

بهسازی زمین به روش تراکم دینامیکی

سمیه افتخاری، دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

Eftekhari.somayeh@gmail.com

Mobile number: 09124249170

چکیده

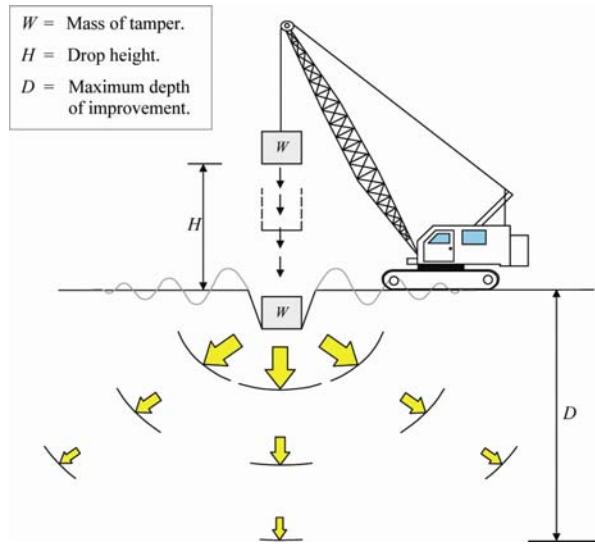
در این مقاله استفاده از تراکم دینامیکی بعنوان یکی از روش‌های بهسازی زمین مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. توصیه‌هایی برای برآورده، طراحی و سایر ملزومات مربوط به پروژه‌های تراکم دینامیکی از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد. هرچند که توصیه‌های مطرح شده در این مقاله برای طراحی و کاربرد تراکم دینامیکی مفید هستند، لیکن مانند همه روش‌های بهسازی زمین نمی‌توانند جایگزین قضاوت مهندسی طراح با تجربه باشند. طراحی تراکم دینامیکی مانند همه روش‌های بهسازی زمین یک طراحی فعال است و بررسی پاسخ زمین به ضربات وارد در حین تراکم محل پیش‌بین ایزار کنترل صحت طراحی و عملکرد آن می‌باشد. مهندس طراح با استفاده از نظارت دقیق و جزء به جزء حین عملیات باید همواره از قضاوت مهندسی مستدل برای اصلاح طرح اویله یا تغییر توصیه‌های کاربردی استفاده نماید.

کلید واژه: تراکم دینامیکی، خاک‌های ماسه‌ای

۱- تعریف

تراکم دینامیکی شامل استفاده از یک کوبه سنگین است که متناوباً توسط یک کابل در ارتفاعات متغیر بالا برده شده و برای ضربه زدن به زمین رها می‌شود. وزن کوبه معمولاً بین ۵ تا ۳۵ تن و ارتفاع سقوط بین ۱۰ تا ۳۰ متر متغیر می‌باشد.

انرژی معمولاً در چند فاز و بر روی یک شبکه در کل منطقه در یک یا چند مرحله وارد می‌شود. بعد از هر مرحله و قبل از شروع مرحله بعد فروچاله‌های بوجود آمده توسط یک بلدوزر تسطیح شده و یا توسط مصالح دانه‌ای پر می‌شوند. درجه بهبود خواص خاک تابعی از انرژی وارد شده می‌باشد. جرم کوبه، ارتفاع سقوط، فاصله نقاط شبکه و تعداد ضربات در هر نقطه از شبکه عوامل اصلی تعیین کننده انرژی کوبش هستند. کوبه‌های سبکتر و ارتفاع سقوط‌های کمتر منجر به عمق تاثیرهایی در محدوده ۳ تا ۵ متر می‌شوند. کوبه‌های سنگین‌تر و ارتفاع سقوط‌های بیشتر منجر



شکل ۱- تراکم دینامیکی [۱]

۲- پیشینه

نخستین مورد استفاده از روش پرتاب وزنهای سنگین بر روی سطح زمین جهت اصلاح خصوصیات خاک در اعماق پایین تر به روشنی مشخص نمی باشد. از نقاشی های باستانی چین چنین استنباط می گردد که ممکن است چندین قرن از عمر این روش گذشته باشد [۲]. به گفته کریسل^۱ (۱۹۸۵) رومی ها از این روش استفاده می کرده اند و طبق نظر لاندوال^۲ (۱۹۶۸) در سال ۱۸۷۱ از یک منجنيق جنگی قدیمی جهت متراکم نمودن زمین استفاده شده است. در قرن بیستم و در حدود سال ۱۹۴۰ از این روش در یک فرودگاه در چین و ناحیه بندری در دوبیان و در سال ۱۹۵۵ در یک مخزن نفت در آفریقای جنوبی استفاده گردید. بهر حال اختراع جرثقیل های چرخ زنجیری بزرگ در نیمه دوم قرن بیستم موجب گردید که روش تراکم دینامیکی به شکل فعلی آن در ابتدا در سال ۱۹۷۰ در فرانسه و سپس در سال ۱۹۷۳ در انگلستان و در سال ۱۹۷۵ در آمریکای شمالی مورد استفاده قرار بگیرد. به گفته لوکاس^۳ (۱۹۹۵) تا سال ۱۹۹۵ حدود ۵۰۰ پروژه تراکم دینامیکی در آمریکا انجام گردیده که اغلب برای مقاصد تجاری بوده اند. تعداد واقعی این پروژه ها ممکن است بسیار بیشتر از این مقدار باشد چرا که بسیاری از پروژه ها در مراجع گزارش نشده اند.

¹-Kerisel

²-Lundwall

³-Lukas

۳- مراحل مطالعات اولیه

برای مطالعه اولیه جهت ارزیابی کارایی روش تراکم دینامیکی در یک پروژه مشخص بررسی عوامل زیر ضروری می‌باشد. این عوامل به ترتیبی که باید بررسی گردند آورده شده‌اند. به هر حال با توجه به شرایط پروژه و نوع خاک ممکن است برخی عوامل حذف شوند در حالیکه برخی دیگر به اطلاعات بیشتری نیاز داشته و یا با دقت بیشتری برآورد گردند. این عوامل عبارتند از:

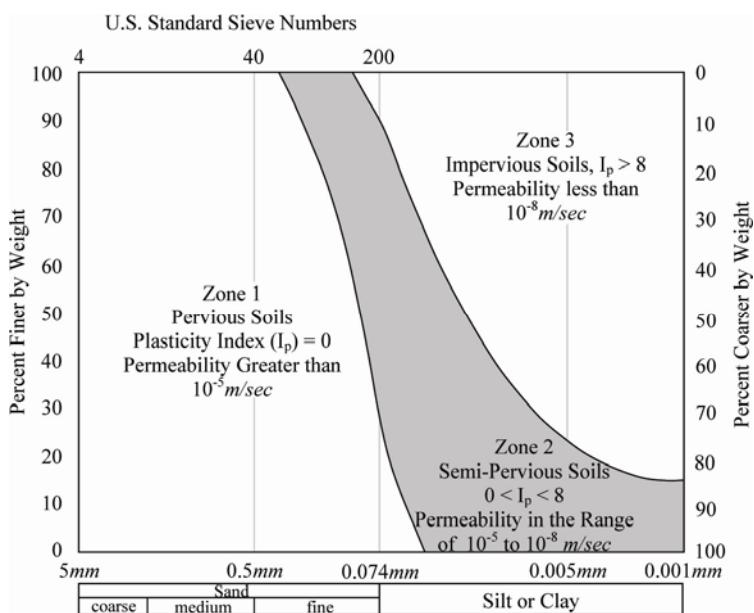
الف- طبقه‌بندی نوع خاک (بر اساس شکل ۲)

ب- بررسی محدودیت‌های محل

ت- تعیین نیازهای طراحی

د- برآورد هزینه‌ها

پارامترهای مورد نیاز جهت هر یک از عوامل فوق الذکر در جدول (۲) آورده شده‌اند. از این جدول می‌توان به عنوان یک نمودار مرحله‌ای تصمیم‌گیری استفاده نمود. اگر در بررسی هر یک از عوامل فوق الذکر نتیجه بدست آمده حاکی از نامناسب بودن روش تراکم دینامیکی باشد، بایستی روش‌های دیگری جهت اصلاح خاک مورد نظر قرار گیرند.



شکل ۲- طبقه‌بندی خاک‌ها برای تراکم دینامیکی [۱]

مراحل ارزیابی اولیه	مناسب برای تراکم دینامیکی	مناسب همراه با محدودیت	نامناسب برای تراکم دینامیکی
۱- بُلْفَه‌بُندی فُوْغْ خاک	بهترین نهشته برای تراکم دینامیکی	-----	محدوده ۱: نفوذ پذیر
	-----	انرژی در چند مرحله وارد شود	محدوده ۲: نیمه نفوذ پذیر
	-----	خاکهای نفوذ ناپذیر اشباع	محدوده ۳: نفوذ ناپذیر
۲- بُورسی محدودبُدْت های محَل	PPV کوچکتر از ۱۹ mm/sec در مجاورت سازه‌های جدید	PPV بین ۱۹ تا ۵۱ mm/sec در شرایط خاص	ارتعاشات
	TASISAT مدفعون مقاوم در فاصله $7/6m$ تا $12/7m$	TASISAT مدفعون	جابجایی جانبی زمین
	کمتر از $2m$ زیر سطح زمین	کمتر از $2m$ زیر سطح زمین با زهکشی	تراز آب زیرزمینی
	لامهای موجب محدود شدن عمق تاثیر شوند	تمهیداتی جهت کاهش اثرات نامطلوب این لامهای	وجود لامهای سخت یا جاذب انرژی
۳- پیش‌بازاری مُوْدَعَه	نشست پس از تراکم بزرگتر از نشست مجاز سازه	به شرایط سازه بستگی دارد	نشست
	احتمال نیاز به زهکش در خاکهای محدوده شماره ۲	مقادیر نسبتاً بالای SPT و CPT	حداقل مشخصات ژئوتکنیکی خاک
	تأثیر اندک در ضخامت لایه بیش از $12m$	نیاز به ماشین آلات خاص برای 9 تا $12m$	محدودیتهای عمق تاثیر
۴- بُونَآورَه	تراکم در چند مرحله موجب افزایش هزینه می‌شود	معمولًاً اقتصادی ترین روش اصلاح خاک	تراکم دینامیکی
	افزایش زیاد هزینه در اثر ضخامت زیاد لایه	معمولًاً لازم نیست	پایدارسازی سطحی

جدول ۱- عوامل موثر در مطالعات اولیه ارزیابی کارایی روش تراکم دینامیکی [۱]

۴- تهیه پلان طراحی

اگر بررسی های اولیه نشان دهند که تراکم دینامیکی روش مناسبی جهت اصلاح خاک می باشد، بایستی جزئیات طراحی با دقت بیشتر تهیه گردد. مواردی که باید مشخص گردند عبارتند از :

- ۱- انتخاب وزن کوبه و ارتفاع سقوط برای دستیابی به عمق تأثیر مورد نظر
 - ۲- تعیین میزان انرژی مورد نیاز جهت رسیدن به میزان اصلاح مورد نظر
 - ۳- تعیین محدوده گسترش عملیات تراکم دینامیکی
 - ۴- تعیین فواصل بین نقاط اعمال ضربه و تعداد ضربات
 - ۵- تعیین تعداد مراحل اعمال ضربه
 - ۶- بررسی نیاز به یک لایه پایدارساز سطحی
- روند بررسی طراحی در جدول (۲) ارائه گردیده است.

۵- کاربردها

روش تراکم دینامیکی بطور موافقی آمیزی جهت اصلاح انواع مختلفی از نهشته ها بکار رفته است که شامل موارد زیر می باشند [۱]:

- خاکهای طبیعی سست مانند نهشته های آبرفتی، دشت سیلابی یا خاکریز هیدرولیکی
- نهشته های خاکریز جدید و قدیمی
- نهشته های سنگ یا سنگریزه های ساختمانی
- نخاله خاک معدنی
- نهشته های رسی نیمه اشباع که در بالای تراز آب زیرزمینی قرار دارند
- خاکهای رمبنده شامل لس
- تشکیلاتی که در آنها حفرات بزرگ وجود دارد همانند تشکیلات کارستی و یا فروچاله هایی که در نزدیکی سطح زمین قرار داشته باشند
- ماسه های سست و لای ها جهت کاهش پتانسیل روانگرایی
- زباله های خاص

جدول ۲- روند طراحی جزئیات عملیات تراکم دینامیکی [۱]

روش تعیین	مراحل تعیین پارامترها
<p>۱- ضخامت لایه ضعیف را بر اساس نتایج آزمایشات ژئوتکنیک یا نیازهای طراحی تعیین نمایید.</p> <p>۲- از معادله ۱ استفاده نموده و n را از جدول (۳) بر اساس نوع خاک انتخاب نمایید.</p>	گام ۱: برای عمق تاثیر مورد نظر، کوبه و ارتفاع سقوط را انتخاب نمایید. $D = n(WH)^{0.5}$
<p>۱- با استفاده از جدول (۴) انرژی واحد مناسب را بر اساس نوع خاک تعیین نمایید.</p> <p>۲- برای بدست آوردن انرژی متوسط مورد نیاز در واحد سطح، انرژی واحد حجم را در ضخامت لایه سست ضرب نمایید.</p>	گام ۲: انرژی مورد نیاز برای رسیدن به عمق تاثیر مورد نظر را بر حسب نوع خاک تعیین نمایید
<p>۱- در زمین های هموار، عملیات تراکم دینامیکی را در محدوده ای که به اصلاح نیاز دارد به اضافه فاصله ای به اندازه عمق لایه سست از هر طرف انجام دهید.</p> <p>۲- اگر پایداری شیروانی مورد نظر می باشد، ممکن است انجام تراکم دینامیکی در محدوده وسیع تری ضروری باشد.</p> <p>۳- در نواحی که تمکز بارگذاری وجود دارد، انرژی بیشتری وارد نمایید.</p>	گام ۳: تعیین محدوده تراکم دینامیکی
<p>۱- فاصله نقاط شبکه کوبش را در محدوده $1/5$ تا $2/5$ برابر قطر کوبه انتخاب نمایید.</p> <p>۲- از معادله ۱ و انرژی وارد شده از گام ۲ را در معادله ۲ وارد نمایید.</p> <p>۳- از معادله ۲ برای محاسبه حاصلضرب N و P استفاده نمایید. معمولاً "تعداد ۷ تا ۱۵ ضربه در یک نقطه شبکه وارد می شود. اگر محاسبات به مقداری خیلی بزرگتر از ۱۵ کوچکتر از ۷ منجر می شوند، فاصله نقاط شبکه کوبش را اصلاح نمایید.</p>	گام ۴: تعیین فاصله نقاط شبکه و تعداد ضربات $AE = \frac{N.W.H.P}{S^2}$ <p>که در آن:</p> <p>AE = انرژی وارد شده</p> <p>N = تعداد ضربات در هر مرحله</p> <p>P = تعداد مراحل اعمال ضربه</p> <p>W = جرم کوبه ، H = ارتفاع سقوط</p> <p>S = فاصله نقاط شبکه کوبش</p>
<p>۱- عمق فروچاله ها بایستی به ارتفاع کوبه به اضافه $1/3$ متر محدود شود.</p> <p>۲- در صورت وقوع تورم زمین، اعمال انرژی بایستی متوقف گردد.</p> <p>۳- در صورت وقوع هریک از آیتم های ۱ یا ۲ قبل از وارد شدن تعداد مورد نظر ضربات، بایستی با توجه به موارد زیر از چند مرحله برای انجام تراکم دینامیکی استفاده شود.</p> <ul style="list-style-type: none"> • پر کردن فروچاله ها و تراز نمودن زمین در صورت وقوع آیتم ۱ • زایل شدن فشارهای حفره ای در صورت وقوع آیتم ۲ 	گام ۵: تعیین تعداد مراحل عملیات تراکم دینامیکی <p>پیش بینی عمق فروچاله ها یا تورم زمین در تراکم دینامیکی دشوار می باشد. در شرایطی که خاک بسیار سست بوده یا نهشته های لای تقریباً اشباع می باشند، بایستی انجام عملیات در چند مرحله در نظر گرفته شود.</p>
<p>۱- برای خاکهای محدوده ۱ مورد نیاز نمی باشد. ممکن است برای خاکهای محدوده ۲ در صورتیکه اشباع باشند مورد نیاز باشد. معمولاً "برای خاکریزهای دفن زباله مورد نیاز است.</p> <p>۲- در صورت نیاز به لایه پایدارساز سطحی ، معمولاً "ضخامت آن در محدوده $0/3$ تا $0/9$ متر می باشد.</p>	گام ۶: پایدارسازی سطحی

جدول ۳- مقادیر n برای انواع مختلف خاک [1]

نوع خاک	درجه اشباع	مقدار n توصیه شده*
خاکهای نفوذپذیر-	بالا	۰/۵
خاکهای دانه‌ای	پایین	۰/۶-۰/۵
خاکهای نیمه اشباع-	بالا	۰/۴-۰/۳۵
لای با دامنه خمیری $< PI < 8$	پایین	۰/۵-۰/۴
خاکهای نفوذناپذیر-	بالا	توصیه نمی‌شود
خاکهای رسی با دامنه خمیری $< PI < 8$	پایین	۰/۴-۰/۳۵
میزان رطوبت خاک بایستی کمتر از حد خمیری باشد.		
* برای انرژی در محدوده ۱ تا 3 MJ/m^2 و استفاده از یک کابل برای بلند کردن و رهاسازی کوبه		

جدول ۴- میزان انرژی مورد نیاز برای تراکم دینامیکی [1]

نوع خاک	واحد حجم (kJ/m^3)	انرژی مورد نیاز در درصد انرژی پروکتر استاندارد*
خاکهای درشت‌دانه نفوذپذیر- محدوده ۱ شکل ۱-۲	۲۵۰-۲۰۰	۴۱-۳۳
خاکهای ریزدانه نیمه نفوذپذیر- محدوده ۲ و خاکریزهای رسی بالای تراز آب- محدوده ۳ شکل ۱-۲	۳۵۰-۲۵۰	۶۰-۴۱
خاکریزهای دفن زباله	۱۱۰۰-۶۰۰	۱۸۰-۱۰۰

* انرژی پروکتر استاندارد برابر با 600 kJ/m^3 می‌باشد.

۶- مراجع

- [1] Lukas, R. G. "Dynamic compaction", Geotchnical Engineering Circular No. 1, Publication No. FHW A-SA- 95-037, Federal Highway Administration, office of Engineering, Office of Technology Applications, Washington, DC, 97pp
- [2] Menard, L., Broise Y. "Theoretical and Practical Aspects of Dynamic Consolidation", Geotechnique, Vol. 25, No. 1, 1975, PP.3-16.