

## ارائه رابطه‌ای جدید و کاربردی جهت تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های درشت‌دانه با استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد

احمدرضا مظاهری<sup>۱\*</sup>، جهانگیر خزایی<sup>۲</sup> و حمیدرضا نجف‌پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی، بروجرد

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد خاک و پی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

(دریافت: ۹۶/۶/۱۵، پذیرش: ۹۷/۸/۱۴، نشر آنلاین: ۹۷/۸/۱۴)

### چکیده

زاویه اصطکاک خاک از جمله پارامترهای اساسی در تعیین مقاومت برشی خاک‌های درشت‌دانه می‌باشد که تعیین آن در آزمایشگاه اغلب با محدودیت و صرف وقت و هزینه همراه است که استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی تا حدودی این مشکل را حل نموده است. در این راستا آزمایش SPT (Standard Penetration Test) یکی از کاربردی‌ترین آزمایش‌های صحرایی است که معمولاً در خاک‌های دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه ارتباط عدد SPT با سرعت موج برشی، مقاومت زهکشی نشده و زاویه اصطکاک ارائه شده است که توسط محققین مورد استفاده قرار می‌گیرد. روابط مختلفی در زمینه ارتباط آزمایش SPT و زاویه اصطکاک خاک ارائه شده است که از روی عدد SPT می‌توان زاویه اصطکاک زهکشی شده خاک‌های دانه‌ای را در بازه مناسبی مشخص نمود. اما اکثر روابط در مورد اعداد SPT بزرگ‌تر از ۳۵ جواب‌های مناسبی را پیش‌بینی نمی‌نمایند. در این مقاله رابطه‌ای جدید و کاربردی ارائه شده است که در همه اعداد SPT از جمله با اعداد SPT پایین‌تر نیز نتیجه قابل قبولی ارائه می‌دهد.

**کلیدواژه‌ها:** عدد SPT، مقاومت زهکشی شده، زاویه اصطکاک خاک، خاک دانه‌ای.

### ۱- مقدمه

هرچند نتایج آزمایش SPT تجربی هستند و دقت خیلی بالایی ندارند ولی از این نتایج در تخمین پارامترهای مهم مهندسی خاک مانند زاویه اصطکاک، دانسیته نسبی خاک و تخمین ظرفیت باربری خاک استفاده می‌گردد (Sivrikaya, ۲۰۰۶؛ Targrol و Clayton, ۱۹۹۵).

همچنین از نتایج این آزمایش جهت تعیین سرعت موج در خاک، بررسی پتانسیل روانگرایی استفاده می‌گردد. روابط تجربی زیادی جهت تعیین خصوصیات خاک با استفاده از نتایج آزمایش SPT ارائه شده است (Sivrikaya و Targrol, ۲۰۰۲). ارتباط بین نتایج آزمایش SPT و ظرفیت باربری خاک توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و گزارش شده است. Terzaghi و Peck در سال ۱۹۶۷ رابطه‌ای میان N-SPT و مقاومت تک‌محوری زهکشی نشده ارائه نمودند که این موضوع توسط محققین دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت و روابطی در این

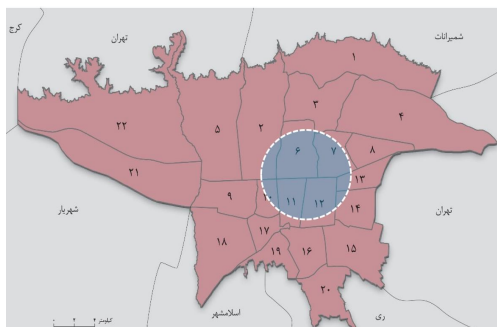
در مهندسی عمران به‌منظور طراحی دقیق سازه‌ها دانستن مشخصات مقاومتی خاک تا عمق موردنیاز یکی از الزامات اولیه است. این مشخصات می‌تواند با استفاده از آزمایشات در محل یا آزمایشگاهی تعیین گردد (Sivrikaya و Targrol, ۲۰۰۶). آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)<sup>۱</sup> یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین آزمایشات درجا جهت تعیین پارامترهای مقاومتی خاک می‌باشد. این آزمایش در اکثر کشورها بسیار رایج است و استفاده از آن کاربرد زیادی دارد (Décourt, ۱۹۹۰؛ Nixon, ۱۹۸۲). بر اساس گزارش ارائه‌شده توسط Mori در ۹۰ درصد شناسایی اولیه خاک آزمایش SPT استفاده شده است. از مزایای آزمایش SPT می‌توان راحتی انجام، تجهیزاتی ساده و استفاده آن در انواع مختلف خاک‌ها (رس نرم، رس متراکم ماسه کم تراکم و سفت) را نام برد (Jafari و همکاران, ۲۰۰۲).

۱. Standard Penetration Test

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۲۳-۳۳۳۵۴۱۵۱

آدرس ایمیل: mazaheri.ahmadreza@gmail.com (ا. مظاهری)، khazaei@razi.ac.ir (ج. خزایی)، hamidreza\_najafpour@yahoo.com

(ح. ر. نجف‌پور).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه از شهر تهران

## ۲-۲- طبقه‌بندی اطلاعات موجود

از میان نتایج گمانه‌های جمع‌آوری شده، مشخصاتی از خاک که در آن‌ها تعداد ضربات SPT کمتر از ۵۰ بوده، در عمق کمتر از ۱۵ متر قرار داشته و دارای چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال بوده است استخراج شده است. این نتایج در جدول (۱) خلاصه شده است. در جدول (۱) عمق آزمایش، عدد SPT و مشخصات ژئوتکنیکی خاک مورد آزمایش لحاظ شده است. در ادامه تلاش محققین بر آن است رابطه‌ای مناسب و کاربردی جهت تخمین زاویه اصطکاک خاک از روی عدد SPT در خاک‌های دانه‌ای ارائه گردد.

## ۳- ارتباط N-SPT با زاویه اصطکاک خاک

محققین مختلف روابطی میان N-SPT با زاویه اصطکاک خاک ارائه نموده‌اند که به تعدادی از آن‌ها در جدول (۲) اشاره شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر این روابط تأثیر عمق بر عدد SPT دیده نشده است و نیز موردی که در اکثر این روابط به چشم می‌خورد این است که با تغییر عدد SPT تأثیر آن بر زاویه اصطکاک تغییر نمی‌کند.

جدول ۱- نتایج به دست آمده از آزمایش SPT و مشخصات چسبندگی و زاویه اصطکاک آزمایشگاهی

شماره آزمایش	عمق (m)	چسبندگی (kPa)	زاویه اصطکاک	عدد SPT
۱	۵	۸	۳۳	۴۹
۲	۹	۰	۳۲/۴	۴۹
۳	۷	۰	۳۱/۸	۴۹
۴	۱۴/۵	۰	۳۴/۲	۴۹
۵	۷	۰	۳۱/۷	۴۹
۶	۹	۰	۳۲/۱	۴۸
۷	۳	۰	۲۹/۹	۴۸
۸	۲	۰	۳۳	۴۸
۹	۱۲	۴	۳۳/۱	۴۸
۱۰	۱۲	۰	۲۵	۴۸
۱۱	۱۰	۴	۳۲/۸	۴۷
۱۲	۹/۵	۰	۳۳/۱	۴۷
۱۳	۷	۷	۳۲/۷	۴۷
۱۴	۲	۲	۳۴	۴۶

خصوص ارائه گردید (Khang و Makoto، ۲۰۱۳؛ Sanglerat، ۱۹۷۲).

در زمینه ارتباط بین N-SPT و سرعت موج برشی نیز تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. Shibata در سال ۱۹۷۰ رابطه‌ای میان عدد SPT و سرعت موج برشی در خاک‌های ماسه‌ای ارائه نمود. از آن پس تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین در این زمینه صورت گرفته و روابطی در زمینه ارائه شده است (Imai و Yoshimura، ۱۹۷۵؛ Ohta و همکاران، ۱۹۷۲؛ Kiku و همکاران، ۲۰۰۱؛ Jafari و همکاران، ۲۰۰۲؛ Ulugergerli و همکاران، ۲۰۰۷).

تعدادی از محققین نیز در خصوص ارتباط بین عدد SPT و زاویه اصطکاک داخلی خاک‌ها ارائه نموده‌اند که هر یک در خصوص مصالح منطقه‌ای که مورد مطالعه قرار داده‌اند جواب‌های قابل قبولی را ارائه می‌دهند (Wolff، ۱۹۸۹؛ Meyerhof، ۱۹۵۶؛ Hatanaka و همکاران، ۱۹۹۶؛ Look، ۲۰۰۷). در این مقاله با استفاده از آزمایشات SPT انجام شده روی خاک دانه‌ای رابطه‌ای ارائه خواهد شد که بتوان با استفاده از آن زاویه اصطکاک خاک‌های دانه‌ای با چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال با دقت مناسبی تخمین زد. در پایان نیز رابطه ارائه شده با نتایج آزمایشات انجام شده در شهر تهران و تحقیقات دیگر محققین صحت‌سنجی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

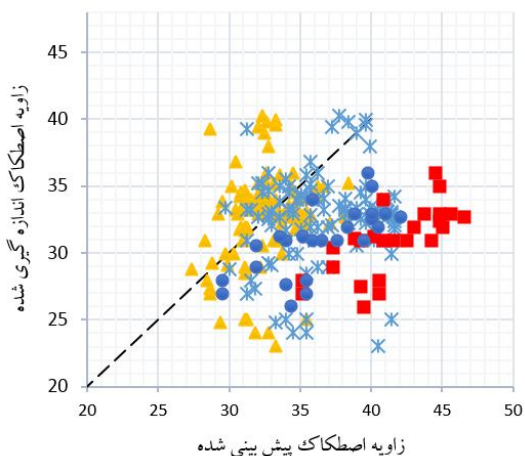
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر تهران با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع و بیش از ۸/۵ میلیون نفر جمعیت دارای اهمیت بسیار بالایی است. سهم بافت ناپایدار در این شهر بیش از ۱۴۰ کیلومتر مربع و بافت فرسوده چیزی در حدود ۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این موضوع آنجا بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که بدانیم تهران در میان سه گسل زلزله واقع شده است، از این رو کیفیت ساخت‌وساز در این شهر از اهمیت ویژه برخوردار است. به‌منظور بالا بردن کیفیت ساخت‌وساز شناسایی دقیق مشخصات ژئوتکنیکی خاک منطقه ضروری می‌باشد. به دلیل وسعت زیاد این شهر امکان اظهارنظر کلی در مورد مشخصات ژئوتکنیکی آن را سخت و غیردقیق می‌کند. به همین منظور با توجه به فراوانی اطلاعات جمع‌آوری شده مناطق مرکزی تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد که این موضوع در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱) مشخص است مناطق مرکزی تهران (مناطق ۶، ۷، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. انتخاب این مناطق به دلیل بیشتر بودن سهم آن‌ها از میان مشخصات ۴۵۰ گمانه جمع‌آوری شده توسط محققین می‌باشد.

شماره آزمایش	عمق (m)	چسبندگی (kPa)	زاویه اصطکاک	عدد SPT
۷۴	۶	۰	۳۳	۲۷
۷۵	۴	۹	۲۶	۲۷
۷۶	۴	۶	۳۳	۲۷
۷۷	۱۲	۶	۳۰	۲۶
۷۸	۸/۵	۷	۳۳/۳	۲۶
۷۹	۳	۶	۳۱	۲۵
۸۰	۵	۸	۲۷/۶	۲۵
۸۱	۱۱	۵	۳۱/۲	۲۵
۸۲	۱۰	۰	۲۵	۲۴
۸۳	۲	۰	۳۱/۶	۲۴
۸۴	۷	۶	۳۳/۸	۲۴
۸۵	۸	۸	۳۵	۲۴
۸۶	۴	۱۰	۳۳/۷	۲۳
۸۷	۱۶	۹	۲۴/۸	۲۳
۸۸	۹	۷	۳۳/۱	۲۳
۸۹	۹	۰	۳۲/۱	۲۲
۹۰	۲	۴	۲۹/۱	۲۲
۹۱	۲۶/۵	۹	۲۹/۲	۲۲
۹۲	۲۱/۵	۹	۲۹	۲۱
۹۳	۲	۸	۳۰/۵	۲۰
۹۴	۴۷	۸	۳۵/۹	۲۰
۹۵	۳۱	۱۰	۳۲/۹	۲۰
۹۶	۶	۸	۳۴/۶	۱۹
۹۷	۱/۵	۱	۳۵/۲	۱۹
۹۸	۳	۸	۳۵/۲	۱۹
۹۹	۵۰	۰	۳۲/۶	۱۷
۱۰۰	۳	۰/۱	۲۷/۳	۱۶
۱۰۱	۲۵	۰	۳۳/۲	۱۵
۱۰۲	۳	۰/۱	۲۸	۱۵
۱۰۳	۳	۰/۰/۷	۲۷	۱۴
۱۰۴	۵	۰/۰/۵	۲۸	۱۴
۱	۵	۸	۳۲/۴	۴۹
۲	۹	۰	۳۱/۸	۴۹
۳	۷	۰	۳۴/۲	۴۹
۴	۱۴/۵	۰	۳۱/۷	۴۹
۵	۷	۰	۳۲/۱	۴۹
۶	۹	۰	۲۹/۹	۴۸
۷	۳	۰	۳۳	۴۸
۸	۲	۰	۳۳/۱	۴۸
۹	۱۲	۴	۲۵	۴۸
۱۰	۱۲	۰	۳۲/۸	۴۸
۱۱	۱۰	۴	۳۳/۱	۴۷
۱۲	۹/۵	۰	۳۲/۷	۴۷
۱۳	۷	۷	۳۴	۴۷
۱۴	۲	۲	۳۱	۴۶
۱۵	۳	۰	۳۳	۴۶
۱۶	۴	۰	۳۳/۵	۴۶
۱۷	۷	۰	۳۳/۲	۴۶
۱۸	۷	۰	۳۳/۲	۴۶
۱۹	۷	۰	۳۳	۴۵
۲۰	۳	۰	۳۳	۴۵
۲۱	۱۰	۰	۳۳	۴۵
۲۲	۲	۸	۳۳	۴۵
۲۳	۲	۸	۳۱	۴۴
۲۴	۳	۰	۳۲/۹	۴۳

شماره آزمایش	عمق (m)	چسبندگی (kPa)	زاویه اصطکاک	عدد SPT
۱۵	۳	۰	۳۱	۴۶
۱۶	۴	۰	۳۳	۴۶
۱۷	۷	۰	۳۳/۵	۴۶
۱۸	۷	۰	۳۳/۲	۴۶
۱۹	۷	۰	۳۳/۲	۴۵
۲۰	۳	۰	۳۳	۴۵
۲۱	۱۰	۰	۳۳	۴۵
۲۲	۲	۸	۳۳	۴۵
۲۳	۲	۸	۳۳	۴۴
۲۴	۳	۰	۳۱	۴۳
۲۵	۷	۰	۳۲/۹	۴۳
۲۶	۲	۶	۳۲	۴۳
۲۷	۹	۰	۳۳/۴	۴۲
۲۸	۵	۰	۳۳/۵	۴۲
۲۹	۷	۹	۳۳/۳	۴۲
۳۰	۲۰	۸	۳۳/۵	۴۲
۳۱	۱۳	۴	۳۳/۹	۴۲
۳۲	۵	۸	۳۳	۴۱
۳۳	۱۳	۹	۳۴/۵	۴۱
۳۴	۴۱	۰	۳۶	۴۰
۳۵	۲	۰	۳۳/۴	۴۰
۳۶	۲	۰	۳۳/۵	۴۰
۳۷	۲/۵	۰	۳۱	۴۰
۳۸	۴/۵	۰	۳۳	۳۸
۳۹	۲۷	۰	۳۳/۲	۳۷
۴۰	۲	۷	۳۳/۴	۳۷
۴۱	۲۰	۴	۳۴/۱	۳۷
۴۲	۳	۱۰	۳۳	۳۷
۴۳	۱۳	۰	۳۳/۳	۳۶
۴۴	۵	۴	۳۲	۳۶
۴۵	۷	۵	۳۳/۵	۳۴
۴۶	۵	۰	۳۱	۳۴
۴۷	۱۲/۵	۸	۳۳/۱	۱۹
۴۸	۲۰	۹	۳۲	۱۹
۴۹	۳۴	۸	۲۹	۱۹
۵۰	۱۲	۰	۳۵	۱۸
۵۱	۵۰/۵	۴	۳۳/۳	۱۸
۵۲	۱۹	۳	۳۴/۳	۱۷
۵۳	۲۲	۰	۳۱	۳۳
۵۴	۲	۹	۲۹	۳۳
۵۵	۱	۴	۳۵/۵	۳۳
۵۶	۲۹	۷	۳۴	۳۲
۵۷	۹	۱۰	۳۲	۳۲
۵۸	۱۰	۳	۳۱	۳۱
۵۹	۷	۱۰	۳۲	۳۱
۶۰	۸	۱۰	۳۴	۳۱
۶۱	۱۹/۵	۷	۳۳/۸	۳۱
۶۲	۹	۵	۳۴/۷	۳۱
۶۳	۳	۹	۳۱	۳۰
۶۴	۳	۳	۳۳/۹	۲۹
۶۵	۳	۹	۳۵/۸	۲۹
۶۶	۱۴/۵	۹	۲۸/۵	۲۹
۶۷	۲۷	۹	۲۸	۲۹
۶۸	۱۰	۶	۲۷	۲۹
۶۹	۱	۰	۲۷	۲۹
۷۰	۶	۰	۳۱/۳	۲۸
۷۱	۱۷	۹	۳۴/۵	۲۸
۷۲	۵	۱۰	۳۳/۹	۲۸
۷۳	۱۳	۱۰	۳۰	۲۸

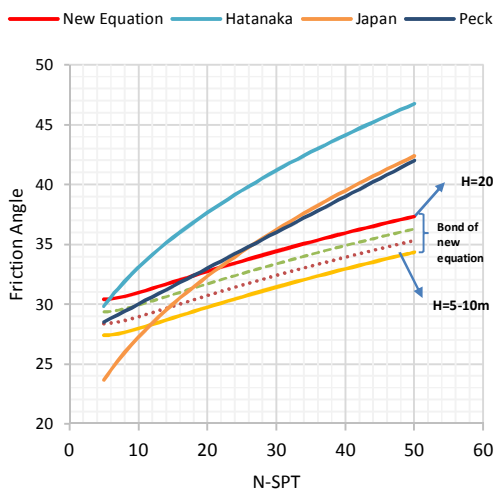
▲ Equation 1 \* Peck ■ Hatanaka ● Japan Road Association



شکل ۲- مقایسه نتایج پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده روابط پیشنهادی مختلف

### ۳-۴- مقایسه روابط موجود برای پیش‌بینی زاویه اصطکاک از روی نتایج آزمایش SPT

به‌منظور مقایسه روابط قبلی ارائه شده جهت تعیین زاویه اصطکاک داخلی خاک با رابطه اخیر پیشنهاد شده برای عددهای مختلف SPT در شکل (۳) نتایج آزمایش‌های موجود نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است برای اعداد SPT کمتر از ۲۰، رابطه جدید ارائه شده در این مقاله مقادیر بیشتری از سایر روابط موجود ارائه می‌دهد. این موضوع براساس مقادیر واقعی ارائه شده در جدول (۱) برای خاک‌های درشت‌دانه تهران به واقعیت و مقادیر حاصل از آزمایشگاه نزدیک‌تر است.



شکل ۳- مقایسه نتایج پیش‌بینی شده روابط پیشنهادی مختلف در دامنه اعداد SPT

### جدول ۲- تعدادی از روابط ارائه شده بین N-SPT با زاویه اصطکاک

Peck و همکاران (۱۹۷۴)	$\phi = 0.3 N + 27$
Uchida و Hatanaka (۱۹۹۶)	$\phi = 3.5\sqrt{N} + 22$
Japan Road Association (۱۹۹۰)	$\phi = \sqrt{15 N} + 15$
FHWA (۲۰۰۳)	$\phi = \tan^{-1}[N_{60}/(12.2 + 20.3\sigma'_{v0}/P_a)]^{0.34}$
لطیفی و همکاران (۱۳۹۰)	$\phi = 26.74 (N'_{70})^{0.074}$
قنبری و همکاران (۱۳۹۰)	$\phi = 0.04((N_1)_{60} + 5D_{90}) + 28.4$

ولی بررسی‌های انجام شده توسط محققین در این مقاله نشان می‌دهد که هرچقدر عدد SPT کاهش می‌یابد تأثیر آن بر زاویه اصطکاک خاک بیشتر می‌شود. بر مبنای اطلاعات آماری به دست آمده از آزمایشات انجام گرفته در شهر تهران، که با همکاری سازمان نوسازی مدارس استان تهران جمع‌آوری شده است، محققین این پژوهش رابطه کاربردی ۱ را برای خاک‌های دانه‌ای با چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال ارائه نموده‌اند.

$$\phi = \frac{2.1 \times (N+4)}{N} \times \sqrt{N} + 17 + \frac{H}{10} \quad (1)$$

که در این رابطه:  $N$  عدد SPT،  $H$  عمق نمونه‌گیری برحسب متر است.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این قسمت به‌منظور بررسی دقت و صحت نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی ارائه شده نتایج به چند طریق مورد ارزیابی و بحث قرار می‌گیرند.

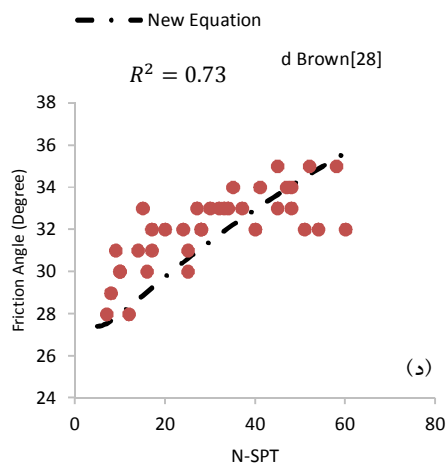
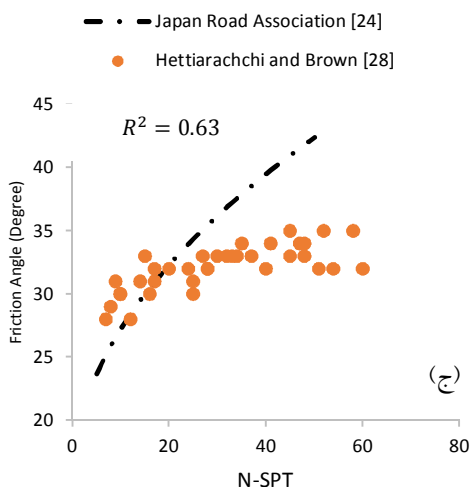
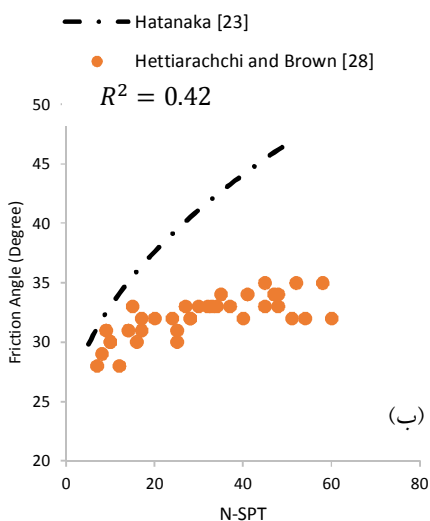
### ۲-۴- بررسی آزمایشات خاک مناطق مختلف تهران با استفاده از روابط موجود

در اینجا به‌منظور بررسی دقت نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی جدید، مقادیر آزمایش ارائه شده در جدول (۱) مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل از روابط مختلف با مقادیر حاصل از تست‌های آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. در شکل (۲) مقادیر پیش‌بینی شده برای زاویه اصطکاک به‌وسیله روابط ارائه شده توسط محققین مختلف در برابر مقادیر اندازه‌گیری‌شده آورده شده است.

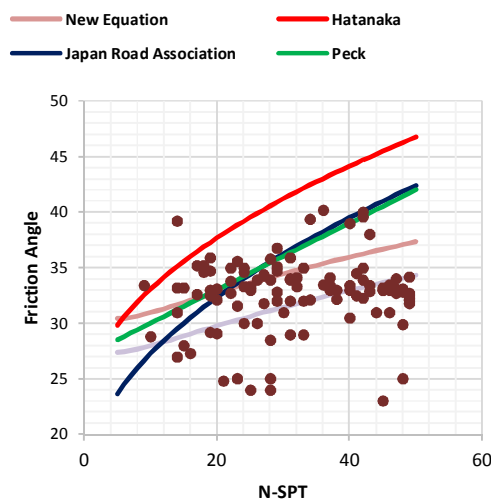
در شکل (۲) هرچقدر نقاط به نیمساز ترسیم شده نزدیک‌تر باشند بدان معنا است که مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه نزدیک‌تر می‌باشند. همان‌طور که مشخص است مقادیر حاصل از رابطه ارائه شده در این مقاله بیشترین تجمع را در اطراف خط نیمساز دارند. این موضوع صحت و کاربردی بودن رابطه (۱) را بیان می‌نماید.

۴-۴- مقایسه نتایج آزمایش‌های ارائه شده

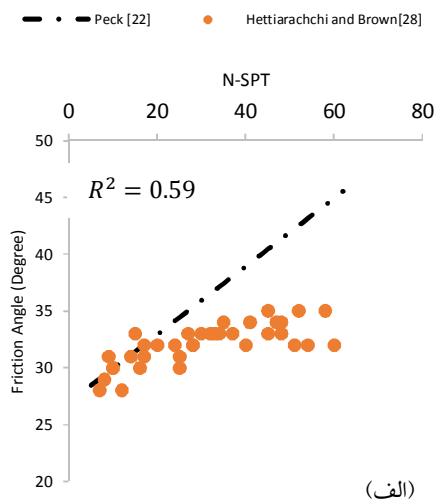
در بررسی آماری که در این تحقیق صورت گرفت حدود ۴۵۰ گمانه از مناطق مختلف تهران شناسایی و گردآوری گردید از این حدود گمانه قسمت‌های درشت‌دانه با چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال و عدد SPT کمتر از ۵۰ جدا شد و در تحقیق حاضر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این آزمایشات با رابطه ارائه شده و دیگر روابط موجود در این زمینه مورد ارزیابی گردید که نتایج آن در شکل (۴) نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است نتایج واقعی زاویه اصطکاک به منحنی ارائه شده در این تحقیق هم‌خوانی مناسب‌تری نسبت به سایر روابط موجود در این زمینه دارد و این موضوع نشان از کاربری بودن رابطه ارائه شده در این مقاله را دارد.



شکل ۵- مقایسه نتایج پیش‌بینی شده روابط پیشنهادی مختلف در دامنه اعداد SPT



شکل ۴- مقایسه نتایج پیش‌بینی شده روابط پیشنهادی مختلف در دامنه اعداد SPT



(الف)

- Clayton CRI, "The Standard Penetration Test (SPT): methods and use", Construction Industry Research and Information Association Report 143. CIRIA, London, 143, 1995.
- Décourt L, "The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report", Norwegian Geotechnical Institute Publication, 1990, 179, Part II, 1-12.
- Federal Highway Administration (FHWA)-IF-03-17 Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls- Reference Manual, 2003.
- Hatanaka M, Uchida A, "Empirical Correlation between Penetration Resistance and Internal Friction Angle of Sandy Soils", Japanese Geotechnical Society, 1996, 36, 1-9.
- Imai T, Yoshimura Y, "The relation of mechanical properties of soils to P and S-wave velocities for ground", Japan Technical Note OYO Corporation, 1975.
- Jafari MK, Shafiee A and Ramzkhah A "Dynamic properties of the fine grained soils in south of Tehran", Journal of Seismology and Earthquake Engineering, 2002, 1, 25-35.
- Japan Road Association "SPECIFICATIONS FOR HIGHWAYBRIDGES part4 SUBSTRUCTURES" 2017.
- Kiku H, Yoshida N, Yasuda S, Irisawa T, Nakazawa H, Shimizu Y, Ansal A, Erkan A, "In-situ penetration tests and soil profiling in Adapazari", Turkey. Proceedings of the ICSMGE/TC4 satellite conference on lessons learned from recent strong earthquakes, 259-265.
- Kitazawa G, Takeyama K, Suzuki K, Oh-kawara H, Oh-saki Y, "Tokyo Ground Map", Gihodo, 1959.
- Look B, "Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables", 2007.
- Meyerhof GG, "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 1956, 82 (SM1), 1-19.
- Makoto K, Khang T, "Relationships between N value and parameters of ground strength in the South of Vietnam", Geotechnics for Sustainable Development- Geotec Hanoi 2013, Phung (ed), Construction Publisher. ISBN 978-604-82-0013-8.
- Mori H, "Review of Japanese sub-surface investigation techniques", Journal of South East Asian Society Geotechnical Engineering, 1979, 10, 219-242.
- Nixon IK, "Standard penetration test: state of the art report", Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 1982, 3-24.
- Ohta T, Hara A, Niwa M, Sakano T, "Elastic shear moduli as estimated from N-value", Proceedings of the 7<sup>th</sup> Annual Convention of Japan Society of Soil Mechanics and Foundation engineering, 1972, 265-268.
- Peck RB, Hanson WE, Thornburn TH, "Foundation engineering", 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley and Sons, 1974.
- Shibata T, "Analysis of liquefaction of saturated sand during cyclic loading Disaster Prevention", Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1970, 13, 563-570.

#### ۴-۵- صحت‌سنجی رابطه با استفاده از نتایج آزمایشات

##### Brown و Hettiarachchi

Brown و Hettiarachchi (۲۰۰۹) با استفاده از روش تعادل انرژی پارامترهای مقاومت برشی خاک را از روی عدد SPT تخمین زدند. آن‌ها در این آزمایش حدود ۴۵ نتیجه آزمایش SPT را از عمق‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج عدد SPT و در مقابل زاویه اصطکاک در شکل (۵) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است رابطه پیشنهادی در این مقاله نسبت به سایر روابط موجود بهترین هم‌خوانی را با نتایج ارائه شده توسط Brown و Hettiarachchi دارد. این موضوع دقت رابطه پیشنهادی برای خاک‌های دانه‌ای را تصدیق می‌نماید.

#### ۵- تشکر و قدردانی

در این قسمت جا دارد از حمایت‌های مالی و معنوی اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان تهران که در تهیه و انجام تعدادی از آزمایشات مورد استفاده در این تحقیق، نویسندگان را یاری کردند، تشکر گردد.

#### ۶- جمع‌بندی

- در این مقاله به بررسی و پیش‌بینی زاویه اصطکاک خاک از روی نتایج آزمایش SPT پرداخته شده و رابطه‌ای جدید و کاربردی جهت پیش‌بینی زاویه اصطکاک خاک از روی عدد SPT ارائه گردیده است. این رابطه برای خاک‌های دانه‌ای با چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال مورد استفاده است.
- رابطه ارائه شده علاوه بر این که برای خاک‌های دانه‌ای تهران قابل کاربرد است برای هر نوع خاک دانه‌ای با چسبندگی کمتر از ۱۰ کیلوپاسکال توصیه می‌شود.
- نکته بارز این رابطه پیش‌بینی دقیق‌تر زاویه اصطکاک در عدد SPT پایین‌تر است که این موضوع را در شکل (۵) به‌خوبی قابل رؤیت است.
- از دیگر خصوصیات رابطه ارائه شده فرم ساده، تعداد کم پارامترها و ارتباط آن با عدد SPT و عمق نمونه‌گیری می‌باشد.

#### ۷- مراجع

- قنبری ع، "مطالعه ویژگی‌های ژئوتکنیکی رسوبات آبرفتی کرج"، مجله علوم زمین، ۱۳۹۰، ۸۱، ۱۵۹-۱۶۸.
- لطیفی ح، "ارزیابی زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) در خاک‌های دانه‌ای براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۰، سمنان، ایران.

- Sivrikaya O, Toğrol E, "Determination of undrained strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey", Engineering Geology, 2006, 86, 52-69.
- Terzaghi K, Peck RB, "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley, New York, 1967, 729.
- Ulugergerli UE, Uyanık O, "Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow", Counts and The Relative Density of Soils Journal Test, 2007.
- Sivrikaya O, Toğrol E, "Determination of undrained strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey", Engineering Geology, 2006, 86, 52-69.
- Wolff TF, "Pile capacity prediction using parameter functions", ASCE Geotechnical Special Publication, 1989, 23, 96-107.

## EXTENDED ABSTRACT

# Proposed a New and Practical Equation for Examine a Coarse Grain Friction Angle by Utilized the Results of SPT

Ahmadreza Mazaheri <sup>a,\*</sup>, Jahangir Khazaei <sup>b</sup>, Hamidreza Najafpour <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Engineering, University of Ayatollah Borujerdi, Borujerd, Iran

<sup>b</sup> Faculty of Engineering, University of Razi, Kermanshah, Iran

Received: 07 September 2017; Accepted: 06 November 2018

### Keywords:

SPT, Undrained resistance, Soil friction angle, Coarse grain.

## 1. Introduction

Soil friction angle is one of the basic parameters in determining the shear strength of coarse-grained soils, which is often determined in the laboratory by spending time and cost, and the use of field experiments has solved this problem. In this regard, Standard Penetration Test (SPT) is one of the most practical field tests that is commonly used in granular soils. In recent years many researches are proposed that present the correlation between SPT and shear wave velocity, undrain shear strength, and friction angle. Many correlations between SPT and soil friction angle are proposed, but most equations with SPT numbers greater than 35 predict the right answers. The correlation between SPT results and soil bearing capacity has been studied and reported by various researchers. In addition, some correlation between SPT and Soil friction angle have been proposed that each of those evaluated the material of a specific area. In this paper new practical equation is proposed that presents an acceptable result in all SPT numbers. With the use of this equation, the results can be predicted more accurately.

## 2. Methodology

Tehran, with an area of about 730 square kilometers and a population of more than 8.5 million people, is of great importance. The share of an unstable section in this city is more than 140 square kilometers, and the worn section is something around 40 square kilometers. This issue is more important when we know that Tehran is located among three earthquake faults, so the quality of construction in this city is of particular importance. In order to improve the quality of construction, accurate identification of geotechnical characteristics of the soil of the region is necessary.

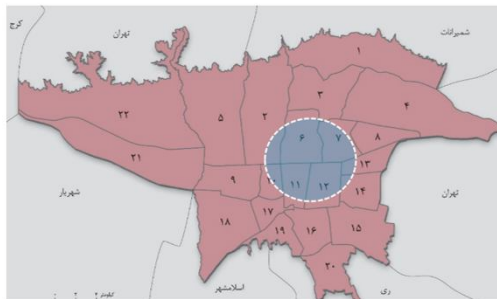


Fig. 1. Study area of Tehran

\* Corresponding Author

E-mail addresses: a.mazaheri@Abu.ac.ir (Ahmadreza Mazaheri), j.khazaei@razi.ac.ir (Jahangir Khazaei), hamidreza\_najafpour@yahoo.com (Hamidreza Najafpour).



### 3. Results and discussion

#### 3.1. Correlation between N-SPT and friction angle

Researchers have proposed many correlations between N-SPT and friction angle. Table 1 shows some of them.

**Table 1.** Some of the correlations between N-SPT and soil friction angle

1	Peck, et al (1974)	$\varphi = 0.3 N + 27$
2	Hatanaka and Uchida (1996)	$\varphi = 3.5\sqrt{N} + 22$
3	Japan Road Association (1990)	$\varphi = \sqrt{15 N} + 15$
4	FHWA (2003)	$\varphi = \tan^{-1}[N_{60}/(12.2 + 20.3\sigma'_{vo}/P_a)]^{0.34}$
5	Latifi, et al(2011)	$\varphi = 26.74 (N'_{70})^{0.074}$
6	Ghanbari, et al(2011)	$\varphi = 0.04((N_1)_{60} + 5D_{90}) + 28.4$

As can be seen, in most of these equations, the effect of depth on the SPT number is not considered. Also, by changing the SPT does not change the friction angle. However, the studies conducted by researchers in this paper show that by decreasing SPT, the effect of that on soil friction angle increases.

Based on statistical information obtained from experiments conducted in Tehran, The researchers of this study have presented a practical relationship for granular soils with cohesion less than 10 kPa.

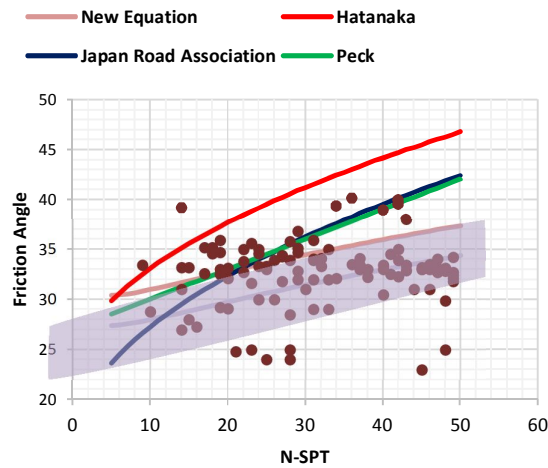
$$\varphi = \frac{2.1 \times (N+4)}{N} \times \sqrt{N} + 17 + \frac{H}{10} \tag{1}$$

$N$ = SPT number

$H$ = Depth of sampling

#### 3.2. Comparing the results of the presented experiments

In the statistical study conducted in this study, about 450 boreholes from different areas of Tehran were identified and collected. From these boreholes, coarse-grained parts with cohesion less than 10 kPa and SPT number less than 50 were separated and evaluated in the present study. The results of these experiments were presented and compared with other equations that since have been provided, the results are shown in Fig. 2.



**Fig. 2.** Comparison of friction angle prediction results from SPT number

As shown in Fig. 2, the results of the friction angle to the curve presented in this study are more consistent than other proposed Equations, and this issue shows the applicability of the new proposed equation in this article.

#### **4. Conclusions**

In this research, a new equation is proposed to predict soil friction angle base on SPT. The proposed equation in this paper is recommended for any soil type with cohesion less than 10 kPa.

#### **5. References**

- Federal Highway Administration (FHWA)-IF-03-17 Geotechnical Engineering Circular No. 7 Soil Nail Walls-Reference Manual, 2003.
- Hatanaka M, Uchida A, "Empirical Correlation between Penetration Resistance and Internal Friction Angle of Sandy Soils", *Soils and Foundations Journal*, 1996, 36, 1-9.
- Jafari MK, Shafiee A, Ramzkhah A, "Dynamic properties of the fine grained soils in south of Tehran", *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 2002, 1, 25-35.
- Sivrikaya O, Toğrol E, "Determination of undrained strength of fine-grained soils by means of SPT and its application in Turkey", *Engineering Geology*, 2006, 86, 52-69.