

## بررسی اثر تغییر زاویه نوک کاوشگر دینامیکی DCP بر تکرارپذیری نتایج آنها

سید داود محمدی<sup>۱</sup>، محمدرضا نیکودل<sup>۲\*</sup>، حسن رحیمی<sup>۳</sup>

پذیرش مقاله: ۸۷/۱۱/۲

دریافت مقاله: ۸۶/۹/۷

### چکیده:

استفاده از کاوشگرهای دینامیکی در ارزیابی‌های زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی نسبت به روش‌هایی مانند گمانه زنی اقتصادی تر، سریع تر و حمل آن به نقاطی با دسترسی دشوار راحت تر است. کاوشگر دینامیکی DCP نوع خیلی سبک کاوشگرهای دینامیکی با عمق کاوش ۱ تا ۱/۲ متر است و در ارزیابی CBR اساس و زیراساس راه‌ها به کار رفته است. در این تحقیق امکان توسعه کاربرد این کاوشگر و اثر تغییر در زاویه راس مخروط نفوذ بر نتایج آن بررسی گردیده است. بررسی تکرارپذیری نتایج و توابع مختلف توزیع احتمال مربوطه، بر تکرارپذیری بودن نتایج حاصل از کاوشگر DCP دلالت دارد. با توجه به مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) بهترین توزیع احتمال نتایج حاصله، مربوط به توزیع لوگ نرمال و بعد از آن، توزیع نرمال است. بررسی اثر تغییر در زاویه راس مخروط در آزمایش‌های DCP نشان داد که تکرارپذیرترین نتایج مربوط به مخروط با زاویه راس ۹۰ درجه بوده و مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه دارای بیشترین خطا می‌باشد. مخروط نفوذ استاندارد (۶۰ درجه) نیز دارای دقت مناسبی بوده و نتایج آن قابل قبول است.

**کلید واژه‌ها:** کاوشگر دینامیکی DCP، توابع توزیع احتمال، ضریب تغییرات، تکرارپذیری، زاویه راس مخروط.

۱- دانشجوی دوره دکتری زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار، گروه زمین‌شناسی مهندسی دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس [nikudelm@yahoo.com](mailto:nikudelm@yahoo.com)

۳- استاد، دانشکده مهندسی آبیاری، دانشگاه تهران

\*مسئول مکاتبات

## مقدمه

نفوذسنجی به عنوان یکی از انواع مهم آزمایش های برجها جهت مطالعه خاک و تعیین ویژگی های آن در مقایسه با روشهای گمانه زنی، نمونه برداری و آزمایشهای آزمایشگاهی شناخته شده است (خداپرست، ۱۳۸۴). شیوه مذکور نسبت به روشهای گمانه زنی و مطالعات معمول ژئوتکنیک، ارزاتر، سریع تر و با قابلیت بکارگیری بالا، به ویژه در نقاط با دسترسی دشوار می باشد و در بسیاری از موارد به خصوص زمانی که عمق مورد نظر جهت مطالعه لایه های خاک خیلی زیاد نباشد، مورد استفاده قرار می گیرد (Clayton et al., 1995).

آزمایش های نفوذسنجی به دودسته کلی استاتیکی و دینامیکی تقسیم می شوند. در نفوذسنجی دینامیکی مخروط نفوذ دوائر ضربه و اعمال نیروی دینامیکی در داخل خاک نفوذ می کند. تاکنون کاوشگرهای دینامیکی در ابعاد و اندازه های مختلف و با مشخصات گوناگونی ساخته شده و تعدادی از آنها تحت استانداردهای DIN آلمان و BS انگلستان در آمده اند. در جدول ۱، مشخصات مهمترین انواع کاوشگرهای دینامیکی و آزمایش مخروط نفوذ استاندارد (SPT) براساس استانداردهای مختلف آمده است.

روابط متعددی بین نتایج حاصل از کاوشگرهای دینامیکی و پارامترهای مهندسی خاک ها (مانند زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR)، مدول الاستیسیته (E) و غیره ارائه شده است (Mohammadi et al., 2007). یکی از مسائلی که در استفاده از روابط مذکور باید مد نظر قرار داد صحت نتایج حاصل از کاوشگرهای دینامیکی می باشد.

در این پژوهش به منظور بررسی صحت نتایج حاصل از کاوشگرهای دینامیکی خیلی سبک، کاوشگر دینامیکی DCP (Dynamic Cone Penetrometer) انتخاب شده و تکرارپذیری نتایج آن در زوایای مختلف مخروط نوک بررسی شده است. تکرارپذیری یکی از مشخصه های مهمی است که باید در کاوشگرها مورد بررسی قرار گیرد تا صحت نتایج به

دست آمده تایید شود. با بررسی وضعیت تکرارپذیری این نوع کاوشگر در زوایای مختلف مخروط نوک، می توان زاویه مناسبی که در آن نتایج از دقت مناسبی برخوردارند را تعیین نمود.

## کاوشگر دینامیکی DCP

کاوشگر دینامیکی DCP برای اولین بار در استرالیا و توسط (Scala 1959) به کار رفته و سپس در آفریقای جنوبی جهت ارزیابی کیفیت اساس و زیر اساس راه ها استفاده شد (Edill & Benson, 2005). این کاوشگر از انواع کاوشگرهای دینامیکی خیلی سبک (جدول ۱) بوده که شامل وزنه ای به جرم ۸ کیلوگرم با ارتفاع سقوط ۵۷۵ میلی متر، مخروط نفوذ با زاویه ۶۰ درجه و قطر میله های رابط ۱۶ میلی متر می باشد (شکل ۱). عمق کاوش این کاوشگر ۱ تا ۱/۲ متر بوده و در صورت استفاده از آن در کف چاهک های دستی، گودبرداری ها و ترانشه ها، عمق آنها نیز به عمق کاوش اضافه می گردد. با توجه به عمق کم کاوش و کمتر بودن قطر میله های رابط نسبت به قطر مخروط نفوذ، عملاً اصطکاک بین خاک و میله های رابط حذف شده و بنابراین در این نوع کاوشگر دینامیکی فقط مقاومت نوک ظاهر می گردد (Edill, 2005).

از مزایای این نوع کاوشگر دینامیکی می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ۱- سبک وزن بودن مجموعه دستگاه (Mohammadi et al., 2007)
- ۲- قابلیت استفاده از آن برای ساختگاه های صعب العبور (خداپرست، ۱۳۸۴)
- ۳- عدم نیاز به حفاری گمانه (Fakher et al., 2006)
- ۴- قابلیت تشخیص وضعیت و ضخامت لایه های زیرسطحی خاک (Fakher et al., 2006)
- ۵- امکان استفاده از آن در کف چاهک های دستی (خداپرست، ۱۳۸۴)

۲- عدم استفاده از آن برای خاکهای بسیار درشت دانه مانند شن و قلوه سنگ و خاکهای بسیار متراکم (Edill & Benson, 2005)

۳- عدم استفاده از آن برای اعماق زیاد (Mohammadi et al., 2007)

۴- تردید در مورد تکرارپذیری نتایج آزمایش (خداپرست، ۱۳۸۴).

۶- سرعت انجام آزمایش و سهولت ایجاد روابط کاربردی بین نتایج حاصل از آن با اکثر پارامترهای مهندسی خاکها (Mohammadi et al., 2007)

۷- هزینه پایین ساخت و نگهداری مجموعه دستگاه از چالشهای مهم در استفاده از این آزمایش، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- عدم امکان نمونه گیری از خاک در حالت استفاده در خارج از چاهک دستی،

جدول ۱- مشخصات انواع متعارف کاوشگرهای دینامیکی و آزمایش نفوذ استاندارد

نفوذ استاندارد (SPT)	خیلی سنگین (DPSH)	سنگین (DPH)	متوسط (DMP)	سبک (DLP)	خیلی سبک		کاوشگر مشخصات
					DCP	Mackintosh	
۶۳/۵±۰/۵	۶۳/۵±۰/۵	۵۰±۰/۵	۳۰±۰/۳	۱۰±۰/۱	۸/۰	۴/۵	وزن چکش (Kg)
۰/۷۶±۰/۰۲	۰/۷۵±۰/۰۲	۰/۵±۰/۰۱	۰/۵±۰/۰۱	۰/۵±۰/۰۱	۰/۵۷۵	۰/۳	ارتفاع سقوط چکش (m)
۵۰/۵±۰/۵	۵۰/۵±۰/۵	۴۳/۷±۰/۳	۳۵/۷±۰/۳	۳۵/۷±۰/۳	۲۰	۲۷/۹۴	قطر مخروط (mm)
۲۰*	۲۰	۱۵	۱۰	۱۰	۳/۱۵	۶/۱۳	سطح مقطع مخروط (cm <sup>2</sup> )
۳۲-۴۰/۵-۵۰	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۲۲±۰/۲	۱۶	۱۲/۷	قطر میله های رابط (mm)
-	-	۹±۲	۹±۲	۶±۲	-	-	ضخامت میله های رابط (mm)
-	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۳۰	زاویه نوک مخروط (درجه)
حداکثر ۵۰ (برای نفوذ ۳۰ سانتی متر)	۵-۱۰۰ (برای نفوذ ۲۰ سانتی متر)	۳-۵۰ (برای نفوذ ۱۰ سانتی متر)	۳-۵۰ (برای نفوذ ۱۰ سانتی متر)	۳-۵۰ (برای نفوذ ۱۰ سانتی متر)	<۲۰** (برای نفوذ بیش از ۱ mm)	۳-۵۰ (برای نفوذ ۱۰ سانتی متر)	محدوده استاندارد رایج
Clayton et al. (1995)	DIN 4094 (1974)	DIN 4094 (1974)	DIN 4094 (1974)	DIN 4094 (1974)	ASTM D 6951-03 (2003)	BS 5930 (1999)	منبع

\* شبه مخروط با نوک باز (مخروط در کاوشگر دینامیکی در واقع یک مخروط کامل و نوک تیز است ولی مخروط در آزمایش نفوذ استاندارد دارای

یک فضای خالی برای نمونه گیری در نوک می باشد).

\*\* عمق نفوذ کمتر از ۱ میلیمتر و بیش از ۲۰ ضربه به حساب نمی آید.

اصطکاک بین خاک و میله‌های رابط کاوشگر یکی از عواملی است که بر نتایج آزمایش‌های نفوذسنجی دینامیکی تأثیر می‌گذارد. بهترین شیوه جهت تعیین میزان اصطکاک، اندازه‌گیری گشتاور لازم جهت چرخاندن میله‌های رابط است (Card et al., 1990).

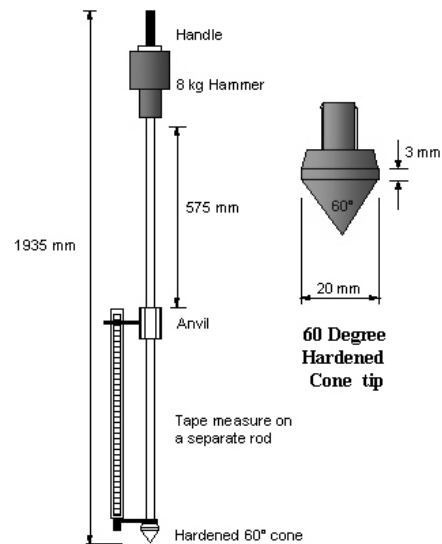
برخی از محققین مانند (Butcher et al., 1995) سعی نموده اند که میزان گشتاور معادل یک ضربه را تعیین نمایند. این محققین در ابتدا در تعدادی آزمایش در اعماق مختلف میزان گشتاور لازم جهت چرخاندن میله‌های رابط را اندازه‌گیری نمودند. سپس در مجاورت آن با استفاده از میله‌های رابط سوراخ‌دار و بتونیت (تزریق شده تحت فشار در درون و سطح بیرونی میله‌ها) اثر اصطکاک را از بین برده و از مقایسه نتایج به دست آمده در دو حالت، میزان گشتاور معادل یک ضربه را تعیین نمودند.

البته در این خصوص روابطی نیز پیشنهاد شده است. به عنوان نمونه به منظور در نظر گرفتن اثر اصطکاک بین میله‌های رابط و خاک و تصحیح نتایج، رابطه (۲) برای انواع کاوشگرهای دینامیکی ارائه شده است (Card et al., 1990):

$$N = \frac{2}{d} \frac{e\tau}{WgH} \quad (2)$$

در این رابطه  $\tau$  میزان گشتاور اندازه‌گیری شده بر حسب نیوتن متر و  $N$  تعداد ضربات معادل اثر اصطکاک می‌باشد که باید از اعداد اندازه‌گیری کسر گردد. همچنین  $e$  مقدار نفوذ در هر مرحله بر حسب متر،  $W$  وزن چکش بر حسب کیلوگرم،  $H$  ارتفاع سقوط چکش بر حسب متر،  $d$  قطر میله‌های نفوذ بر حسب متر و  $g$  شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه است.

در این پژوهش، برای اولین بار دستگاه کاوشگر دینامیکی DCP توسعه داده شده و از آن تا عمق ۵ متر استفاده شده است. بدیهی است که در این حالت اصطکاک بین میله رابط و خاک پدیدار شده و نتایج بدست آمده باید اصلاح گردد. در این پژوهش، از رابطه (۲) برای این منظور استفاده گردیده است.



شکل ۱- اجزای کاوشگر دینامیکی DCP (Edill and Benson, 2005)

نتایج حاصل از انجام آزمایش با کاوشگر DCP را می‌توان به سه روش ارائه نمود:

#### ۱- تعیین شاخص نفوذ (DPI)

اصلی‌ترین روش ارائه نتایج کاوشگر دینامیکی DCP استفاده از شاخص نفوذ DPI (Dynamic Cone Index) بر حسب میلی‌متر بر ضربه (mm/blow) و برای هر عمق از رابطه (۱) بدست می‌آید (Edill and Benson, 2005):

$$DPI = \frac{P_{i+1} - P_i}{B_{i+1} - B_i} \quad (1)$$

که در آن:

$P$ : مقدار نفوذ در  $i$  یا  $i+1$  ضربه چکش بر حسب mm

$B$ : تعداد ضربه مربوط به  $i$  یا  $i+1$  ضربه

۲- ترسیم نمودار تعداد ضربات اعمال شده برای نفوذ در مقابل مقدار نفوذ مخروط، متناسب با هر ضربه و تعیین شیب بخش خطی نمودار. این شیب شاخص نفوذ (DPI) را بر حسب میلی‌متر بر ضربه (mm/blow) به دست می‌دهد (Edill and Benson, 2005).

ثابت تعداد ضربات لازم برای مقدار ۱۰۰ میلی‌متر نفوذ که با علامت  $N_{DCP}$  بیان می‌شود (Fakher et al., 2006). در این پژوهش از این روش استفاده شده است.

در این پژوهش، پس از حذف داده های نامطمئن، تحلیل های آماری بر روی سایر داده ها انجام گرفت.

برای مطالعه تکرارپذیری نتایج کاوشگرهای دینامیکی، انتخاب یک پارامتر آماری مناسب اهمیت زیادی دارد. کاربرد مقادیر انحراف استاندارد (S) برای این هدف مناسب نیست، زیرا مقادیر S برای مقادیر بزرگ  $N_{DCP}$  (تعداد ضربات برای نفوذ ۱۰۰ میلی متر)، عدد بزرگی به دست می دهد. بنابراین ضریب تغییرات (CV) برای این بررسی مناسب است (Fakher et al., 2006).

پس از حذف داده های نامطمئن، ضریب تغییرات (CV) مقادیر  $N_{DCP}$  برای هر عمق محاسبه می گردد. مقدار تغییرات (CV) بر حسب درصد از رابطه (۴) تعیین می شود (Fakher et al., 2006):

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (4)$$

که در آن،  $\bar{X}$  میانگین مقادیر  $N_{DCP}$  (تعداد ضربات لازم برای نفوذ ۱۰۰ میلی متر) و s انحراف استاندارد مقادیر  $N_{DCP}$  در هر عمق می باشد.

### بررسی اثر تغییر قطر مخروط بر تکرارپذیری نتایج کاوشگرهای دینامیکی

از آنجایی که در بین مشخصات مختلف انواع کاوشگرهای دینامیکی، مهمترین آنها قطر مخروط نفوذ می باشد، (خداپرست، ۱۳۸۴) این پارامتر را بررسی نموده است.

با توجه به آزمایش های انجام شده در این راستا، اثر تغییر قطر مخروط بر تکرارپذیری در شکل ۲ آمده است.

در شکل ۲ در هر مورد، تغییر مقادیر CV، مربوط به میانگین حداقل ۸ تا ۴۲ سری آزمایش می باشد. هر سری از آزمایش ها نیز خود شامل ۳ آزمایش تکراری در سه نقطه نزدیک به هم (فاصله کمتر از ۰/۵ متر) است.

همانطور که مشاهده می شود، در همه انواع کاوشگرهای دینامیکی با افزایش قطر مخروط نفوذ، مقدار ضریب تغییرات افزایش یافته و تکرارپذیری کاهش می یابد. یکی از دلایل این امر آن است که با افزایش قطر مخروط، شعاع بزرگتری از

### تکرارپذیری نتایج حاصل از کاوشگرهای دینامیکی و بررسی های آماری

همانطور که قبلاً بیان گردید، در مورد نتایج به دست آمده از کاوشگرهای دینامیکی، تردیدهایی وجود دارد. جهت بررسی نتایج بدست آمده از انواع کاوشگرهای دینامیکی و تعیین میزان دقت نتایج، محققان مختلفی میزان تکرارپذیری نتایج کاوشگرهای دینامیکی را با تغییر مشخصات فنی این کاوشگرها، بررسی نموده اند. در این راستا می توان به پژوهش های خداپرست (۱۳۸۴) و (Fakher et al., 2006) اشاره نمود.

برای بررسی آماری نتایج، ابتدا داده های نامطمئن حذف می گردند. برای این منظور از آزمون  $T_0$  استفاده شده است (Lee et al., 1983). در این آزمون مقدار  $T_0$  بر اساس رابطه (۳) محاسبه می گردد:

$$T_0 = \left| \frac{x_0 - \bar{x}}{s} \right| \quad (3)$$

در این معادله  $x_0$  داده به دست آمده از آزمایش،  $\bar{x}$  میانگین داده ها و s انحراف معیار نتایج است. سپس مقدار  $T_0$  با مقدار بحرانی (جدول ۲) مقایسه شده و چنانچه  $T_0 > T$  باشد، نتیجه مزبور می بایست به عنوان نتیجه نامطمئن حذف گردد.

جدول ۲- مقادیر بحرانی T جهت شناسایی نمونه های

مخدوش (Lee et al., 1983)

تعداد نمونه	سطح اطمینان		تعداد نمونه	سطح اطمینان	
	۹۵%	۹۹%		۹۵%	۹۹%
۴	۱/۴۶	۱/۴۹	۱۳	۲/۳۳	۲/۶۱
۵	۱/۶۷	۱/۷۵	۱۴	۲/۳۷	۲/۶۶
۶	۱/۸۲	۱/۹۴	۱۵	۲/۴۱	۲/۷۱
۷	۱/۹۴	۲/۱۰	۲۰	۲/۵۶	۲/۸۸
۸	۲/۰۳	۲/۲۲	۲۵	۲/۶۶	۳/۰۱
۹	۲/۱۱	۲/۳۲	۳۰	۲/۷۵	-
۱۰	۲/۱۸	۲/۴۱	۴۰	۲/۸۷	-
۱۱	۲/۲۳	۲/۴۸	۶۰	۳/۰۳	-

دینامیکی، مناسب ترین وزن چکش را ۳۰ کیلوگرم توصیه نموده اند.

### بررسی تکرارپذیری نتایج حاصل از آزمایش های DCP

به منظور بررسی تکرارپذیری نتایج کاوشگر دینامیکی DCP، چهار سری آزمایش انجام شده است. هر سری شامل سه آزمایش تکراری در فاصله ۰/۵ متری از یک گمانه اکتشافی و ۰/۵ متری از دیگر آزمایشهای تکراری می باشد. در این راستا، اثر تغییر زاویه مخروط نفوذ دستگاه بر تکرارپذیری نتایج بررسی شده است. بدین منظور ۴ مخروط نفوذ با زوایای ۱۵ درجه، ۳۰ درجه، ۶۰ درجه و ۹۰ درجه استفاده شده است. در تمامی این مخروط ها اندازه قطر مخروط استاندارد بوده (۲۰ میلی متر) و تنها زاویه آنها تغییر یافته است.

محل آزمایش، ساختمانی هتل سرشور در مرکز شهر مقدس مشهد بوده و با توجه به توسعه میله های رابط DCP توسط محققین این پژوهش، کاوش ها تا عمق ۵ متری صورت گرفته است. جدول ۳ ویژگی های مهندسی خاکهای ساختمانی مورد بررسی، تا عمق ۵ متر را نشان می دهد.

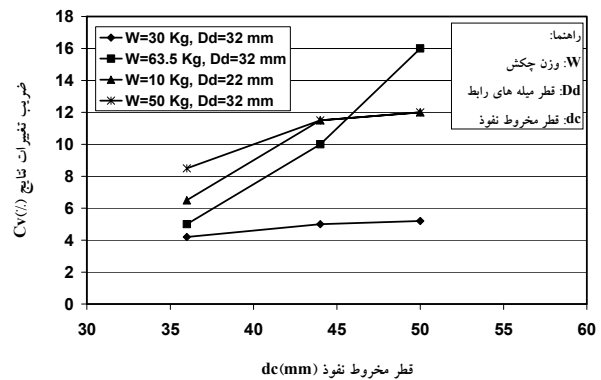
جدول ۳- ویژگیهای مصالح ساختمانی مورد بررسی

عمق (متر)	شاخص پلاستیسیته (PI)	درصد رطوبت حد خمیری (PL)	درصد رطوبت حد روانی (LL)	درصد رطوبت	طبقه بندی طبق استاندارد
۰-۲	۴/۰۱	۱۴/۲۸	۱۸/۲۹	۷/۰۹	CL-ML
۲-۴	۴/۰۱	۱۴/۲۸	۱۸/۲۹	۷/۷۷	CL-ML
۴-۵	No.PI	-	-	۵/۱۶	SM

شکل ۴ مقادیر پارامتر  $N_{DCP}$  نسبت به عمق را در هر سری از آزمایش های تکرارپذیری و برای زوایای مختلف مخروط نوک کاوشگر DCP نشان می دهد. به منظور بررسی تکرارپذیری هر یک از حالت های آزمایش شده، مقادیر ضریب تغییرات برای هر ۱۰ سانتی متر عمق (تا عمق ۵ متر) تعیین گردیده است. جدول ۴ نتایج یک نمونه از این بررسی ها را برای مخروط استاندارد (زاویه ۶۰ درجه) نشان می دهد.

در این راستا، نمودار توزیع فراوانی ضریب تغییرات (CV) و میانگین مقادیر  $N_{DCP}$  نیز با استفاده از نرم افزار SPSS-14

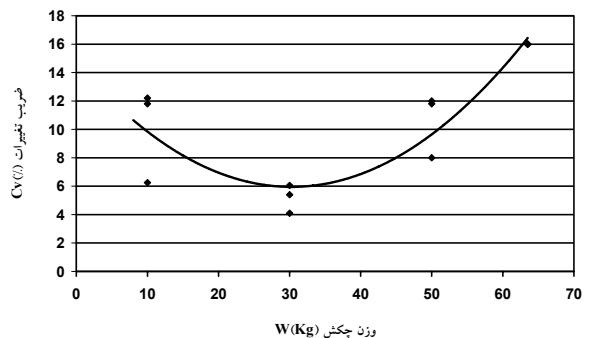
خاک در حین آزمایش تحت تاثیر قرار می گیرد که احتمال ناهمگنی آن بیشتر می شود (خداپرست، ۱۳۸۴).



شکل ۲- نمودار تاثیر تغییر قطر مخروط نفوذ بر تکرارپذیری نتایج انواع کاوشگرهای دینامیکی (خداپرست، ۱۳۸۴)

بررسی اثر وزن چکش بر تکرارپذیری نتایج کاوشگرهای دینامیکی یکی دیگر از پارامترهای موثر بر تکرارپذیری نتایج کاوشگرهای دینامیکی، اثر تغییر وزن چکش این کاوشگرها می باشد. در این راستا (خداپرست ۱۳۸۴) نتایج این بررسی را برای انواع مختلف کاوشگرها ارائه نموده است. در (شکل ۳) نتایج این بررسی آورده شده است.

همانطور که از شکل ۳ دیده می شود، تکرارپذیرترین نتایج مربوط به وزن چکش ۳۰ کیلوگرم بوده و با افزایش وزن چکش، تکرارپذیری نتایج کاهش می یابد (خداپرست، ۱۳۸۴).



شکل ۳- تاثیر تغییر وزن چکش بر تکرارپذیری نتایج انواع کاوشگرهای دینامیکی (خداپرست، ۱۳۸۴)

شایان ذکر است که (Butcher et al. 1995) نیز در تحقیقات خود که بر روی خاکهای ریز دانه در ۱۰ محل مختلف در کشور انگلستان انجام داده اند، در بین انواع کاوشگرهای

به دیگر زوایا می باشد. همچنین با توجه به اینکه مقادیر Cv مربوط به مخروط (۶۰ درجه) در تمامی آزمایش ها از مقدار Cv جدول استاندارد کمتر است، بنابراین نتایج DCP با مخروط استاندارد (۶۰ درجه) نیز دارای دقت مناسبی می باشد. همانطور که بیان شد، جهت مطالعه نحوه توزیع احتمال ضریب تغییرات و میانگین نتایج آزمایش DCP، از نمودارهای نرمال و لوگ نرمال استفاده گردیده است. یکی از روشهای آماری که می توان از آن جهت بررسی دقت نمودارهای مذکور استفاده کرد، کاربرد پارامتر ضریب تعیین ( $R^2$ ) می باشد. جهت محاسبه این پارامتر از رابطه (۵) استفاده شده است (اسماعیلیان، ۱۳۸۵):

$$R^2 = \left( \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{[\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2]}} \right)^2 \quad (5)$$

که در آن x بیانگر مقدار اندازه گیری شده و y مقدار متناظر آن در تابع می باشد.

جدول ۷ مقادیر ضریب تعیین را برای توزیع های نرمال و لوگ نرمال نتایج آزمایش نشان می دهد.

نتایج جدول ۷ بیانگر این مطلب است که برای مقادیر ضریب تغییرات بررسی شده، مقادیر  $R^2$  مناسب بوده و کمترین آن ۰/۷۵ برای مخروط نفوذ ۳۰ درجه و بیشترین آن ۰/۹۹ و برای مخروط نفوذ ۹۰ درجه می باشد. بنابراین مقادیر ضریب تغییرات و یا میانگین نتایج از توزیع نرمال یا لوگ نرمال تبعیت می نمایند.

در این راستا با توجه به نتایج آزمایش های انجام شده (جدول ۶)، مقدار Cv (ضریب تغییرات) نتایج برای مخروط ۱۵ درجه در حدود ۷۷ درصد موارد، برای مخروط ۳۰ درجه در حدود ۶۲ درصد موارد، برای مخروط ۶۰ درجه در حدود ۸۵ درصد موارد و برای مخروط ۹۰ درجه در حدود ۸۱ درصد موارد کمتر از مقادیر ضریب تغییرات SPT (۳۰ درصد) می باشد. بنابراین نتایج حاصل از آزمایش DCP از تکرارپذیری مناسبی برخوردار است.

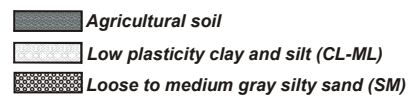
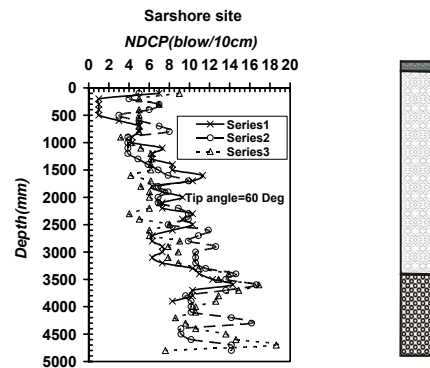
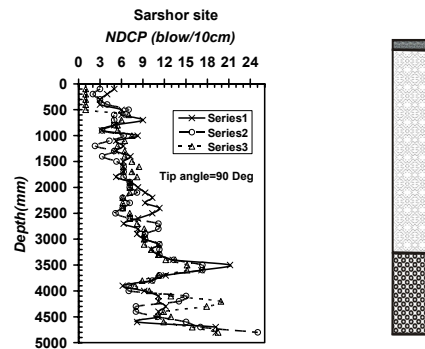
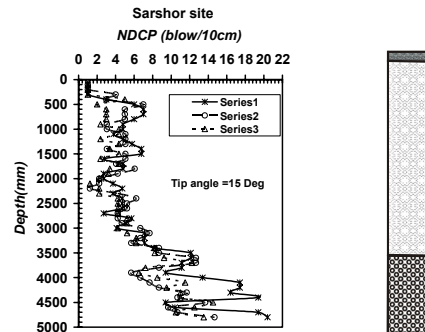
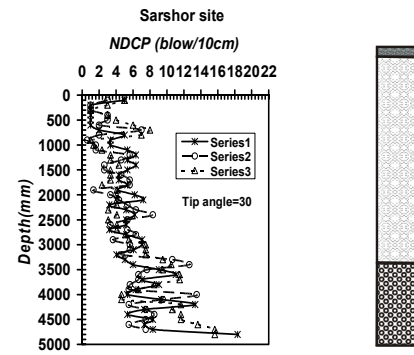
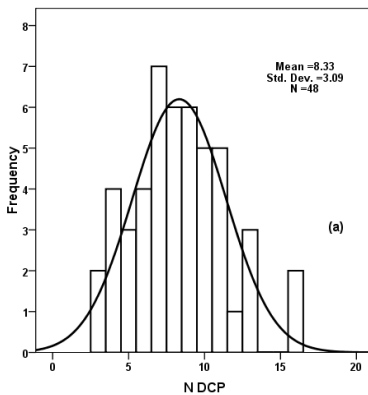
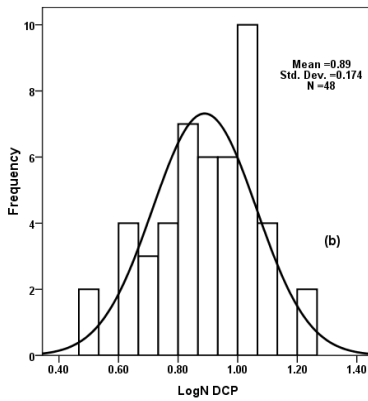
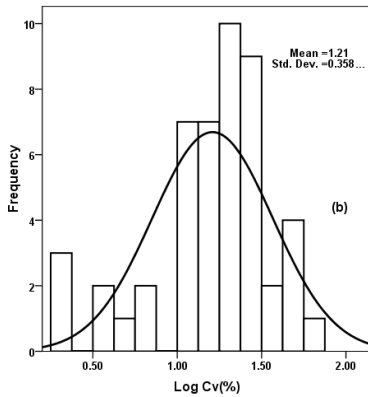
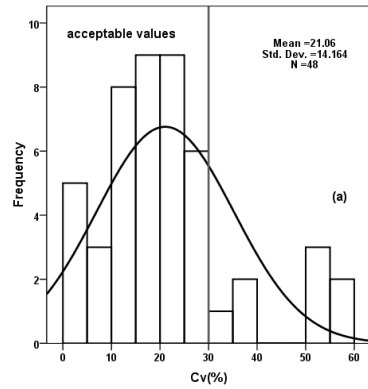
(اسماعیلیان، ۱۳۸۵) و برای زوایای مختلف مخروط نوک ترسیم شده است. شکل ۵ یک نمونه از حالت های مختلف توزیع فراوانی Cv(%) و میانگین مقادیر  $N_{DCP}$  و مشخصات آن را برای مخروط نوک با زاویه رأس استاندارد (۶۰ درجه) نشان می دهد. نمودارهای شکل ۵ بیانگر تبعیت نتایج به دست آمده از توزیع نرمال و یا لوگ نرمال می باشد.

جهت تعیین وضعیت تکرارپذیری نتایج، باید مقادیر Cv نتایج را با مقادیر یک جدول استاندارد مقایسه نمود. جدول ۵ برخی از خصوصیات خاک ها، که توسط آزمایش های استاندارد مختلف به دست آمده را به همراه ضریب تغییرات آن نشان می دهد. منشاء تغییرات در خصوصیات خاک ها متفاوت است و متعاقباً، ضریب تغییرات نیز برای خواص مختلف خاک متفاوت است (Lee et al., 1983).

تغییرات Cv برای نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (N)، که اساساً یک آزمایش دینامیکی سنگین است، از ۲۷ تا ۸۵ درصد تغییر می نماید و استاندارد پیشنهاد شده برای آن ۳۰٪ است (Lee et al., 1983). تکرارپذیری نتایج SPT را می توان به عنوان مقیاسی برای تکرارپذیری کاوشگر دینامیکی DCP به کار برد. در این حالت مقدار Cv حاصل از نتایج DCP با Cv آزمایش SPT مقایسه می گردد (Lee et al., 1983).

جدول ۶ خلاصه نتایج به دست آمده در این پژوهش را به منظور مقایسه با جدول استاندارد نشان می دهد. در این پژوهش میانگین مقادیر Cv برای هر سری از آزمایش ها مربوط به یک زاویه مشخص از نوک مخروط نفوذ، با مقدار Cv مربوط به آزمایش SPT (جدول ۵) مقایسه شده و تکرارپذیری بررسی شده است. شکل ۶ نمودار تغییرات میانگین ضرایب تغییرات را برای هر یک از زوایای نوک مخروط نفوذ نشان می دهد.

همانطور که از نمودار (شکل ۶) مشاهده می شود، بعد از افزایش ناگهانی مقدار میانگین Cv در زاویه راس ۳۰ درجه، با افزایش زاویه راس مخروط، کاهش Cv مشاهده شده و تکرارپذیری افزایش می یابد. در این راستا، زاویه راس بهینه، ۹۰ درجه بوده و نتایج آن دارای تکرارپذیری بیشتری نسبت



شکل ۵ - نمونه ای از نمودارهای فراوانی ضریب تغییرات نتایج (Cv) و میانگین نتایج (N<sub>DCP</sub>) به همراه توابع مختلف توزیع احتمال آنها برای مخروط نفوذ استاندارد (۶۰ درجه)

شکل ۴ - مقادیر پارامتر N<sub>DCP</sub> نسبت به عمق در هر سری از آزمایش های تکرارپذیری برای زوایای مختلف مخروط نوک کاوشگر



جدول ۴- نتایج یک نمونه از موارد بررسی مقادیر  $Cv(\%)$  برای مخروط استاندارد (زاویه ۶۰ درجه)

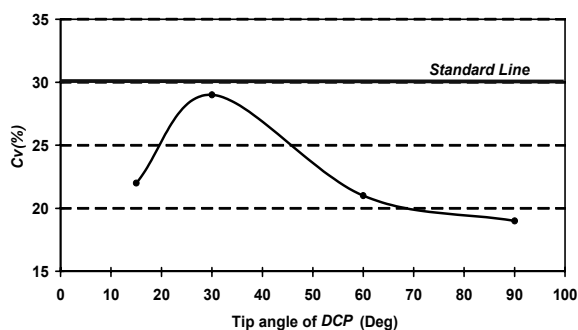
جدول ۵- ضریب تغییرات متداول در تعدادی از آزمایش‌های خاک (Lee et al., 1983)

میزان حداکثر توصیه شده	$Cv(\%)$ گزارش شده	نوع آزمایش
۱۰	۵-۱۵	زاویه اصطکاک داخلی ماسه‌ها
۲۵	۱۷-۵۸	باربری کالیفرنیا (CBR)
۳۰	۲۰-۵۰	چسبندگی زهکشی نشده رس‌ها
۳۰	۲۷-۸۵	آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
۴۰	۶-۱۰۰	مقاومت تک محوری در رس‌ها

نسبت به عمق

مقادیر $N_{DCP}$ عمق (mm)	سری			میانگین	ضریب تغییرات $Cv(\%)$
	اول	دوم	سوم		
۱۰۰	۷	۵	۹	۷	۲۳
۲۰۰	۱	۴	۵	۳	۵۱
۳۰۰	۱	۷	۷	۵	۵۷
۴۰۰	۱	۶	۵	۴	۵۴
۵۰۰	۱	۳	۵	۳	۵۴
۶۰۰	۳	۵	۵	۴	۲۲
۷۰۰	۵	۷	۵	۶	۱۷
۸۰۰	۵	۸	۵	۶	۲۴
۹۰۰	۴	۴	۳	۴	۱۲
۱۰۰۰	۴	۴	۴	۴	۴
۱۱۰۰	۷	۴	۵	۵	۲۶
۱۲۰۰	۶	۴	۶	۵	۲۰
۱۳۰۰	۶	۵	۶	۶	۱۱
۱۴۰۰	۸	۶	۶	۷	۱۶
۱۵۰۰	۸	۷	۶	۷	۱۲
۱۶۰۰	۱۱	۸	۴	۸	۳۷
۱۷۰۰	۱۰	۱۰	۶	۹	۲۱
۱۸۰۰	۶	۷	۵	۶	۱۲
۱۹۰۰	۷	۸	۶	۷	۱۱
۲۰۰۰	۹	۷	۶	۷	۱۹
۲۱۰۰	۷	۷	۷	۷	۲
۲۲۰۰	۷	۹	۶	۷	۱۶
۲۳۰۰	۱۰	۱۰	۴	۸	۳۵
۲۴۰۰	۹	۱۰	۵	۸	۲۷
۲۵۰۰	۱۰	۸	۸	۹	۱۳
۲۶۰۰	۸	۱۲	۶	۹	۲۸
۲۷۰۰	۶	۱۱	۶	۸	۲۹
۲۸۰۰	۶	۱۰	۹	۸	۱۸
۲۹۰۰	۷	۱۳	۸	۹	۲۶
۳۰۰۰	۷	۱۱	۹	۹	۱۵
۳۱۰۰	۶	۱۱	۸	۸	۲۲
۳۲۰۰	۷	۱۱	۹	۹	۱۵
۳۳۰۰	۱۰	۱۲	۱۱	۱۱	۵
۳۴۰۰	۲	۱۵	۱۴	۱۰	۵۵
۳۵۰۰	۱۲	۱۴	۱۳	۱۳	۴
۳۶۰۰	۱۴	۱۷	۱۷	۱۶	۷
۳۷۰۰	۱۰	۱۴	۱۵	۱۳	۱۵
۳۸۰۰	۱۰	۱۰	۱۳	۱۱	۱۳
۳۹۰۰	۸	۱۰	۱۳	۱۰	۲۱
۴۰۰۰		۱۰	۱۱	۱۰	۲
۴۱۰۰		۱۰	۱۱	۱۰	۲
۴۲۰۰		۱۴	۹	۱۱	۲۴
۴۳۰۰		۱۶	۱۰	۱۳	۲۵
۴۴۰۰		۹	۱۱	۱۰	۷
۴۵۰۰		۹	۱۴	۱۱	۲۰
۴۶۰۰		۱۰	۱۵	۱۲	۱۸
۴۷۰۰		۱۴	۱۹	۱۶	۱۴
۴۸۰۰		۱۴	۸	۱۱	۳۰

محدوده تغییرات  $Cv(\%)=2-57$



شکل ۶- رابطه بین میانگین ضریب تغییرات با زوایای مختلف مخروط نفوذ

جدول ۶- خلاصه نتایج به دست آمده برای مقادیر ضریب

تغییرات و میانگین نتایج

زاویه مخروط نوک		ضریب تغییرات	
۱۵ درجه	۳۰ درجه	۶۰ درجه	۹۰ درجه
۲۲	۲۹	۲۱	۱۸
۱-۷۱	-۷۳	-۵۷	-۵۶
۰	۰	۲	۱
ندارد	۲	ندارد	ندارد
۷۷	۶۲	۸۵	۸۱
۱-۱۶	-۱۷	-۱۶	-۲۱
۱	۱	۳	۲

جدول ۷- مقدار ضریب تعیین مدل های مختلف توزیع احتمال برای مقادیر ضریب تغییرات و میانگین نتایج، برای انواع مخروط های نفوذ

زاویه ۹۰ درجه		زاویه ۶۰ درجه		زاویه ۳۰ درجه		زاویه ۱۵ درجه		ضریب تعیین ( $R^2$ ) توزیع های احتمال در کاوشگر DCP
میانگین نتایج	ضریب تغییرات Cv(%)	میانگین نتایج	ضریب تغییرات Cv(%)	میانگین نتایج	ضریب تغییرات Cv(%)	میانگین نتایج	ضریب تغییرات Cv(%)	
۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۷۹	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۸۳	توزیع نرمال
۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۸۱	توزیع لوگ نرمال

### بحث:

چکش برای کاوشگرها را ۳۰ کیلوگرم بیان می دارند. وجود وزنه چکش ۸ کیلوگرمی در کاوشگر DCP ذاتاً دارای مقداری خطا در نتایج می باشد ولی نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب است که این مقدار خطا، تاثیر محسوسی در نتایج آزمایش نخواهد داشت.

### نتیجه گیری

با توجه به پژوهش صورت گرفته، نتایج زیر به دست آمده است:

۱. کاوشگر دینامیکی DCP توسعه داده شده در این تحقیق، برای اعماق بیش از ۱/۲ متر نیز نتایج مناسبی به دست داده است، به شرط آن که نتایج بدست آمده برای اصطکاک بین خاک و میله های رابط اصلاح گردد.

۲. کاوشگر دینامیکی DCP دارای تکرارپذیری مناسبی در نتایج بوده و تکرارپذیرترین نتایج مربوط به مخروط رأس با زاویه ۹۰ درجه بوده و مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه دارای بیشترین خطا می باشد. مخروط نفوذ استاندارد (۶۰ درجه) نیز دارای دقت مناسبی بوده و نتایج آن قابل قبول است.

لازم است تا جهت ایجاد روابط مناسب بین پارامترهای مهندسی خاک ها و نتایج کاوشگر DCP، با توجه به نوع زاویه مخروط مورد استفاده و نوع توزیع احتمال نتایج DCP، رابطه تجربی مناسب لگاریتمی و یا غیر لگاریتمی، انتخاب گردد.

مقادیر  $R^2$  به دست آمده برای توزیع های نرمال و یا لوگ نرمال از دقت مناسبی برخوردار بوده و این روند برای هر دو پارامترهای ضریب تغییرات و میانگین نتایج صادق است. این موضوع بیانگر این مطلب است که جهت برقراری ارتباط بین میانگین نتایج کاوشگر DCP با پارامترهای مهندسی، بسته به نوع توزیع، باید روابط لگاریتمی و یا غیر لگاریتمی ایجاد نمود. به عنوان مثال، توزیع پراکندگی مقاومت برشی زهکشی نشده خاک های چسبنده ( $C_u$ )، دارای توزیع لوگ نرمال است (خداپرست، ۱۳۸۴). بنابراین در صورتی که توزیع مقادیر میانگین نتایج DCP برای یک ساختگاه لگاریتمی باشد، رابطه بین این دو پارامتر باید به صورت تمام لگاریتمی رسم گردد.

همچنین بررسی های به عمل آمده از این تحقیق بیانگر این مطلب است که با افزایش زاویه رأس مخروط نفوذ (به جز برای زاویه رأس ۳۰ درجه)، مقدار Cv(%) کاهش یافته و تکرارپذیری افزایش می یابد. در این راستا، حداکثر مقدار Cv(%) مربوط به

مخروط با زاویه رأس ۳۰ درجه می باشد. همچنین مخروط نفوذ استاندارد (زاویه ۶۰ درجه)، دارای دقت مناسبی در تکرارپذیری بوده و بنابراین دقت مناسبی در تعیین پارامترهای مهندسی خاک ها دارد.

همانطور که قبلاً بیان گردید، محققان مختلفی مانند خداپرست، ۱۳۸۴ و Butcher et al. (1995) بهترین وزنه

## منابع:

- خداپرست، مهدی (۱۳۸۴) توسعه تکنیک های شناسایی خاکها با کاوشگرهای دینامیکی. رساله دکتری مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۲۵ صفحه.
- اسماعیلیان، مهدی (۱۳۸۵) راهنمای جامع SPSS 14 " انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، ۵۷۴ صفحه.
- American Society of Testing Materials (2003) Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM D 6951-03, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- BS 5930 (1999) Code of Practice for Site Investigation. British Standard Institution; 192 p.
- Butcher, A.P.; Mcelmeel, K. and Powel, J.J.M. (1995) Dynamic probing and its use in clay soils. Proceeding of Advance in Site Investigation Practice; Thomas Telford; London; pp. 383-395.
- Card, G.B.; Roche, D.P.; Herbert, S.M. (1990) Application of continuous dynamic probing in ground investigation. Field Testing in Engineering Geology; Geological Society Engineering Geology Special Publication No 6; pp. 129-135.
- Clayton C.R.I., SimonsI, N.E. and Matthew, F.M.C. (1995) Site Investigation. 2nd edition; Blackwell Science; Inc.; 592 p.
- DIN 4094 (1974) Dynamic and static penetrometers, Dimensions of apparatus and method of operation. Deutsches Institut fur Normung e. V. Berlin.
- Edill, T.B., Benson, C.H. (2005) Investigation of the DCP and SSG as alternative methods to determine subgrade stability, department of civil and environmental engineering, university of Wisconsin-Madison.
- Fakher A., Khodaparast M. and Jones C.J.F.P. (2006) The use of the Mackintosh Probe for site investigation in soft soils. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 39, 189–196.
- Lee, I.K.; White W.; Ingles, O.G.; 1983. Geotechnical Engineering. Copp Clark Pitman; Inc. pp. 57-89.
- Mohammadi, S.D., Nikudel, M.R., Khomehchiyan, M. (2007) The use of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) to determine some useful relationships for sandy and clayey soils. Proceeding of first Sri Lankan Geotechnical Society (SLGS) International Conference on Soil and Rock Engineering, Colombo.
- Scala, A.J. (1959) Simple Method of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometers, In Proceedings of 2<sup>nd</sup> Australian – New Zealand Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Zealand.

