



بررسی رابطه بین ضریب عکس العمل خاک با استفاده از نتایج آزمایشات بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاهی

علی ملاحسنی، جعفر بلوری بزاز و آزاده راشد

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

Ali.mollahassani@gmail.com

bolouri@um.ac.ir

azade.rashed@gmail.com

خلاصه

تعیین ضریب عکس العمل خاک، K_s که بیانگر عکس العمل بین فونداسیون و خاک زیر آن است یکی از مسائل پیچیده در مکانیک خاک می باشد. این ضریب توسط آزمایشات گوناگون مانند آزمایش تحکیم، سه محوری، CBR، بارگذاری صفحه و نیز روابط تئوریک و تجربی که توسط محققین ارائه شده اند تعیین می گردد. از بین این روش ها، استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه، یکی از بهترین روشها بوده و بیشتر از بقیه کاربرد دارد. در این تحقیق سعی گردیده که با استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه برجا و سپس با مدل نمودن این آزمایش در آزمایشگاه، بین نتایج آزمایشات این دو گروه ارتباط ریاضی برقرار نموده تا بتوان ضریب عکس العمل خاک را با انجام آزمایش در آزمایشگاه تعیین نمود. به این منظور ابتدا آزمایش بارگذاری صفحه در محل مورد نظر انجام شد و سپس آزمایش بارگذاری صفحه که در آزمایشگاه مدلسازی شده بود، بر روی نمونه دست نخورده انجام گردید. به منظور مقایسه نتایج و برقراری ارتباط ریاضی بین ضرایب عکس العمل این دو گروه آزمایش (بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاهی)، نمودارهای بار-نشست آنها ترسیم و ضریب عکس العمل هر نمودار محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. با توجه به رفتار پیچیده خاک و نیز شرایط متفاوت آزمایشات برجا و آزمایشگاهی، نتایج بدست آمده در محدوده این تحقیق منطقی به نظر می رسند. این نتایج می تواند برای تخمین اولیه مورد استفاده مهندسین و محققین قرار گیرد.

35 mm

کلمات کلیدی: ضریب عکس العمل خاک، آزمایش بارگذاری صفحه، برجا، آزمایشگاه.

۱. مقدمه

عکس العمل ما بین فونداسیون و خاک زیر آن یکی از مسائل مهم در مهندسی عمران می باشد و این مسئله از اواخر قرن نوزدهم توجه مهندسان را به خود جلب کرده است [۱]. در رابطه با این موضوع مهمترین مسئله تخمین فشار تماسی و نشست حاصل از آن می باشد، اما به دلیل چند فازی بودن محیط خاک و همچنین وجود متغیرهای وابسته به هم برآورد واقعی و دقیق مجهولات مسئله حتی با دانش امروزی کاری دشوار است. تعیین K_s از مسائل پیچیده و مشکل در مکانیک خاک می باشد [۲]. گذر زمان و استفاده وسیع از ضریب عکس العمل بستر هنوز هم نتوانسته است ابهامات موجود در تعیین مقدار دقیق و واقعی این ضریب را برطرف کند. در نیمه اول قرن بیستم مقالاتی چاپ شدند که مقادیر غیر واقعی برای ضریب عکس العمل بستر ارائه می دادند و مهندسان تصور می کردند که این ضریب برای بستر مفروض و معلومی، دارای مقدار عددی معین و واحدی است. اما ترازقی در مقاله جامع خود تاثیر فاکتورهای موثر K_s را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که K_s جزو مشخصات انحصاری خاک نیست و علاوه بر وابستگی به مشخصات الاستیک بستر، به مشخصات هندسی سیستم منتقل کننده بار و حتی نوع بار وارده نیز وابسته است [۳]. از آن زمان به بعد مخصوصاً در دهه های ۵۰ الی ۸۰ میلادی این مسئله به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته و روابط متعددی توسط محققان ارائه شده است که تعدادی از این روابط تجربی بوده و تعدادی نیز از طریق مدل الاستیک پیوسته بدست آمده اند. در سال ۲۰۰۰ نیز Vallabhan و Daloglu با نرمالیزه کردن پارامترهای مدل Vlassov روش نوینی را برای تخمین مقدار ضریب عکس العمل بستر به منظور استفاده در روش وینکلر معرفی کرده اند [۴]. اما در مورد اعتبار یا عدم اعتبار استفاده جامع از این روابط در مسائل عملی اطلاعات چندانی در دسترس نیست و ابهامات موجود در این زمینه به



اندازه‌های گسترده است که در مواردی استفاده از روابط ضریب عکس‌العمل افقی بستر برای تعیین ks نیز مشاهده شده است [۵]. در حالت کلی روشهای تعیین ضریب عکس‌العمل بستر، ks، شامل آزمایشات بارگذاری صفحه [۱ و ۶]، تحکیم [۱ و ۶]، سه محوری [۱]، CBR [۷] و روابط تئوریک و تجربی که توسط محققین ارائه شده‌اند [۶] می‌باشد. از بین این روش‌ها، استفاده از نتایج آزمایش بارگذاری صفحه، از متداول‌ترین روشها بوده و بیش از بقیه کاربرد دارد [۸]. بدیهی است آزمایشات برجا اصولاً به نتایج دقیق‌تری منتهی می‌شوند. اما این نوع آزمایشات هزینه بالاتر داشته و وقت‌گیرتر هستند و در بسیاری موارد انجام آن مشکل و غیرممکن می‌باشد. در همین راستا بسیاری از محققین سعی نموده‌اند با مدل نمودن آزمایشات محلی در آزمایشگاه، بین نتایج آنها رابطه‌ای برقرار نمایند. در این تحقیق سعی شده است ابتدا با انجام آزمایش‌های متعدد بارگذاری صفحه برجا و با تحلیل نتایج آن، ضریب عکس‌العمل خاک تعیین گردد. سپس با تهیه نمونه دست نخورده و مدل‌سازی این آزمایش‌ها در آزمایشگاه و انجام آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه، یک رابطه ریاضی بین نتایج آزمایش بارگذاری صفحه برجا و نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی برقرار شود.

۲- برنامه آزمایشات

همانگونه که بیان شد آزمایشات به دو گروه برجا و آزمایشگاهی تقسیم می‌شوند. پس از اتمام آزمایش بارگذاری صفحه برجا که طبق استاندارد ASTM D1194-94 انجام می‌گرفت، به منظور انجام آزمایشات آزمایشگاهی و تکمیلی، نمونه‌هایی به صورت دست‌خورده و یا دست‌نخورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند. در ادامه به چگونگی و شرایط انجام آزمایشات برجا و آزمایشگاهی پرداخته می‌شود.

۲-۱- آزمایشات برجا

برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه، محل مناسب انتخاب شده و سربار مورد نیاز به آنجا منتقل می‌شود. پس از صاف و تمیز کردن سطح خاک، صفحه بارگذاری بر روی لایه نازکی از ماسه مستقر می‌شود. سپس سایر تجهیزات برجا نصب می‌گردید و آزمایش بارگذاری صفحه انجام می‌شد. موارد زیر در کلیه آزمایشات برجا یکسان بوده است:

- قطر صفحه بارگذاری در کلیه آزمایشات برجا ۳۰ cm بود.
- برای قرائت نشستها در تمامی آزمایشات فوق از ۳ نشست سنج با دقت ۰/۰۱ mm استفاده می‌شد.
- کلیه آزمایشات بر روی خاک با رطوبت طبیعی انجام می‌گرفت و از اشباع شدن خاک محل در حین آزمایش و قبل از آن جلوگیری به عمل می‌آمد.
- تمامی آزمایشات برجا در اراضی موسوم به سیاده، که در شمال شهر مشهد واقع شده‌اند، انجام پذیرفته است. خلاصه‌ای از مشخصات آزمایشات برجا و خاک‌های مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- آزمایشات آزمایشگاهی

به منظور تعیین مشخصات مکانیکی خاک‌هایی که آزمایش بارگذاری صفحه بر روی آنها انجام شد، نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده از مجاورت محل استقرار صفحه بارگذاری گرفته می‌شد. آزمایشاتی که در آزمایشگاه بر روی این نمونه‌ها انجام شد عبارتند از:

- آزمایش دانه‌بندی (ASTM D422-63)
- آزمایش تعیین حدود اتربرگ شامل تعیین حد روانی و حد خمیری (ASTM D423-66 & D424-59)
- آزمایش تعیین درصد رطوبت (ASTM D2216-71)
- آزمایش تعیین وزن مخصوص خشک خاک (ASTM D575-75)
- آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه

مشخصات خاک‌های مورد آزمایش و همچنین مقادیر تنشهای اعمالی در آزمایش بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاه، که برای محاسبات نهایی مورد استفاده قرار گرفتند، در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول شماره گذاری نمونه‌ها به صورت دو قسمتی می‌باشد. قسمت اول، مشخص کننده طبقه بندی خاک (M معرف خاک ML و CM معرف خاک CL-ML) می‌باشد. قسمت دوم، بیانگر بخش اعشاری وزن مخصوص خشک خاک (که همیشه بزرگتر از یک است) می‌باشد. در صورتی که دو یا چند نمونه دارای طبقه بندی و وزن مخصوص یکسان باشند، بعد از عدد مربوط به وزن



مخصوص شماره‌های ۱، ۲ و ... به این نام گذاری اضافه می‌شود. به عنوان مثال نمونه با نام M-50-2 معرف نمونه دوم با طبقه بندی ML و وزن مخصوص خشک 1.50 gr/cm^3 می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات خاک‌های مورد آزمایش و مقادیر تنش‌های اعمال شده در آزمایشات*

شماره نمونه	γ_d (gr/cm^3)	W (%)	LL (%)	PI (%)	< 200 (%)	P ₁	P ₂	P ₃	P' ₁	P' ₂	P' ₃
CM-54	۱/۵۴	۱۱/۸۰	۲۵	۴	۹۳/۷۱	۷	۴	۰/۳	۷	۲	۰/۲۵
CM-62	۱/۶۲	۱۱/۴۰	۲۵	۴	۹۷/۳۳	۷	۴	۰/۳	۱۱/۵	۲	۰/۲۵
CM-63	۱/۶۳	۱۳/۲۰	۲۵	۵	۹۷/۴۷	۷	۴	۰/۳	۶	۲	۰/۲۵
CM-74	۱/۷۴	۱۲/۰۰	۲۵	۵	۸۹/۱۶	۷	۴	۰/۳	۶	۲	۰/۲۵
CM-75	۱/۷۵	۱۱/۷۰	۲۴	۴	۸۶/۴۹	۷	۴	۰/۳	۱۶/۵	۲	۰/۲۵
M-45	۱/۴۵	۶/۰۰	۲۳	-----	۸۵/۹۸	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-46	۱/۴۶	۱۳/۰۰	۲۶	-----	۸۸/۷۰	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-48	۱/۴۸	۷/۳۰	۲۴	-----	۷۸/۰۲	۵	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-50-1	۱/۵۰	۹/۰۰	۲۲	-----	۷۵/۸۵	۶	۴	۰/۶	۵	۴	۰/۲۵
M-50-2	۱/۵۰	۱۰/۸۰	۲۴	-----	۹۰/۰۶	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۵
M-51-1	۱/۵۱	۷/۵۰	۲۴	-----	۸۲/۲۷	۶	۴	۰/۶	۵	۴	۰/۲۵
M-51-2	۱/۵۱	۹/۳۰	۲۳	-----	۹۰/۶۹	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-52	۱/۵۲	۸/۰۰	۲۴	-----	۸۹/۰۶	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-57-1	۱/۵۷	۹/۰۰	۲۳	-----	۷۵/۲۶	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-57-2	۱/۵۷	۱۰/۴۰	۲۴	۳	۸۸/۴۲	۵	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۵
M-57-3	۱/۵۷	۹/۴۰	۲۳	-----	۸۰/۳۸	۶	۴	۰/۳	۵	۴	۰/۲۵
M-58	۱/۵۸	۸/۰۰	۲۴	-----	۸۲/۷۱	۵	۴	۰/۳	۴	۴	۰/۲۵
M-62	۱/۶۲	۷/۷۰	۲۰	-----	۵۷/۲۳	۶	۴	۰/۶	۶	۴	۰/۵

* نمادهای مورد استفاده در جدول ۱ به موارد زیر اشاره دارند:

γ_d , W, LL و PI: به ترتیب، وزن مخصوص خشک، درصد رطوبت، حد روانی و دامنه خمیری خاک

< 200: درصد عبوری از الک ۲۰۰

P₁ و P'₁: به ترتیب، حداکثر تنش بارگذاری در آزمایش بارگذاری صفحه برجا و در آزمایشگاه (kg/cm^2)

P₂ و P'₂: به ترتیب، تنش در شروع مرحله باربرداری در آزمایش بارگذاری صفحه برجا و در آزمایشگاه (kg/cm^2)

P₃ و P'₃: به ترتیب، تنش در پایان مرحله باربرداری در آزمایش بارگذاری صفحه برجا و در آزمایشگاه (kg/cm^2)



ب



الف

**شکل ۱- تهیه نمونه دست نخورده توسط لوله استوانه‌ای شکل برای آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه
الف- حفر گودال ب- استقرار استوانه نمونه‌گیر در نمونه و آماده سازی جهت اخذ نمونه**

پس از انجام آزمایشات مقدماتی شامل شناسایی و طبقه بندی خاک، به منظور انجام آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه، ابتدا نمونه دست نخورده توسط لوله استوانه‌ای شکل به قطر ۲۲ cm و ارتفاع ۲۰ cm از خاک محل انجام آزمایش تهیه می‌شود. به این منظور ابتدا گودالی به قطر حدود ۴۰ cm و ارتفاع بیش از ۲۰ cm به گونه‌ای حفر می‌گردید که در میانه آن استوانه‌ای با قطری معادل استوانه نمونه‌گیر باقی بماند (شکل ۱-الف). سپس نمونه-گیر به آهستگی و به صورت قائم به داخل نمونه رانده می‌شد (شکل ۱-ب). پس از پایین رفتن کامل نمونه‌گیر، نمونه به آهستگی از قسمت زیرین آن جدا می‌گردید و پس از گذاشتن آن در پلاستیک به آزمایشگاه منتقل می‌شد.



سپس در آزمایشگاه آزمایش بارگذاری صفحه توسط دستگاه تحکیم که با تغییراتی در اندازه و ابعاد اولیه آن ایجاد شده بود انجام گرفت. با توجه به ابعاد بزرگ نمونه دست نخورده اخذ شده از محل و عدم جایگیری آن درون دستگاه تحکیم، قسمتی از قاب دستگاه که محل استقرار قالب تحکیم می‌باشد با قابی مشابه ولی بزرگتر (حدوداً ۲/۵ برابر) تعویض شد (شکل ۲). سپس نمونه‌ها به وسیله این دستگاه تحت بارگذاری صفحه (به قطر ۷/۵ cm) در آزمایشگاه قرار می‌گرفتند. مشخصات و مقادیر تنش‌های اعمال شده به نمونه آزمایشگاهی و آزمایشات برجا در جدول ۱ آورده شده است. پس از انجام کلیه آزمایشات، نمودارهای بار-نشست مربوط به آزمایشات بارگذاری صفحه برجا و نیز آزمایشگاه ترسیم، مقایسه و تجزیه و تحلیل شدند که در ادامه فرآیند کار و نتایج شرح داده می‌شوند.



شکل ۲ - دستگاه تحکیم با تغییراتی در ابعاد آن جهت آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه

۳- فرآیند محاسبات و نتایج

پس از انجام آزمایشات بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاهی، نمودارهای بار-نشست آنها ترسیم شدند. شکل ۳ نمودارهای بار-نشست مربوط به ۱۸ آزمایش بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای بار-نشست برای تعیین ضریب عکس العمل خاک می‌توان از رابطه ۱ استفاده کرد. در این رابطه q تنش اعمالی و δ نشست صفحه می‌باشد. از نمودارهای بار-نشست، ضریب عکس العمل برای هر نمونه محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

$$K_s = \frac{q}{\delta} \quad (1)$$

جدول ۲- ضرایب عکس العمل محاسبه شده برای نمونه‌ها بر اساس نتایج آزمایشات صحرائی و آزمایشگاهی*

شماره نمونه	CM-54	CM-62	CM-63	CM-74	CM-75	M-45	M-46	M-48	M-50-1	M-50-2	M-51-1	M-51-2	M-52	M-57-1	M-57-2	M-57-3	M-58	M-62
K_{SF}	۱۸/۸	۳۰/۱	۲۱/۸	۱۲/۸	۲۹/۴	۵/۲	۳/۱	۴/۱	۵/۰	۳/۵	۶/۷	۴/۸	۹/۵	۷/۳	۳/۷	۴/۵	۲/۳	۳/۶
K_{SL}	۳۱/۲	۲۶/۳	۱۴/۳	۱۲/۱	۲۷/۴	۴/۳	۳/۳	۴/۸	۵/۲	۹/۸	۲/۸	۱۰/۴	۶/۹	۸/۳	۵/۶	۵/۶	۳/۰	۶/۱

* نمادهای مورد استفاده در جدول ۲ به موارد زیر اشاره دارند:

K_{SF} و K_{SL} : به ترتیب ضریب عکس العمل مربوط به آزمایش بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاه (kg/cm^3)

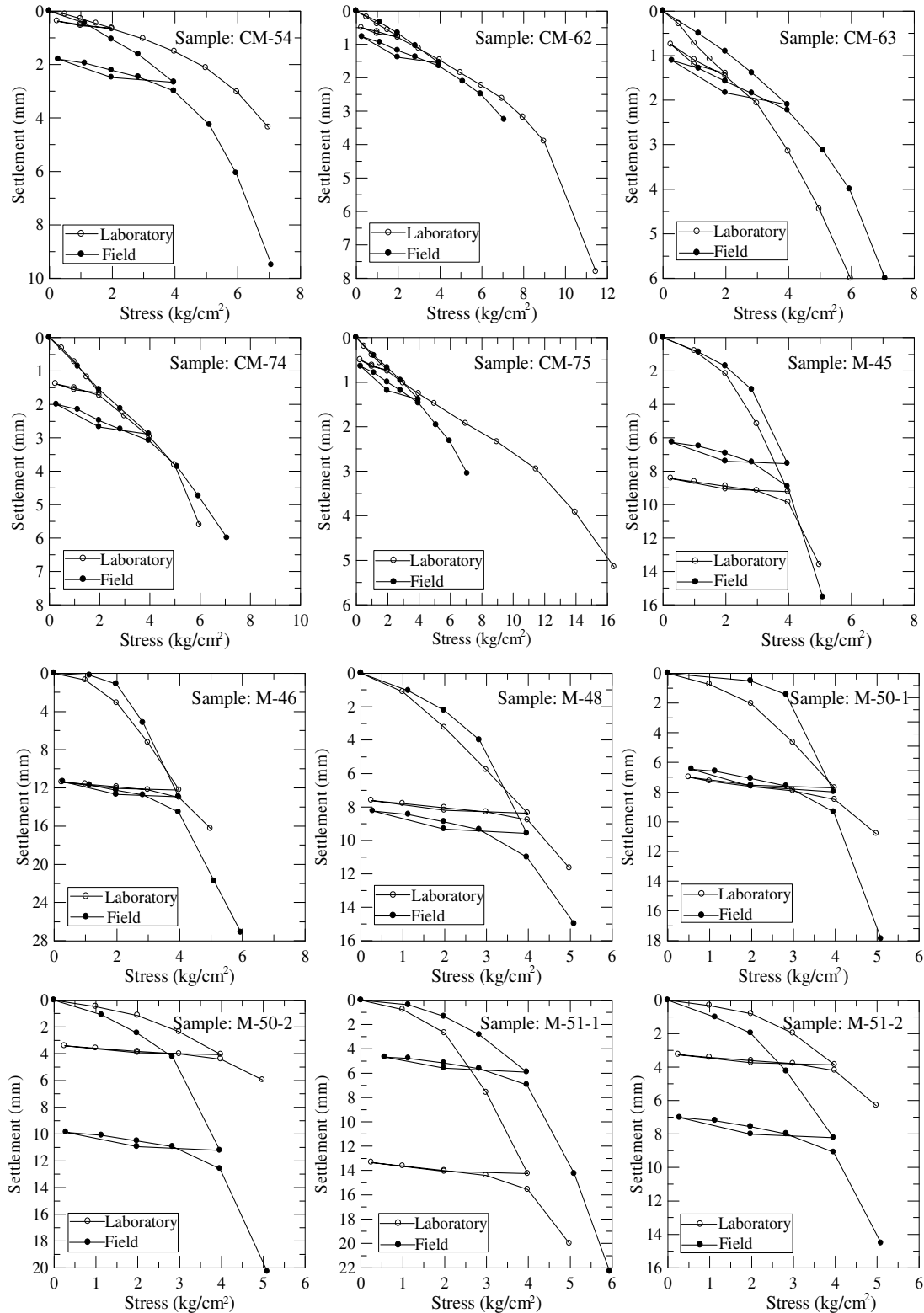
۴- تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۲- انتخاب مدل

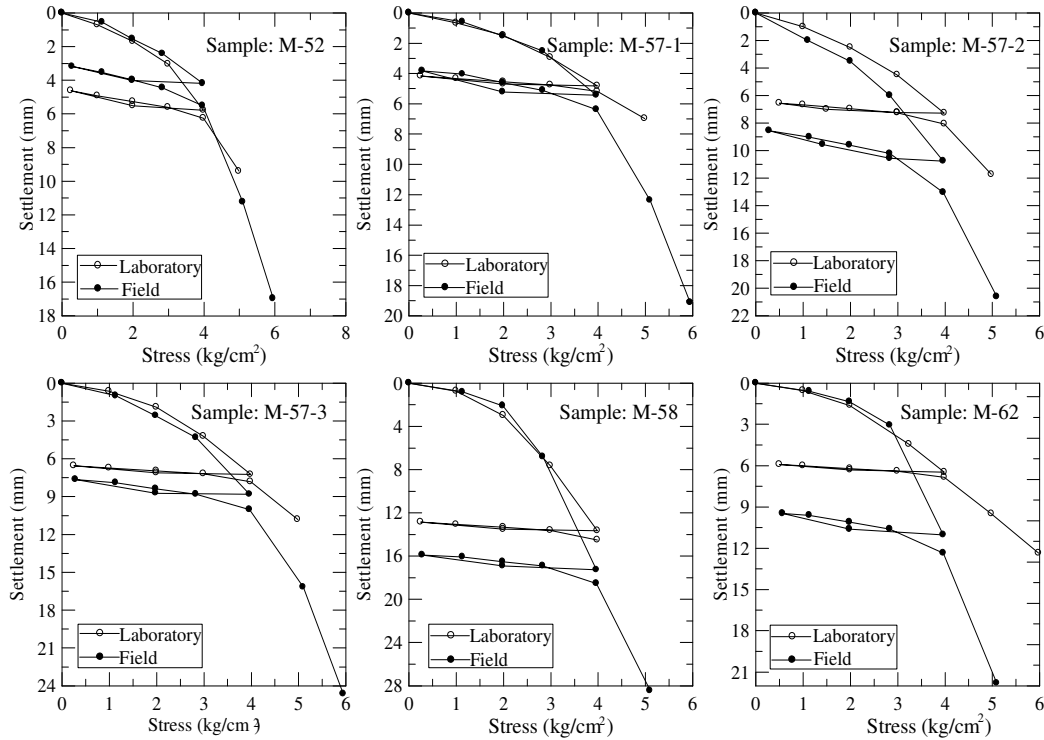
به منظور ایجاد یک رابطه ریاضی و منطقی بین نتایج آزمایشات برجا و آزمایشگاهی، مقادیر ضرایب عکس العمل هر گروه به صورت جداگانه توسط چندین مدل، شامل مدل‌های خطی، توانی، نمایی، لگاریتمی، چند جمله‌ای درجه دو و درجه سه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به اینکه، با افزایش مقدار ضریب عکس العمل در آزمایشگاه، مقدار این ضریب در حالت برجا نیز افزایش پیدا می‌کند، از مدلهایی که قسمت انتهایی آنها انحنایی



رو به پایین داشته و با روند افزایشی مغایرت داشتند، صرف نظر گردید و سایر مدلها مورد بررسی بیشتر و دقیق تر قرار گرفت. چنین مدلهایی که قسمت انتهایی آنها انحنایی رو به پایین دارد و یا نمودار آنها به صورت دو قوسی می باشد، ممکن است فقط در محدوده داده های موجود نتایج بهتری ارائه دهند، ولی با افزایش تعداد داده ها و یا تفاوت برخی شرایط، این مدلها فاقد کارایی لازم در تعمیم نتایج می باشند.



شکل ۳ - نمودارهای بار- نشست آزمایشهای بارگذاری صفحه برجا و آزمایشگاه



شکل ۳- ۱۵۱-۴

با توجه به این توضیحات، مدل‌هایی که برای تحلیل نهایی انتخاب شدند عبارتند از:

- مدل خطی با معادله $y = ax$
- مدل توانی با معادله $y = ax^b$

در این مدل‌ها x و y به ترتیب بیانگر مقادیر ضرایب عکس‌العمل محاسباتی در آزمایشگاه و برجا می‌باشند. پس از انتخاب مدل‌های نهایی، به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد این مدل‌ها، برخی از پارامترهای آماری برای هر مدل محاسبه و نمودارهای آماری مربوطه رسم شدند. در بخش‌های بعدی مقادیر ضرایب عکس‌العمل خاک تحلیل شده و توانایی هر یک از مدل‌ها در تبدیل نتایج آزمایشگاهی به میدانی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

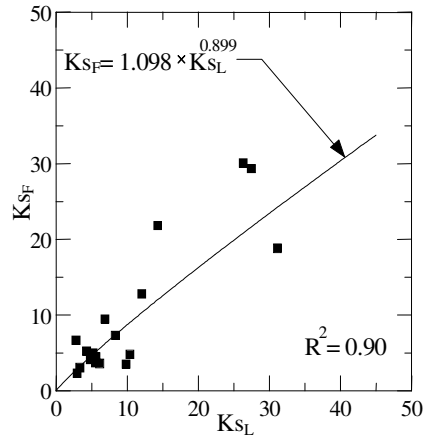
۴-۴ تحلیل ضرایب عکس‌العمل خاک

در این بخش مقادیر ضرایب عکس‌العمل که با توجه به نمودارهای بار-نشست آزمایش‌های بارگذاری صفحه برجا و در آزمایشگاه محاسبه شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا رابطه‌ای که بر اساس هر یک از مدل‌های خطی و توانی برای ارتباط بین مقادیر ضرایب عکس‌العمل برجا و آزمایشگاه توسعه یافته، ارائه شده است و سپس نمودارهای مربوط به توسعه این رابطه‌ها توسط مدل مربوطه ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

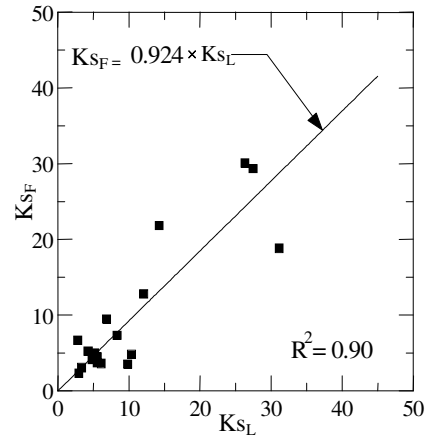
الف: مدل خطی

نمودار مربوط به توسعه این رابطه بر مبنای مدل خطی در شکل ۴-۴ الف، نمودار مقادیر خطای محاسبه شده توسط مدل (Residual) در برابر ضرایب عکس‌العمل در آزمایشگاه (K_{SL}) در شکل ۴-۴ ب و نمودار مقایسه‌ای ضرایب عکس‌العمل مشاهده شده در محل (K_{SFO}) در برابر ضرایب عکس‌العمل محاسبه شده توسط مدل خطی (K_{SFC}) در شکل ۴-۴ ج نشان داده شده است. رابطه‌ای که بین مقادیر ضرایب عکس‌العمل برجا و آزمایشگاه بر مبنای مدل خطی بدست آمده است به صورت زیر می‌باشد

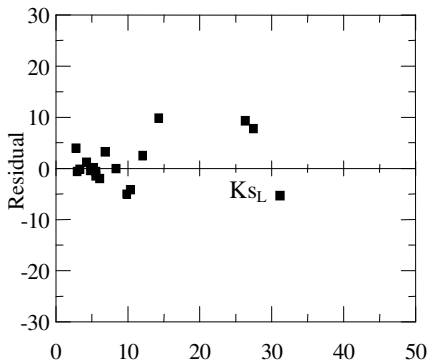
$$K_{SF} = 0.924K_{SL} \quad (2)$$



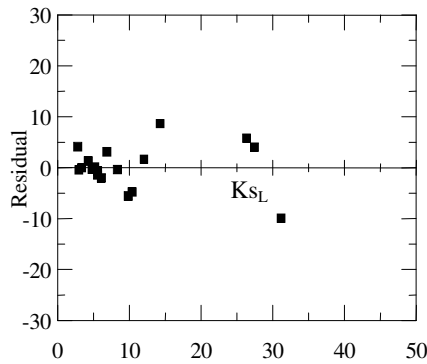
(الف)



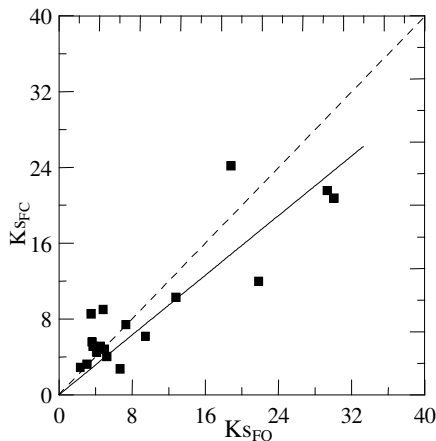
(الف)



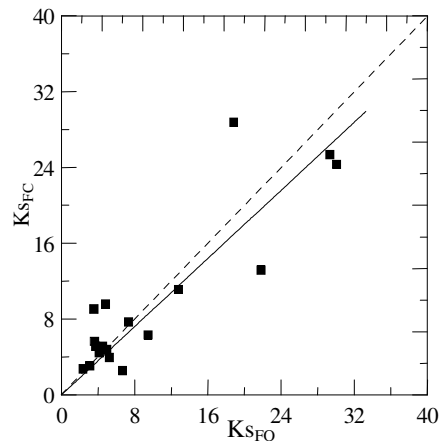
(ب)



(ب)



(ج)



(ج)

شکل ۵ - نمودارهای آماری ضرایب عکس العمل مربوط به توسعه مدل توانی به منظور تبدیل نتایج آزمایشگاهی به میدانی

شکل ۴ - نمودارهای آماری ضرایب عکس العمل مربوط به توسعه مدل خطی به منظور تبدیل نتایج آزمایشگاهی به میدانی

ب: مدل توانی

نمودارهای مربوط به مدل توانی در شکل ۵ نشان داده شده است. رابطه‌ای که بین ضرایب عکس العمل برجا و آزمایشگاه بر مبنای مدل توانی بدست آمده است به صورت زیر می‌باشد

$$K_{SF} = 1.098 K_{SL}^{0.899} \quad (3)$$

پس از تحلیل و بررسی مدل‌های مختلف و ارائه نمودارهای مربوط به هر یک از این مدلها، مشخصات آماری مربوط به تحلیل این دو مدل برای ضرایب



عکس العمل در جدول ۳ خلاصه شده است. با مقایسه این پارامترها می توان مدل نهایی و مطلوب را انتخاب نمود.

جدول ۳- نتایج آماری مدل های خطی و توانی مربوط به مقادیر ضرایب عکس العمل*

مدل	MARE (%)	Slope	SSE	R ²
خطی	۳۶/۶	۰/۸۹۸	۳۱۴/۹	۰/۹۰
توانی	۳۶/۰	۰/۷۸۷	۳۵۶/۴	۰/۹۰

* نمادهای مورد استفاده در جدول فوق به موارد زیر اشاره دارند:

R²: ضریب تعیین

Slope: شیب نمودار مقایسه ای مقادیر شیب های مشاهده شده برجا در برابر شیب های محاسبه شده توسط مدل

SSE و MARE: به ترتیب مجموع مربعات خطای محاسبه شده و میانگین قدر مطلق خطای نسبی

همانگونه که مشاهده می گردد با توجه به نتایج مشخصات آماری دو مدل، عملکرد آماری مدل خطی نسبتاً بهتر است. بنابراین استفاده از مدل خطی توصیه می شود.

۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر هدف تعیین ضریب عکس العمل خاک با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه برجا و در آزمایشگاه و سعی در ایجاد ارتباط بین نتایج این دو نوع آزمایش بود. آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه با ایجاد تغییراتی در اندازه و ابعاد اولیه دستگاه تحکیم مدل شده بود. پس از انجام آزمایشات محلی و آزمایشگاهی، نمودار بار-نشست برای هر نمونه ترسیم و ضریب عکس العمل مربوطه محاسبه شد. سپس مدل های گوناگون شامل خطی و توانی جهت ارتباط بین نتایج توسعه یافتند و مدل نهایی که ارتباط بهتر و دقیق تری را بین نتایج برقرار می نمود، انتخاب گردید. با توجه به آزمایشهای انجام شده و تحلیل نتایج، نکات زیر را می توان استنباط نمود:

- رابطه بین نتایج آزمایش بارگذاری صفحه برجا و آزمایش بارگذاری صفحه در آزمایشگاه از یک روند منطقی پیروی می کند.
- تحلیل نتایج نشان می دهد که تفاوت زیادی بین نتایج مدل های خطی و توانی وجود ندارد.
- با توسعه رابطه برای مقادیر محاسبه شده ضرایب عکس العمل بر مبنای مدل های مختلف و ترسیم نمودار آنها و تحلیل نتایج آماری این مدلها، مدل خطی با رابطه $K_{SF} = 0.924K_{SL}$ و با میانگین قدر مطلق خطای نسبی ۳۷٪ برای مقادیر ضرایب عکس العمل توصیه می گردد. با توجه به مقدار خطا، استفاده از این روش در شرایط سخت قابل توصیه است.

۶- مراجع

1. Dutta, S. C., and Roy, R., "A critical review on idealization and modeling for interaction among soil-foundation structure system", Computers and structures, Vol. 80, p.p. 1579-94, (2002).
2. Singh, A. and Chowdhary, G. R., (1990), "Soil Engineering in Theory and Practice, Volume 2, Geotechnical Testing and Instrumentation", Satish Kumar Jain for CBS Publishers & Distributors, New Delhi, India.
3. Terzaghi, K. V., "Evaluation of coefficient of subgrade reaction", Geotechnique, 5 (4), p.p. 297-326, (1955).
4. Daloglu, A. T., and Vallabhan, C. V. G., "Values of K for slab on Winkler foundation", J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, May, p.p. 463-71, (2000).
5. Okeagu, B., and Abdel-Sayed, G., "Coefficient of soil reaction for buried flexible conduits", J. Geo. Eng., ASCE, 110 (7), p.p. 908-22, (1984).
6. Bowles, J. E., (1988), "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill Book Company, Singapore.
7. Nascimento, V., and Simoes, A., "Relation between CBR and modulus of strength", Proc 4th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 2, London, p.p. 166-8, (1957).
8. Lin, P. S., Yang, L. W. and Juang, H., (1998), "Subgrade reaction and load-settlement characteristics of gravelly cobble deposits by plate-load tests", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 35, No. 5, pp. 801-810.
9. ASTM, D 1194 - 94, "Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings", American Society of Testing and Materials.