

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

محل ضرب مهرهای تحت کنترل - منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

	معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
	صفحه: ۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
	تیر ۹۴								۰۱	

فهرست مطالب

۱-مقدمه	۳
۲-روش انجام آزمایش SPT	۴
۳-تصحیح نتایج آزمایش SPT	۷
۴-اشکالات ساختاری آزمایش SPT	۱۱
۴-۱- بررسی دلایل عدم تکرار پذیری نتایج آزمون SPT	۱۲
۴-۲- بررسی اشکالات شرایط بارگذاری آزمون SPT	۱۳
۴-۳- عدم وجود مفهوم یکسان برای N در سراسر محدوده تغییر آن	۱۴
۵-خطاهای معمول شده در ایران برای انجام آزمایش SPT	۱۴
۵-۱- استفاده از مخروط توپر در انجام آزمون SPT	۱۴
۵-۲- انجام آزمایش SPT در چاه	۱۵
۵-۳- عدم توجه به ضوابط اعمال ضربه در SPT	۱۵
۵-۴- عدم اعمال اصلاحات برای عدد SPT	۱۶
۶-توصیه هایی برای استفاده از آزمون SPT در ایران	۱۶

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

۱- مقدمه

آزمون نفوذ استاندارد (SPT) یکی از قدیمیترین و معمولترین آزمایش های صحرایی ژئوتکنیک است که از آن برای تخمین مقاومت خاک کف گمانه استفاده می نمایند. این آزمون در سال 1920 ابداع گردیده و هم اکنون در سطح وسیعی در سراسر دنیا به کار گرفته شده و شناخته شده است. با این وجود به دلیل پاره ای انتقادهای مستند که به نحوه آزمایش و روش های استفاده از نتایج آن وارد شده است، در شرایط کنونی بسیاری از محققین بر عدم توجه به آن و حتی حذف کامل این آزمون از شمار آزمایش های معتبر اصرار می ورزند. آنچه که باعث شده است تلاش های مذکور که برای حذف SPT صورت می پذیرد عملاً موفق نبوده و همچنان این آزمون پا برجا بماند آن است که بسیاری از روابط و روش های محاسباتی و همچنین جداول پ پیشنهادی و قضاوت های مهندسی وابسته به عدد SPT است و از طرف دیگر نتایج این آزمون به عنوان یک معیار ساده، ارزان و ملموس در نزد مهندسين شناخته شده است. از طرف دیگر آزمون نفوذ استاندارد در درون گمانه های اکتشافی که به دلایل دیگر حفاری آنها ضرورت یافته است، با بهره کارگیری تجهیزات ساده و ارزان قیمت انجام می شود. بر همین اساس اضافه کردن آن به برنامه کاوش های صحرایی چندان هزینه کل عملیات را تغییر نمی دهد ولی در صورت عدم توجه به نحوه انجام آزمایش استنباط هایی که مهندس طراح از عدد های این آزمایش می نماید ممکن است گمراه کننده باشد.

در ایران دستورالعملی با شماره استاندارد ۱۸۲-الف در سال 1379 با عنوان «دستورالعمل آزمایش نفوذ استاندارد SPT» توسط استاندارد مهندسی آب کشور وابسته به وزارت نیرو تدوین شده است. به رغم معایب عمده ای که در بخش های آتی این فصل بیان شده است، آزمون SPT از سه امتیاز مهم برخوردار است:

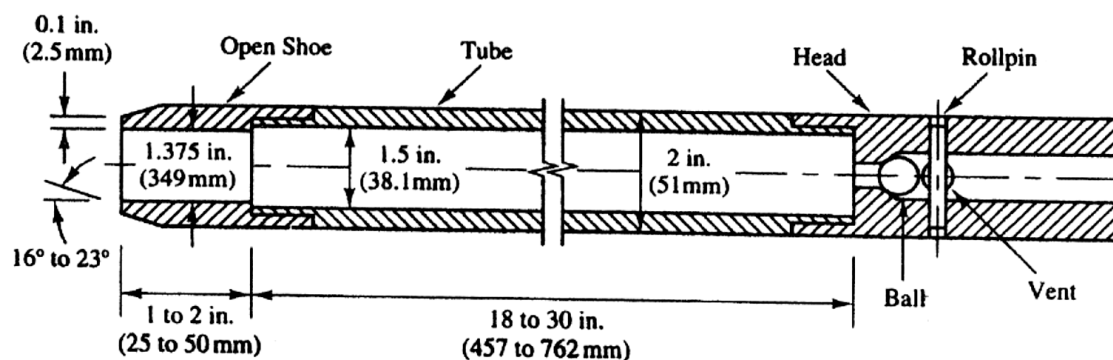
- ۱- نمونه ای از خاکی که آزمایش در آن انجام شده است را به دست می دهد و از این طریق طبقه بندی کلی خاک مشخص می شود. بسیاری از آزمونه های نفوذ دارای نوک مخروطی بوده و از این قابلیت برخوردار نیستند. در این موارد طبقه بندی خاک صرفاً بر اساس همبستگی بین نتایج آزمایش و یا از طریق نتایج گمانه و چاله های مجاور قابل استخراج است.
- ۲- SPT یک آزمون سریع و ارزان است و معمولاً در گمانه ای انجام می شود که برای مقاصد دیگر حفاری شده است. بنابراین هزینه اضافی بر طرح تحمیل نمی کند.
- ۳- تقریباً همه تجهیزات آزمایش همان تجهیزاتی هستند که برای حفاری به کار گرفته می شوند و تجهیزات اختصاصی این آزمون در حد محدودی هستند. این در حالی است که در سایر آزمون ها معمولاً تجهیزات اختصاصی گسترده ای به کار گرفته میشود.

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

۲- روش انجام آزمایش SPT

روش انجام آزمون نفوذ استاندارد برای اولین بار در سال ۱۹۵۸ توسط ASTM-1586 به صورت استاندارد ارائه گردید. بر اساس این مرجع مراحل انجام آزمایش به قرار زیر می باشد:

- ۱- گمانه ای به قطر ۲٫۵ تا ۸ اینچ تا عمق مورد نظر برای انجام آزمایش حفاری می گردد.
- ۲- در عمق مورد نظر سرشته از میله های حفاری جدا شده و به جای آن نمونه گیر SPT به میله ها وصل می شود. این نمونه گیر از یک استوانه توخالی و نوک تیز تشکیل شده و از این قابلیت برخوردار است که در امتداد طول خود به دو نیم تبدیل شود. ابعاد استاندارد این نمونه گیر در شکل ۱ نشان داده شده است.



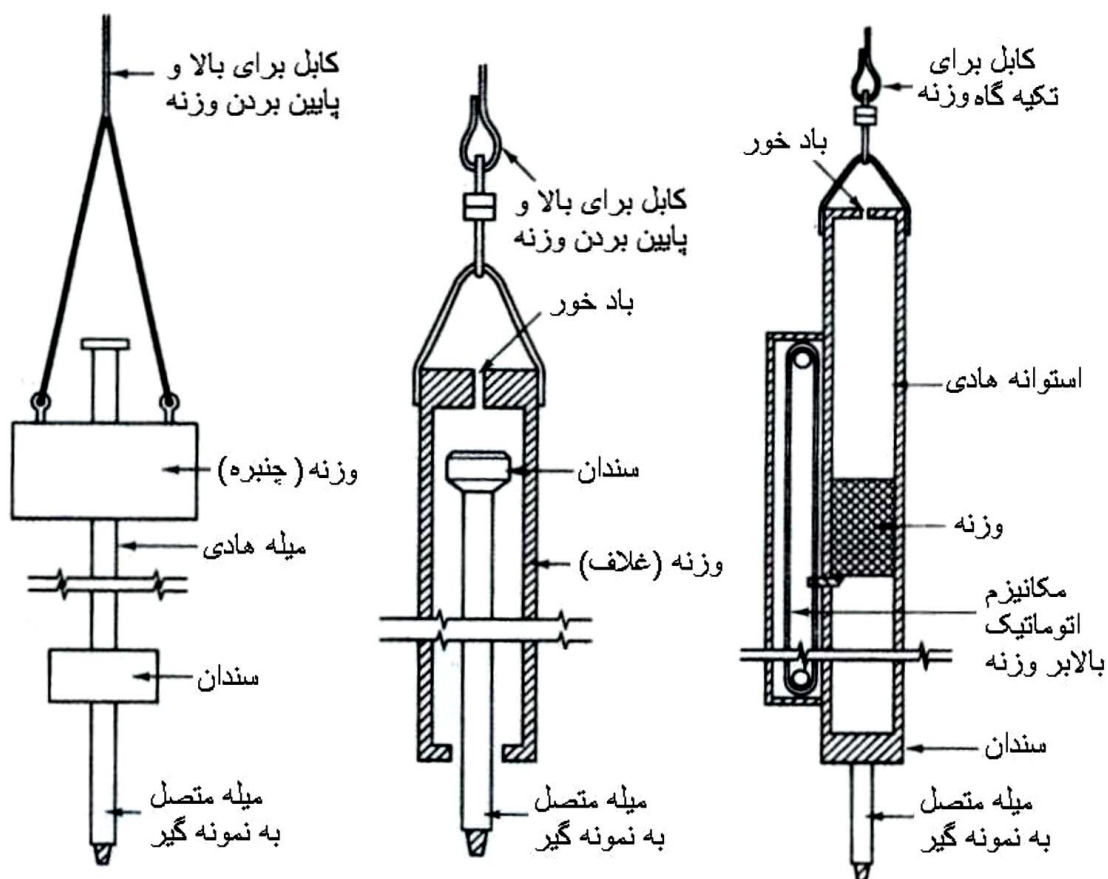
شکل ۱: ابعاد استاندارد نمونه گیر SPT

- ۳- با استفاده از یک مکانیزم اتومکانیک و یا با مکانیزم قرقره و طناب نظیر آنچه در شکل ۲ نشان داده شده است، یک چکش ۶۳٫۵ کیلوپی (شکل ۳) از ارتفاع ۷۶ سانتیمتری به صورت سقوط آزاد به همراه میله های حفاری روی خاک رها می شود (شکل ۴). این انرژی باعث می شود که نمونه گیر SPT به درون خاک انتهای گمانه رانده شود. این عمل به قدری تکرار میشود که نمونه گیر به اندازه ۴۵ سانتیمتر (معادل ۳ مرحله ۱۵ سانتی متری) در درون خاک نفوذ کند. در این حال تعداد ضربات لازم برای آنکه نمونه گیر به اندازه ۱۵ سانتی متر در خاک نفوذ کند در هر مرحله اندازه گیری می شود. در صورتی که بیش از ۵۰ ضربه برای ۱۵ سانتی متر نفوذ لازم باشد معمولاً آزمایش متوقف می شود.

- ۴- عدد N از جمع تعداد ضربات لازم برای نفوذ ۱۵ سانتی مترهای دوم و سوم به دست می آید. نتایج آزمایش برای نفوذ در ۱۵ سانتی متر اول به دلیل آنکه خاک محدوده مذکور در عملیات حفاری دست خورده شده است و یا اینکه در اثر ریزش جداره گمانه نخاله هایی در انتهای گمانه جمع شده اند، مورد اعتماد نیست و به آن توجه نمی شود.

- ۵- نمونه گیر SPT از میله های حفاری جدا شده و خاک درون آن به عنوان نمونه دست خورده برداشته می شود (شکل ۵).

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

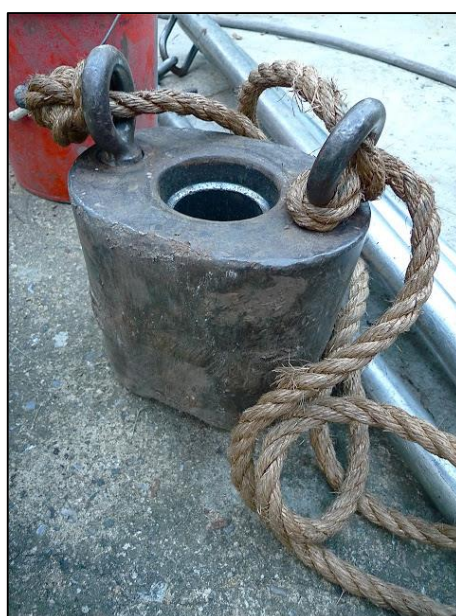


چکش چنبره ای

چکش محفوظ

چکش اتوماتیک

شکل ۲: انواع معمول چکش های مورد استفاده آزمون نفوذ استاندارد



شکل ۳: چکش ۶۳,۵ کیلوگرمی

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۷		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

۳- تصحیح نتایج آزمایش SPT

به منظور همسان نمودن شیوه های استفاده از نتایج آزمون SPT برخی از محققین ضرائب اصلاح و اصلاحاتی برای نتایج آزمون نفوذ استاندارد معرفی کرده اند . در واقع این اصلاحات تا حدودی از تاثیرات برخی از نواقص عمده آزمون نفوذ استاندارد کاسته و متغیرهای موثر در نتیجه آزمون را کمتر می نماید .
(Skempton(1986 پیشنهاد کرده است که نتایج خام آزمون نفوذ استاندارد با استفاده از رابطه زیر اصلاح گردند:

معادله ۱

$$N_{60} = E_m C_B C_S C_R N / 0.6$$

که در آن،

E_m : ضریب بازدهی چکش است و برحسب نوع چکش بین ۰,۴۵ تا ۰,۸۵ متغیر میباشد .

C_B : ضریب اصلاح قطر گمانه است و بین ۱ تا ۱,۵ متغیر می باشد . هرچه قطر گمانه بزرگتر باشد C_B بزرگتر خواهد بود .

C_S : ضریب اصلاح نمونه گیر است و برای نمونه گیرهای بدون آستری معادل ۱,۲ در نظر گرفته می شود .

C_R : ضریب اصلاح طول میله است و هرچه طول میله بلندتر باشد C_R بزرگتر است .

N : عدد خام آزمون SPT که در صحرا حاصل شده است .

در جدول ۱ نحوه استخراج ضرایب اصلاحی C_B ، C_S و C_R نشان داده شده است . قابل ذکر است که چکش های مورد استفاده برای اعمال ضربات آزمون نفوذ استاندارد دارای انواع متعددی هستند که از لحاظ بازدهی دستگاه و همچنین مکانیزم رها سازی با همدیگر تفاوت دارند . در شکل ۲ و همچنین جدول ۲ انواع معمول این چکش ها و همچنین میزان بازدهی آنها نشان داده شده است .

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

پروژه:	REV	SEQ	TYP	DIS	CAT	PRJ	DEP	صفحه: ۸
۰۱								تیر ۹۴

جدول ۱: ضریب اصلاح برای نتایج آزمون نفوذ استاندارد

نام ضریب	نام متغیر	اندازه متغیر	مقدار ضریب اصلاح
ضریب اصلاح قطر گمانه C_B	قطر گمانه (میلیمتر)	۶۵-۱۱۵	۱/۰۰
		۱۵۰	۱/۰۵
		۲۰۰	۱/۱۵
ضریب اصلاح نمونه گیر C_S	نوع نمونه گیر	نمونه گیر استاندارد	۱/۰۰
		نمونه گیر بدون پوشش (توصیه نشده)	۱/۲۰
ضریب اصلاح طول میله C_R	طول میله حفاری (متر)	۳-۴	۰/۷۵
		۴-۶	۰/۸۵
		۶-۱۰	۰/۹۵
		بزرگتر از ۱۰	۱/۰۰

جدول ۲: ضریب بازدهی چکش های معمول در آزمون نفوذ استاندارد

کشور	نوع چکش	مکانیزم رها سازی چکش	کارایی چکش (Em)
آرژانتین	چنبره	چرخک ^۱	۰/۴۵
برزیل	وزنه سوزنی	دستی	۰/۷۲
چین	اتوماتیک	لغزیدن ^۲	۰/۶۰
	چنبره	دستی	۰/۵۵
	چنبره	چرخک	۰/۵۰
کلمبیا	چنبره	چرخک	۰/۵۰
ژاپن	چنبره	ماشه ای ^۳	۰/۷۸-۰/۸۵
	چنبره	دو دور چرخک + رها سازی مخصوص	۰/۶۵-۰/۶۷
انگلیس	اتوماتیک	لغزیدن	۰/۷۳
آمریکا	محفوظ	دو دور چرخک	۰/۵۵-۰/۶۰
	چنبره	دو دور چرخک	۰/۴۵
ونزوئلا	چنبره	چرخک	۰/۴۳

از طرف دیگر مقدار تنش قائم در اعماق مختلف زمین متفاوت است و لذا میزان سربار وارده بر محیطی که مورد ضربات SPT واقع می شود در هر نقطه تابع ارتفاع خاک روی آن می باشد . بر همین اساس برخی از محققین معتقدند که لازم است نتایج SPT برای عمق آزمون هم اصلاح شود . این اصلاح تحت عنوان اصلاح

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)										
صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
تیر ۹۴								۰۱		

سربار 1 مطرح می شود . همچنین آزمایش های انجام شده در نزدیکی انتهای لایه های خاک عدد SPT را بالاتر از نقاط آزمایش شده در بالای لایه های مذکور نشان میدهد . محققین توصیه کرده اند که اصلاح سربار برای شرایطی که فشار سربار غیر از $\sigma'_z = 100KPa$ است باید انجام شود . بر همین اساس ضریب اصلاح سربار را برای خاکهای ماسه ای به صورت زیر معرفی می نمایند :

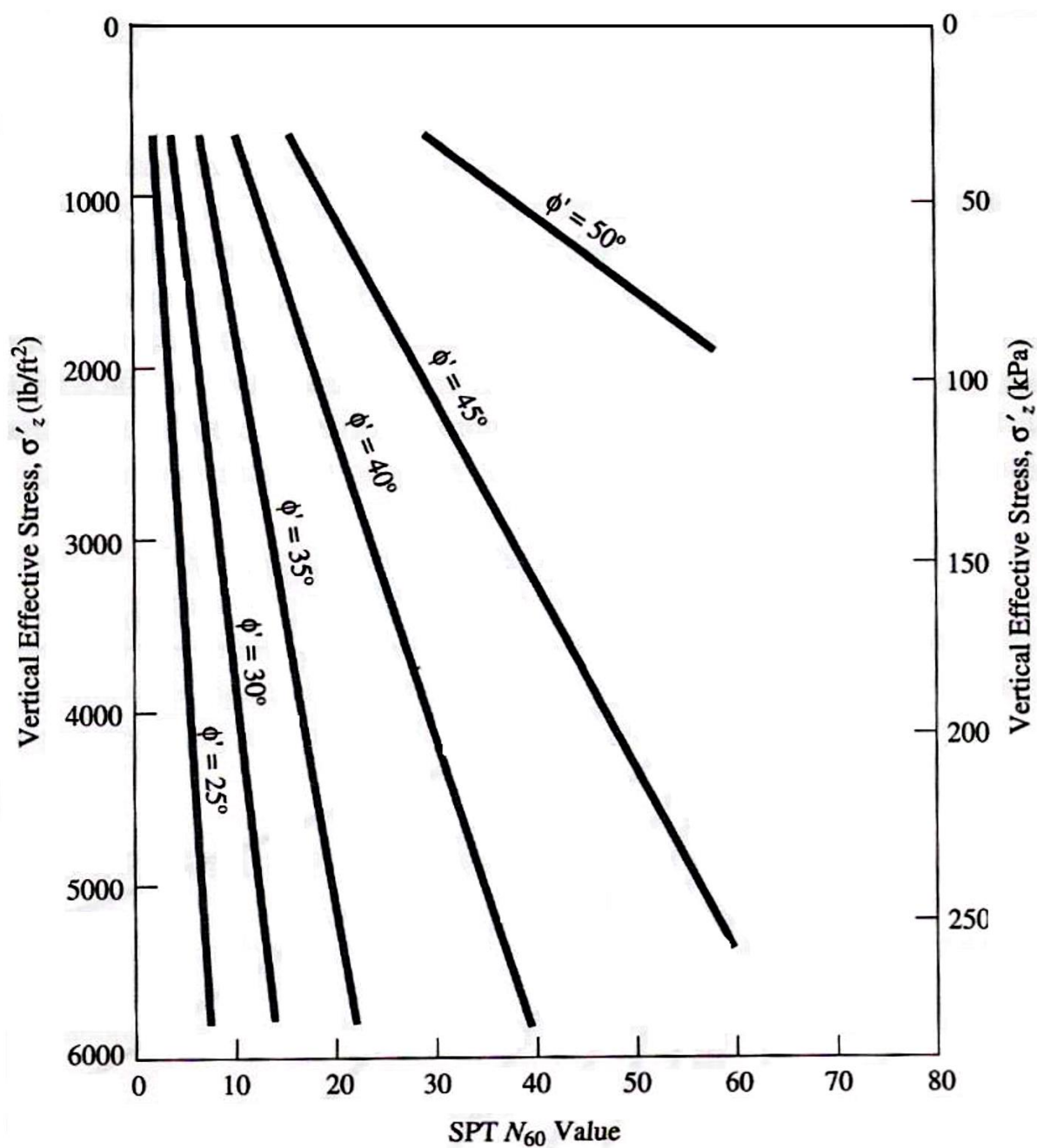
معادله ۲

$$(N_1)_{60} = N_{60} \sqrt{100Kpa / \sigma'_z}$$

که در آن $(N_1)_{60}$ عدد SPT اصلاح شده برای تنش های سربار صحرایی و N_{60} عدد SPT اصلاح شده از رابطه (۱) و همچنین σ'_z تنش موثر قائم در تراز انجام آزمون است . قابل ذکر است که با آنکه ضریب اصلاح رابطه (۱) مورد اتفاق نظر محققین قرار دارد، در مورد ضریب اصلاح سربار و همچنین استفاده آن در خاکهای غیرماسه ای این اتفاق نظر وجود ندارد . محققین روابط تجربی متعددی بین عدد نفوذ استاندارد و خواص مهندسی انواع خاکهای ریزدانه و درشت دانه ارائه نموده اند . با این حال با توجه به ماهیت آزمون نفوذ استاندارد، برای خاکهای ماسه ای سیمانته نشده هماهنگی بیشتری بین نتایج این آزمون و خواص مکانیکی خاک وجود دارد . در شکل ۶ نمونه ای از همبستگی - های مذکور ارائه گردیده است .

معمولاً "آزمایش SPT بسته به شرایط پروژه در فواصل ۵ تا ۱۵ متری و در درون گمانه انجام می شود . عدد N برای خاکهای نرم و خاکهای خیلی سفت به طور معمول کمتر از ۵ و برای خاکهای خیلی متراکم و سخت بالاتر از ۵۰ است . جداول ۳ و ۴ محدوده تغییرات عدد N_{60} را برای خاکهای مختلف نشان میدهد . عددهای خیلی زیاد برای N (مثلاً بزرگتر از ۵۰) به طور معمول علامت سخت و متراکم بودن خاک است . با این حال در برخی از موارد به دلیل برخورد نمونه گیر با یک قلوه سنگ کار نفوذ متوقف شده و عدد N به طور ظاهری بالا دیده میشود .

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									 گروه مهندسين دانا
صفحه: ۱۰		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	



شکل ۶: ارتباط بین N_{60} و ϕ' بر حسب تنش موثر قائم برای ماسه های سیمانته نشده

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)

پرژه:	REV	SEQ	TYP	DIS	CAT	PRJ	DEP	صفحه: ۱۱	
	۰۱							تیر ۹۴	

جدول ۳: محدوده تغییرات عدد نفوذ استاندارد و مقاومت زهکشی نشده برای خاکهای ریزدانه

طبقه بندی خاک	تشریح	N ₆₀	مقاومت زهکشی نشده Su (Kg/cm ²)
خیلی نرم	انگشت شست به راحتی در آن نفوذ میکند و وقتی در داخل مُشت فشرده میشود از لای انگشتان بیرون میزند.	۲ >	۰/۱۲ >
نرم	انگشت شست حدود ۲۵ میلیمتر در آن نفوذ میکند و با فشار اندک انگشت شکل میگیرد.	۲-۴	۰/۱۲ - ۰/۲۵
متوسط	انگشت شست با فشار ملایم حدود ۶ میلیمتر در آن نفوذ میکند، با فشار زیاد انگشتان شکل میگیرد.	۴-۸	۰/۲۵ - ۰/۵۰
سفت ^۱	انگشت شست به راحتی در آن دندانهای می اندازد (مضرس میکند) و با فشار زیاد ۱۲ میلیمتر در آن نفوذ می کند.	۸-۱۵	۰/۵ - ۱/۰
سخت ^۲	انگشت شست در آن دندانهای نمی اندازد ولی ناخن شست به سهولت آن را دندانهای می اندازد.	۱۵-۳۰	۱-۲
خیلی سخت	ناخن انگشت شست بر آن دندانهای نمی اندازد و یا به سختی دندانهای می اندازد.	>۳۰	>۲

جدول ۴: محدوده تغییرات عدد نفوذ استاندارد و دانسیته نسبی برای خاکهای درشتدانه

طبقه بندی خاک	تشریح	N ₆₀	دانسیته نسبی (Dr)
خیلی سست	میل به قطر ۱۲ میلیمتر با فشار دست به راحتی در آن نفوذ میکند.	۴ >	۰-۱۵
سست ^۵	میل به قطر ۱۲ میلیمتر با فشار دست به دشواری در آن نفوذ میکند.	۴-۱۰	۱۵-۳۵
تراکم متوسط	میل به قطر ۱۲ میلیمتر با فشار چکش ۲/۳ کیلوگرمی به راحتی ۳۰۰ میلیمتر در آن نفوذ میکند.	۱۰-۱۷	۳۵-۶۵
متراکم ^۶	میل به قطر ۱۲ میلیمتر با فشار چکش ۲/۳ کیلوگرمی به دشواری ۳۰۰ میلیمتر در آن نفوذ میکند.	۱۷-۳۲	۶۵-۸۵
خیلی متراکم	میل به قطر ۱۲ میلیمتر با فشار چکش ۲/۳ کیلوگرمی فقط حدود ۱۵۰ میلیمتر در آن نفوذ میکند.	>۳۲	۸۵-۱۰۰

۴- اشکالات ساختاری آزمایش SPT

گرچه آزمون SPT و تجهیزات آن استاندارد شده است، با این حال این آزمون به صورت ساختاری دارای نواقص و اشکالاتی است که لازم است مورد توجه واقع شود. برخی از این اشکالات از مکانیزم انجام آزمایش و برخی دیگر از اندازه، شکل و مشخصات تجهیزات آن ناشی می شود. ضمن اینکه پاره ای ایرادها نیز به نحوه به کارگیری نتایج آن و عدم کفایت این آزمون در ارائه تصور صحیح از شرایط زیر سطحی برمیگردد. به اختصار می توان اشکالات ساختاری آزمون نفوذ استاندارد را به سه دسته تقسیم کرد:

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۱۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

- عدم تکرار پذیری نتایج
- عدم انطباق شرایط بارگذاری با کاربردهای مورد انتظار
- عدم وجود مفهوم یکسان برای N در سراسر محدوده تغییر آن

۴-۱- بررسی دلایل عدم تکرار پذیری نتایج آزمون SPT

- در موارد متعددی مشاهده شده است که دو گروه حفاری برای یک لایه مشخص از خاک ارقام متفاوتی به دست می دهند. نتایجی از این قبیل نشان می دهد که آزمایش SPT از تکرار پذیری پایینی برخوردار است. پایین بودن تکرار پذیری نتایج بدان دلیل است که عوامل و متغیرهای زیادی که در نتایج آزمون موثر هستند، چندان قابل کنترل نیستند. برخی از متغیرهای مذکور به قرار زیر می باشند:
- روش های مختلفی برای حفاری گمانه وجود دارد و هر یک از این روشها وضعیت متفاوتی برای خاک انتهای گمانه به وجود می آورند.
۱. گِل حفاری که اثر آن در داخل گمانه وجود دارد ممکن است نتایج آزمون SPT را تحت تاثیر قرار دهد.
 ۲. قطر گمانه میتواند بین ۲,۵ تا ۸ اینچ باشد و نتایج SPT معمولاً "متاثر از قطر گمانه می باشد.
 ۳. میزان به هم ریختگی خاک انتهای گمانه در نتایج آزمون موثر است.
 ۴. تغییر موقعیت چکش در طول میله های حفاری نتایج آزمایش را تغییر می دهد.
 ۵. نوع چکش و دستی یا اتوماتیک بودن نحوه عملکرد آن نتایج آزمون را تحت تاثیر قرار میدهد.
 ۶. تعداد حلقه های طناب که به دور چرخک می چرخد در نتایج تاثیر دارد.
 ۷. در سیستم چکش دستی ارتفاع واقعی سقوط ممکن است تا ۲۵٪ خطا داشته باشد.
 ۸. جرم سندان یا بالشتکی که چکش روی آن ضربه می زند در نتایج موثر است.
 ۹. میزان اصطکاک بین قرقره و طنابها در نتیجه آزمون موثر است.
 ۱۰. در صورتی که کفشک نمونه گیر پوشش داشته باشد نتایج را تحت تاثیر قرار میدهد.
 ۱۱. میزان مستقیم بودن میله های حفاری در نتایج آزمون موثر است.
 ۱۲. وجود یا عدم وجود آستر در درون نمونه گیر می تواند نتایج را ۲۰ تا ۳۰٪ تغییر دهد.
 ۱۳. سرعت سقوط وزنه در میزان نفوذ نمونه گیر در خاک موثر است.
 ۱۴. لبه نمونه گیرهای مستعمل سائیده شده و سخت تر از نمونه گیرهای جدید در خاک نفوذ می کنند.
- به همه موارد مذکور ماهر بودن اپراتورهای این آزمایش و دقت آنها در انجام آزمایش باید اضافه شود. برخی از حفارها علاقمند هستند که مترآژ حفاری گروه خود را به هر شکل ممکن افزایش دهند و در واقع نماد پیشرفت کار خود را در بالا بودن مترآژ حفاری روزانه می دانند. بر همین اساس آزمایشهای صحرائی را با سرعت و با دقت کمتری انجام می دهند و در واقع آن را در راستای هدف خود نمی دانند.

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۱۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

Seed et al.(1985) به منظور افزایش قابلیت آزمون SPT و بالا بردن میزان تکرارپذیری آن معیارهای تکمیلی

زیر را توصیه نموده اند:

۱. برای حفاری از سیستم حفاری دو رانی استفاده شود و قطر گمانه بین ۲۰ تا ۲۵ سانتی متر باشد.
 ۲. برای حفاری در اعماق کمتر از ۱۵ متر از میله های حفاری با اندازه A یا AW و برای حفاری در اعماق بیشتر از میله های با اندازه N یا NW استفاده شود.
 ۳. برای ضربه زدن از چکشی استفاده شود که دارای بازدهی ۶۰ % باشد.
 ۴. ضربات چکش با سرعت ۳۰ تا ۴۰ ضربه در دقیقه به نمونه گیر اعمال شود.
- متأسفانه در میان حفاران ایرانی استفاده از چکش های اتوماتیک چندان گسترش نیافته است و انجام دستی این آزمون در صد بالایی از خطا را ایجاد خواهد کرد . از طرف دیگر در انتخاب سرعت ضربات و یا نوع میله ها هم دقت چندان نمی شود.

۴-۲- بررسی اشکالات شرایط بارگذاری آزمون SPT

در آزمون نفوذ استاندارد خاک به صورت دینامیکی تحت ضربات یک نمونه گیر استوانه ای تو خالی قرار می گیرد . این بارگذاری باعث نفوذ نمونه گیر در درون زمین می شود . در صورتی که تنش ها و تغییر شکل های که در اثر این بارگذاری در خاک ایجاد می شود مورد بررسی واقع شود این نتیجه گیری به دست می آید که محیط مورد بارگذاری در واقع در حالت گسیخته شده و بالاتر از حد پلاستیک واقع شده است . این در حالی است که نتایج این آزمون برای به دست آوردن خواص الاستیک و همچنین مقاومت برشی خاک به کار می رود . به طور خلاصه نوع و محدوده تنشها و کرنش هایی که در آزمون نفوذ استاندارد برای خاک ایجاد می شود منطبق بر نوع و محدوده تنش ها و کرنشهای ی که تحت بار سازه برای خاک به وجود می آید نیست . از سوی دیگر هر یک از آزمایش های صحرایی در اثر بار گذاری خود حجم خاصی از زمین را تحت تاثیر قرار می دهند . هر چه حجم بارگذاری شده افزایش یابد انطباق نتایج آن آزمون با شرایط واقعی بیشتر می شود . آزمون نفوذ استاندارد رد حجم اندکی از زمین را که صرفاً در انتهای گمانه مورد آزمایش قرار گرفته است بارگذاری می نماید . این در حالی است که آزمونه های دیگر نظیر پرسیومتری حجم گسترده ای از زمین را تحت بارگذاری قرار میدهند .

همچنین اختلاف مقاومت نفوذی که در بین دو حالت خشک و اشباع در آزمون نفوذ استاندارد دیده می شود منطبق بر اختلاف مقاومت فشاری و برشی خاک در دو حالت مذکور نیست . عملاً هم امکان انجام دو آزمون مستقل اشباع و خشک برای یک نمونه وجود ندارد و یا به سختی قابل انجام است .

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۱۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

۳-۴- عدم وجود مفهوم یکسان برای N در سراسر محدوده تغییر آن

نتیجه آزمون نفوذ استاندارد عدد N می باشد که معمولاً "مقادیری بین صفر تا ۵۰ می پذیرد. روابط و فرمول های متعددی برای تخمین خصوصیات خاک برحسب عدد N به صورت تجربی وجود دارد. با این حال عدد N در سراسر محدوده صفر تا ۵۰ از ماهیت و مفهوم یکنواختی برخوردار نیست. به عنوان مثال وقتی عدد N برای یک خاک از ۱۰ به ۲۰ افزایش می یابد این میزان افزایش با افزایش عدد N از ۴۰ به ۵۰ از مفهوم یکسانی در مورد مقاومت خاک برخوردار نیست. اصولاً "فرمولهایی که برای محاسبه خواص خاک از طریق عدد N به صورت تجربی ارائه شده اند برای بازه میان ی محدوده صفر تا ۵۰ صادق هستند و برای N های خیلی کوچک و همچنین N های خیلی بزرگ درست نیستند.

۵- خطاهای معمول شده در ایران برای انجام آزمایش SPT

علاوه بر اشکالاتی که به صورت ساختاری بر آزمون نفوذ استاندارد وارد است، برخی خطاها نیز در نحوه انجام آزمایش و استفاده از نتایج آن به صورت محلی در ایران معمول و متداول شده است. خطاهای مذکور در پاره ای از موارد به قدری شایع و معمول شده است که در نزد بسیاری از شرکت های مشاور پذیرش خطا بودن آن دشوار و گاهی غیر قابل قبول است. بر همین اساس در این قسمت ضمن بر شمردن پاره ای از اشتباهات و انحرافات مذکور، توصیه می شود که مراکز علمی کشور حتی المقدور در اندیشه محلی سازی روابط مورد استفاده در محاسبات با توجه به خطاهای مذکور باشند.

۵-۱- استفاده از مخروط توپر در انجام آزمون SPT

همانگونه که پیشتر بیان گردید، آزمون نفوذ استاندارد با استفاده از نمونه گیر جدا شونده و بارگذاری ضربه ای انجام می شود. استانداردهای مختلف و از جمله استاندارد ASTM-1586 صرفاً نمونه گیر جداشونده را برای انجام آزمایش توصیه کرده است. با این حال گزارش هایی در دست است که در برخی از مناطق دنیا و از جمله آمریکا، هند و ایران از یک مخروط توپر که مشابه مخروط آزمون CPT می باشد به جای نمونه گیر جدا شونده استفاده میشود. در واقع، در خاکهای درشت دانه نمونه گیر استاندارد به راحتی نمی تواند نفوذ کند و از روی ناچاری مخروط توپر را جایگزین آن می نمایند. هر چند که در خاکهای درشت دانه می توان با آزمایش های دیگر نظیر آزمون پرسیمتری و یا بارگذاری صفحه ای خواص خاک را به دست آورد، با این حال اگر مهندسان ژئوتکنیک اصرار دارند که خواص خاک را از آزمون نفوذ استاندارد به دست آورند، لازم است نتایج حاصله را اصلاح نمایند.

تاکنون مطالعات کاملی برای تبدیل نتایج SPT با مخروط توپر به SPT استاندارد ارائه نشده است. با این حال برخی از محققین پیشنهاد کرده اند که یک ضریب تقلیل کمتر از واحد برای اصلاح نتایج در نظر گرفته شود.

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۱۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

برخی از محققین از کشور هندوستان از جمله *Mittal and Shkla (2006)* و *Som and Das (2003)* پیشنهاد کرده اند که برای اصلاح نتایج از رابطه زیر استفاده شود:

$$N_{SPT} = (0.57 \text{ to } 0.67) N_{DCPT}$$

رابطه اخیر برای اعماق کمتر از ۹ متر توصیه شده و در آن N_{DCPT} تعداد ضربه در آزمون انجام شده با مخروط توپر و N_{SPT} تعداد ضربه در آزمون نفوذ استاندارد می باشد. قابل ذکر است که پاره ای از محققین از آزمون نفوذ استاندارد با مخروط توپر تحت عنوان آزمون نفوذ مخروط دینامیکی (DCPT) و یا آزمون نفوذ دینامیکی (DP) یاد کرده اند. همچنین در پاره ای از موارد آزمون نفوذ مخروط با چکش های سنگین تر و یا سبک تر از استاندارد انجام می شود که در این صورت لازم است اصلاح وزن چکش نیز در نتایج اعمال گردد.

۵-۲- انجام آزمایش SPT در چاه

در دستور العمل استاندارد آزمون نفوذ استاندارد محدوده مجاز برای قطر گمانه ای که آزمایش در ۲ تا ۸ اینچ اعلام شده است. در ایران و مخصوصا در کاوشهای درون شهری تهران انجام می شود بین ۵ تهران به دلیل شرایط خاص آبرفتی موجود و همچنین کارگران خبره در حفاری چاه، انجام آزمون SPT در چاه نیز معمول شده است. چاه از دو جهت نتایج آزمون را تحت تاثیر قرار می دهد. در درجه اول به دلیل قطر زیاد چاه، خاک کف آن ام کان فرار به جانب و تسهیل در نفوذ را فراهم می نماید و از سوی دیگر امکان کماتش بیشتری برای لوله های حفاری ایجاد می نماید. برخی از اکیپ های حفاری برای جلوگیری از کماتش مضاعف لوله ها در چاه از شبکه های حلقوی نگهدارنده و مقید کننده استفاده می نماید. این شبکه ها در کاهش کماتش میله های حفاری موثر هستند، با این حال در مجموع آزمون SPT در چاه فاقد وجهت علمی و استاندارد است. پیشنهاد می شود که مراکز علمی کشور بر مبنای تحقیقات مستند روابطی برای تبدیل و یا تصحیح نتایج آزمون نفوذ استاندارد در چاه ارائه نمایند.

۵-۳- عدم توجه به ضوابط اعمال ضربه در SPT

وزن، ارتفاع سقوط، سرعت سقوط و جهت سقوط وزنه باید مطابق ضوابط استاندارد باشد. در سیستم های دستی عملکرد اپراتور و میزان دقت وی شدیداً در نتایج حاصله از آزمایش تاثیر می گذارد. برای جلوگیری از این خطاها لازم است از چکش های اتوماتیک استفاده شود. همچنین باید توجه شود که ضربه به صورت قائم و بدون خروج از مرکز بر بالشتک زیر چکش وارد شود. متأسفانه در برخی از موارد عدم قرارگیری طناب در مرکز و کج شدگی آن و همچنین اتصال نامناسب میله ها به همدیگر و یا عدم دقت اپراتور در کشیدن طناب منجر به ایجاد خطاهای قابل توجه در نتایج می گردد.

معرفی آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)									
صفحه: ۱۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
تیر ۹۴								۰۱	

۵-۴- عدم اعمال اصلاحات برای عدد SPT

همانگونه که در بخشهای قبل بیان گردید، اصلاحات متعددی برای عدد آزمایش نفوذ استاندارد ارائه شده است که انجام این اصلاحات نتیجه آزمون SPT را تا حدود زیادی تغییر می دهد. متأسفانه ضرائب و اصلاحات مذکور در میان مشاورین کشور در پاره ای از موارد مورد غفلت واقع شده و عدد اصلاح نشده آزمون به طور مستقیم مورد استناد و استفاده واقع می شود. این خطا ممکن است منجر به طراحی ها و تصمیم گیری های گمراه کننده ای شود.

۶- توصیه هایی برای استفاده از آزمون SPT در ایران

در بخش های قبلی این نوشتار آزمون نفوذ استاندارد از زوایای مختلف مورد بحث و ارزیابی واقع شد. بر مبنای مطالب مذکور برای شرایط ایران توصیه های زیر در زمینه انجام آزمون و استفاده از نتایج SPT ارائه می گردد:

۱. با توجه به نواقص اساسی آزمون SPT بهتر است هیچ تصمیم مهمی در طرحهای عمرانی بر اساس SPT اتخاذ نگردد و از این آزمون صرفاً "با مراجعه به نتایج آزمونهای دیگر و جمع بندی بین نتایج چند آزمایش استفاده شود.
۲. نتیجه آزمون SPT بیش از آنکه عددی با ماهیت واقعی باشد، یک نماد از وضعیت کلی خاک مورد آزمایش است که بیشتر برای استنباطهای نسبی و مقایسه های محلی در یک پروژه کاربرد دارد.
۳. در انجام آزمون با دقت در رعایت نکات استاندارد تلاش شود که نواقص و معایب بیان شده در بخش قبل که متأسفانه در بسیاری از پروژه ها معمول شده است به حداقل برسد.
۴. در خاکهای شنی آزمون SPT کارآیی ندارد. در این گونه موارد بهتر است از آزمونهای دیگر نظیر آزمون پرسیمتری استفاده شود. متأسفانه در برخی از موارد از آزمون SPT برای محاسبه خصوصیات خاکهای درشت دانه استفاده می شود و با توجه به اینکه عدد SPT حداکثر معادل ۵۰ در نظر گرفته می شود، خصوصیات تخمینی برای مصالح درشت دانه بسیار محافظه کارانه انتخاب می شود.