



مرکز پژوهش‌های مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



تراکم دینامیکی بعنوان یک روش بهسازی خاک در مناطق ساحلی

(مطالعه موردی در مجتمع کشتی سازی شهید محلاتی بوشهر)

اکبر چشمی**

دکتر حسین جلالی*

چکیده

یکی از روشهای بهسازی عمیق خاک تراکم دینامیکی است. این روش با سقوط آزاد وزنه های سنگین از ارتفاع مشخص انجام می شود. در مجتمع کشتی سازی شهید محلاتی بوشهر از این روش برای بهسازی منطقه ای به وسعت ۵۰۰۰۰ متر مربع استفاده شد. پروفیل خاک شامل مصالح شنی خاکریزی شده، ماسه لای دار سست، اشباع و تراکم پذیر و رس لای دار نرم می باشد. تراکم دینامیکی با هدف افزایش پارامترهای مهندسی لایه ماسه لای دار سست و اشباع انجام گردید.

کوبش با وزنه ۳۰ تنی، میانگین ارتفاع سقوط ۱۷ متر و در شبکه ای چهارگوش، در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول گوشه های شبکه و در مرحله دوم نقطه میانی شبکه متراکم شد. در این مقاله ضمن بیان علت انتخاب تراکم دینامیکی برای بهسازی زمین به گسترش جانبی بهسازی، رابطه بین عمق مؤثر بهسازی و انرژی سقوط، تأثیرات محیطی ناشی از تراکم دینامیکی، رابطه بین شدت انرژی - نشست، کنترل کیفی تراکم دینامیکی و تأثیر تراکم دینامیکی در کاهش پتانسیل روانگرایی پرداخته شده است.

-
- * - مدیر عامل مهندسان مشاور آب نیرو
 - ** - کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی از دانشگاه تربیت مدرس

اجرای عملیات تراکم دینامیکی در بستر کارخانه تعمیر و ساخت کشتی شهید محلاتی بوشهر وابسته به سازمان جهاد خودکفایی نیرو دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی با هدف بهسازی پی سازه‌ها به منظور کاهش هزینه‌های شمع‌کوبی و کاهش مخاطرات روانگرایی زلزله‌های محتمل انجام شد. با توجه به گمانه‌های حفاری شده در بخشهای مختلف این مجتمع مجموع گمانه‌ها دلالت بر ضعف قشرهای فوقانی بستر از لحاظ ظرفیت باربری و پتانسیل روانگرایی دارد. عملیات کوبش با وزنه ۳۰ تنی به ابعاد $2/75 \times 2/75$ و ارتفاع $1/5$ متر انجام شد. برای بالا بردن وزنه از جراثقال ۱۶۰ تنی که قابلیت بالا بردن وزنه تا ارتفاع ۲۰ متر را داشت استفاده گردید (شکل ۱). تراکم دینامیکی در شبکه‌ای چهارگوش و در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول فاصله نقاط کوبش بین ۱۰ تا ۱۵ متر بود و در مرحله دوم برای رسیدن به بهسازی یکنواخت نقطه میانی شبکه نیز کوبیده شد و در پایان سطح منطقه با تراکم سطحی تسطیح گردید. تعداد دفعات سقوط وزنه در هر نقطه ۴۰ تا ۵۵ مرتبه بود که همراه با کوبش حفرات ایجاد شده با مصالح درشت دانه پر می‌شد.

موقعیت جغرافیایی

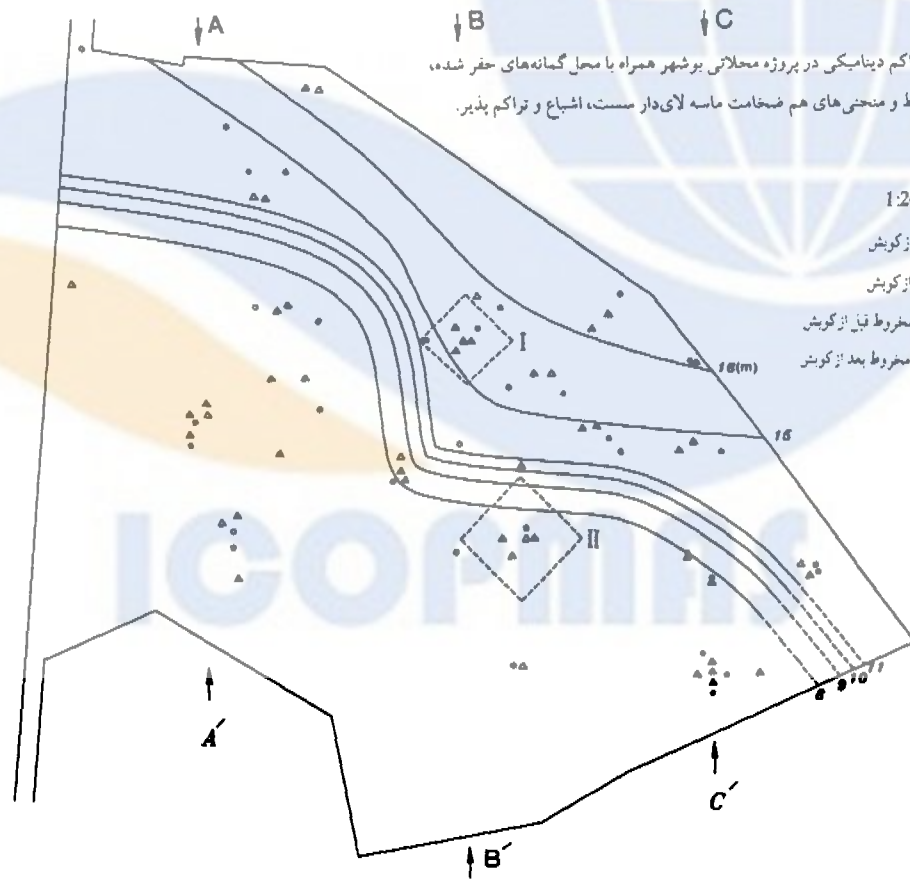
مجتمع کشتی سازی شهید محلاتی در شرق محوطه شرکت ملی حفاری و ساحل "خورپودر" واقع است. بندر بوشهر در ساحل شمالی خلیج فارس و در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۲۹ ثانیه قرار دارد.

وضعیت ژئوتکنیکی

شکل (۲) پراکنندگی گمانه‌های حفر شده، محل آزمایشهای نفوذ مخروط همراه با منحنی‌های هم ضخامت لایه تراکم‌پذیر را نشان می‌دهد. پروفیل گمانه‌ها و نتایج آزمایش نفوذ مخروط و نفوذ استاندارد در



شکل (۱) - جرافال ۱۶۰ تنی و وزنه ۳۰ تنی جهت تراکم دینامیکی در پروژه شهید محلاتی



شکل (۲) - محدوده تراکم دینامیکی در پروژه محلاتی بوشهر همراه با محل گمانه‌های حفر شده، آزمایشهای نفوذ مخروط و منحنی‌های هم ضخامت ماسه لای دار مسست، اشباع و تراکم پذیر.

مقیاس 1:2000

● گمانه‌های قبل از کوبش

▲ گمانه‌های بعد از کوبش

△ آزمایش نفوذ مخروط قبل از کوبش

▲ آزمایش نفوذ مخروط بعد از کوبش

امتداد B-B در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمایشهای صحرایی لایه‌های جدول (۱) قابل تشخیص است:

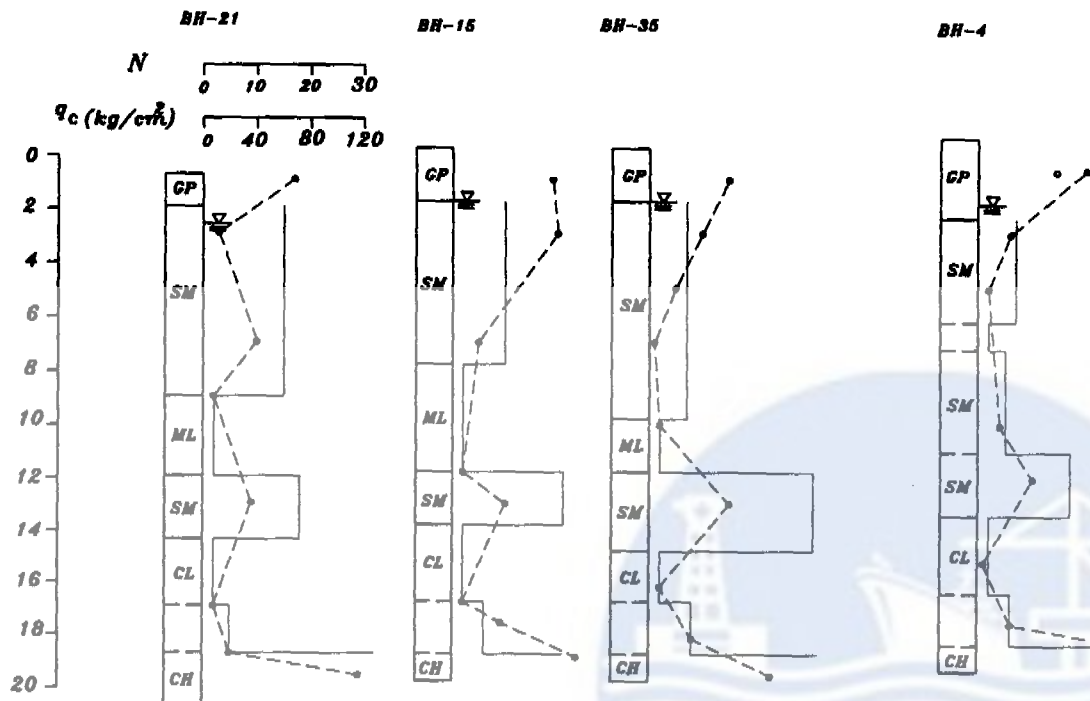
جدول (۱) - لایه‌های زیر سطحی در بستر مجتمع کشتی سازی شهید محلاتی بوشهر

جنس لایه	ضخامت لایه (متر)	دامنه تغییرات عدد SPT تصحیح شده	میانگین عدد SPT تصحیح شده
۱- شن سطحی خاکریزی شده	۱-۴	۱۳-۲۲	۱۸
۲- ماسه لای دار بالایی	۶-۱۲	در بخش بالایی (حدود ۱ متر) ۳-۱۳	۸
		در بخش پایینی ۲-۶	۴
۳- رس لای دار نرم بالایی	۱-۵	۱-۳	۲
۴- ماسه لای دار زیرین	۲-۵	۹-۲۵	۱۶
۵- رس لای دار و رس قهوه‌ای زیرین	در اعماق بیش از ۱۷ متر	در بخش بالایی که عموماً رس لای دار است ۱-۵	۳
		در بخش زیرین که رس قهوه‌ای است ۲۴	۲۴

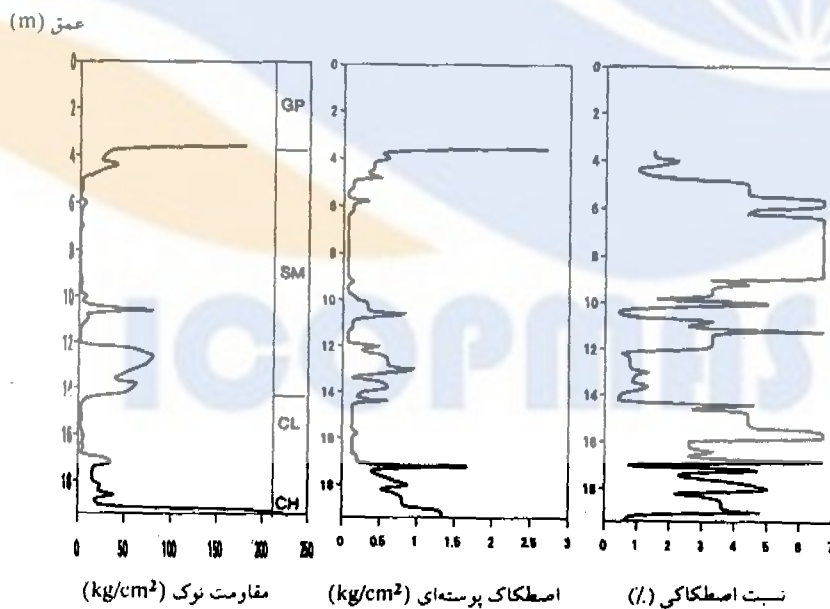
مجموع گمانه‌های حفر شده و نتایج آزمایش نفوذ مخروط نشان می‌دهد که ضخامت لایه ماسه لای دار سست، اشباع و تراکم‌پذیر در بخش حاشیه ساحل بیشتر از بخشهای دور از ساحل است. لذا جهت مطالعات بعدی دو منطقه آزمایشی (شکل ۲) در نظر گرفته شد. پروفیل زیر سطحی مصالح همراه با نتایج آزمایش نفوذ مخروط در دو منطقه آزمایشی در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. در منطقه آزمایشی I بعد از ۳/۷ متر شن خاکریزی شده لایه سست تراکم‌پذیر با ضخامت ۱۰ متر قرار گرفته و در منطقه آزمایشی II بعد از ۲ متر شن خاکریزی شده لایه سست تراکم‌پذیر با ضخامت ۶ متر قرار دارد. بطور کلی ضخامت لایه سست تراکم‌پذیر در حاشیه ساحل زیاد و در بخشهای دور از ساحل کمتر است.

انتخاب تراکم دینامیکی برای بهسازی زمین

استفاده از تراکم دینامیکی برای بهسازی لایه ماسه سست، اشباع و تراکم‌پذیر بدلائل زیر مناسب



شکل (۳) - پروفیل زیر سطحی مصالح محل پروژه همراه با تغییرات عدد نفوذ استاندارد و میانگین مقاومت نوک در امتداد B-B



شکل (۴) - پروفیل زیر سطحی مصالح همراه با نتایج آزمایش نفوذ مخروط در منطقه آزمایشی ۱

تشخیص داده شد :

الف - منحنی اندازه ذرات مناسب بودن دانه‌بندی مصالح را برای بهسازی به روش تراکم دینامیکی تأیید می‌کند. با توجه به شکل (۶) که توسط میشل^(۱) (۱۹۸۱) ارائه شده است [۱۱]، مناسب بودن تراکم دینامیکی با توجه به اندازه ذرات در این پروژه تأیید می‌شود. از طرف دیگر شکل (۷) که توسط گامبین^(۲) (۱۹۹۳) ارائه شده [۶]، نیز مؤید کاربری مؤثر تراکم دینامیکی برای بهسازی مصالح موجود می‌باشد. شکل (۸) کاربرد تراکم دینامیکی برای بهسازی خاکهای مختلف همراه با پوش دانه‌بندی ماسه لای دار بالای در پروژه شهید محلاتی را نشان می‌دهد. با توجه به اشباع بودن و شاخص خمیری صفر این لایه و به کمک جدول (۲) که توسط لوکاس^(۳) (۱۹۹۲) ارائه شده است [۸]، این مصالح در محدوده عالی و مناسب از نظر کاربرد تراکم دینامیکی جهت بهسازی قرار می‌گیرند.

ب - وسعت زیاد منطقه استفاده از روشهای سریع بهسازی را ایجاب می‌کند و این سرعت بالا در تراکم دینامیکی وجود دارد.

ج - عدم نیاز به تجهیزات خاصی چون تراکم دینامیکی با بکارگیری جراثقالی با ظرفیت مشخص و وزنه‌هایی با وزن معین انجام‌پذیر است.

د - اقتصادی بودن تراکم دینامیکی برای بهسازی زمین در مقایسه با سایر روشهای بهسازی عمیق خاک؛

گسترش جانبی بهسازی

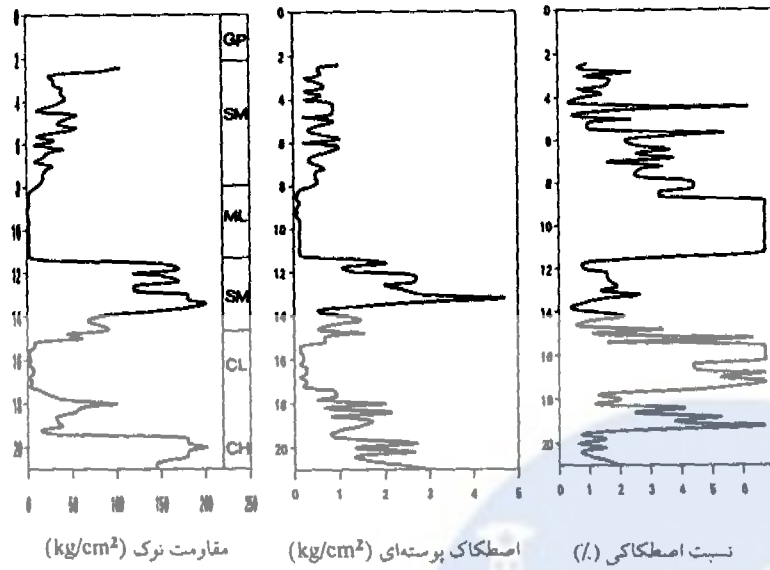
با توجه به نتایج آزمایش نفوذ مخروط قبل از کوبش و مقایسه آن با نتایج بعد از کوبش که در فواصل مختلف از نقطه کوبش انجام شد. منحنی تغییرات مقاومت نوک در فواصل مختلف از نقطه کوبش به تغییرات مقاومت نوک در مرکز نقطه کوبش $\left[\frac{\Delta q_{c.m}}{\Delta q_{c.b}} \right]$ در مقابل فاکتور بدون بعد $\left(\frac{X}{D} \right)$ رسم گردید (شکل ۹) و نتایج زیر حاصل شد :

۱ - Mitchell

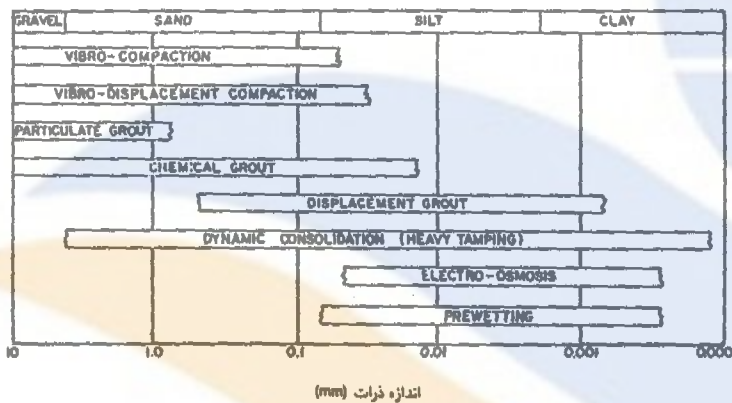
۲ - Gambin

۳ - Lukas

عمق (m)



شکل (۵) - پروفیل زیر سطحی مصالح همراه با نتایج آزمایش نفوذ مخروط در منطقه آزمایشی II

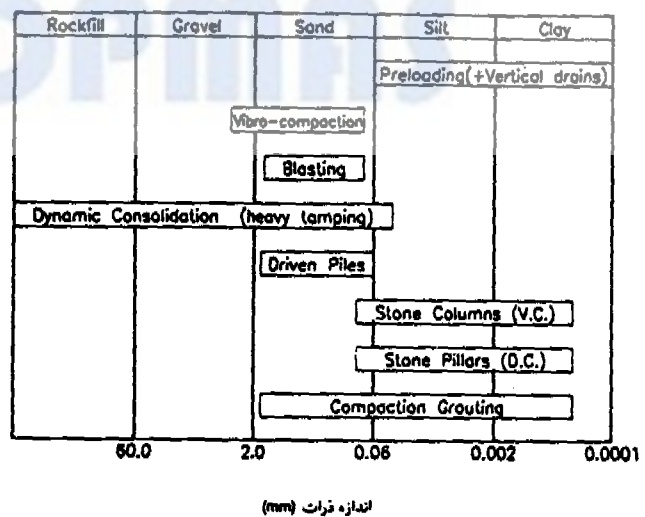


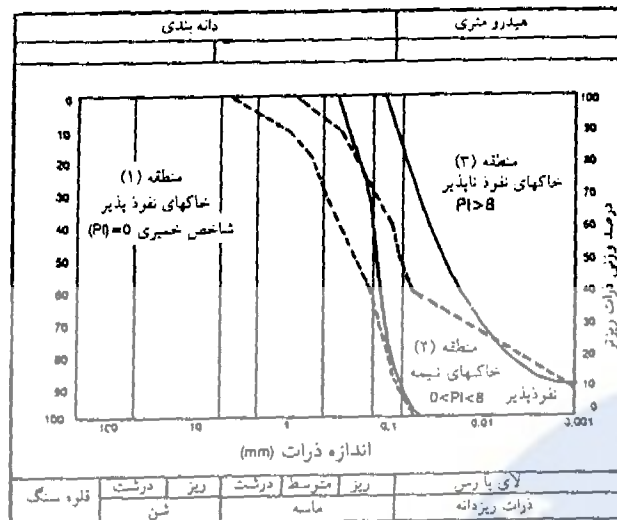
شکل (۶) - روشهای مختلف بهسازی

در ارتباط با اندازه ذرات [۱۱]

شکل (۷) - روشهای مختلف بهسازی

مکانیکی در ارتباط با اندازه ذرات [۱۲]





شکل (۸)- پوش منحنی دانه بندی ماسه لای دار (پروژه شهید محلاتی) همراه با بخشهای سه گانه ارائه شده توسط لوکاس (۱۹۹۲) در مورد مناسب بودن تراکم دینامیکی با توجه به اندازه ذرات، شرایط اشباع و شاخص خمیری خاک.

جدول (۴)- مناسب بودن مصالح برای کاربرد تراکم دینامیکی با توجه به اندازه ذرات، نفوذ پذیری، شاخص خمیری و خشک یا اشباع بودن خاک [۸].

نوع خاک	نفوذ پذیری (فیت / دقیقه)	درجه اشباع	مناسب بودن تراکم دینامیکی
خاکهای نفوذ پذیر، اندازه ذرات بین قلوه سنگ تا ماسه بدون مصالح ریزدانه، منطقه (۱)	$2 \times 10^{-3} >$	بالا	عالی
خاکهای نفوذ پذیر شامل حداکثر ۳۵ درصد لای، بخش ریزدانه منطقه (۱)	$2 \times 10^{-3} >$	پایین	عالی
خاکهای نیمه نفوذ پذیر، لای با مقداری ماسه و کمتر از ۲۵٪ رس، $PI < 8$ ، منطقه (۲)	2×10^{-6} تا 2×10^{-3}	بالا	مناسب
خاکهای نفوذ ناپذیر، رس با $PI < 8$ منطقه (۳)	$2 \times 10^{-6} <$	پایین	خوب
		بالا	توصیه نمی شود
		پایین	مناسب - چنانچه درصد رطوبت طبیعی کمتر از حد خمیری باشد

$$\frac{\Delta q_{c.m}}{\Delta q_{c.b}} = 1 \quad \text{for} \quad \frac{X}{D} \leq 0.87 \quad (1)$$

$$\frac{\Delta q_{c.m}}{\Delta q_{c.b}} = 0.896 - 1.73 \log \left[\frac{X}{D} \right] \quad \text{for} \quad 0.87 \leq \frac{X}{D} \leq 3.3 \quad (2)$$

$$\frac{\Delta q_{c.m}}{\Delta q_{c.b}} = 0 \quad \text{for} \quad \frac{X}{D} \geq 3.3 \quad (3)$$

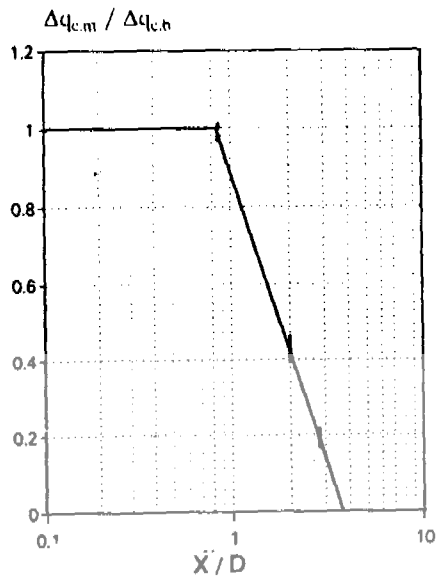
در روابط بالا D طول یا عرض وزنه که برابر $2/75$ متر است، X فاصله از مرکز نقطه کوبش، $\Delta q_{c.b}$ تغییرات مقاومت نوک قبل و بعد از کوبش در مرکز نقطه کوبش و $\Delta q_{c.m}$ تغییرات مقاومت نوک در فواصل مختلف از نقطه کوبش است.

با توجه به روابط فوق منحنی هایی که مکان هندسی نقاط با بهسازی یکنواخت هستند رسم شده است (شکل ۱۰). این منحنی ها نشان می دهند که پس از کوبش ۴ نقطه یک شبکه 13×13 متر نقاط ضعف شبکه کوبش، وسط شبکه و بخش میانی خط واصل بین دو نقطه کوبش است. اما بعد از کوبش نقطه وسط شبکه در مرحله دوم می توان به بهسازی یکنواختی رسید.

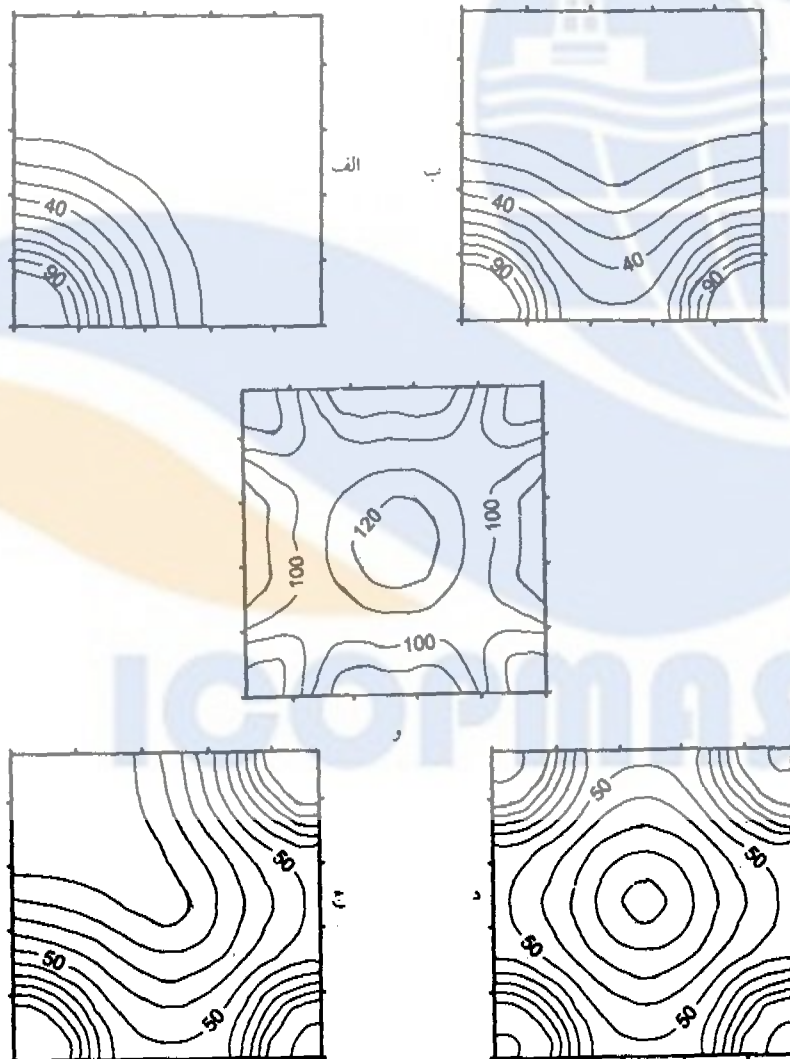
تأثیرات محیطی ناشی از تراکم دینامیکی

تأثیرات محیطی ناشی از تراکم دینامیکی با اندازه گیری حداکثر سرعت ذره ای^(۱) خاک در فواصل مختلف از نقطه کوبش بررسی شده است. بدین منظور در فواصل مختلف از نقطه کوبش با بکارگیری شتابنگار اقدام به ثبت نگاهت گردید. با توجه به نگاهتهای ثبت شده (۳۵ نگاهت) حداکثر سرعت ذره ای خاک و حداکثر شتاب و جابجایی استخراج شد. تغییرات حداکثر سرعت ذره ای خاک در مقابل فاکتور انرژی $\left[\frac{\sqrt{E}}{D} \right]$ در شکل (۱۱) رسم گردید و نهایتاً رابطه بین حداکثر سرعت ذره ای خاک، وزنه وزن، ارتفاع سقوط و فاصله از نقطه کوبش برای پروژه شهید محلاتی که بصورت اختصاصی مورد آزمایش و اندازه گیری قرار گرفت. از معادله (۴) استخراج گردید.

۱ - Peack Partial Velocity



شکل (۹) - تغییرات مقاومت نوک در فواصل مختلف از نقطه کوبش
به تغییرات مقاومت نوک در مرکز نقطه کوبش در مقابل پارامتر بدون بعد $\frac{X}{D}$



شکل (۱۰) - بررسی گسترش جانبی با توجه به نتایج آزمایش نفوذ مخروط در شبکه‌ای به ابعاد ۱۳×۱۳ متر (منحنی‌ها مکان هندسی نقاطی هستند که نسبت $\frac{\Delta q_{c,m}}{\Delta q_{c,n}}$ یکسانی دارند)

$$PPV = 25 \left[\frac{\sqrt{WH}}{D} \right]^{1.81} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، PPV حداکثر سرعت ذره‌ای خاک بر حسب میلیمتر بر ثانیه، W وزن وزنه بر حسب تن، H ارتفاع سقوط بر حسب متر و D فاصله از نقطه کوبش بر حسب متر است. قابلیت رابطه (۴) این است که با مشخص بودن حداکثر سرعت ذره‌ای بحرانی با توجه به سازه‌های مجاور منطقه انجام تراکم دینامیکی می‌توان وزن وزنه، ارتفاع سقوط و فاصله از نقطه کوبش را بگونه‌ای تغییر داد که حداکثر سرعت ذره‌ای خاک در محل سازه به حد بحرانی نرسد. شرایط زیر سطحی تأثیر زیادی روی حداکثر سرعت ذره‌ای اندازه‌گیری شده می‌گذارد لذا این مقدار از محلی به محل دیگر متغیر بوده و در هر محل بایستی قبل از انجام پروژه استخراج گردد.

عمق مؤثر بهسازی

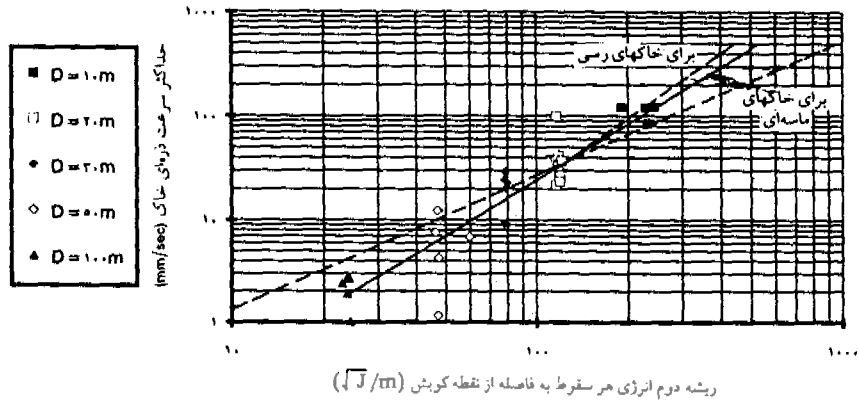
منارد^(۱) (۱۹۷۵) رابطه بین عمق مؤثر بهسازی، وزن وزنه و ارتفاع سقوط را بصورت معادله (۵) ارائه نمود [۱۰]:

$$D = n \sqrt{WH} \quad (5)$$

در این رابطه D عمق مؤثر بهسازی بر حسب متر، W وزن وزنه بر حسب تن، H ارتفاع سقوط وزنه بر حسب متر و n ضریب ثابتی می‌باشد. در پروژه شهید محلاتی با توجه به نتایج سی آزمایش نفوذ مخروط قبل و بعد از کوبش در کل محوطه پروژه مقدار این ضریب ۰/۳۵ استخراج شد. در شکل (۱۲) موقعیت نقاط در پروژه شهید محلاتی روی نمودار ارائه شده توسط مین^(۲) مشخص شده است [۹]. پراکندگی نقاط بین $0.5(WH)^{0.5}$ تا $0.3(WH)^{0.5}$ است.

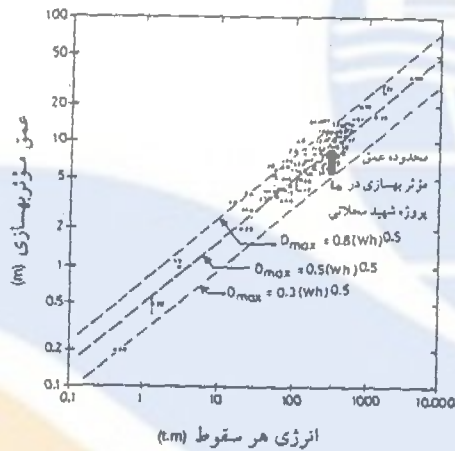
۱ - Menard

۲ - Mayne

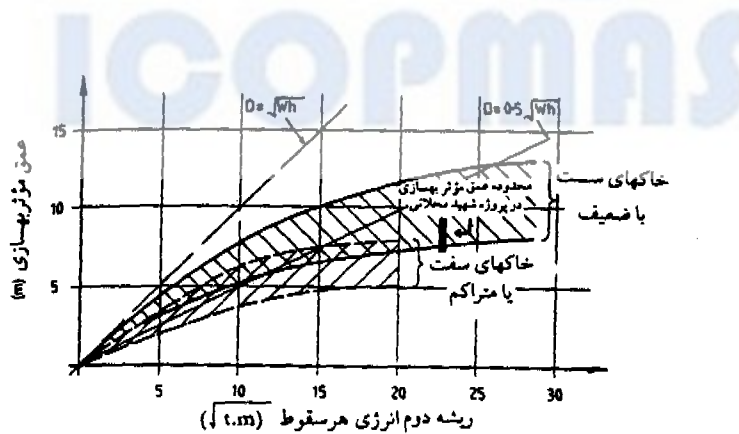


شکل (۱۱) - رابطه بین فاکتور انرژی و حداکثر سرعت ذره‌ای خاک برای پروژه شهید محلاتی و مقایسه آن با رابطه ارائه شده توسط گامبین (۱۹۸۴) برای خاکهای رسی و ماسه‌ای

--- منحنی ارائه شده توسط گامبین (۱۹۸۴)
 — منحنی بدست آمده در پروژه شهید محلاتی



شکل (۱۲) - مقایسه عمق مؤثر بهسازی در پروژه شهید محلاتی با نمودار ارائه شده توسط مین (۱۹۸۴).



شکل (۱۳) - مقایسه عمق مؤثر بهسازی در پروژه شهید محلاتی با نمودار ارائه شده توسط استونکوب (۱۹۹۲).

موقعیت نقاط کوبش بر نمودار ارائه شده توسط اسلوکومب^(۱) (۱۹۹۳) نیز در شکل (۱۳) نشان داده شده [۱۴]، با توجه به انرژی سقوط و عمق مؤثر بهسازی، مصالح محل پروژه در محدوده خاکهای سست یا ضعیف قرار می‌گیرند.

نکته حائز اهمیت تأثیر درصد مصالح ریزدانه روی عمق بهسازی شده است. بطوری که در منطقه آزمایشی I با ۳۰ درصد مصالح ریزدانه (شکل ۱۴) عمق بهسازی ۷ متر و در منطقه آزمایشی II با ۱۵ درصد مصالح ریزدانه عمق بهسازی ۷/۸ متر است. این در حالی است که انرژی سقوط در منطقه آزمایشی I، ۵۲۵ تن. متر و در منطقه آزمایشی II، ۴۹۸ تن. متر می‌باشد.

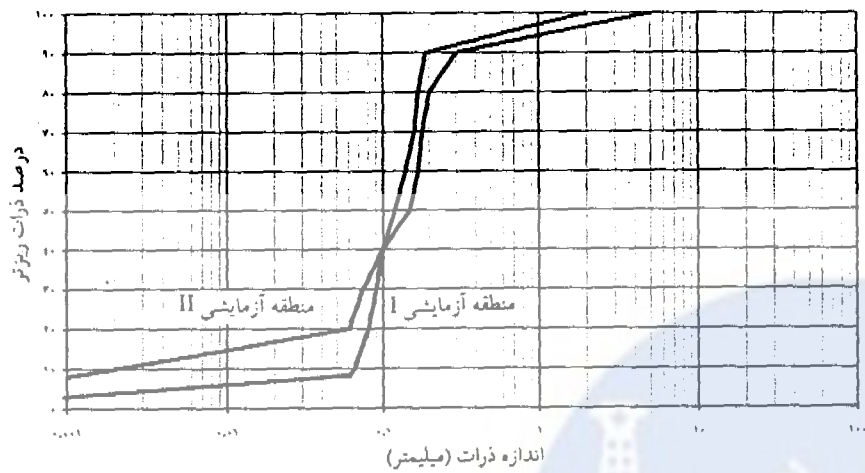


یکی از پارامترهای کنترل بهسازی نشست ایجاد شده در اثر کوبش است. در پروژه شهید محلاتی تغییرات عمق حفره ایجاد شده در برابر تعداد سقوط برای دو منطقه آزمایشی اندازه‌گیری شد. در هر منطقه بعد از اعمال ۱۰ ضربه متوالی، عمق حفره در برابر تعداد ضربات بیشتر، تغییر محسوسی نداشته لذا حفره ایجاد شده با مصالح درشت دانه پر شده و تراکم دینامیکی با هدف رانش این مصالح به داخل ماسه لای دار سست ادامه یافته است. علاوه بر این منحنی تغییرات شدت انرژی اعمال شده در برابر نشست اندازه‌گیری شده برای دو منطقه آزمایشی رسم شد (شکل ۱۵) معادله منحنی‌های نشست - شدت انرژی به شرح زیر است:

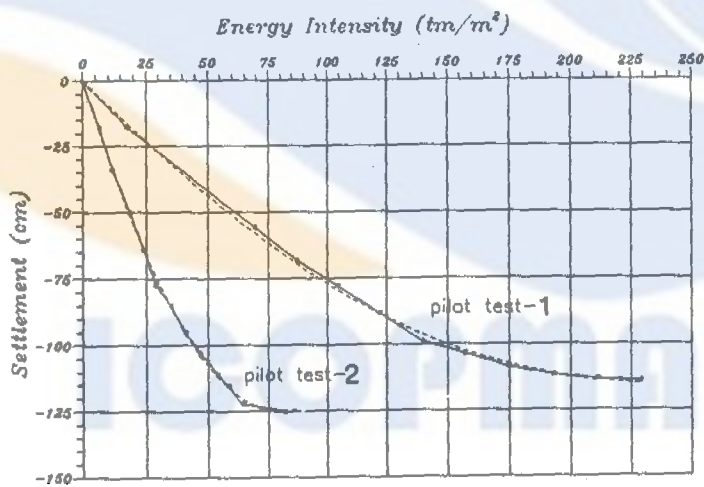
$$S = -0.002E^2 + 0.978E - 0.15 \quad \text{منطقه آزمایشی I} \quad (۶)$$

$$S = -0.02E^2 + 3.14E - 0.33 \quad \text{منطقه آزمایشی II} \quad (۷)$$

در روابط بالا S میزان نشست بر حسب سانتیمتر و E شدت انرژی بر حسب تن. متر بر متر مربع است.



شکل (۹) - منحنی اندازه ذرات در منطقه آزمایشی I و II (درصد ریزدانه در منطقه آزمایشی I، ۳۰ درصد و در منطقه آزمایشی II، ۱۵ درصد است)



شکل (۱۵) - منحنی تغییرات شدت انرژی در برابر نشست برای منطقه آزمایشی I و II

به ازاء شدت انرژی معینی، نشست ایجاد شده در منطقه آزمایشی II بیش از منطقه آزمایشی I است. همچنین شدت انرژی لازم برای رسیدن به انرژی اشباع در منطقه آزمایشی I بیش از منطقه آزمایشی II است. این مسئله نیز تأثیر افزایش مصالح ریزدانه را در کاهش نشست پذیری روشن می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مصالح ریزدانه نشست ایجاد شده را کاهش داده و شدت انرژی لازم برای رسیدن به انرژی اشباع را نیز افزایش می‌دهد. لذا تأثیرپذیری تراکم دینامیکی با افزایش درصد مصالح ریزدانه کاهش می‌یابد.

کنترل کیفی تراکم دینامیکی

کنترل کیفی تراکم دینامیکی با توجه به نتایج آزمایش نفوذ مخروط قبل و بعد از کوبش در بخشهای مختلف منطقه آزمایشی I و II انجام شده است. در جدول (۲) ضمن بررسی درصد تغییرات مقاومت نوک سایر مشخصه‌های این دو منطقه آزمایشی با هم مقایسه شده است.

جدول (۲) - مقایسه منطقه آزمایشی I و II

مقطع آزمایشی	جنس ستر	تراز آب ریزه‌رسی	وزن وزنه	مرحل کوبش						ضریب لامت (n)	کنترل کیفی بواسطه نتایج آرمایش نمود مخروط					
				مرحله اول			مرحله دوم				شدت انرژی (tm/m^2)	ضریب لامت (n)	فصل او کوبش	مقدار کوبش	درصد افزایش	
				ارتفاع	ابعاد	تعداد	ارتفاع	ابعاد	تعداد							وزنه
I	۳/۷ متر شن که زیر آن تا عمق ۱۴ متر ماسه لای دار قرار دارد	۲ (متر)	۳۰ (تن)	۱۷/۵ (متر)	۱۰×۱۰ (متر)	۵۰ (تعداد)	۱۷/۵ (متر)	۱۰×۱۰ (متر)	۵۰ (تعداد)	۷/۲۶ مترمربع	۷ (متر)	۰/۳۱	۱۲	۱۹۰	۱۵۸۳	
				۱۷/۵ (متر)	۱۰×۱۰ (متر)	۵۰ (تعداد)	۱۷/۵ (متر)	۱۰×۱۰ (متر)	۵۰ (تعداد)				۲۶۲/۵	۲۶۲/۵	۵۲۵	۵
II	۲ متر شن که زیر آن تا عمق حدود ۸ متر ماسه لای دار قرار دارد	۲ (متر)	۳۰ (تن)	۱۶/۶ (متر)	۱۳×۱۳ (متر)	۵۰ (تعداد)	۱۶/۶ (متر)	۱۳×۱۳ (متر)	۵۰ (تعداد)	۷/۲۶ مترمربع	۷/۸ (متر)	۰/۳۵	۲۳	۱۵۷	۲۷۵	
				۱۶/۶ (متر)	۱۳×۱۳ (متر)	۵۰ (تعداد)	۱۶/۶ (متر)	۱۳×۱۳ (متر)	۵۰ (تعداد)				۱۲۷/۳	۱۲۷/۳	۲۹۵	۱۵

درصد تغییرات مقاومت نوک در منطقه آزمایشی I بیشتر از منطقه آزمایشی II است که دلیل آن اعمال شدت انرژی بیشتر در این منطقه می‌باشد بطوری که شدت انرژی در منطقه آزمایشی I، ۵۲۵ تن . متر بر متر مربع ولی در منطقه آزمایشی II، ۲۹۵ تن . متر بر متر مربع است.

تأثیر تراکم دینامیکی در کاهش پتانسیل روانگرایی

جهت بررسی پدیده روانگرایی از نتایج آزمایش نفوذ مخروط استفاده شده است. بدین منظور از نمودارهای مقاومت نوک و نسبت تنش تناوبی که توسط سید^(۱) (۱۹۸۳) [۳]، سیدودالبا^(۲) (۱۹۸۶) [۷]، ایشیهارا^(۳) (۱۹۸۳) [۷]، روبرتسون و کامپانلا^(۴) (۱۹۸۵) [۱۲]، استارک و السن^(۵) (۱۹۹۵) [۱۵]، ارائه شده است، استفاده گردید. وضعیت مصالح زیر سطحی محل پروژه، شرایط آب زیرزمینی و نتایج آزمایش نفوذ مخروط قبل از کوبش در دو منطقه آزمایشی نشان دهنده پتانسیل روانگرایی منطقه در اثر وقوع زلزله‌ای با شتاب $0.25g$ و بزرگی $6/7$ می‌باشد. جهت بررسی تأثیر تراکم دینامیکی در کاهش پتانسیل روانگرایی با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱، مقاومت نوک بحرانی محاسبه و تغییرات آن با عمق رسم شده است. با مقایسه این مقادیر با نتایج آزمایش نفوذ مخروط قبل و بعد از کوبش براحتی می‌توان بخشهای روانگرا و غیر روانگرا را تشخیص داد. (شکل ۱۶)

در منطقه آزمایشی I لایه روانگرا بعد از $3/7$ متر شن سطحی قرار گرفته و قبل از کوبش ۱۰ متر ضخامت دارد که بعد از کوبش ضخامت آن به ۸ متر کاهش می‌یابد. چون ضخامت لایه غیر روانگرایی بالای این لایه روانگرا ۶ متر است لذا با توجه به نمودار ارائه شده توسط ایوازاکي^(۶) (شکل ۱۷) و با توجه به شتاب $0.25g$ در اثر روانگرا شدن لایه زیرین تخریبی در سطح مشاهده نمی‌شود.

در منطقه آزمایشی II، لایه روانگرا بعد از ۲ متر شن سطحی قرار گرفته و ۶ متر ضخامت داشته که بعد از کوبش ضخامت آن در حد فاصل لایه رسی - سیلتی به ۸۰ سانتیمتر کاهش می‌یابد. در این منطقه بعلت واقع شدن در عمق ۸ تا ۹ متری و تیکسوتر و پی مواد سیلتی و گذشت زمان احتمال وقوع روانگرایی منتفی است. از آنجا که درصد مصالح ریزدانه در منطقه آزمایشی I بیشتر از منطقه آزمایشی II است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد مصالح ریزدانه تأثیرپذیری این روش در کاهش پتانسیل روانگرایی کاهش می‌یابد.

۱ - Seed

۲ - De Alba

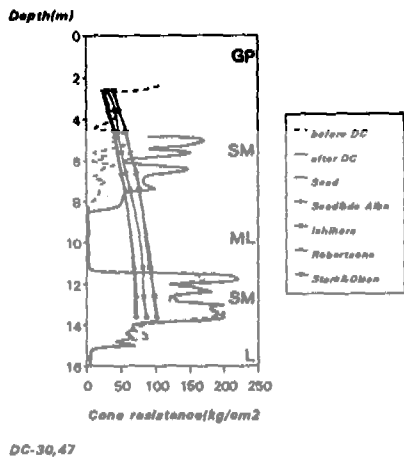
۳ - Ishihara

۴ - Robertson & Campanella

۵ - Stark & Olsen

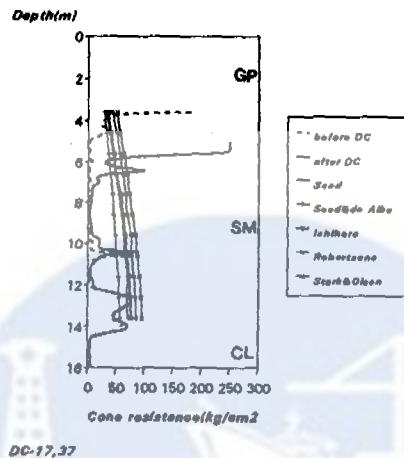
۶ - Iwazaki

Cone Penetration Test (Liquefaction potential)

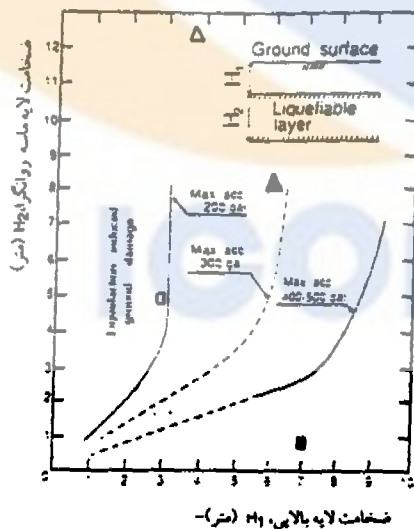


شکل (۱۷) - مقایسه بین مقاومت نوک مخروط قبل و بعد از بهسازی با مقاومت نوک بحرانی در منطقه آزمایشی II

Cone Penetration Test (Liquefaction potential)



شکل (۱۶) - مقایسه بین مقاومت نوک مخروط قبل و بعد از بهسازی با مقاومت نوک بحرانی در منطقه آزمایشی I



شکل (۱۸) - منحنی های مشخصه برای زلزله های با شتاب مختلف جهت تعیین امکان ایجاد خرابی در اثر روانگرایی [۲۹ و ۶۴]

- Δ منطقه آزمایشی I قبل از کوبش
- منطقه آزمایشی II قبل از کوبش
- ▲ منطقه آزمایشی I بعد از کوبش
- منطقه آزمایشی II بعد از کوبش

- بطور کلی نتایج زیر را از تراکم دینامیکی در مجتمع کشتی سازی شهید محلاتی بوشهر می توان گرفت :
- مصالح موجود در محل پروژه مناسب بودن این روش را جهت بهسازی تأیید می کند.
 - با توجه به بررسیهای انجام شده بر روی گسترش جانبی با انتخاب شبکه کوبش 10×10 یا 13×13 دستیابی به بهسازی یکنواختی در کل محوطه انجام پروژه حاصل گردید.
 - عمق مؤثر بهسازی علاوه بر ارتفاع سقوط و وزن وزنه تابعی از شرایط زمین می باشد و با توجه به اینکه شرایط زمین از محلی به محل دیگر متغیر است لذا ضریب ثابت ارائه شده در فرمول منارد نیز از محلی به محل دیگر تغییر می کند. در پروژه شهید محلاتی این ضریب معادل $0/35$ می باشد که با توجه به شرایط زمین انطباق خوبی با مقادیر ارائه شده در مصالح مشابه دارد.
 - با توجه به رابطه ارائه شده بین حداکثر سرعت ذره ای خاک، وزن وزنه، ارتفاع سقوط و فاصله از نقطه کوبش می توان این پارامترها را به گونه ای تغییر داد که حداکثر سرعت ذره ای خاک در فاصله ای مشخص از نقطه کوبش به مقدار بحرانی آن که برای سازه های مجاور خطرناک است نرسد.
 - با افزایش شدت انرژی اعمال شده، میزان بهسازی افزایش می یابد البته این افزایش تا حد رسیدن به لایه رسی یا رسی سیلنتی است. از سوی دیگر با افزایش درصد مصالح ریزدانه از عمق بهسازی هم کاسته می شود ولی خطر روانگرایی هم بعلت حضور ریزدانه کاهش می یابد.
 - با افزایش درصد مصالح ریزدانه، شدت انرژی لازم برای رسیدن به انرژی اشباع افزایش می یابد اما میزان نشست پذیری ناشی از کوبش کاهش می یابد.
 - مقایسه مقاومت نوک بحرانی (با توجه به روشهای مختلف برآورد پتانسیل روانگرایی بر اساس نتایج آزمایش نفوذ مخروط) با مقاومت نوک اندازه گیری شده قبل و بعد از کوبش نشان می دهد که تراکم دینامیکی باعث از بین رفتن خطر روانگرایی در لایه ماسه لای دار سست و اشباع شده است. همچنان نسبت فضای خالی (e) در لایه های بهسازی شده بنحو بارزی کاهش یافته است بنحوی که دانسیته نسبی (Dr) از $0/30$ تا $0/40$ به $0/65$ تا $0/78$ افزایش یافته و نشست پذیری خاک بستر ساختمان ها را بنحو چشمگیری کاهش داده و مقاومت مجاز زیر پی ها از مقدار $0/15$ تا $0/2$ به حدود $1/25$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افزایش یافته است.

- ۱- چشمی ا، (۱۳۷۶). «بهبودی زمین به روش تراکم دینامیکی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- چشمی ا، (۱۳۷۶). «آزمایش نفوذ مخروط»، سمینار کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس.
- 3- Chow, Y.K., Yong, D.M., Yong, K.Y., Lee, S.L., (1994) : "Dynamic compaction of loose granular soils : effect of print spacing", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 120, No 7, July 1994, ASCE, PP 1115-1133.
- 4- Gambin, M.P., (1983) : "The Menard dynamic consolidation method at Nice Airport", proc. 8th. ECSMFE, Helsinki, Vol 1, PP 231-234.
- 5- Gambin, M.P., (1984) : "Ten years of dynamic consolidation", proc. 8th. Regional conf. SMFE, Africa, PP 363-370.
- 6- Gambin, M.P., (1993) : "Short course on soil mechanics and foundation engineering", 24 October 1993, Tehran.
- 7- Ishihara, K., (1993) : "Liqufaction and flow failure during earthquakes", Geotechnique, sep 1993, Vol 43, PP 351-360.
- 8- Lukas, R.G., (1992) : "Dynamic compaction engineering consideration", Geotechnical special publication, Vol 2, No 30, pub1. by ASCE, NewYork, USA, PP 940-953.
- 9- Mayne, P.W., Jones, J.S. and Dumas, J.C., (1984) : "Ground response to dynamic compaction", Journal GED, ASCE, Vol 110, No 6, PP 757-774.
- 10- Menard, L. and Broise, Y., (1975) : "Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation", Geotechnique, Vol 25, No 1, PP 3-17.
- 11- Mitchell, J.K., (1981) : "Soil improvement : state-of-the-art", proc. 10th. ICSFME., Stockholm,

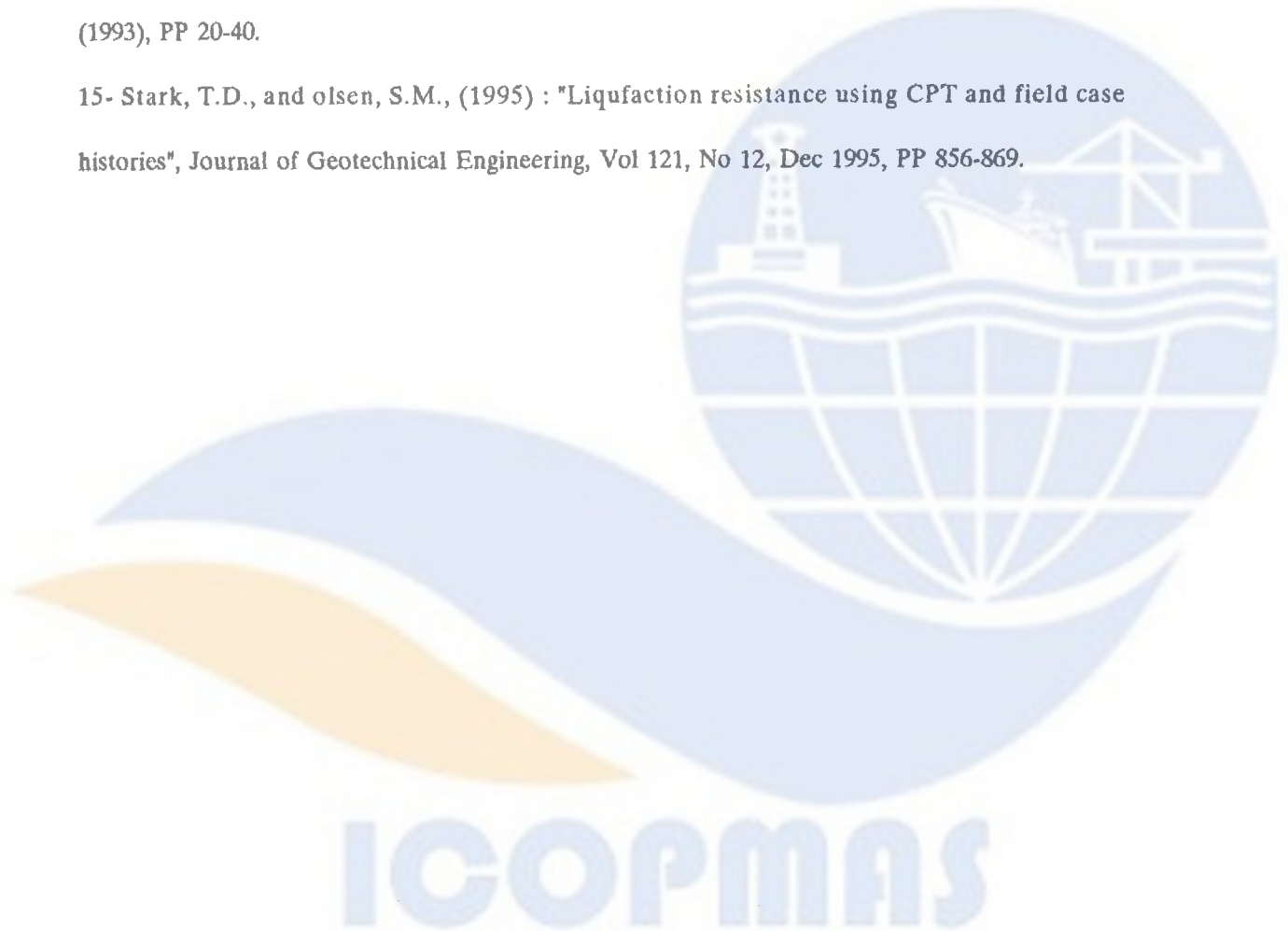
Vol 4, PP 509-565.

12- Robertson, P.K. and Campanella, R.G., (1985) : "Liqufaction potential of sand using the CPT", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 111, No 3, Mar 1985, PP 348-403.

13- Seed, H.B., et al (1983) : "Evaluation of liqufaction potential using feild performance data", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 109, No 3, Mar 1983, PP 458-482.

14- Slocomb, B.C., (1993) : "Dynamic compaction" : *Ground Improvement*, Moseley, M.P., (ed) (1993), PP 20-40.

15- Stark, T.D., and Olsen, S.M., (1995) : "Liqufaction resistance using CPT and field case histories", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 121, No 12, Dec 1995, PP 856-869.



Dynamic Density as a Soil Improvement Method in Coastal Areas

(A Case Study in Shahid Mahallati Shipyard, Bushehr)

H. Jalali, Ph.D. – CEO at Consultant Engineers of Water and Power Co.

A. Cheshmi – Geology Engineering Master from Tarbiat Modarres University

Abstract

One of the soil improvement methods is dynamic density, implemented by free fall of heavy weights from a height. This method is used in Shahid Mahallati Shipyard in Bushehr, in order to improve the soil of an area of 50,000 square meters. The sandy profile includes the embankment sandy materials, fragile, saturated and compressible silty grain and soft silty clay. The dynamic density method was implemented with the aim of increasing the parameters of layer engineering of fragile and saturated silty grain. Compression with a 30-ton weight and free fall from a 17-meter height were employed in a square trellis and in two stages. In this article, while expressing the reason of selecting the dynamic density as a soil improvement method, improvement lateral expansion, relationship between effective depth of improvement and power of free fall, environmental impacts of dynamic density, correlation between the amount of energy and subsidence, quality check of dynamic density and effect of dynamic density method on decreasing runoff potential are discussed.

Keywords: dynamic density; Persian Gulf; soil improvement