



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

بررسی پدیده ریزشویی در زمین های استحصالی از دریا با استفاده از روش تئوری بازی ها

محمد محمدنیا^۱

۱- دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
mo.mohammadnia@gmail.com

چکیده

پدیده ریزشویی شامل شسته شدن ذرات ریزتر خاک از درون ذرات درشت تر آن در اثر وجود یک جریان آب می باشد. در زمین های استحصالی از دریا به دلیل وجود جذر و مد دریا، گرادیان هیدرولیکی لازم برای شسته شدن مصالح ریزتر خاک از بین دانه های درشت خاک و سنگ وجود دارد. به همین دلیل رعایت دانه بندی مناسب و کنترل امکان شسته شدن مصالح مورد استفاده از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله به بررسی اثر جریان جذر و مد آب دریا و سایر رواناب های سطحی بر امکان شسته شدن مصالح در زمین های استحصالی منطقه عسلویه پرداخته می شود. برای نیل به این هدف از روش تئوری بازی ها که مبتنی بر کد نویسی فرترن می باشد، استفاده شده است. بررسی ها نشان داد که عدم رعایت دانه بندی مناسب و عدم اجرای فیلترهای لازم برای جلوگیری از شسته شدن مصالح ریزدانه، پدیده ریزشویی در زمین های استحصالی رخ داده است و منجر به ایجاد حفرات در بستر زمین گردیده است. این حفرات باعث ایجاد نشست در سطح زمین شده اند و در صورت گسترش آنها، امکان ایجاد فروچاله وجود دارد.

کلمات کلیدی: پدیده ریزشویی، مدل سازی عددی، تئوری بازی ها (Two-Person Zero-Sum Game)، ناپایداری داخلی، زمین های استحصالی

۱- مقدمه و مرور ادبیات فنی

فرسایش داخلی یا آب شستگی خاک به معنی فرار بخش ریزدانه ساختار یک توده خاک از بین ذرات درشت تر به دلیل وجود یک گرادیان هیدرولیکی است. بررسی پدیده ریزشویی و ارزیابی پتانسیل فرسایش خاک با روش های مختلفی قابل ارزیابی است. یکی از روش های مناسب تحلیلی برای ارزیابی پتانسیل آب شستگی در یک توده خاک، روش (Kezdi 1969) است. در این روش خاک به دو بخش ریزدانه و درشت دانه تقسیم می گردد. سپس در صورتی که بخش درشت دانه بتواند معیارهای فیلتر را برای بخش ریزدانه تامین کند، امکان ریزشویی و فرسایش داخلی خاک وجود نخواهد داشت. معیارهای فیلتر موردنظر براساس معیارهای فیلتر معرفی شده توسط Terzaghi (1922) در نظر گرفته می شود. (Lowe 1977) و (Sherad 1979) روش هایی مشابه (Kezdi 1969) در نظر گرفتند و تنها معیار فیلتر مورد کاربرد متفاوت بود. محققین مختلف دیگر نظیر (Burenkava 1993) نیز روش های مختلف دیگری برای بررسی پایداری داخلی خاک ارائه کرده اند. عمده این روش ها بر پایه حل های تحلیلی می باشند.

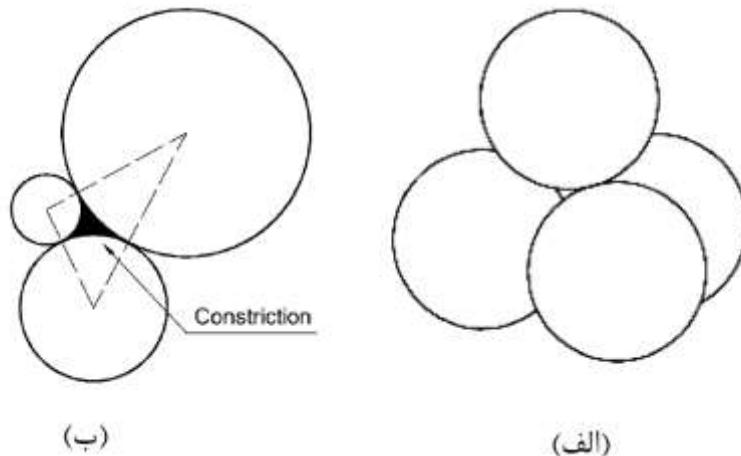
شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

روش مورد بررسی در این مقاله بر اساس حل های تحلیلی و احتمالاتی بر پایه تئوری بازی ها می باشد. بر این اساس حالت های مختلف قرارگیری ذرات خاک در کنار یکدیگر مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد و میزان شسته شدن ذرات خاک از درون یکدیگر مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. هر چند نتایج بدست آمده از این روش با واقعیت مقداری فاصله دارد ولی ابزار بسیار قدرتمندی است تا امکان شسته شدن و ریزشویی یک توده خاک را مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد.

۲- روش انجام کار

به منظور بررسی پدیده ریزشویی و امکان رخ دادن این پدیده در بستر زمین های استحصالی یک مدل سازی عددی بر مبنای تئوری بازی ها صورت گرفت. این مدل بعنوان یک مدل عددی- احتمالاتی برای یافتن احتمال و شدت پدیده ریزشویی می باشد. مدل عددی بکار رفته براساس تئوری بازی ها به شرح موارد زیر است:

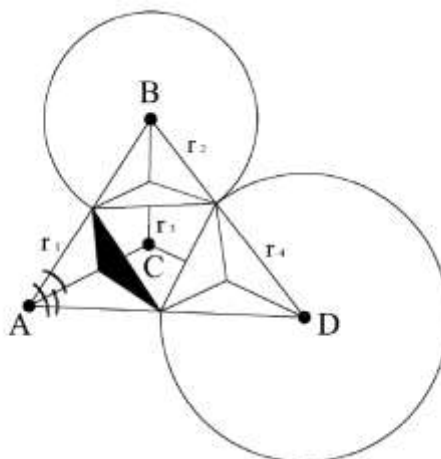
- تعیین حداکثر پتانسیل قابل ریزشویی در خاک: شبیه سازی عددی پدیده ریزشویی در خاک با دانه بندی های مختلف که متناسب با شرایط محیطی خود، تحت تاثیر گرادیان هیدرولیکی قرار گرفته، به منظور یافتن حداکثر پتانسیل قابل ریزشویی در خاک که به صورت تغییرات در منحنی دانه بندی خاک در اثر این پدیده و حداکثر حجم/جرم شسته شده در طی آن، تعیین خواهد گردید.
- در مدل ارائه شده با استفاده از تئوری بازی ها (Two-Person Zero-Sum Game) به شبیه سازی حرکت دانه های خاک در ساختارهایی تعریف شده در توده خاک پرداخته خواهد شد. در ابتدا هندسه خاک به صورت چیدمانی چهارتایی از دانه های کروی که به یکدیگر مماس شده اند ساخته می شود. (شکل ۱)



شکل ۱ (الف) نمای سه بعدی یک چهاروجهی متقارن. (ب) نمای ورودی در یک چهاروجهی نامتقارن

- در مرحله بعد احتمال ورود سایر دانه ها به فضای داخلی بین این چهاروجهی (Tetrahedron) با استفاده از معادلات هندسی و احتمالات ریاضی محاسبه شده و با تکرار این عملیات که توسط یک کد Fortran انجام می گیرد، احتمال عبور دانه های مختلف برای ترکیب های تصادفی (Stochastic) مختلف از توده خاک بررسی می شود. با تقسیم توده خاک به ۲ بخش (بازیکن) و شروع محاسبات، امکان از دست دادن (باخت) تمام دانه ها برای هر یک از بخش ها محاسبه شده و در نهایت، نتیجه بازی به صورت حجم از دست رفته در اثر ریزشویی بیان می گردد. (شکل ۲)

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۲ محاسبه هندسی فضاهای پر و خالی بین دانه ها در مدل

گام های اجرایی مدل عددی به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

✓ گام اول: جمع آوری داده های ورودی

داده های ورودی به صورت منحنی های دانه بندی خاک (PSD) برگرفته شده از نتایج گمانه های حفر شده در محل به ازای تعداد مشخصی گمانه که در طی سالهای مختلف انجام شده، جمع آوری و تحلیل می گردد. همچنین وضعیت تراز آب زیرزمینی هریک از گمانه ها در کنار حداقل و حداکثر تراز آب در شرایط جزر و مد دریا برای کالیبره کردن و تدقیق نتایج مورد استفاده قرار می گیرد.

✓ گام دوم: محاسبات اولیه

به منظور ایجاد ساختار خاک در مدل احتمالاتی نیاز است تا در ابتدا درصد حجمی موجود از هر قطر محاسبه شده و بعنوان فایل ورودی برای نرم افزار (کد فرترن) ایجاد گردد. فایل ورودی یک فایل txt شامل اندازه قطر (برحسب mm) و درصد موجود از آن قطر در دانه بندی خواهد بود.

✓ گام سوم: اجرای مدل و بررسی خروجی ها

به ازای هریک از نمونه های مورد بررسی، کد مذکور اجرا شده و به صورت متوسط در مدت ۱۵ دقیقه زمان اجرای کد، خروجی ها شامل درصد دانه های شسته شده از هر قطر و متوسط تخلخل محاسبه شده است که در یک فایل متنی از نرم افزار استخراج می شود.

✓ گام چهارم: تعیین حجم کنترل

نیاز است تا یک حجم کنترل برای پیش بینی حفرات موجود در بستر خاک استحصالی انتخاب گردد.

✓ گام پنجم: کالیبراسیون و تهیه اکسل شیت نتایج

با توجه به نیازمندی محاسبات مربوط به حجم و تعداد دانه ها، خروجی های مدل در یک اکسل شیت وارد شده و پارامترهای ذیل محاسبه می گردد:

- ۱- محاسبه حجم هریک از دانه ها (Particle Vol.)
- ۲- محاسبه حجم جامد (Solid Vol.) با اعمال تخلخل محاسبه شده از نرم افزار در حجم کنترل مورد بررسی و سپس تعیین تعداد هریک از دانه ها در حجم کنترل در نظر گرفته شده (Particle No. in Control Vol.)
- ۳- محاسبه حجم مجموع دانه های یک قطر در حجم کنترل (Total Particle Vol. in Control Vol.)
- ۴- ورود خروجی مدل شامل درصد شسته شده از هر قطر به ستون های مربوطه (Eroded %) به ازای ۳ عدد تخلخل متعارف در خاک (n: 0.23/0.35/0.43)

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۵- محاسبه حجم باقی مانده از هر قطر پس از آب‌شستگی (Remained Vol. %) به ازای ۳ تخلخل در نظر گرفته شده

۶- محاسبات دانه‌بندی خاک پس از آب‌شستگی و نرمال کردن نتایج آن به ازای ۳ تخلخل در نظر گرفته شده

✓ گام ششم: محاسبه درصد حجم قابل شستشو از خاک (Probable Total Loss) پس از محاسبه مجموع حجم باقی مانده از هر قطر می‌توان با کسر کردن آن از حجم جامد (Solid Vol.) حجم کنترل، میزان حجم قابل شستشو را به شرح ذیل محاسبه نمود.

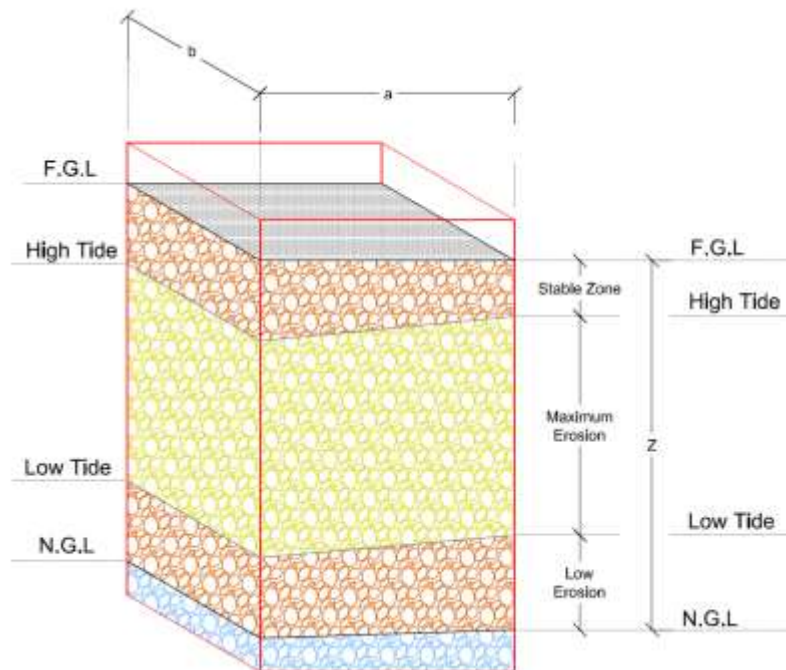
$$\text{Probable Total Loss (\%)} = \frac{\text{Total Solid Vol.} - \text{Remained Vol.}}{\text{Total Solid Vol.}}$$

۳- یافته‌های تحقیق

فرضیات در نظر گرفته شده برای مدل سازی عددی پدیده ریزشویی نیز به شرح زیر می باشد:

✓ جریان‌های زیرسطحی که به احتمال بسیار زیاد می‌توانند باعث ایجاد آب‌شستگی زیرسطحی در بستر زمین‌های استحصالی گردد. این جریان زیر سطحی عمدتاً بعثت تغییرات تراز آب زیرزمینی ناشی از جزر و مد دریا بوجود می‌آیند. استمرار تغییرات تراز آب زیرزمینی در طول زمان که به طور متوسط ۴ مرتبه در روز بوقوع می‌پیوندد (۲ جزر و ۲ مد) در مدت زمان طولانی، با ایجاد جریان‌ات زیرسطحی افقی و قائم، منجر به جابجایی دانه‌ها و شسته شدن خاک خواهد گردید، در شکل ۳ به صورت شماتیک این موضوع نشان داده شده است.

✓ زمین‌های استحصالی عمدتاً با اجرای یک سازه حفاظت ساحلی نظیر موج شکن یا اسکله بلوکی محافظ می‌شوند. فضاهای خالی موجود در سازه‌های حفاظت ساحلی امکان فرار بخش ریزدانه خاک را فراهم می‌کند.



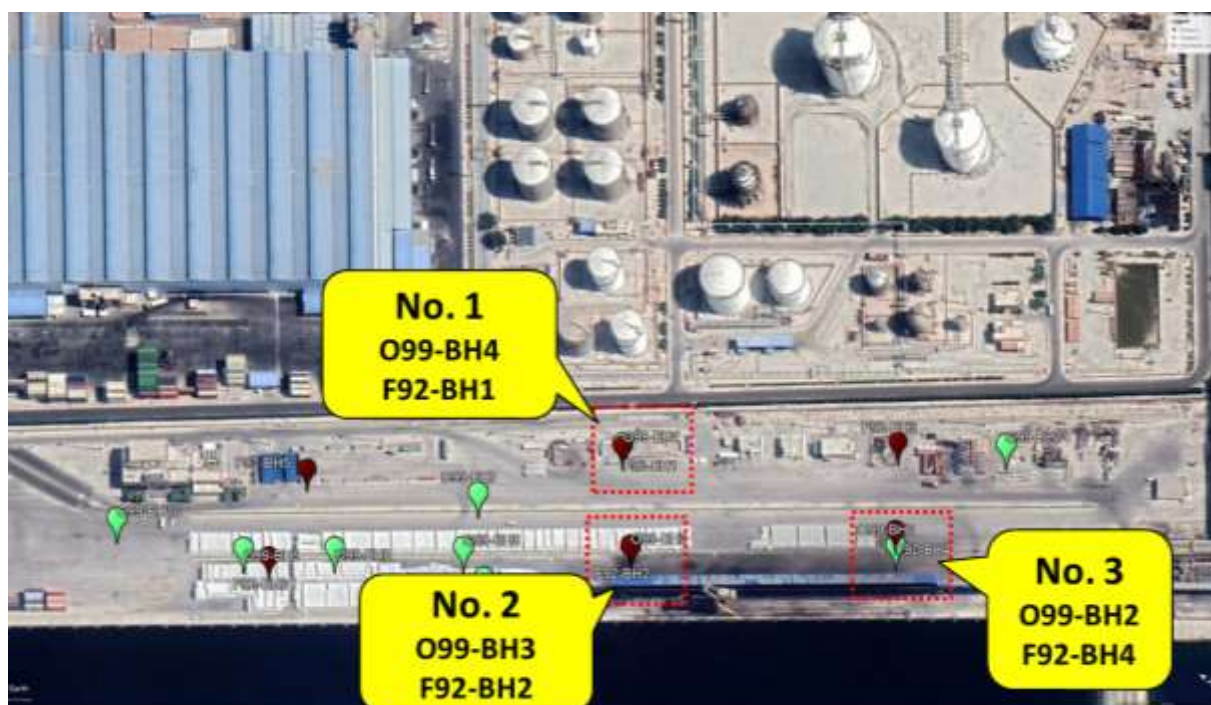
شکل ۳ تصویر شماتیک حجم کنترل در نظر گرفته شده برای محاسبه پدیده ریزشویی در خاک پروژه حاضر

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

✓ به منظور بررسی و صحت سنجی عملکرد مدل دو دسته مطالعات ژئوتکنیک مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۱۳۹۲ شرکت مهندسی مشاور فهلیان شیراز و در سال ۱۳۹۹ شرکت مشاور پژوهش عمران راهور در خاک استحصالی جنوب کشور تعدادی گمانه حفاری کردند و دانه بندی گمانه ها را ارزیابی کردند. در شکل ۴ موقعیت نمونه گیری های انجام شده توسط دو مشاور فوق الذکر نمایش داده شده است. کد F92 برای شرکت فهلیان شیراز (۱۳۹۲) و کد O99 برای نمایش موقعیت گمانه های شرکت عمران راهور (۱۳۹۹) می باشد. بررسی موقعیت حفر گمانه ها نشان می دهد که گمانه های ارائه شده در جدول ۱ از نظر موقعیت مکانی در نزدیک ترین فاصله به یکدیگر قرار داشته و می تواند مبنای شروع کار و بررسی پدیده ریزشویی توسط مدل قرار گیرد.

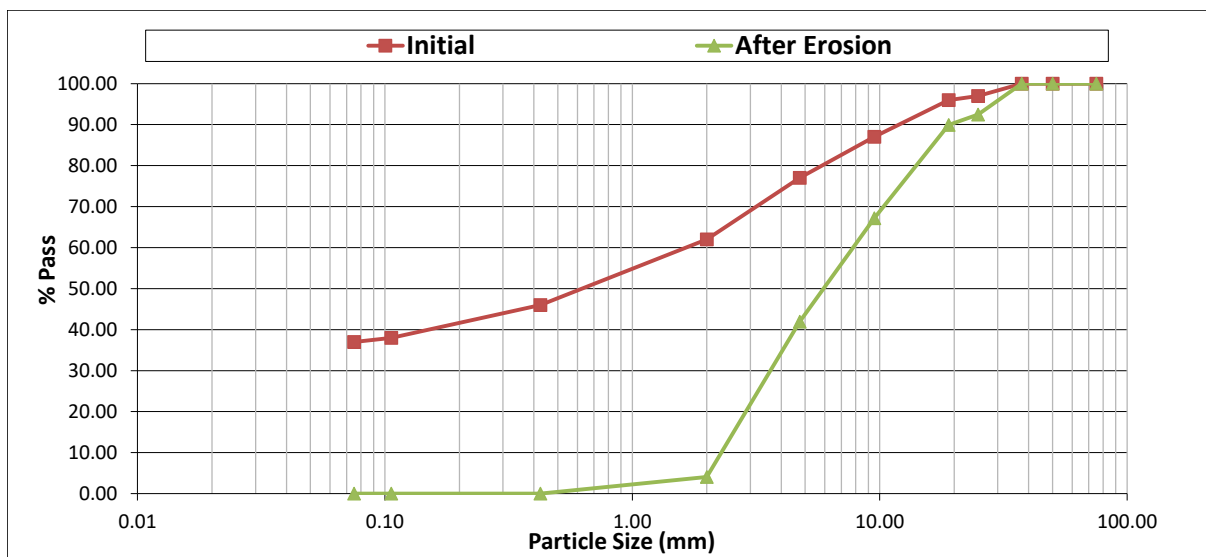
جدول ۱ موقعیت گمانه های حفاری شده توسط مشاور فهلیان شیراز و پژوهش عمران راهور برای بررسی پدیده ریزشویی

ردیف	شماره گمانه فهلیان شیراز (۱۳۹۲)	شماره گمانه پژوهش عمران راهور (۱۳۹۹)	فاصله افقی دو گمانه (متر)
۱	F92-BH1	O99-BH4	کمتر از ۱ متر
۲	F92-BH2	O99-BH3	کمتر از ۲ متر
۳	F92-BH4	O99-BH2	۱۲ متر



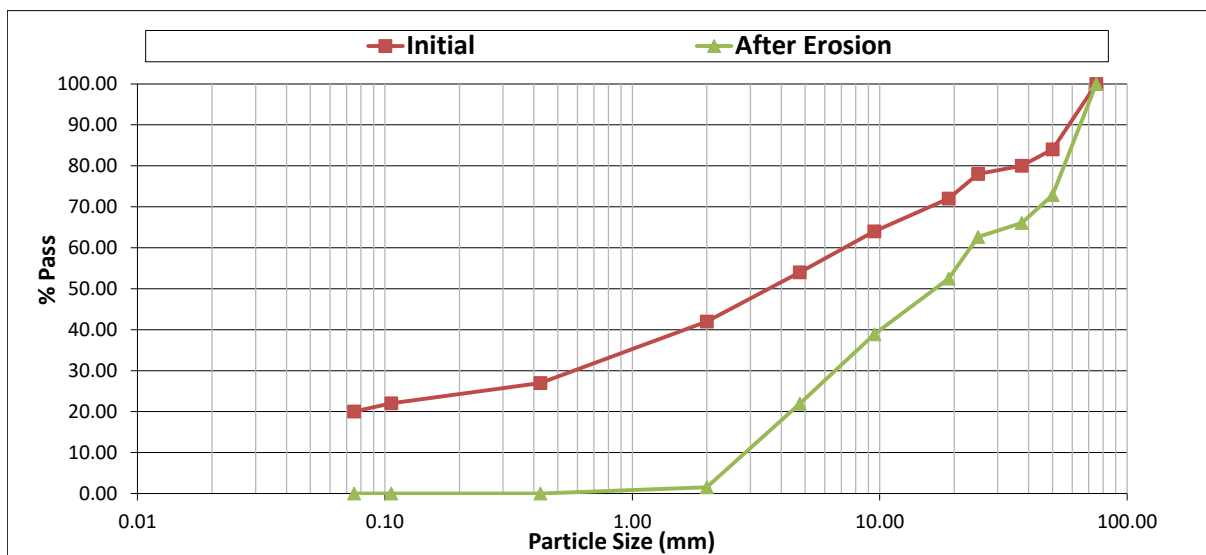
شکل ۴ موقعیت گمانه های حفاری شده توسط مشاور فهلیان شیراز و پژوهش عمران راهور برای بررسی پدیده ریزشویی براساس توضیحات فوق الذکر بررسی پدیده ریزشویی در سه گمانه BH1، BH2، BH4 و مربوط به مشاور فهلیان شیراز انجام گرفت. پس از آن امکان ریزشویی برای گمانه های BH2، BH3، BH4 و مربوط به مشاور پژوهش عمران راهور انجام شد. سپس نتایج گمانه های متناظر با یکدیگر براساس شکل ۴ مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۵ نتایج بررسی پدیده ریزشویی برای گمانه BH1 مربوط به مشاور فهلیان شیراز در عمق ۱۲ متری نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۵ معلوم است بخش قابل توجهی از خاک ریزدانه موجود در محل گمانه مذکور دچار ریزشویی شده است.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۵ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH1 مشاور فهلپیان شیراز در عمق ۱۲ متری

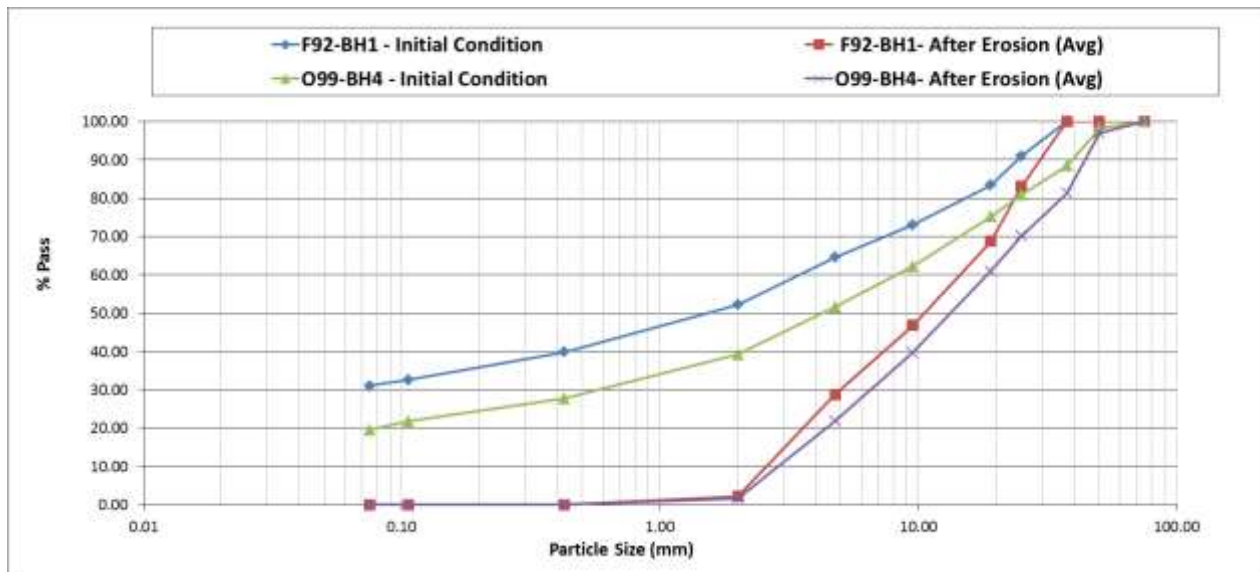
در شکل ۶ نتایج بررسی پدیده ریزشویی برای گمانه BH4 مربوط به مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۱۲ متری گمانه نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۶ معلوم است بخش خاک ریزدانه موجود در محل گمانه مذکور دچار ریزشویی شده است.



شکل ۶ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH4 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۱۲ متری گمانه

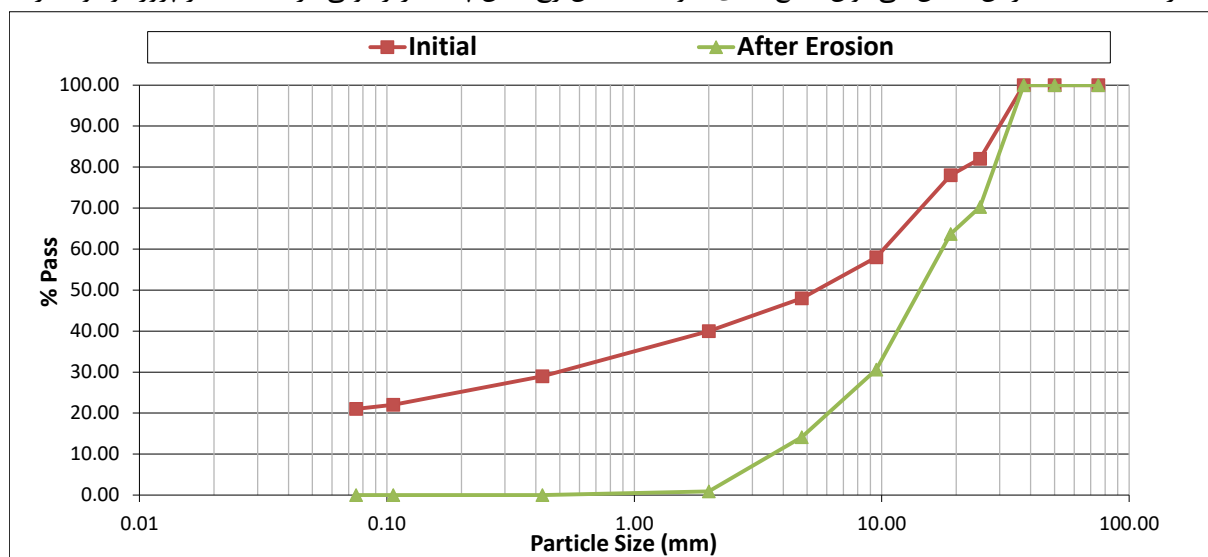
براساس شکل ۵ و شکل ۶ می توان نتایج ریزشویی مدل سازی شده برای دو گمانه BH1 مربوط به مشاور فهلپیان شیراز و BH4 مربوط به مشاور پژوهش عمران راهوار با یکدیگر مقایسه نمود. نتیجه مقایسه انجام شده در شکل ۷ برای عمق ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که از نمودار مذکور مشخص است، با پیشرفت پدیده ریزشویی نهایتاً نمودار خاک گمانه های BH1 مشاور فهلپیان شیراز و BH4 مشاور پژوهش عمران راهوار به یک نمودار رسیده است.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



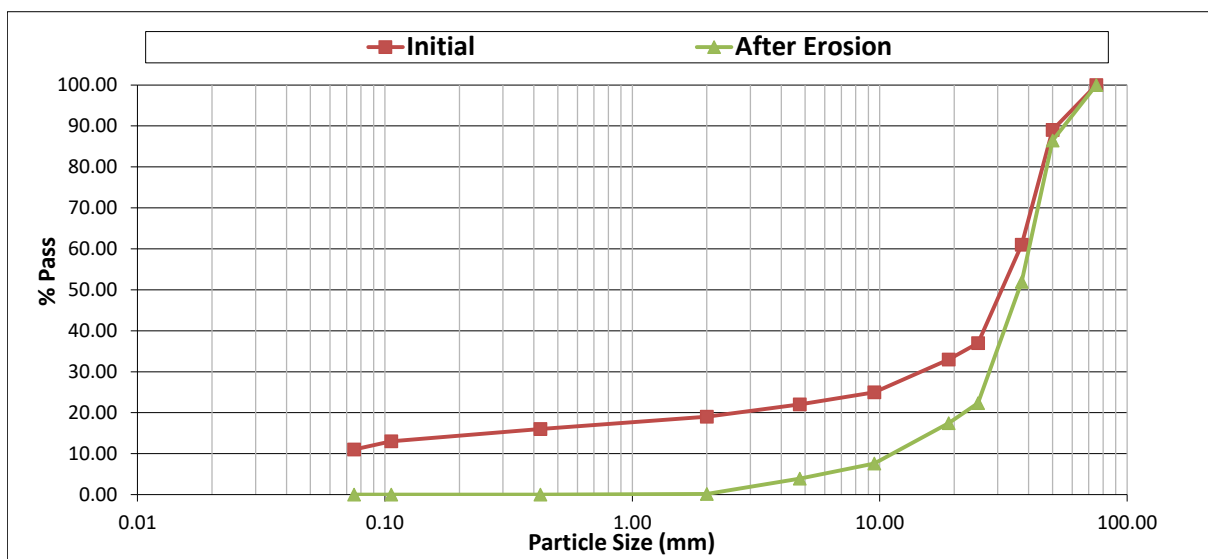
شکل ۷ مقایسه نتایج مدل سازی پدیده ریزشویی برای دو گمانه BH1 مشاور فهلیان شیراز و BH4 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۱۲ متری

بررسی های فوق برای سایر گمانه ها نیز انجام شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مهمترین گمانه های قابل بررسی با یکدیگر گمانه BH4 مشاور فهلیان شیراز با BH2 مشاور پژوهش عمران راهوار و همچنین گمانه BH2 مشاور فهلیان با BH3 مشاور پژوهش عمران راهوار است. نتایج بررسی های انجام شده برای گمانه های مذکور در شکل ۸ تا شکل ۱۳ ارائه شده است. براین اساس می توان جمع بندی نمود که امکان رخ دادن پدیده ریزشویی در خاک بستر پروژه وجود دارد.

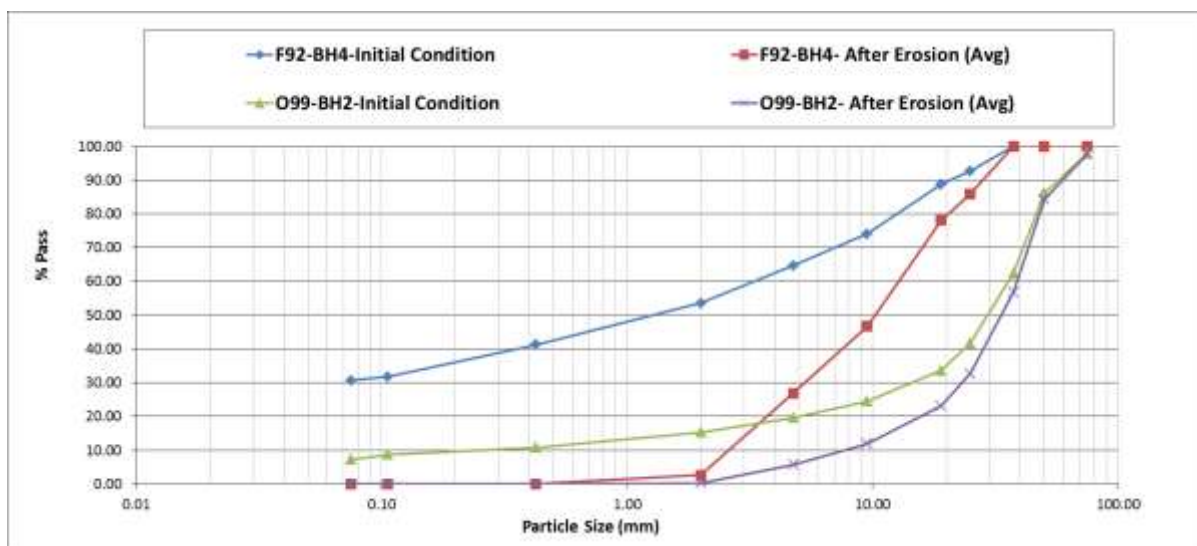


شکل ۸ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH4 مشاور فهلیان شیراز در عمق ۲۰ متری

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

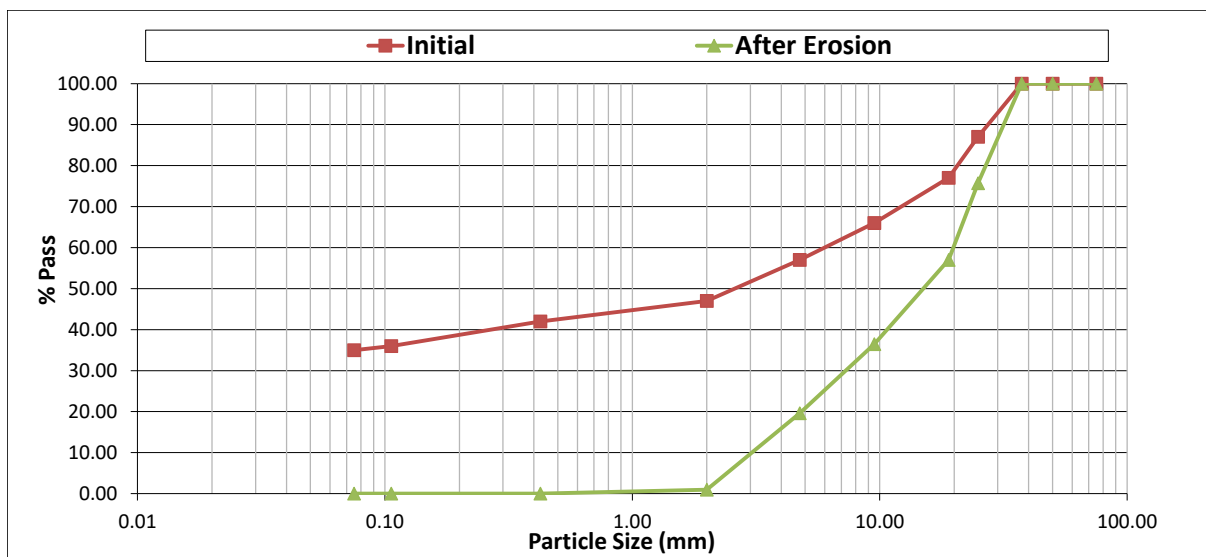


شکل ۹ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH2 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۲۰ متری

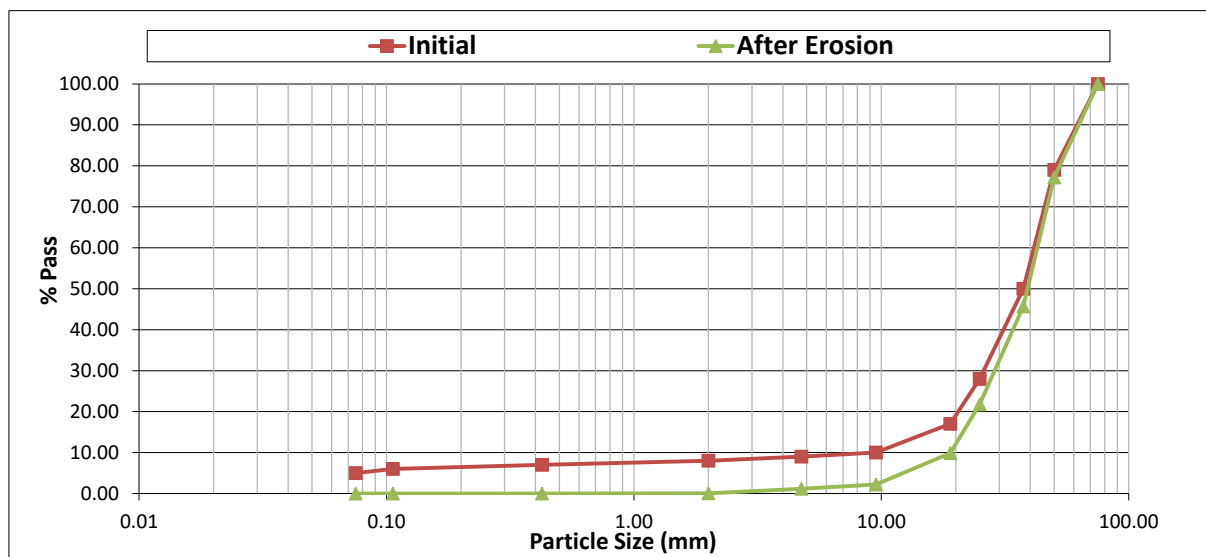


شکل ۱۰ مقایسه نتایج مدل سازی پدیده ریزشویی برای دو گمانه BH4 مشاور فهلپیان شیراز و BH2 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۲۰ متری

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

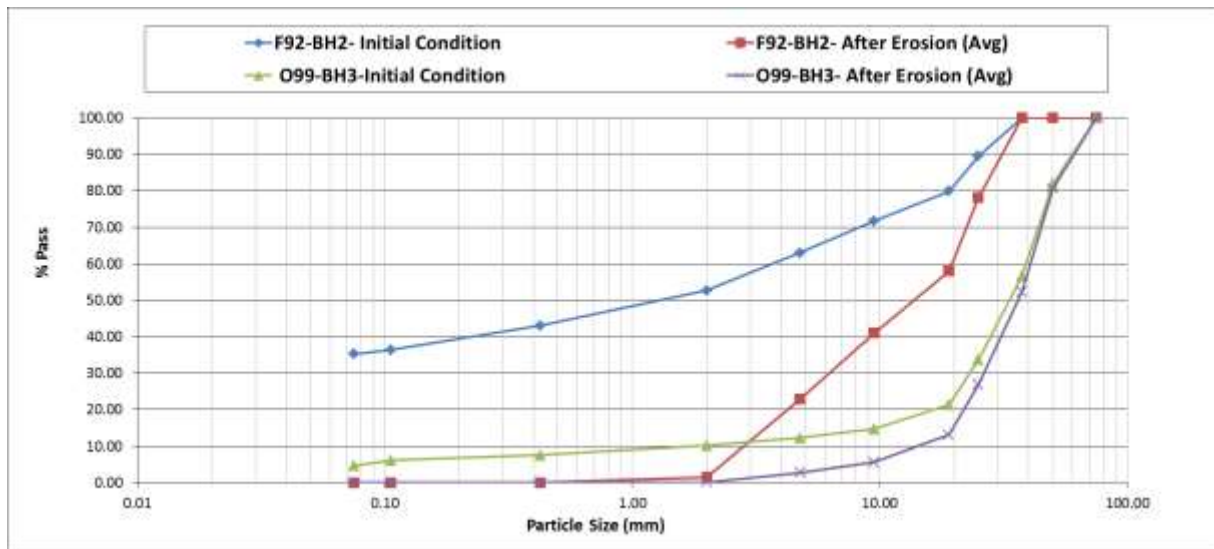


شکل ۱۱ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH2 مشاور فہلیان شیراز در عمق ۱۱ متری



شکل ۱۲ مقایسه منحنی دانه بندی خاک قبل و بعد از پدیده ریزشویی برای گمانه BH3 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۱۱ متری

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



شکل ۱۳ مقایسه نتایج مدل سازی پدیده ریزشویی برای دو گمانه BH2 مشاور فهلیان شیراز و BH3 مشاور پژوهش عمران راهوار در عمق ۱۱ متری

بررسی های فوق برای سه زوج گمانه معرفی شده در عمق های مختلف نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی های صورت گرفته نشان داد که از سال ۱۳۹۲ تا کنون بخش قابل توجهی از خاک موجود در بستر دچار ریزشویی شده است.

۴- جمع بندی

اولین و بارزترین نتیجه بررسی وضعیت دانه بندی خاک در موقعیت های سه گمانه فوق الذکر، کاهش قابل توجه افزاز ریزدانه خاک است. بررسی تغییرات نشان می دهد که به طور متوسط (در ۲۰ متر خاک) حداقل ۱۰ و حداکثر ۳۰ درصد از بخش ریزدانه خاک در طی مدت ۷ سال (۹۲ تا ۹۹) در یک موقعیت خاص، از دانه بندی حذف شده است. این نتیجه فارغ از شبیه سازی و صرفاً با مقایسه منحنی های متوسط یا موضعی خاک در عمق های مختلف مشخص است.

مقایسه نتایج احتمال آب شستگی در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ در کنار یکدیگر نشان می دهد که در ابتدا (سال ۹۲) احتمال آب شستگی به صورت متوسط تا عمق ۲۰ متری در بازه ۴۰ تا ۶۰ درصد متغییر بوده ولی در وضعیت موجود (۱۳۹۹) و تا عمق مشابه، این مقادیر به حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش یافته است. کاهش احتمال آب شستگی به میزان متوسط ۲۵٪ نشان می دهد که حدود نیمی از پتانسیل آب شستگی در طی ۷ سال گذشته بوقوع پیوسته و پیش بینی می شود که به همین میزان نیز در طی سالهای آینده بوقوع بپیوندد.

بررسی نتایج نشان می دهد که در میان موقعیت های مذکور، موقعیت شماره ۲ همچنان دارای پتانسیل بالایی برای آب شستگی است و تاکنون به شرایط دانه بندی پایدار خود نرسیده است. این نتیجه گیری حاصل از مدل سازی عددی است و نشانه های آب شستگی در گمانه های حفاری شده مشاهده نگردید.

بررسی نتایج فیزیکی موجود با مدل سازی های عددی بر پایه تئوری بازی ها نشان داد که استفاده از این روش می تواند بسیار کارآمد و موثر باشد. البته تنها تکیه بر نتایج مدل سازی عددی می تواند گمراه کننده باشد، زیرا به عنوان نمونه در موقعیت شماره ۲ مدل سازی عددی پتانسیل آب شستگی بالایی نشان می دهد در حالی که در عمل رخ نداده است. علت این موضوع می تواند فاصله نسبتاً زیاد موقعیت شماره ۲ از خط ساحلی باشد. لذا لازم است تا به صورت آگاهانه از مدل سازی های عددی استفاده گردد.



شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

مراجع

۱. سروش ع.، طباطبایی شورجه پ. و میری دیسفانی م (۱۳۸۸)، "شناسایی پدیده ریزشویی و خاک های ناپایدار داخلی" وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
۲. معروف م ع. بلوری بزاز ج. (۱۳۹۳)، "ارزیابی خاک های ناپایدار داخلی و ریزشویی در بستر سدها (مطالعه موردی سد مینادشت اسفراین)"، دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، کرمانشاه.
۳. گزارش ژئوتکنیک شرکت مهندسی مشاور پژوهش عمران راهوار (۱۴۰۰)
۴. گزارش ژئوتکنیک شرکت مهندسی مشاور فهلیان شیراز (۱۳۹۲)
5. Sherard, J. L. (1979), "Sinkholes in Dams of Coarse, Broadly Graded Soils", Proceedings, 13th International Congress on Large Dams, New Delhi, India.
6. Kenney, T. C., Lau, D. (1985), "Internal stability of granular filters", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, pp. 215-225.
7. Saleem Khan, M., Gul, M. A. and Aziz, M. (2012), "Geological aspects of seepage problem and its management at Khanpur dam project, Pakistan", Journal of Himalayan Earth Sciences, Vol. 45, No. 1, pp.77-81
8. Agha, A.M. "Seepage Control at Tarbele Dam through Upstream Blanket", Chief, Soil and Foundation Division, National Engineering Services (Pak.) Ltd. Lahore, pp.56-81.
9. Washburn, A. R. (2014). Two-person zero-sum games.