Mazandaran Province, Iran Water and Wastewater Engineering Company, Tehran

Studies of the first stage of Azarood Reservoir - report on loan sources and construction materials, Mazandaran Regional Water Company, Sari (In Persian)

23. Vafaiyan, Mahmoud. 2009. Earthen dams, Academic Jihad of Isfahan Industrial Unit, 5th edition, 514 pages (In Persian)

24. Vafaiyan, M. 2016. Earthen and gravel dams, Erkan Danesh, third edition. 464 pages (In Persian)

25. Van der Merwe, D.M. 1964. The prediction of heavefrom the plasticity index and percentage clayfraction of soils. The Civil Engineer in South Africa, 6 (6): 103–107.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of
Watershed Management

Vol. 13, No. 48, Spring 2025 سال سیزدهم- شماره ۴۸- بهار ۱۴۰۴

Abstract

Study of Geotechnical Characteristics of Fine-Grain Borrow Resources of Azaroud Reservoir Dam

M.Farhadzadeh[1], H. davoodiyan[2], M. Akbari[3], F. Tamjid[4] and P. Maleki[5]*

Received: 2024/12/03 Accepted: 2025/01/04

The provision of borrow resources for earthen dams is a fundamental aspect of feasibility studies for dam construction. Inability to supply borrow resources with appropriate geotechnical and economic characteristics renders the construction of the dam unjustifiable. The objectives of constructing the Azaroud Dam on the Azaroud River in Tonekabon (Western Mazandaran) are to address the shortages of drinking and agricultural water downstream of the dam. This study investigates the geotechnical characteristics of the fine-grained borrow resources required for the dam's construction, which were identified approximately 6.5 kilometers downstream, covering an area of about 18 hectares. To assess the physical, chemical, and mechanical properties, fifteen wells were drilled to a depth of 5 m, and sampling was conducted. Subsequently, tests for grain size distribution, Atterberg limits, plasticity index determination, swelling potential, and divergence were performed, and classification was conducted based on ASTM standards. The grain size distribution curve and Atterberg limit tests indicated that about 74% of the particles fall within the clay range, predominantly belonging to high-plasticity clays (CH). The average activity of the clay minerals in the materials (0.39) reveals a predominance of illite and kaolinite, which are classified as almost inactive minerals with low swelling potential. Additionally, Chen's experimental method, along with pinhole and double hydrometric tests, demonstrated that the soil's swelling potential is low and that the materials are completely non-divergent. The results of Crumb and Sherard tests corroborated these findings. In conclusion, the identified fine-grained borrow resources are entirely suitable for the dam body, posing no risk of swelling or divergence.

Keywords: Geotechnical charactristics, Fine-grained borrow resources, Azaroud reservoir dam, ASTM standard.

1. Water Technical Manager, Regional Water Company of Mazandaran
2. Chief Executive Officer (CEO), Regional Water Company of Mazandaran
3. Water Technical Expert, Regional Water Company of Mazandaran
4. Water Technical Expert, Regional Water Company of Mazandaran
5. Water Technical Expert, Regional Water Company of Mazandaran, Corresponding Author:P.Maleki1368@gmail.com