

مطالعه و ویژگی‌های ژئوتکنیکی نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر

مهدی تلخابلو*؛ استادیار گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران
سید محمود فاطمی عقدا؛ دانشیار گروه زمین‌شناسی کاربردی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران
زمان مهرگان؛ کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

با توجه به اهمیت مناطق صنعتی در اجرای پروژه‌های مهندسی، لزوم بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی در جلوگیری از رخداد‌های ناخواسته امری اجتناب‌ناپذیر است. منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی بندر ماهشهر در استان خوزستان، شهرستان ماهشهر و در مجاورت بندر امام خمینی واقع شده که از لحاظ تقسیم‌بندی رسوبی - ساختاری در زون زاگرس قرار گرفته است. در این پژوهش بر اساس نتایج آزمایش‌های شناسایی (هیدرومتری، آتربگ، دانه‌بندی)، خاک منطقه مورد نظر طبقه‌بندی شده است. همچنین، نتایج آزمایش حدود آتربگ، حد روانی و شاخص پلاستیسیته خاک‌ها نیز تعیین و تغییرات مدول الاستیسیته بر اساس نوع خاک‌ها محاسبه شده است. در تعیین نوع ساختگاه بر اساس آزمایش‌های لرزه‌ای از پارامتر سرعت متوسط موج برشی استفاده شده است. همچنین، ویژگی‌های ژئوتکنیکی نهشته‌های کواترنری منطقه و روابط بین پارامترهای مدول الاستیسیته حاصل از آزمایش‌های لرزه‌ای با عدد نفوذ استاندارد و نیز زاویه اصطکاک داخلی خاک به دست آمده از آزمایش سه‌محوری با عدد نفوذ استاندارد در محدوده بندر ماهشهر بررسی شده است. مقایسه نتایج حاصل با روابط مربوط به دیگر محققان نشان‌دهنده این است که روابط حاصل از این تحقیق مقادیر کمتری برای زاویه اصطکاک داخلی نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر به دست می‌دهد که ناشی از وجود رس در رسوبات منطقه است.

کلیدواژه‌ها: آزمایش‌های لرزه‌ای، زون زاگرس، سرعت موج برشی، عدد نفوذ استاندارد، مدول الاستیسیته.

مقدمه

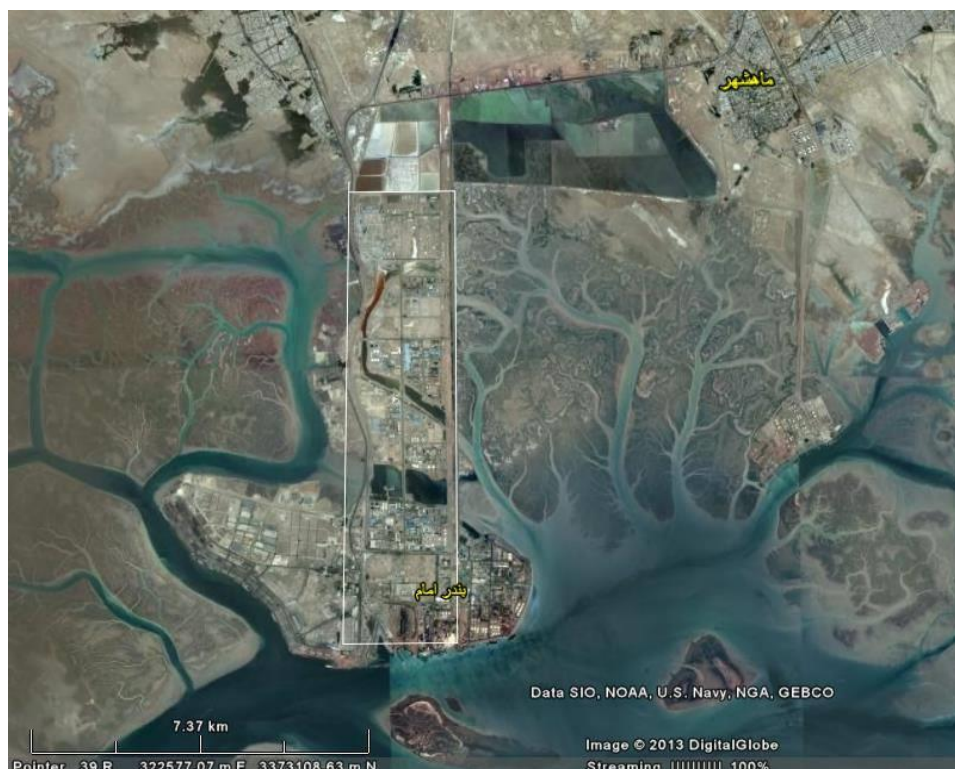
منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر به دلیل قرارگیری سازه‌های نفتی و گازی بسیار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لزوم بررسی‌های ژئوتکنیکی این منطقه، برای جلوگیری از حوادث غیرمترقبه ضروری است، زیرا باعث هزینه‌های گزاف می‌شود. انجام این بررسی‌ها برای پروژه‌های در حال اجرا و در دست مطالعه به نوعی تضمین‌کننده اجرای هر طرح و به عبارتی عاملی برای پیشگیری از هر رخداد ناخواسته مالی یا جانی است. تجربه نشان داده که در هر طرحی که این مطالعات نادیده گرفته یا ساده انگاشته شده است، خسارات مالی و افزایش مدت‌زمان اجرا و تأخیر در انجام طرح را به دنبال داشته است. از جمله بررسی‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی در مصالح خاکی در کشورمان، مطالعات ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات آبرفتی کرج است که در آن بر مبنای آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی، لایه‌های خاک طبقه‌بندی و پارامترهای ژئوتکنیکی مشخص شده است (قنبری و همکاران، ۱۳۹۰). از نمونه‌های دیگر می‌توان به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی سری بهم‌نشیر در جنوب غربی خوزستان اشاره کرد که در این بررسی خواص ژئوتکنیکی لایه رسی توصیف شده است (مرادی هرسینی و همکاران، ۲۰۰۷). در خارج از ایران نیز پیرامون بررسی‌های ژئوتکنیکی

خاک‌های مناطق مختلف بحث شده است. از جمله این موارد می‌توان به تفسیر ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات در حوضه وین در کشور اتریش اشاره کرد که ارتباط بین زمین‌شناسی رخساره‌ها با ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات بررسی شده است (هافمن و همکاران، ۲۰۰۵). در فراساحل هند نیز ویژگی‌های ژئوتکنیکی مخازن گازی در رسوبات بررسی شده است (ویتنر، ۲۰۱۱).

منطقه مطالعاتی در این پژوهش در شهرستان ماهشهر و در مجاورت بندر امام خمینی واقع شده است. بندر ماهشهر یکی از بندرهای جنوبی کشور در استان خوزستان و جزو بندرهای صنعتی کشور است. این بندر از لحاظ جغرافیایی بین ۴۹ درجه و ۰۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۰۶ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. در شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

برای محاسبه مدول الاستیسیته، علاوه بر روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی، از روش‌های تجربی نیز استفاده می‌شود. در این روش، مدول الاستیسیته از همبستگی‌های موجود و روابط تجربی بیان شده در مراجع به دست می‌آید. یانگیز و همکاران (۲۰۰۸) ارتباط میان عدد نفوذ استاندارد و ویژگی‌های صحرایی خاک را مطالعه کرده‌اند. بهپور و قهرمانی (۱۹۸۹) به بررسی روابط میان عدد نفوذ استاندارد و مدول الاستیسیته خاک‌های ریزدانه در سطح ایران پرداختند. قنبری (۱۳۸۸) بر اساس مطالعه نتایج آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی در آبرفت جنوب تهران، روابطی میان مدول الاستیسیته خاک و عدد آزمون نفوذ استاندارد ارائه کرده است. بر اساس پژوهش یادشده، میان عدد نفوذ استاندارد و مدول الاستیسیته خاک در آبرفت تهران ارتباط مناسبی وجود دارد. روابط ارائه‌شده برخی پژوهشگران برای محاسبه مدول الاستیسیته از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در جدول ۱ ارائه شده است.

محققان در تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک‌ها از طریق آزمایش نفوذ استاندارد روابط همبستگی مختلفی ارائه کرده‌اند. جدول ۲ نمونه‌ای از این روابط را نشان می‌دهد که مایرهوف (۱۹۹۶) به دست آورده است. هانت (۱۹۸۴) نیز برای محاسبه زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های غیرچسبیده جدول ۳ را ارائه کرده است. همچنین، هاتاناکا و یوچیدا (۱۹۹۶) با استفاده از نتایج آزمایش سه‌محوری تحکیم‌یافته زهکشی‌نشده و انجام‌شده روی نمونه‌های خاک، رابطه (۱) را



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای بندر ماهشهر

برای محاسبه زاویه اصطکاک داخلی به دست آوردند.

$$\varphi = \sqrt{15/4(N_{60})} + 20 \quad (1)$$

جدول ۱. روابط پژوهشگران پیشین در محاسبه مدول الاستیسیته از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد

رابطه	نوع خاک مورد مطالعه	مرجع
E=170N	خاک‌های ریزدانه چسبنده	بهپور و قهرمانی (۱۹۸۹)
E=320N+4800	ماسه رس‌دار	باولز (۱۹۹۶)
E=320N+1800	سیلت، سیلت ماسه‌دار، سیلت رس‌دار	وب (۱۹۶۹)
E=360N+1800	ماسه رس‌دار	
E=400(N1) ₆₀	سیلت و سیلت ماسه‌دار با اندکی خاک چسبنده	
E=700(N1) ₆₀	ماسه ریزدانه تا متوسط با اندکی ماسه سیلتی	آشتو (۱۹۹۶)
E=1000(N1) ₆₀	ماسه درشت‌دانه و ماسه با اندکی شن	
E=1200(N1) ₆₀	شن ماسه‌دار	
E=600(N+2D)+10000	درشت‌دانه دارای اندکی ریزدانه	مناطق ۱۰ تا ۱۴ تهران
E=700(N+2D)+2500	مخلوط درشت‌دانه و ریزدانه	مناطق ۱۵ تا ۱۷ تهران
E=350(N+2D)+3200	خاک ریزدانه	مناطق ۱۸ تا ۲۰ تهران

جدول ۲. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی و تراکم نسبی بر مبنای آزمون نفوذ استاندارد (مایر هوف، ۱۹۹۶)

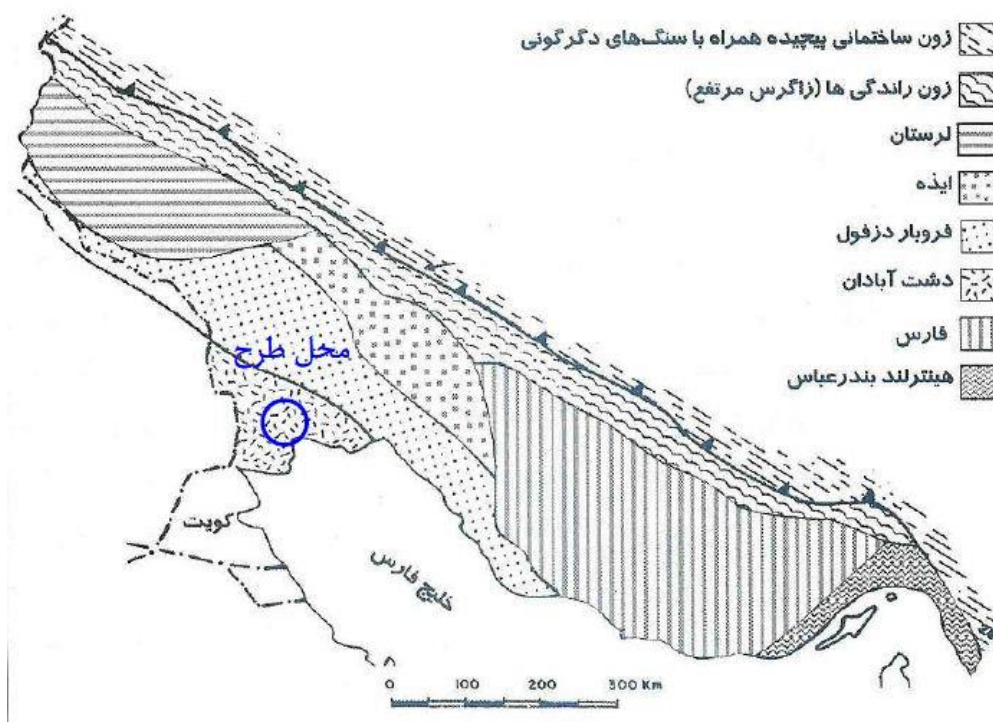
چگالی نسبی (%)	N _{spt}	زاویه اصطکاک داخلی Ø	نوع خاک
<۲۰	<۴	>۳۰	ماسه خیلی سست
۲۰-۴۰	۴-۱۰	۳۰-۳۵	ماسه سست
۴۰-۶۰	۱۰-۳۰	۳۵-۴۰	ماسه متراکم
۶۰-۸۰	۳۰-۵۰	۴۰-۴۵	ماسه سخت
>۸۰	>۵۰	>۴۵	ماسه خیلی سخت

جدول ۳. مقادیر ارائه شده برای زاویه اصطکاک داخلی و تراکم نسبی بر مبنای آزمون نفوذ استاندارد (هانت، ۱۹۸۴)

زاویه اصطکاک داخلی Ø (درجه)	N _{spt}	چگالی نسبی (%)	میزان تراکم	نوع مصالح
۴۰	۹۰	۷۵	متراکم	GW
۳۶	۵۵	۵۰	نیمه متراکم	GW
۳۲	<۲۸	۲۵	سست	GW
۳۸	۷۰	۷۵	متراکم	GP
۳۵	۵۰	۵۰	نیمه متراکم	GP
۳۲	<۲۰	۲۵	سست	GP
۷۳	۶۵	۷۵	متراکم	SW
۳۴	۳۵	۵۰	نیمه متراکم	SW
۳۰	<۱۵	۲۵	سست	SW
۳۶	۵۰	۷۵	متراکم	SP
۳۳	۳۰	۵۰	نیمه متراکم	SP
۲۹	<۱۰	۲۵	سست	SP
۳۵	۴۵	۷۵	متراکم	SM
۳۲	۲۵	۵۰	نیمه متراکم	SM
۲۹	<۸	۲۵	سست	SM
۳۳	۳۵	۷۵	متراکم	ML
۳۱	۲۰	۵۰	نیمه متراکم	ML
۲۷	<۴	۲۵	سست	ML

مواد و روش‌ها زمین‌شناسی منطقه

بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه بر اساس تقسیم‌بندی رسوبی-ساختاری عمده ایران، حاکی از قرارگرفتن محدوده مورد مطالعه در زون زاگرس است. این زون از شمال شرق به زون سندج-سیرجان و از سمت جنوب شرق به حوضه فیلیش مکران، از سمت شمال غرب به بلندی‌های شرق عراق و از جنوب شرق به ترکیه محدود می‌شود. بررسی‌های جغرافیایی دیرینه نشان می‌دهد که زاگرس چین‌خورده در همه‌جا ویژگی‌های زمین‌شناختی یکسانی ندارد و به چندین زیرپهنه تقسیم می‌شود. زیرپهنه دشت آبادان یکی از آن‌هاست که منطقه مورد مطالعه در آن واقع شده است (شکل ۲). این زون ساختاری واقع در انتهای جنوب غربی زاگرس است.

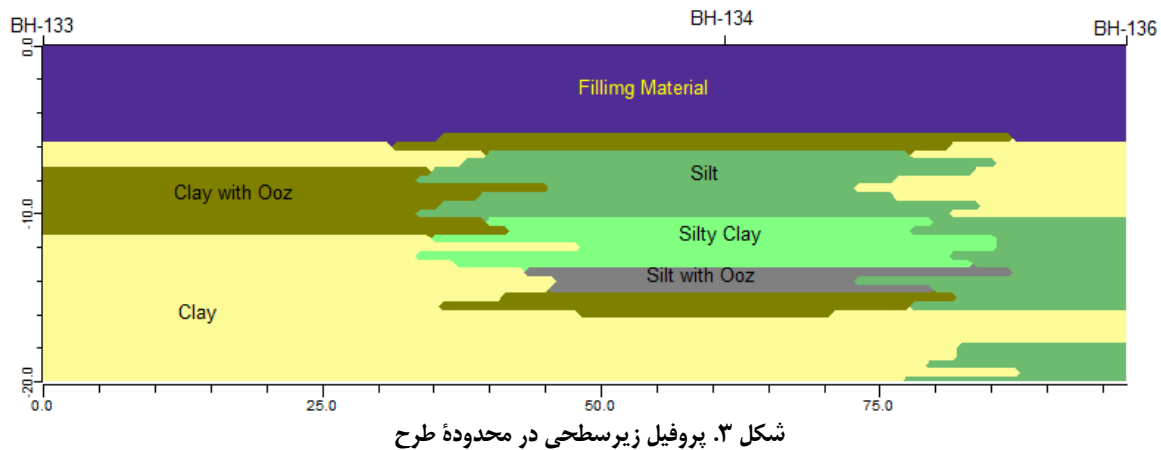


شکل ۲. زیرپهنه‌های اصلی زاگرس (آقاباتی، ۱۳۸۳)

مرز شمالی و شمال شرقی آن محدود به جبهه چین‌های زاگرس و مرز جنوبی آن خلیج فارس و عربستان است. به دلیل پوشش آبرفتی جوان و ضخیم دشت آبادان، دانسته‌های زمین‌شناختی، به نتایج حاصل از حفاری‌های نفتی و مطالعات ژئوفیزیکی محدود است. این داده‌ها نشان می‌دهد که در زیر نهشته‌های کواترنری، نهشته‌های دوران اول و دوم، در روندی شمالی- جنوبی به طور ملایم چین‌خورده است و گذر از رخساره‌های تخریبی و کم‌ضخامت دشت آبادان به رخساره‌های دریایی و ستبر زاگرس چین‌خورده تدریجی است. در این پژوهش بر اساس اطلاعات حاصل از آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی، طبقه‌بندی خاک بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد برای نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر ارائه شده است. همچنین، درباره پاره‌ای از ویژگی‌های مهندسی نهشته‌های کواترنری این ناحیه بحث شده است. باین حال، برای هر ساختگاه خاص لازم است مطالعات جداگانه‌ای در تکمیل اطلاعات صورت پذیرد. در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی محدوده طرح ارائه شده است.

روش مطالعه

به منظور مطالعه ویژگی‌های ژئوتکنیکی، نهشته‌های کواترنری محدوده مورد مطالعه از هشت حلقه گمانه ماشینی



حفاری شده به روش دورانی و به صورت مغزه‌گیری ممتد به اعماق ۱۱ تا ۲۵ متر استفاده شده است. در این هشت گمانه آزمایش‌های لرزه‌ای به روش سطح به عمق و آزمایش نفوذ استاندارد در همه گمانه‌ها انجام شده است. روی نمونه‌های به دست آمده از گمانه‌ها، افزون بر آزمون‌های معمول تعیین ویژگی‌های خاک، آزمایش تحکیم، آزمایش برش مستقیم، آزمایش تک‌محوری و آزمایش سه‌محوری انجام شد.

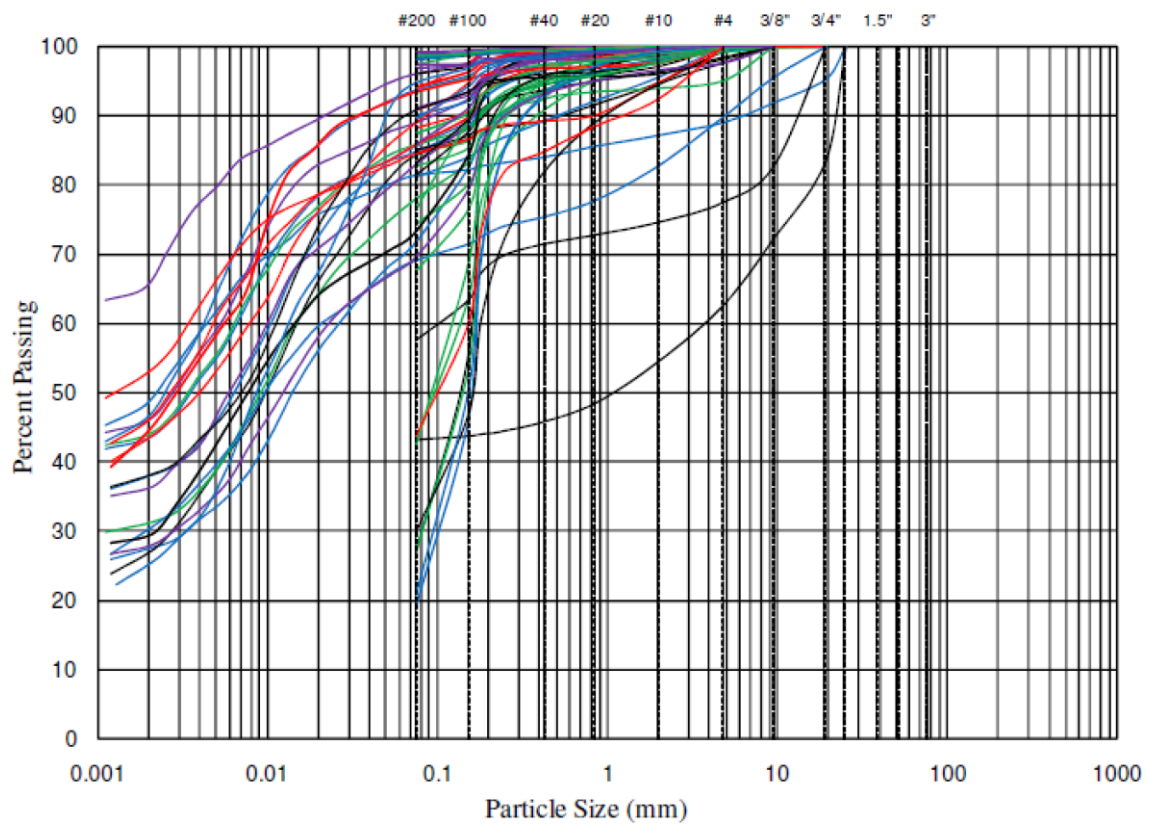
با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های شناسایی خاک (دانه‌بندی، هیدرومتری و حدود آتربرج) خاک ناحیه طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد برای تکمیل مطالعات شناسایی لایه‌های زیرسطحی، آزمایش‌های لرزه‌ای به روش سطح به عمق^۱ در گمانه‌ها انجام گرفت. بدین ترتیب که برای تعیین سرعت امواج تراکمی، چشمه لرزه‌ای موج P (ضربه قائم پتک بر ورق مخصوص) در فاصله ۲ تا ۳ متری از دهانه گمانه قرار داده شد و گیرنده امواج (ژئوفون درون چاهی) تمام عمق مفید گمانه را از سطح تا عمق مورد نظر جارو کرد. برای تعیین سرعت امواج برشی، چشمه لرزه‌ای موج S (ضربه افقی پتک بر ورق فلزی) در فاصله ۲ تا ۳ متری از دهانه گمانه قرار داده شد و گیرنده امواج (ژئوفون درون گمانه‌ای) تمام عمق مفید گمانه از سطح تا عمق مورد نظر را جارو کرد. در انتها، رابطه بین مدول الاستیسیته به دست آمده از آزمایش‌های لرزه‌ای و نتایج حاصل از آزمون نفوذ استاندارد، همچنین ارتباط بین زاویه اصطکاک داخلی حاصل از آزمایش سه‌محوری با عدد نفوذ استاندارد بررسی شد.

یافته‌های پژوهش

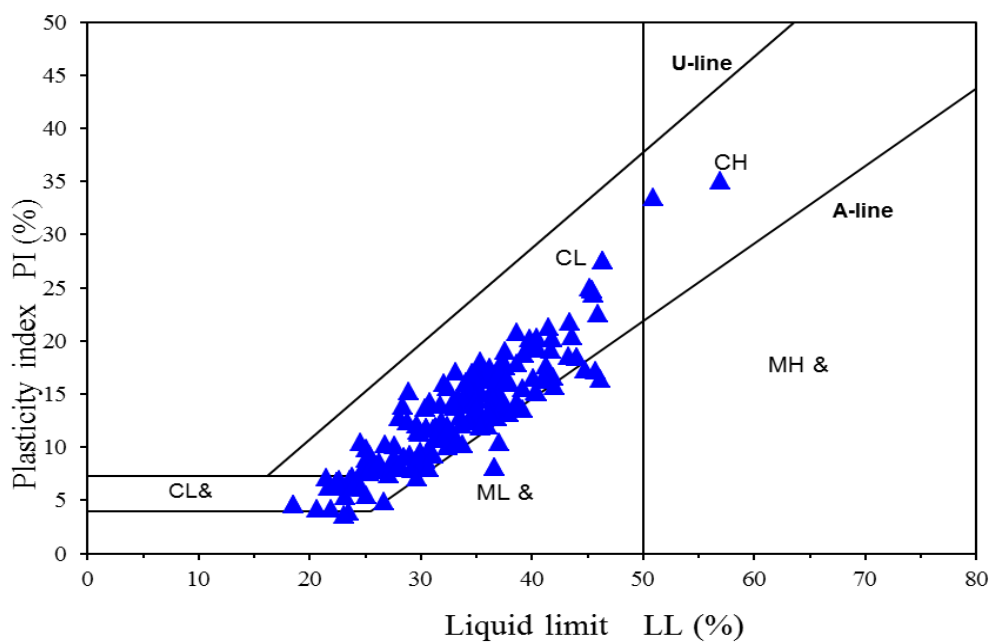
طبقه‌بندی نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر

برای طبقه‌بندی نهشته‌های کواترنری از آزمایش‌های دانه‌بندی، هیدرومتری و حدود آتربرج استفاده شده است. دامنه اندازه ذرات موجود در خاک و توزیع وزنی آن‌ها برحسب درصدی از وزن کل خشک خاک با آزمایش دانه‌بندی تعیین شد. منحنی دانه‌بندی خاک نهشته‌های کواترنری محدوده مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است. این نمونه‌ها به طور عمده شامل نمونه‌های سیلتی و رسی است که در سیستم طبقه‌بندی متحد به صورت CL، ML و SM طبقه‌بندی شده است.

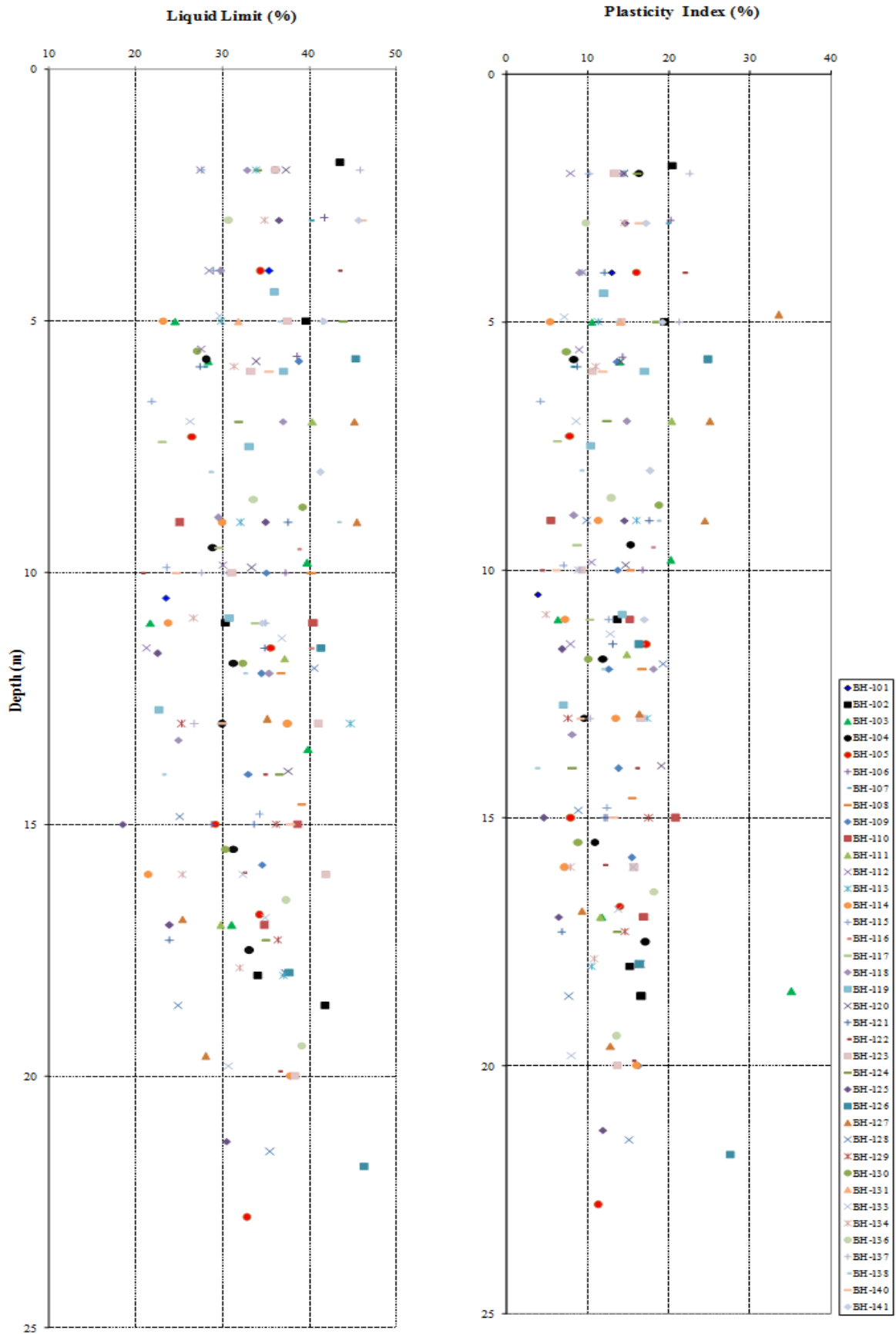
به منظور بررسی خاصیت خمیری خاک از آزمایش حدود آتربرج استفاده شد. برای تعیین حد روانی و خمیری خاک از استاندارد ASTM D4318 استفاده شد. روی تمامی نمونه‌ها آزمایش تعیین حدود آتربرج انجام شد. موقعیت نمونه‌های ریزدانه در نمودار کاساگرانده در شکل ۵ نمایش داده شده است. شکل ۶ نشان می‌دهد که حد روانی خاک‌های ریزدانه از ۲۵ تا ۴۵ درصد و شاخص پلاستیسیته آن از ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر است که اغلب در محدوده خاک‌هایی با پلاستیسیته کم تا متوسط قرار می‌گیرد.



شکل ۴. منحنی دانه‌بندی نمونه‌های خاک ناحیه مورد مطالعه



شکل ۵. حد روانی و شاخص پلاستیسیته خاک‌های منطقه در نمودار کاساگرانده



شکل ۶. تغییرات حد روانی و شاخص خمیری خاک‌های ریزدانه منطقه با عمق

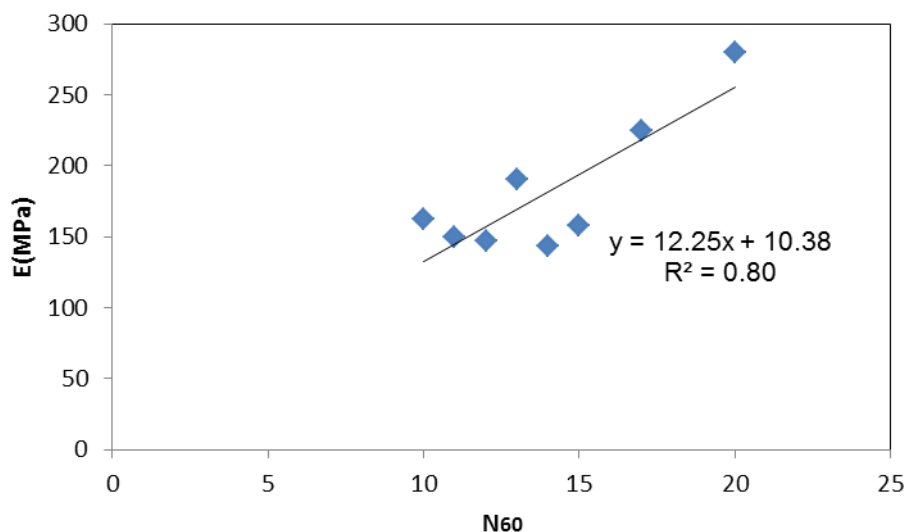
رابطه میان مدول الاستیسیته و آزمون نفوذ استاندارد در نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر مدول الاستیسیته، همچنین رابطه میان مدول الاستیسیته حاصل از نتایج آزمایش‌های لرزه‌ای و عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده در محدوده مورد نظر بررسی شده است. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعات، مقدار مدول الاستیسیته نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر حاصل از آزمایش‌های لرزه‌ای در محدوده ۱۰۰ تا ۳۵۰ مگاپاسکال تغییر می‌کند (جدول ۴).

به طور کلی، می‌توان گفت که با افزایش عمق، دانسیته لایه‌های خاک و در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای افزایش می‌یابد. در شکل ۷ ارتباط بین مدول الاستیسیته و عدد نفوذ استاندارد این قسمت از کار آمده است. رابطه یادشده در برازشی خطی با ضریب تعیین $R^2 = 0/80$ به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$E = 12/25 N_{60} + 10/38 \quad (2)$$

جدول ۴. محدوده تغییرات مدول الاستیسیته خاک‌های ناحیه مورد مطالعه

SM	ML	CL	ویژگی خاک‌ها
۲۵۰-۳۵۰	۱۶۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	محدوده مدول الاستیسیته MPa



شکل ۷. ارتباط میان مدول الاستیسیته (MPa) با عدد نفوذ استاندارد

در این پژوهش عدد نفوذ استاندارد ضریب تصحیح بر مبنای نسبت انرژی ۶۰ درصد با کمک رابطه (۳) محاسبه شده است.

$$(N_1)_{60} = N_{spt} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R \quad (3)$$

که به ترتیب، C_R ضریب تصحیح طول میله حفاری، C_S ضریب تصحیح شرایط نمونه‌گیر، C_B ضریب تصحیح قطر گمانه، C_E ضریب تصحیح نسبت انرژی چکش، C_N ضریب تصحیح فشار روباره، و N_{spt} عدد نفوذ اصلاح نشده است.

تعیین نوع ساختگاه بر اساس آزمایش‌های لرزه‌ای

در تقسیم‌بندی لایه‌های زمین با توجه به سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰ متری از آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران، موسوم به آیین‌نامه ۲۸۰۰، استفاده شده است. طبقه‌بندی زمین بر اساس این آیین‌نامه در جدول ۵ ارائه شده است (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۴). برای محاسبه سرعت متوسط موج برشی تا عمق ۳۰

متری، یعنی $V_{s(۳۰)}$ از رابطه (۴) استفاده شده است.

$$V_{s(M)} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{V_{si}}} \quad (۴)$$

که در آن T_i ضخامت لایه، V_{si} سرعت امواج برشی لایه i ام و n تعداد لایه‌هاست. مقدار سرعت متوسط موج برشی به دست آمده در همه گمانه‌ها کمتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه است. میانگین این مقادیر در جدول ۶ گزارش شده است. لذا، پیشنهاد می‌شود که نوع زمین کل محدوده طرح بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران نوع III در نظر گرفته شود.

رابطه میان زاویه اصطکاک داخلی و عدد نفوذ استاندارد در نهشته‌های منطقه مورد مطالعه

به منظور ارائه رابطه‌ای برای محاسبه زاویه اصطکاک داخلی در نهشته‌های کواترنری محدوده طرح، از نتایج به دست آمده از آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده و آزمایش نفوذ استاندارد استفاده شده است. در شکل ۸ ارتباط میان زاویه اصطکاک داخلی و عدد نفوذ استاندارد برای این بخش نشان داده شده است. رابطه یاد شده در برازشی خطی با ضریب تعیین $R^2 = ۰/۸۵$ به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود.

$$\phi = ۲/۳N_e - ۱ \quad (۵)$$

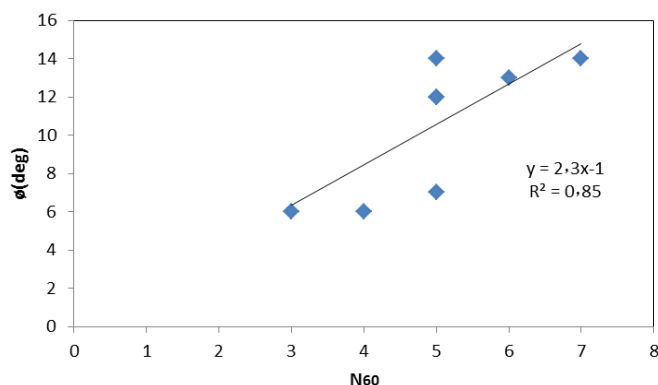
در جدول ۷ مقادیر به دست آمده برای زاویه اصطکاک داخلی، همچنین عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده مربوط به هر نوع خاک منطقه ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۷ و شکل ۸ مشاهده می‌شود که جدول هانت (۱۹۸۴) (جدول ۳) برای استفاده در نهشته‌های کواترنری بندر ماهشهر کارایی ندارد، به دلیل اینکه مقادیر مربوط به زاویه اصطکاک داخلی خیلی بالا بوده است. به نظر می‌رسد که علت اصلی این اختلاف وجود مقادیر قابل توجهی از خاک‌های رسی در رسوبات این منطقه باشد. همچنین، مقایسه رابطه (۵) حاصل از این پژوهش با رابطه (۱) مربوط به هاتاناکا و یوچیدا (۱۹۹۶) نشان می‌دهد که رابطه آن‌ها مقادیر بالاتری برای زاویه اصطکاک داخلی رسوبات بندر ماهشهر به دست می‌دهد.

جدول ۵. تقسیم‌بندی زمین از نظر لرزه‌ای بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (آیین‌نامه ۲۸۰۰)

نوع زمین	$m/sec V_{s(۳۰)}$	مواد تشکیل دهنده ساختگاه
I	۷۵۰	الف) سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس - سنگ‌های متبلور سیلیکاته) طبقات کنگلومرای
	۷۵۰-۳۷۵	ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی
II	۷۵۰-۳۷۵	الف) سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی و سنگ‌های دگرگونی متورق و به طور کلی سنگ‌هایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده است.
	۷۵۰-۳۷۵	ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیش از ۳۰ متر از روی بستر سنگی
III	۳۷۵-۱۷۵	الف) سنگ‌های متلاشی شده بر اثر هوازدگی
	۳۷۵-۱۷۵	ب) خاک‌های با تراکم متوسط، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین‌دانه‌ای و رس با سختی متوسط
IV	کمتر از ۱۷۵	الف) نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی
		ب) هر گونه پروفیل خاک شامل حداقل ۶ متر خاک رس با اندیس خمیری بیش از ۲۰ درصد و رطوبت بیش از ۴۰

جدول ۶. مقدار سرعت متوسط موج برشی هر گمانه در محدوده طرح

شماره گمانه	۱۰۲	۱۰۷	۱۰۹	۱۱۶	۱۲۰	۱۲۷	۱۳۲	۱۳۴
$m/sec V_{s(۳۰)}$	۲۱۰	۱۹۳	۱۷۶	۲۴۴	۱۶۸	۱۴۴	۱۸۳	۱۹۵



شکل ۸. ارتباط میان زاویه اصطکاک داخلی و آزمون نفوذ استاندارد در نهشته‌های منطقه

جدول ۷. مقدار زاویه اصطکاک داخلی، عدد نفوذ استاندارد و نوع خاک در هر گمانه

USCS	N ₆₀	φ (درجه)	شماره گمانه
CL	۵	۱۲	۱۰۲
ML	۳	۶	۱۰۷
CL	۵	۷	۱۰۹
CL	۶	۱۳	۱۱۶
CL	۵	۱۴	۱۲۰
CL	۷	۱۴	۱۲۷
SM	۵	۱۲	۱۳۲
ML	۴	۶	۱۳۴

نتیجه گیری

در این پژوهش بر پایه اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های حفر شده در منطقه مورد مطالعه و مشاهدات صحرایی، علاوه بر معرفی ویژگی‌های کلی نهشته‌های کواترنری منطقه، نمونه‌های به دست آمده در طبقه‌بندی یونیفاید به صورت CL، ML و SM طبقه‌بندی شد. برای تعیین مدول الاستیسیته خاک در نهشته‌های کواترنری محدوده مورد مطالعه از نتایج آزمایش‌های لرزه‌ای استفاده شده است که در گمانه‌های حفر شده در منطقه انجام شد. بر اساس این نتایج، محدوده تغییرات مدول الاستیسیته خاک‌های ناحیه مورد مطالعه در محدوده ۱۰۰ تا ۳۵۰ مگاپاسکال تغییر می‌کند. سپس، ارتباط بین مدول الاستیسیته و عدد نفوذ استاندارد در خاک‌های منطقه بررسی و رابطه‌ای برای آن ارائه شد. به طور کلی، می‌توان گفت که با افزایش عمق، دانسیته لایه‌های خاک افزایش می‌یابد، در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای افزایش یافته است. در تعیین نوع ساختگاه بر اساس آزمایش‌های لرزه‌ای از پارامتر سرعت متوسط موج برشی استفاده شد. این پارامتر در همه گمانه‌ها کمتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه است. لذا، پیشنهاد می‌شود که نوع زمین کل محدوده طرح بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران نوع III در نظر گرفته شود. در انتها، به بررسی رابطه بین زاویه اصطکاک داخلی به دست آمده از آزمایش سه محوری با عدد نفوذ استاندارد پرداخته‌ایم. رابطه (۵) مربوط به این بررسی است. مقایسه این رابطه با روابط مربوط به هاتاناکا و یوچیدا (۱۹۹۶) و جدول هانت (۱۹۸۴) نشان‌دهنده این است که رابطه محققان مذکور مقادیر بالاتری برای زاویه اصطکاک داخلی به دست می‌دهد. علت اصلی آن وجود مقادیر قابل توجهی خاک‌های رسی در رسوبات منطقه مورد مطالعه است.

منابع

- آقائاتی، س.ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
قنبری، ع. (۱۳۸۸). مطالعه مدول الاستیسیته خاک در آبرفت جنوب تهران، مجله علوم زمین، ۷۱.

قنبری، ع.؛ زرنگ زاده، س.ص.؛ رضایی، ف. و شیخ زکریایی، س.ج. (۱۳۹۰). مطالعه ویژگی های ژئوتکنیکی رسوبات آبرفتی کرج، مجله علوم زمین، ۸۱.

گزارش مطالعات ژئوتکنیکی بنادر ماهشهر و امام خمینی (ره)، شرکت مهندسی مشاور پژوهش عمران راهوار. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۴). آیین نامه ۲۸۰۰، ویرایش سوم.

- AASHTO, (1996). Standard Specifications for Highway Bridges, 16th Edition. Washington, D.C.
- Aghanabati, S.A., (2004). Iran geology, Geological survey of Iran. [in Persian]
- Behpoor, L. and Ghahramani, A. (1989). Correlation of SPT to strength and modulus of elasticity of cohesive soils. 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ISSMFE, Rio do Janeiro, Brazil.
- Ghanbari, A. (2009). Study of the elasticity modulus in the alluvium on south of Tehran, Journal of Earth science, No. 7. [in Persian]
- Ghanbari, A.; Zerangzadeh, S.; Rezaei, F. and Sheikhzakariaei, J. (2011). Study geotechnical properties of Karaj alluvial deposits, Journal of Earth science, No.81. [in Persian]
- Hatanaka, M. and uchida, A. (1996). Empirical correlation between penetration resistance and effective friction of sandy soil. Soils & Foundations, Japanese Geotechnical Society, 36 (4): 1-9.
- Hofmann, T.; Pfliederer, S. and Auer, J. (2005). Geological interpretation of geotechnical properties of sediments in the Vienna basin. European Geosciences Union.
- Hunt, R.E. (1984). Geotechnical Engineering Investigation Manual. McGraw-Hill, New York, NY.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2005). Regulations 2800, 3rd Ed. [in Persian]
- Meyerhof, G.G. (1996). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless of the soil mechanics and foundation division. ASCE, 82(SM1), January: 1-19.
- Moradi harsini, K.; Khamehchian, M.; Hafezimoghadas, N. and Amini, A. (2007). Geotechnical properties of Bahmanshir series, Southwest Kuzestan, Iran. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A, 31(A1).
- Winters, W.J. (2011). Physical and geotechnical properties of gas-hydratebearing sediment from offshore India and the Northern Cascadia margin compared to other hyd rate reservoirs. Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2011), Edinburgh, Scotland, United Kingdom.
- Yagiz, S.; Akyol, E. and Sen, G. (2008). Relationship between the standard penetration test and the pressuremeter test on sandy silty clays: a case study from Denizli. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67(3).