«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال اول ، شماره۲ ، زمستان۱۳۹۹ ، صفحه ۱ الی ۱۰

علمی– تخصصی

صحت‌سنجی نتایج پارامترهای مقاومتی خاک مصلی امام خمینی(ره) تهران

محسن نصیری[۱]

کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه گیلان

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳)

چکیده

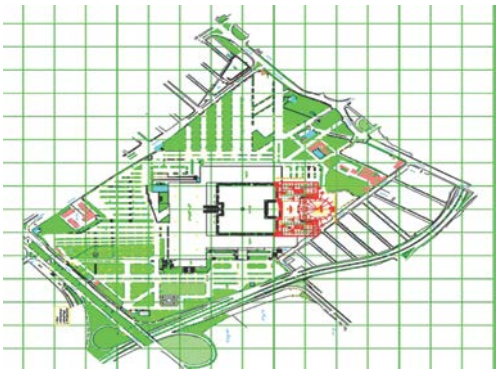
امروزه مطالعات ژئوتکنیکی شامل آزمایش‌های درجا و تست‌های آزمایشگاهی از جمله مهم‌ترین مراحل طراحی سازه‌ها هستند. بروز خسارات و خرابی‌های سازه‌ای به دلیل نشست، ترک ها، روانگرایی، بالازدگی، گسیختگی خاک، لغزش و گسترش جانبی در لایه خاک زیرین، مطالعات ژئوتکنیکی را به یکی از مهم‌ترین مراحل در طراحی هر سازه تبدیل کرده است. از طرف دیگر در بیشتر موارد، این آزمایش‌ها پرهزینه و زمان بر هستند که برای کارفرما و سازندگان نامطلوب می‌باشند. به‌منظور کاهش هزینه‌های موجود، تحقیقاتی برای استخراج پارامترهای خاک از برخی آزمایش‌های بنیادی صورت پذیرفته است. مصلی امام خمینی تهران یکی از مهم‌ترین پروژه‌های ایران است که دارای مجموعه ای ارزشمند از آزمایش‌های خاک است. هدف از این تحقیق صحت سنجی این روابط تجربی، با داده‌های موجود آزمایش‌های درجا شامل تست نفوذ استاندارد (SPT)، آزمایش برش مستقیم درجا و تست‌های آزمایشگاهی شامل طبقه بندی خاک، برش مستقیم و آزمایش سه محوری و ایجاد اصلاحات لازم برای خاک‌های خاص در صورت نیاز است. مقایسه بین روابط، نمودارها، جدول های ارائه شده و آزمایش‌های قبلی در مطالعه و آزمایش‌های حاضر نشان می‌دهد تطابق و همبستگی مناسبی بین نتایج وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: مصلی امام خمینی تهران، مطالعات ژئوتکنیک، آزمایش‌های درجا، تست‌های آزمایشگاهی، صحت سنجی

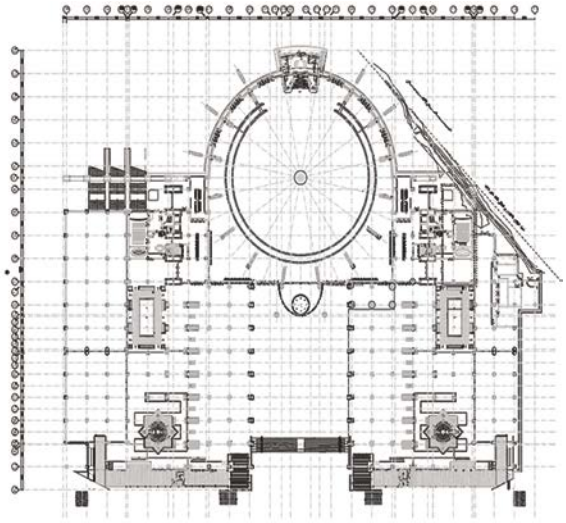
۱. مقدمه

مصلی امام خمینی(ره) مجموعه‌ای سیاسی عبادی واقع در منطقه ۷ تهران است.

پس از ساخت و بهره برداری قسمت شمالی این مجموعه، کار ساخت ایوان مرکزی مصلی از سال ۱۳۹۱ آغاز شد. شکل(۱) محل انجام پروژه را نشان می‌دهد.



شکل(۱). سایت پلان محل احداث پروژه



شکل(۲). پلان ایوان مرکزی مصلی امام خمینی (ره)

شکل(۲) پلان ایوان مرکزی مصلی امام خمینی(ره) را نشان می‌دهد.

[۱] نویسنده پاسخگو: mohsennasiri.civileng@yahoo.com

از لحاظ زمین‌شناسی صفحه ایران بر اساس فعالیت‌های تکتونیکی، تحولات حوضه‌های رسوبی، سن واحدهای مختلف و نیز فعالیت‌های ماگمایی و دگرگونی به چندین پهنه تقسیم شده است. بر اساس تقسیم‌بندی نبوی، شهر تهران در زون البرز - آذربایجان قرار می‌گیرد.

رسوبات آبرفتی تشکیل دهنده شهر تهران به چهار سری B،A C، و D تقسیم شده‌اند، که محدوده مصلی امام‌خمینی(ره) بر روی رسوبات سری A قرار گرفته است که در محل غالباً لایه‌های ضخیم شن و ماسه نسبتاً سیمانی شده با ماتریکس ریزدانه است[۱].

با توجه به اهمیت سازه ایوان مرکزی پروژه مصلی امام خمینی(ره)، شناخت پارامترهای مقاومتی و رفتاری خاک و اندرکنش آن با سازه محل احداث پروژه بسیار ضروری بوده و از اهمیت بالایی برخوردار است. عدم شناخت کافی از خاک زیر پی در سازه‌ها باعث ایجاد مخاطراتی مانند نشست غیر مجاز و نامتقارن سازه، گسیختگی پی، ایجاد ترک و... می‌شود. از این رو آیین نامه‌های معتبر جهانی با انجام مراحل آزمایش‌های استاتیکی و دینامیکی و مدل‌سازی آزمایشگاهی و مدل‌های پیشرفته عددی تلاش نموده‌اند که رفتار خاک را پیش بینی کرده و طراحی‌های دقیق‌تری ارائه نمایند.

در عین حال مراجع و مراکز معتبر تحقیقاتی در سطح جهان به‌منظور ساده سازی در طراحی‌ها و تدقیق و صحت‌سنجی بین نتایج آزمایش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی، به بررسی و یافتن رابطه بین نتایج آزمایش‌های ژئوتکنیک می‌پردازند.

در این مطالعه به رابطه و صحت‌سنجی بین نتایج انواع تست‌های در محل مانند نفوذ استاندارد SPT، آزمایش برش مستقیم درجا و تست‌های آزمایشگاهی مانند طبقه‌بندی خاک، برش مستقیم و سه محوری بزرگ مقیاس (CD) که در سایت محل احداث ایوان مرکزی ایوان صورت پذیرفته، پرداخته می‌شود.

پیش از مطالعات ژئوتکنیک حاضر، مطالعات اولیه ژئوتکنیک کل سایت پروژه مصلی در سال های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ صورت پذیرفته بود. در مطالعات انجام گرفته در سال ۸۴ شامل ۱۶ گمانه ماشینی و ۳ چاهک دستی بوده است. در مطالعات انجام شده در سال ۸۸ تعداد ۲ گمانه ۳۰ متری و ۶ چاهک ۵ تا ۱۰ متری حفر شده است. از بین گمانه‌های حفر شده در مطالعات پیشین ۳ گمانه در مجاورت محدوده مطالعه حاضر قرار گرفته اند. محدوده ۳ گمانه مذکور در شکل(۳) نشان داده شده است[۱].

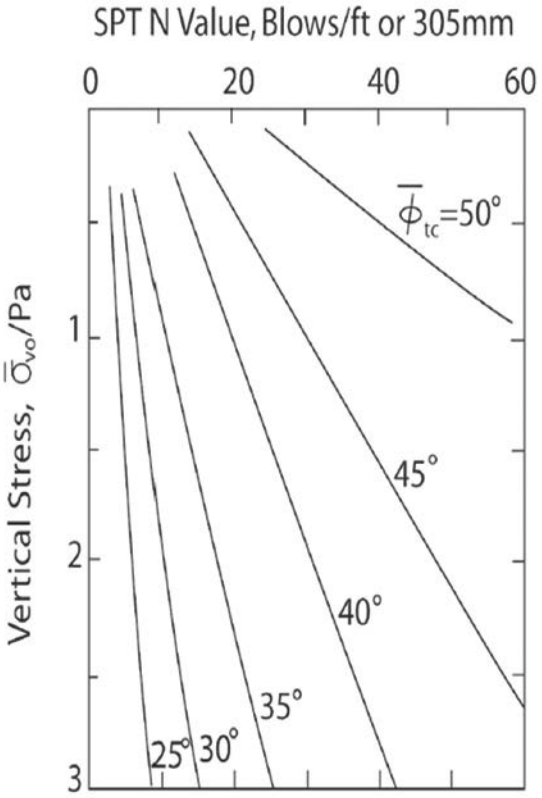
مطالعات پیشین، لاگ زمین شناسی گمانه‌های ذکر شده لایه‌های زمین را بصورت تناوب رسوبات شن و ماسه ای با مقادیر متفاوت قلوه سنگ و قطعه سنگ معرفی کرده است[۱] .

در این مطالعات آزمایش‌های نظیر SPT، برش مستقیم درجا، برش مستقیم آزمایشگاهی، دانه‌بندی و... صورت پذیرفته است.

Hatanaka و Uchida (۱۹۹۶) معادله (۱) را برای رابطه بین زاویه اصطکاک داخلی خاک و عدد آزمایش SPT ارائه دادند. بر اساس این رابطه می‌توان حدود تقریبی زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های دانه‌ای را از مقدار عدد SPT یافت[۶].

$$\varphi=(15.4(N_1)_{60})^{0.5}+20^\circ \qquad (1)$$

Mello (۱۹۷۱) بر اساس نتایج آزمایشگاهی Gibbs و Holtz (۱۹۵۷)، نموداری را برای تخمین زاویه اصطکاک داخلی خاک بر مبنای عدد آزمایش SPT طبق شکل(۴) ارائه دادند. بر اساس این نمودار می‌توان حدود تقریبی زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های دانه‌ای را از مقدار عدد SPT یافت[۶].



شکل (۳). محدوده ۳ گمانه مطالعات پیشین در مجاورت محدوده مطالعه حاضر

Medzvieckas و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تفاوت نتایج آزمایش سه محوری و برش مستقیم در خاک ماسه‌ای پرداختند. آن‌ها دریافتند زاویه اصطکاک داخلی خاک در آزمایش سه محوری حدود ۲٫۳۶ درجه کمتر از این مقدار در آزمایش برش مستقیم است [۷].

از طرف دیگر Castellanos و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تفاوت نتایج تفاوت نتایج آزمایش سه محوری و برش مستقیم در خاک رس لای دار پرداختند. آن‌ها دریافتند زاویه اصطکاک داخلی خاک در آزمایش سه محوری حدود ۲ تا ۵ درجه بیشتر از این مقدار در آزمایش برش مستقیم است. [۸].

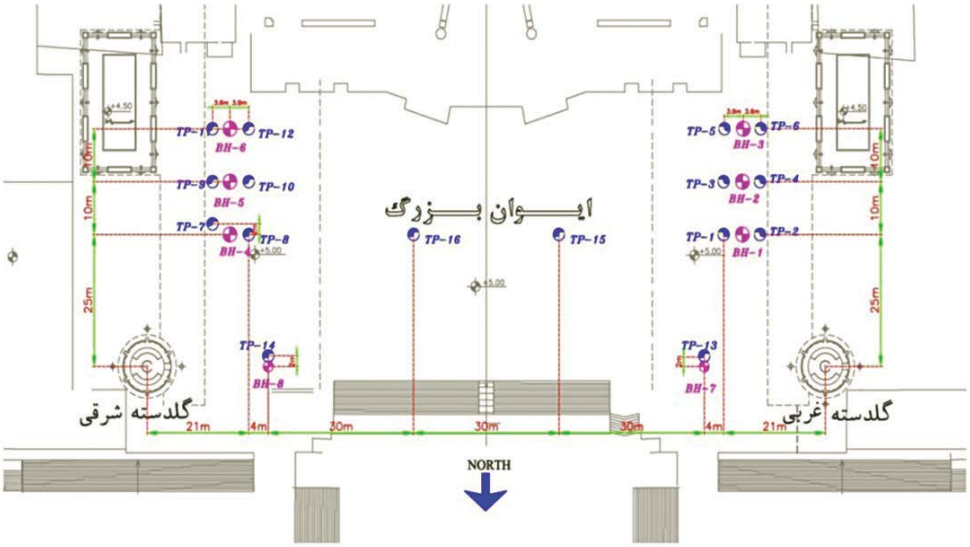
Das ،M Braja نیز ارتباط تقریبی بین عدد SPT و زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای را به‌صورت جدول(۱) بیان کرده است [۴].

جدول(۱). ارتباط تقریبی بین عدد SPT و زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای (Das ،M Braja)

زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	عدد نفوذ استاندارد
۳۰-۲۶	۵-۰
۳۵-۲۸	۱۰-۵
۴۲-۳۵	۳۰-۱۰
۴۶-۳۸	۵۰-۳۰

۲. روش تحقیق

در این قسمت تست‌های انجام شده روی خاک محل بحث و نتایج این آزمایش‌ها ارائه شده اند.



شکل (۵). محل قرارگیری چاهک‌ها و گمانه‌های حفاری شده

۲-۲. آزمایش دانه‌بندی

جهت تعیین لایه‌بندی لایه‌های بستر از نتایج آزمایش‌های طبقه بندی خاک استفاده شده است. شکل(۶) نمونه‌ای از دانه‌بندی خاک سایت مورد نظر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است سایر نمونه‌های دانه‌بندی نیز در همین محدوده قرار دارد. همچنین فراوانی انواع طبقه‌بندی خاک در شکل(۷) ارائه شده است[۱] و[۲].

۲-۱.تست‌های در محل (صحرایی)

گمانه‌زنی به‌منظور دستیابی به پارامترهای مهندسی مصالح زیرسطحی ۸ گمانه به عمق‌های ۶۰ تا ۸۰ متر و ۱۶ چاهک دستی به عمق ۱۵ تا ۴۱ متر اجرا گردید. عملیات حفاری گمانه‌ها با استفاده از سه دستگاه OGB,۴۵۶DB و بنز ۹۱۱ به روش مغزه‌گیری ممتد انجام شد. حفاری چاهک‌های دستی تا عمق حداکثر ۳ متری با استفاده از دست و بعد از آن با توجه به وجود قطعات سنگ و سخت بودن مصالح با استفاده از کمپروسور و چکش بادی انجام گردید. محل قرارگیری چاهک‌ها و گمانه‌ها در شکل(۵) نشان داده شده است[۱].

با توجه به تست‌های دانه‌بندی صورت گرفته می‌توان به‌طور کلی محدوده مورد مطالعه را به‌صورت یک لایه از خاک دشت دانه از نوع شن خوب دانه‌بندی شده همراه با سیلت و رس در نظرگرفت [۱].

۲-۳. تست نفوذ استاندارد (SPT)

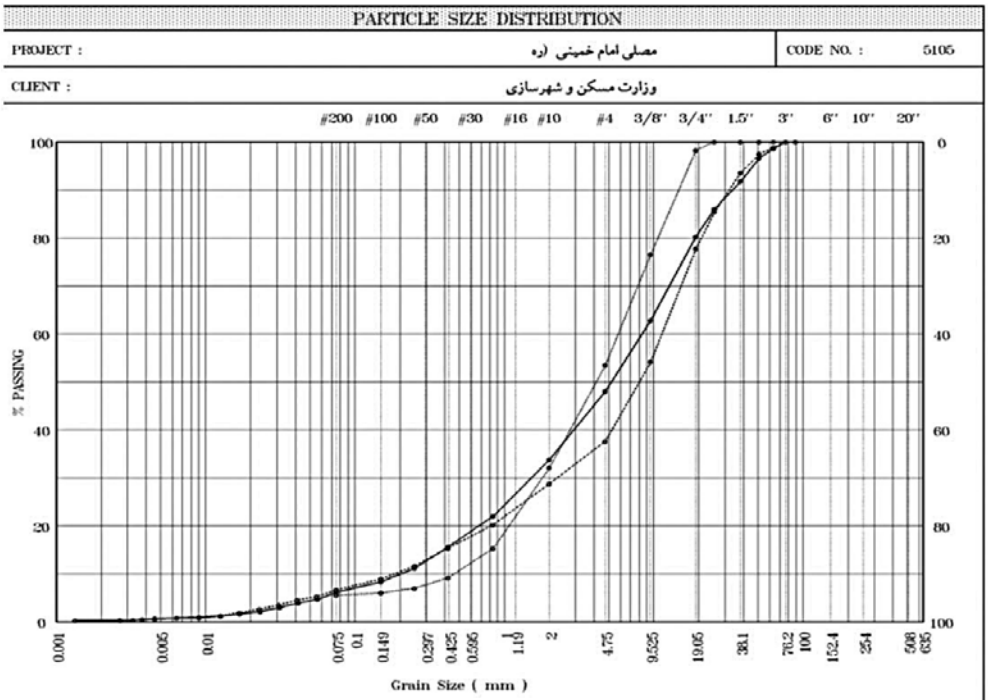
آزمایش نفوذ استاندارد، بر طبق استاندارد (D۱۵۸۶ ASTM) مقاومت خاک کف گمانه را در مقابل نفوذ یک نمونه‌گیر فولادی به شکل استوانه تعیین نموده و نمونه دست خورده برای شناسایی

خاک فراهم می‌سازد. مقاومت نفوذ را می‌توان به خصوصیات و تغییرات آن را ارتباط داد [۱] و [۲].

مهم‌ترین دلایل استفاده از این آزمایش، سهولت انجام، هزینه کم، رایج بودن آزمایش در کشورهای مختلف، بی نیازی به دستگاه‌های پیچیده و ارتباط گسترده پارامترهای ژئوتکنیکی با مقاومت نفوذ N است.

قابل ذکر است هنگامی که تعداد ضربات در هر ۱۵ سانتی‌متر نفوذ SPT اگر از ۵۰ ضربه بیشتر باشد یا اگر با ۱۰ ضربه متوالی نفوذی صورت نگیرد یا ۱۰۰ ضربه قبل از رسیدن به ۴۵ سانتی‌متر نفوذ بدست آید، تست متوقف می‌شود[۴].

جدول(۲) نتایج تست نفوذ استاندارد گمانه شماره ۱ را نشان می‌دهد. نتایج سایر گمانه‌ها نیز حدودا با نتایج این گمانه یکسان می‌باشد.

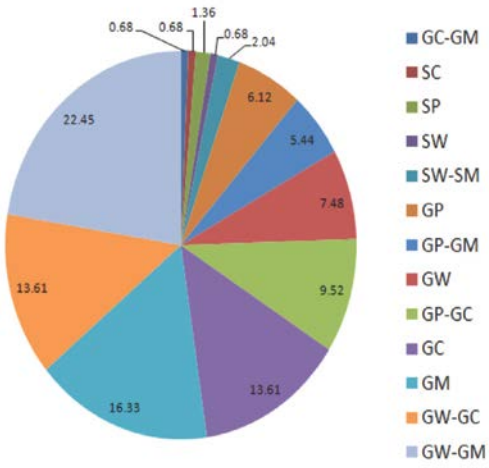


	CLAY	SILT	SAND			GRAVEL	COBBLE_BOULDER
			FINE	MEDIUM	COARSE		
——	0.66%	5.51 %	(41.91) 9.46%	18.20%	14.25%	51.92 %	0.00 %
------	5.57 %		(47.91) 3.61%	22.96%	21.34%	46.51 %	0.01 %
.....	0.71%	5.93 %	(30.97) 8.71%	13.37%	8.88%	62.39 %	0.00 %

Symbol	BH/TP No.	Sample No.	Depth (m)	U.S.C.S	LL	PI	Cc	Cu	D50	D60	D30	D10
——	TP-1	-	2.00-3.00	GW-GM	NL	NP	1.36	>=4	5.2033	8.3609	1.5136	0.2019
------	TP-1	-	3.00-3.00	SW-SM	NL	NP	1.20	>=6	4.1237	5.7840	1.7915	0.4611
.....	TP-1	-	5.00-6.00	GW-GM	NL	NP	2.49	>=4	8.0043	11.3183	2.2349	0.1823

——	Well-graded GRAVEL with silt and sand
------	Well_graded SAND with silt and gravel
.....	Well-graded GRAVEL with silt and sand

شکل (۶). نمونه‌ای از دانه‌بندی خاک مصلی امام خمینی



شکل (۷). فراوانی انواع طبقه بندی خاک در سایت محل احداث

جدول (۲). نتایج تست نفوذ استاندارد گمانه شماره ۱ (BH۱)

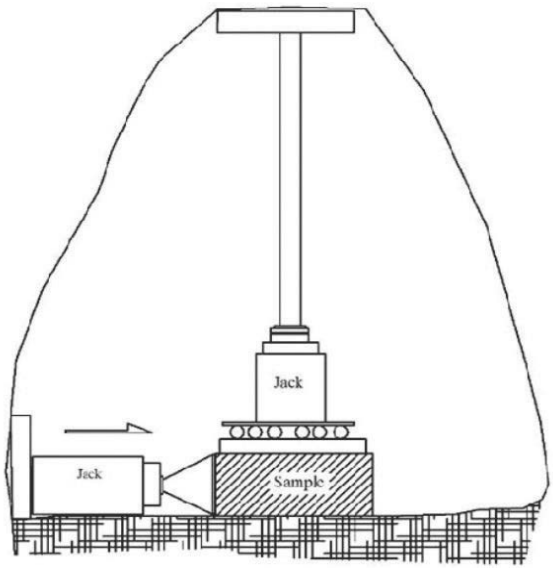
عمق (m)	N1	عمق نفوذ (cm)	N2	عمق نفوذ (cm)	N3	عمق نفوذ (cm)	عمق (m)	N۱	عمق نفوذ (cm)	N۲	عمق نفوذ (cm)	N۳	عمق نفوذ (cm)
۴٫۵	۱۰۰	۱۳	۰	۰	۰	۰	۳۶	۶۷	۱۰	۰	۰	۰	۰
۸٫۵	۷۴	۷	۰	۰	۰	۰	۳۷٫۵	۶۷	۶	۰	۰	۰	۰
۱۰	۴۴	۱۵	۵۵	۱۰	۰	۰	۳۹	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰
۱۲	۹۰	۱۱	۰	۰	۰	۰	۴۰٫۵	۶۷	۱۱	۰	۰	۰	۰
۱۳٫۵	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰	۴۲	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰
۱۵	۵۲	۱۵	۶۳	۳	۰	۰	۴۳٫۵	۶۷	۵	۰	۰	۰	۰
۱۶٫۵	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰	۴۵	۶۷	۷	۰	۰	۰	۰
۱۸	۲۴	۱۵	۳۳	۱۵	۵۳	۱۵	۴۶٫۵	۶۷	۱۲	۰	۰	۰	۰
۱۹٫۵	۶۷	۷	۰	۰	۰	۰	۴۸	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰
۲۱	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰	۴۹٫۵	۶۷	۷	۰	۰	۰	۰
۲۲٫۵	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰	۵۱	۶۷	۵	۰	۰	۰	۰
۲۴	۶۷	۵	۰	۰	۰	۰	۵۲٫۵	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰
۲۵	۶۷	۱۰	۰	۰	۰	۰	۵۴	۶۷	۵	۰	۰	۰	۰
۲۷	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰	۵۵٫۵	۶۷	۷	۰	۰	۰	۰
۲۸٫۵	۶۷	۶	۰	۰	۰	۰	۵۷	۶۷	۶	۰	۰	۰	۰
۳۰	۶۷	۳	۰	۰	۰	۰	۵۸٫۵	۶۷	۴	۰	۰	۰	۰
۳۱٫۵	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰	۶۰	۶۷	۹	۰	۰	۰	۰
۳۳	۶۷	۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳۴٫۵	۶۷	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

شکل (۸). نمایی از محل انجام پروژه

با توجه به مقادیر جدول(۲) و در نظر گرفتن جداول(۳) و (۴)، می‌توان خاک محدوده احداث ایوان مرکزی مصلی امام خمینی (ره) متراکم توصیف می‌شود[۵].

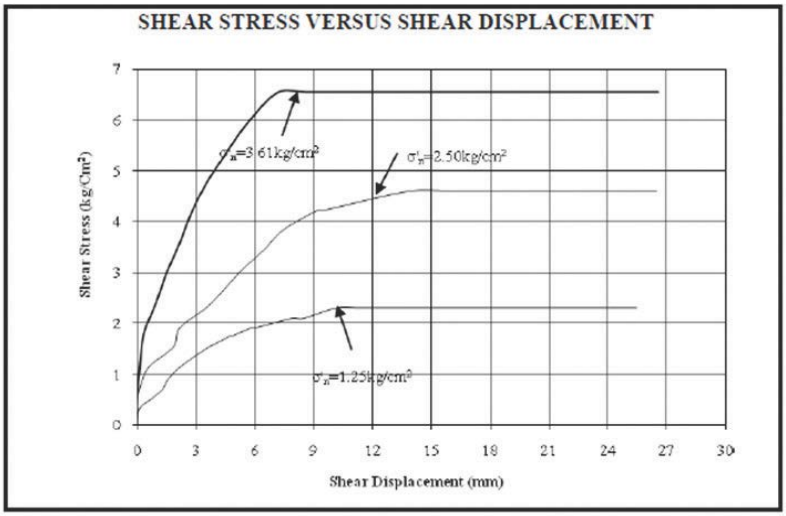
۲-۴. آزمایش برش مستقیم درجا

در آزمایش برش مستقیم درجا، یک نمونه در محل آماده شده و آزمایش بصورت درجا و با استفاده از یک سیستم تنش، مشابه با آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی انجام می‌پذیرد. این آزمایش به‌منظور دستیابی به پارامترهای مقاومت برشی خاک نظیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک انجام می‌شود. ابعاد نمونه آزمایش ۲۰×۶۰×۶۰ سانتی‌متر بوده و خاک قرار گرفته درون قالب، بوسیله جک قائم تحت بارگذاری قرار گرفته و تحت بار اعمال شده تحکیم می شود. در ادامه نیروی افقی لازم برای برش نمونه بصورت پله ای به قالب وارد می شود تا در نهایت نمونه درون قالب از محل صفحه زیر آن بریده شود. شکل(۹) به‌طور شماتیک استقرار سیستم آزمایش برش مستقیم درجا در گالری را نشان می‌دهد[۱] و [۲].



شکل (۹). شکل شماتیک از استقرار سیستم آزمایش برش مستقیم درجا در گالری

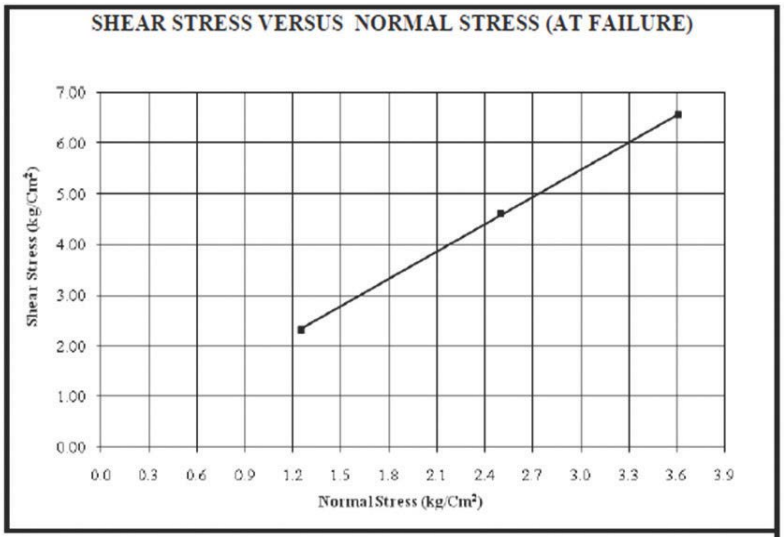
شکل(۱۰) نمونه‌ای از نتایج آزمایش برش مستقیم درجا در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی را نشان می‌دهد. سایر نمونه‌ها به‌طور حدودی مطابقت مناسبی با این نتایج دارد.



TEST RESULTS

Normal Stress, σ'_n (kg/cm²)	Peak Shear Stress, τ (kg/cm²)	Residual Shear Stress, τ_r (kg/cm²)
1.25	2.31	
2.50	4.60	
3.61	6.55	

الف)



"MOHR- COULOMB" SHEAR STRENGTH PARAMETERS

ULTIMATE STRENGTH		RESIDUAL STRENGTH	
Cohesion, c' (kg/cm²)	Angle of internal friction, φ' (degree)	Cohesion, c_r (kg/cm²)	Angle of internal friction, ϕ_r (degree)
0.08	60.9		

ب)

شکل(۱۰) نمونه‌ای از نتایج آزمایش برش مستقیم درجا در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی الف- نمودار تنش برشی- جابه جایی ب- نمودار تنش برشی- تنش نرمال همچنین جدول(۵) نتایج آزمایش برش مستقیم درجا را نشان می‌دهد.

جدول (۵). نتایج آزمایش برش مستقیم درجا

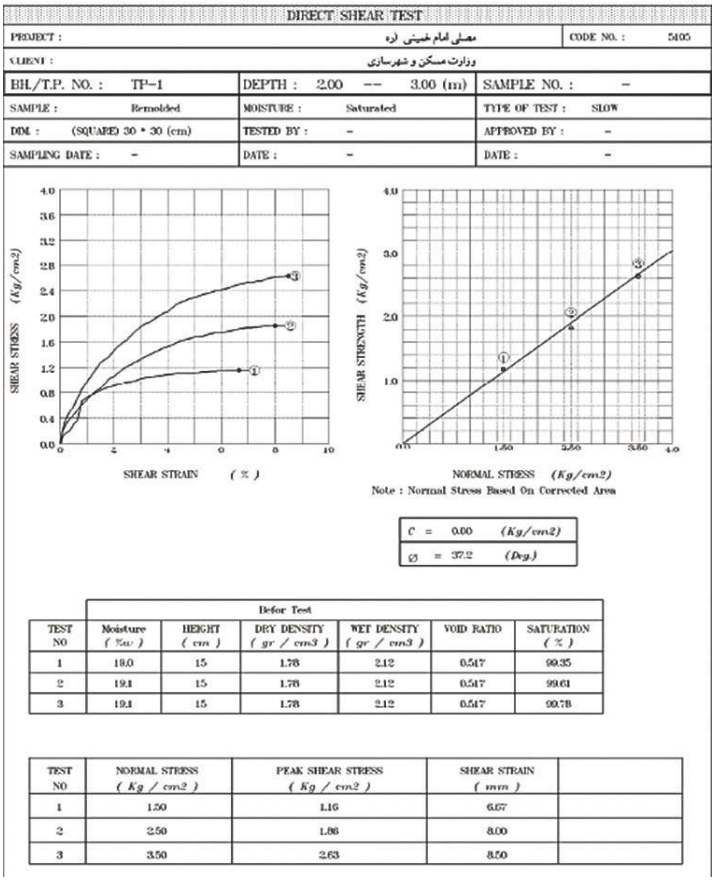
Test Pit	Depth (m)	φ	C (kg/Cm²)
T-15	7	60.2	0.08
T-15	14	60.9	0.08
T-15	20	58.2	0
T-16	7	57.3	0.04
T-16	14	60.1	0
T-16	20	56.8	0.01

با توجه به نتایج این آزمایش، زاویه اصطکاک خاک بین ۵۶ تا ۶۰ درجه و چسبندگی حدود صفر تا ۸ کیلوپاسکال را نشان می‌دهد. [۱].

۲-۵. آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی

با توجه به نمونه‌های اخذ شده از گمانه‌های مختلف علاوه بر آزمایش برش مستقیم درجا در محل، آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی نیز به‌منظور تدقیق نتایج و یافتن پارامترهای مقاومت برشی صورت پذیرفت. مکانیزم انجام این آزمایش مشابه آزمایش برش مستقیم درجا بوده، با این تفاوت که با استفاده از نمونه‌های اخذ شده در آزمایشگاه و با تراکم توصیه شده آیین نامه‌های بین المللی انجام می‌شود[۱] و [۲].

شکل(۱۱) نمونه‌ای از نتایج آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی را نشان می‌دهد.



DIRECT SHEAR TEST

PROJECT : مصلی امام خمینی ره		CODE NO. : 5405
CLIENT : وزارت مسکن و شهرسازی		
BH./T.P. NO. : TP-1	DEPTH : 2.00 -- 3.00 (m)	SAMPLE NO. : -
SAMPLE : Remolded	MOISTURE : Saturated	TYPE OF TEST : SLOW
DIM. : (SQUARE) 30 * 30 (cm)	TESTED BY : -	APPROVED BY : -
SAMPLING DATE : -	DATE : -	DATE : -

SHEAR STRESS (Kg/cm2) — SHEAR STRAIN (%)

SHEAR STRENGTH (Kg/cm2) — NORMAL STRESS (Kg/cm2)

Note : Normal Stress Based On Corrected Area

C = 0.00 (Kg/cm2)

Ø = 37.2 (Deg.)

TEST NO	Defor Test: Moisture (%w)	HEIGHT (cm)	DRY DENSITY (gr / cm3)	WET DENSITY (gr / cm3)	VOID RATIO	SATURATION (%)
1	19.0	15	1.78	2.12	0.517	99.35
2	19.1	15	1.78	2.12	0.517	99.61
3	19.1	15	1.78	2.12	0.517	99.78

TEST NO	NORMAL STRESS (Kg / cm2)	PEAK SHEAR STRESS (Kg / cm2)	SHEAR STRAIN (mm)	
1	1.50	1.16	6.67	
2	2.50	1.86	8.00	
3	3.50	2.63	8.50	

شکل (۱۱). نمونه‌ای از نتایج آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی

جهت تخمین پارمترهای مقاومت برشی بر اساس آزمایش‌های آزمایشگاهی از دو روش، مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی محاسبه شده است. در روش اول میانگین چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی محاسبه شده است. در روش دوم مقادیر تنش برشی ماکزیمم در مقابل تنش قائم برای کلیه آزمایش ها در نموداری ترسیم شده و بر اساس معادله بهترین خط عبوری، مقادیر زاویه اصطکاک داخلی خاک تخمین زده شده است.

با توجه به نتایج این آزمایش در روش اول زاویه اصطکاک داخلی خاک ۴۱ درجه و چسبندگی ۲۰ کیلوپاسکال و در روش دوم این مقادیر به ترتیب ۴۲ درجه و ۱۱کیلوپاسکال در نظر گرفته شد[۱].

۲-۶. آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD)

آزمایش سه محوری از دقیق ترین و متداول ترین آزمایش‌های مقاومت برشی خاک است. در این آزمایش نمونه در غشای لاستیکی قرار داده شده و اطراف نمونه با آب پر می‌شود. با افزایش فشار آب اطراف نمونه امکان اعمال تنش همه جانبه به نمونه فراهم می‌شود. در انتها به کمک اهرم بارگذاری موجود، نمونه بارگذاری می‌شود (به‌صورت تنش انحرافی اعمال می‌شود). بدین ترتیب در این آزمایش گسیختگی کامل یک المان خاک مدل سازی می‌شود.

قابل ذکر است این آزمایش در سه نوع صورت می پذیردکه به شرح زیر است:

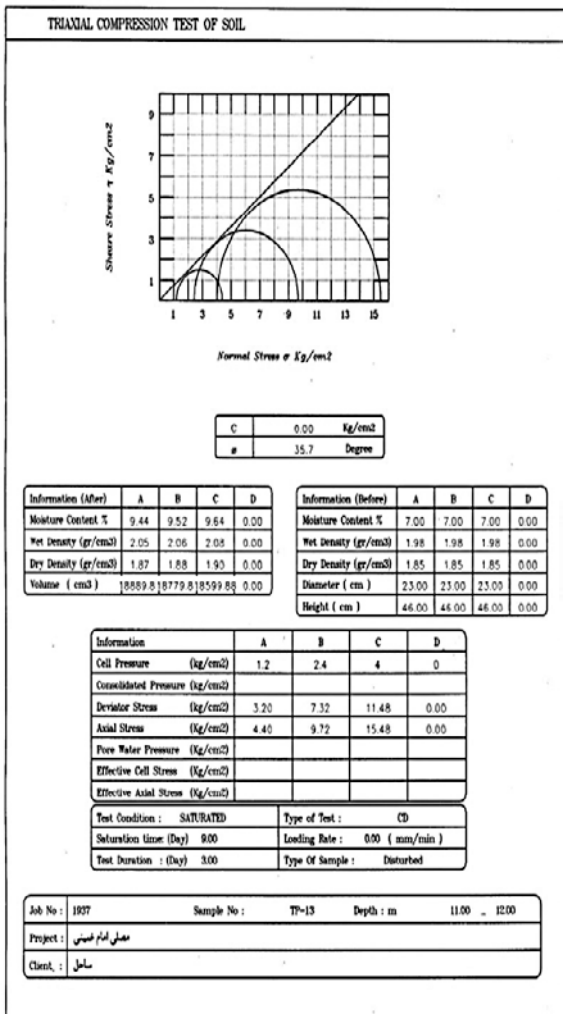
۱- آزمایش تحکیم نیافته، زهکشی نشده (UU) : در هر دو مرحله اعمال تنش همه جانبه و اعمال تنش انحرافی شیرهای زهکشی آب بسته است.

۲- آزمایش تحکیم یافته، زهکشی نشده (CU) : در مرحله اعمال تنش همه جانبه شیرهای زهکشی باز و نمونه تحکیم می یابد و در مرحله اعمال تنش انحرافی شیرهای زهکشی آب بسته است.

۳- آزمایش تحکیم یافته، زهکشی شده (CD) : در هر دو مرحله اعمال تنش همه جانبه و اعمال تنش انحرافی شیرهای زهکشی آب باز است.

انتخاب هر کدام از این نوع آزمایش‌ها با توجه به شرایط پروژه صورت می پذیرد. [۳].

شکل(۱۲) نمونه‌ای از نتایج آزمایش سه محوری در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی را نشان می‌دهد.


TRIAXIAL COMPRESSION TEST OF SOIL

Shear Stress τ Kg/cm2

Normal Stress σ Kg/cm2

C	0.00	Kg/cm2
φ	35.7	Degree

Information (After)	A	B	C	D
Moisture Content %	9.44	9.52	9.64	0.00
Wet Density (gr/cm3)	2.05	2.06	2.08	0.00
Dry Density (gr/cm3)	1.87	1.88	1.90	0.00
Volume (cm3)	18889.81	18779.81	18599.88	0.00

Information (Before)	A	B	C	D
Moisture Content %	7.00	7.00	7.00	0.00
Wet Density (gr/cm3)	1.98	1.98	1.98	0.00
Dry Density (gr/cm3)	1.85	1.85	1.85	0.00
Diameter (cm)	23.00	23.00	23.00	0.00
Height (cm)	46.00	46.00	46.00	0.00

Information		A	B	C	D
Cell Pressure	(kg/cm2)	1.2	2.4	4	0
Consolidated Pressure	(kg/cm2)				
Deviator Stress	(kg/cm2)	3.20	7.32	11.48	0.00
Axial Stress	(kg/cm2)	4.40	9.72	15.48	0.00
Pore Water Pressure	(Kg/cm2)				
Effective Cell Stress	(Kg/cm2)				
Effective Axial Stress	(Kg/cm2)				

Test Condition :	SATURATED	Type of Test :	CD
Saturation time: (Day)	9.00	Loading Rate :	0.00 (mm/min)
Test Duration : (Day)	3.00	Type Of Sample :	Disturbed

Job No :	1937	Sample No :	TP=13	Depth : m	11.00 _ 12.00
Project :	مصلی امام خمینی				
Client, :	ساحل				

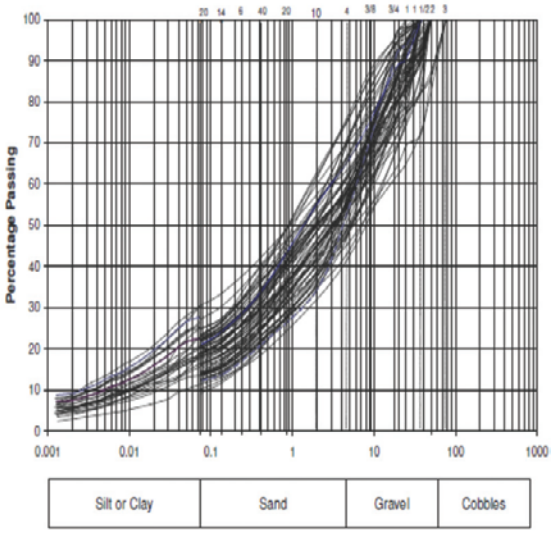
شکل (۱۲). نمونه‌ای از نتایج آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD) در سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی

با توجه به نتایج نمونه‌های مختلف این آزمایش، زاویه اصطکاک داخلی ۳۶ درجه و چسبندگی صفر در نظر گرفته شد [۱].

۳. نتایج و بحث

هدف مطالعه حاضر، صحت سنجی بین نتایج آزمایش‌های مقاومتی انجام شده بر روی خاک سایت محل احداث ایوان مرکزی مصلی امام خمینی (ره) و تطبیق آن با روابط ارائه شده و سایر مطالعات و تحقیقات پیشین است.

با توجه به آزمایش دانه‌بندی طبق مطالعات پیشین روی خاک کل سایت مصلی، دانه بندی خاک را اکثرا به‌صورت شن و ماسه سیلت دار با مقدار متوسط ریزدانه ۱۸ درصد معرفی کرده است. شکل(۱۳) دانه‌بندی خاک سایت مصلی طبق مطالعات پیشین را نشان می‌دهد.



شکل (۱۳). دانه‌بندی خاک سایت مصلی طبق مطالعات پیشین

طبق نمودارهای دانه‌بندی مطالعه حاضر شکل(۶) خاک محدوده احداث ایوان مرکزی به‌صورت یک لایه از خاک درشت دانه از نوع شن خوب دانه بندی شده همراه با سیلت و رس است که با توجه به شکل(۱۳) مطابقت مناسبی با مطالعات پیشین دارد.

از طرف دیگر مطالعات قبلی سایت مصلی عدد SPT را بالای ۵۰ عدد و خاک را طبق این عدد در رده بسیار متراکم به حساب آورده است. طبق جدول ۲ عدد SPT خاک در مطالعه حاضر نیز بیش از ۵۰ بوده و خاک طبق این مطالعات نیز در رده متراکم قرار دارد.

همچنین طبق مطالعات پیشین، پارامترهای مقاومت برشی خاک بر اساس آزمایش های برش مستقیم زاویه اصطکاک داخلی را ۳۵ تا ۴۲ درجه و چسبندگی را بین ۰ تا ۱۲ کیلوپاسکال برآورد کرده است. نتایج گزارش ژئوتکنیک حاضر نیز زاویه اصطکاک را بنا بر آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی ۴۱ تا ۴۲ و چسبندگی را بین ۱۱ تا ۲۰ کیلوپاسکال بیان کرده است. با توجه به نتایج می‌توان گفت نتایج همبستگی و مطابقت مناسبی با یکدیگر دارند. [۱]

Hatanaka و Uchida (۱۹۹۶) معادله زیر را برای رابطه بین زاویه اصطکاک داخلی خاک و عدد آزمایش SPT ارائه دادند: [۶]

با توجه به اعداد جدول(۲) و اینکه خاک مورد بحث بسیار متراکم بوده اکثر تست‌های نفوذ استاندارد به پایان نرسیده است، به‌طور متوسط و حدودا با تقریب مناسبی می‌توان N1 را ۷۰ تا ۷۵ در نظر گرفت. طبق رابطه مذکور و با جایگذاری N1=۷۵ زاویه اصطکاک داخلی خاک طبق عدد نفوذ استاندارد و رابطه ۱، ۵۴ درجه بدست می آید.

از طرف دیگر طبق نتایج آزمایش برش مستقیم درجا زاویه اصطکاک داخلی ۵۶ درجه ارائه شده است که با نتیجه فوق الذکر تطابق مناسبی دارد.

De Mello (۱۹۷۱) بر اساس نتایج آزمایشگاهی Gibbs و Holtz (۱۹۵۷) نموداری را برای تخمین زاویه اصطکاک داخلی خاک بر مبنای عدد آزمایش SPT طبق شکل(۴) ارائه دادند.

براساس نمودار شکل(۴) برای تعداد ضربات SPT بیش از ۵۰، زاویه اصطکاک داخلی خاک حدود ۵۰ خواهد بود. با تقریب مناسبی می‌توان گفت برای عدد SPT برابر ۷۵، این عدد بین ۵۵ تا ۶۰ درجه خواهد بود. از طرف دیگر طبق نتایج آزمایش برش مستقیم درجا زاویه اصطکاک داخلی ۵۶ درجه ارائه شده است که با نتیجه فوق الذکر تطابق مناسبی دارد[۶].

Braja M. Das ارتباط تقریبی بین عدد SPT و زاویه اصطکاک داخلی خاک ماسه‌ای را به‌صورت جدول(۱) بیان کرده است. با توجه به جدول(۱) می‌توان گفت هنگامی که عدد SPT از ۵۰ تجاوز می کند زاویه اصطکاک داخلی نیز بیش از ۵۰ درجه خواهد بود. با توجه به اینکه عدد SPT خاک در سایت مصلی ۷۵ و زاویه اصطکاک داخلی طبق آزمایش برش مستقیم درجا ۵۶ درجه ذکر شده است، می‌توان بیان کرد همبستگی مطلوب و مناسبی بین جدول ارائه شده توسط Braja M. Das و نتایج حاصل از آزمایش وجود دارد[۵].

بر خلاف آزمایش برش مستقیم که برش در یک سطح اجباری صورت می‌گیرد و لزوما آن سطح ضعیف ترین سطح خاک نیست، در آزمایش سه محوری هیچ سطح برش اجباری به نمونه تحمیل نشده و برش در هر سطح دلخواهی رخ می‌دهد. در نتیجه می‌توان گفت نتایج آزمایش سه محوری پارامترهای مقاومت برشی کمتری نسبت به آزمایش برش مستقیم ارائه خواهد داد.

منابع مختلف زاویه اصطکاک داخلی خاک حاصل از نتایج آزمایش برش مستقیم را حدود ۱۰ درصد یا ۳ تا ۴ درجه بیشتر از آزمایش سه محوری عنوان کرده اند.

در این مطالعه نیز زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی حدود ۴۲ و در آزمایش سه محوری حدود ۳۶ درجه در نظر گرفته شده است که با توجه به مقادیر ارائه شده مذکور این اختلاف حدود ۱۴ درصد است که تطابق مناسبی با مقادیر ارائه شده منابع معتبر دارد.

Medzvieckas و همکـــاران (۲۰۱۶) نشـــان دادنـــد زاویـــه اصطکاک داخلی خاک در آزمایش سه محوری حدود ۲,۳۶ درجه کمتر از این مقدار در آزمایش برش مستقیم است. ایـن مقـدار بـا تفاوت زاویه اصطکاک داخلی بین آزمایش‌های سه محوری و برش مستقیم در مطالعه حاضر تطابق مناسبی دارد[۷].

چسبندگی دانه های خاک در این سایت با توجه به آزمایش برش مستقیم بین ۱۱ تا ۲۰ کیلو پاسکال و در آزمایش سه محوری صفر در نظر گرفته شده است. این موضوع به این دلیل است که آزمایش بر روی نمونه‌های بازسازی شده انجام گرفته است، همچنین به دلیل وجود سیمان بودن مختصر بین دانه های خاک، می‌توان انتظار داشت مقدار چسبندگی بدست آمده از آزمایش سه محوری کمتر از مقدار واقعی آن می‌باشد.

قابل ذکر است تفاوت در مقادیر ارائه شده برای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم درجا و آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی به این دلیل است که تست برش مستقیم درجا در شرایط رطوبت طبیعی خاک اندازه گیری شده است. از طرف دیگر امکان دارد میزان تراکم خاک موجود در سایت از خاک متراکم شده در آزمایشگاه بیشتر بوده باشد. بدیهی است در صورت افزایش رطوبت خاک به دلیل بارندگی یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و ...، مقادیر ارائه شده آزمایش‌های برش مستقیم آزمایشگاهی و سه محوری معتبر خواهند بود.

۴. نتیجه‌گیری

بر طبق آزمایش دانه‌بندی خاک محل احداث ایوان مرکزی مصلی امام خمینی (ره) از نوع شن خوب دانه بندی شده همراه با سیلت و رس است. این نتیجه تقریبا مطابق با نوع خاک ارائه شده توسط مطالعات ژئوتکنیک پیشین کل سایت مصلی است. با توجه به اعداد SPT و اینکه خاک مورد بحث بسیار متراکم بوده اکثر تست‌های نفوذ استاندارد به پایان نرسیده است، با این حال به‌طور متوسط و حدودا با تقریب مناسبی می‌توان N۱ را ۷۰ تا ۷۵ در نظر گرفت. مطالعات پیشین سایت مصلی عدد SPT را بالای ۵۰ عدد ارائه داده که حدودا با نتیجه حاصله از مطالعه حاضر مطابقت دارد.

نتایج گزارش ژئوتکنیک حاضر نیز زاویه اصطکاک را بنا بر آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی ۴۱ تا ۴۲ و چسبندگی را بین ۱۱ تا ۲۰ کیلوپاسکال بیان کرده است. همچنین طبق مطالعات پیشین، پارامترهای مقاومت برشی خاک بر اساس آزمایش های برش مستقیم زاویه اصطکاک داخلی را ۳۵ تا ۴۲ درجه و چسبندگی را بین ۰ تا ۱۲کیلوپاسکال برآورد کرده است. با توجه به نتایج می‌توان گفت نتایج همبستگی و مطابقت مناسبی با یکدیگر دارند.

طبق نتایج آزمایش برش مستقیم درجا، در مطالعه حاضر زاویه اصطکاک داخلی ۵۶ درجه محاسبه شده است. طبق روابط و نمودارها و جدول های ارائه شده و با توجه به عدد SPT این پژوهش، زاویه اصطکاک داخلی بالای ۵۰ درجه بدست می آید که با نتیجه فوق الذکر تطابق مناسبی دارد.

در این مطالعه زاویه اصطکاک داخلی در آزمایش برش مستقیم آزمایشگاهی حدود ۴۲ و در آزمایش سه محوری حدود ۳۶ درجه در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است منابع مختلف زاویه اصطکاک داخلی خاک حاصل از نتایج آزمایش برش مستقیم را حدود ۱۰ درصد یا ۳ تا ۴ درجه بیشتر از آزمایش سه محوری عنوان کرده اند. با توجه به مقادیر ارائه شده مذکور این اختلاف حدود ۱۴ درصد است که تطابق مناسبی با مقادیر ارائه شده منابع معتبر دارد.

چسبندگی دانه های خاک در این سایت با توجه به آزمایش برش مستقیم بین ۱۱ تا ۲۰ کیلو پاسکال و در آزمایش سه محوری صفر در نظر گرفته شده است.

۵. مراجع

۱. گزارش مهندسی مطالعات ژئوتکنیک پروژه طرح و ساخت ایوان مرکزی مصلای امام خمینی (ره)، گروه ژئوتکنیک موسسه مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۹۱.

2. Astm, "Annual book of ASTM standards," Astm, 1968.

3. J. E. Bowles, "Foundation Analysis and Design," The McGrawHill Companies, Inc., Singapore, 1996.

4. B. M. Das and K. Sobhan, "Principles of geotechnical," 2013.

5. D. W. Hight, "Laboratory testing: assessing BS 5930," Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, vol. 2(1), pp. 43-52, 1986.

6. P. K. Robertson and K. L. Cabal, "Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering," Gregg Drilling & Testing, 2010.

7. J. Medzvieckas, N. Dirgėlienė, and Š. Skuodis, "Stress-strain states differences in specimens during triaxial compression and direct shear tests," Procedia Engineering, vol. 172, pp.739-745, 2017.

8. B. A. Castellanos and T. L. Brandon, "A comparison between the shear strength measured with direct shear and triaxial devices on undisturbed and remolded soils," In Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris, pp. 317-320, September 2013.