



## اصلاح روش های کلاسیک بر آورد نشست الاستیک پی ها، برای سه پی نواری

### مجاور

علی جلالی مارنانی<sup>۱\*</sup>، البرز حاجیان نیا<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته ی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (ajalali1982@yahoo.com)

### چکیده

تمامی روش های کلاسیک محاسبه ی نشست الاستیک پی ها، پی را تنها (منفرد) فرض می کنند. این در حالی است که، پی ها معمولاً در فواصل نزدیک به هم اجرا می شوند. در نتیجه، تداخل میدان های تنش ناشی از بارگذاری هر کدام بر دیگری، باعث رفتار متفاوت آنها نسبت به پی تنها می شود. تقریباً هیچ روشی برای در نظر گرفتن اثر تداخل پی های مجاور، در محاسبه ی نشست الاستیک، وجود ندارد. در این پژوهش، میزان اثر تداخل سه پی نواری مجاور موازی سطحی صلب متکی بر خاک ماسه ای، در نشست الاستیک یکدیگر، به طور تقریبی برآورد شده است. این کار توسط مدل سازی عددی توسط نرم افزار رایانه ای اجزاء محدود پلکسیس، با در نظر گرفتن مدل رفتاری الاستیک خطی برای خاک، انجام گردیده است، همچنین پی های مجاور، به طور نمری و مساوی و همزمان، بارگذاری شده اند. از نتایج این پژوهش می توان به، ناچیز شدن اثر تداخل سه پی نواری مجاور در فاصله ی لب به لب ۵ برابر عرض پی؛ و افزایش حدوداً ۸۰ درصدی میزان نشست الاستیک سه پی نواری مجاور، نسبت به پی نواری تنه های همسان، اشاره کرد، که در نظر نگرفتن این افزایش نشست الاستیک می تواند منجر به نتایج فاجعه باری گردد. همچنین برای اصلاح روش های کلاسیک، ضریبی تحت عنوان ضریب تداخل نشست الاستیک تعریف گردید که می تواند برای اصلاح مقادیر نشست الاستیک محاسبه شده توسط روش های کلاسیک رایج، به کار رود (البته تنها برای سه پی مجاور نواری سطحی نزدیک به هم).

واژه های کلیدی: نشست الاستیک، ضریب تداخل نشست الاستیک، سه پی نواری مجاور، پلکسیس، الاستیک خطی

### ۱- مقدمه

پی یکی از مهمترین بخش های سازه ها می باشد. برای بیشتر سازه ها، از جمله ساختمان های مسکونی، پل ها، برج ها و نیروگاه ها، نشست پی می بایستی با دقت زیادی تعیین شود. چنانچه به هر دلیل نشست پی از حد مجاز تجاوز کند، خسارات جبران ناپذیری به بار خواهد آمد. از طرف دیگر، مسأله ی نشست پی، یکی از مسائل مهم در طراحی پی ها می باشد بنابراین استحصال تخمینی معقول از نشست پی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای محاسبه ی نشست پی، روش های گوناگونی ارائه شده است که شامل روش های تحلیلی و روش های عددی می باشد. اکثر روش های تحلیلی کلاسیک، بر پایه ی تئوری الاستیسیته بنا گردیده اند که رفتار خاک را، الاستیک خطی فرض می کنند، همانند روش تیموشنکو، روش تیموشنکوی



اصلاح شده، و روش اشمرتمن. ولی در تمام آنها نشست پی تنها (پی منفرد)، برآورد می شود. این در حالی است که، پی ها معمولا در فواصل نزدیک به هم اجرا می شوند. در نتیجه، تداخل میدان های تنش ناشی از بارگذاری هر کدام بر دیگری، باعث رفتار متفاوت آنها نسبت به پی تنها می شود. رفتار پی عبارت است از: ظرفیت باربری، نشست، و انحراف (کجی). تمرکز بیشتر مطالعات بر ظرفیت باربری پی های مجاور بوده است (Khing, Das, Yen, PURI, & (Das & Larbi-Cherif, 1983) Cook, 1992) (Ghazavi & Alimardani Lavasan, 2008) (Alimardani Lavasan & Ghazavi, 2012)، همچنین پژوهش های بسیار کمی روی انحراف پی های مجاور (Amer & Romi) و نشست آنها (Wang & Jao, 2002) (Kumar & Saran, 2003) (Ghosh & Sharma, 2010) (Ghosh P., 2009) (Kumar & Bhoi, 2008) (Khan, Bohara, Ohri, & Sin, 2006) انجام گرفته است و نیاز به مطالعات بیشتر بر روی نشست و کجی پی های مجاور احساس می شود. پرسش بسیار مهم و کاربردی این است که: میزان دخالت پی های مجاور، در نشست یکدیگر چقدر است، و آیا این مقدار تداخل، با فاصله ی پی ها، رابطه ای ریاضی یا آماری دارد، که بتوان از این روابط در مسائل عملی عمرانی استفاده کرد؟ هدف از این پژوهش، دادن پاسخی روشن به این پرسش، و اصلاح روش های کلاسیک، برای برآورد نشست سه پی نواری مجاور، بوده است.

## ۲- مروری بر پژوهش های گذشته

مطالعه ای، توسط داس و لاربی چریف، روی تأثیر متقابل پی ها ی زیر مجاور بر رفتار یکدیگر، توسط ساخت مدل فیزیکی، بر روی ماسه انجام گرفت. نتیجه ی تحقیق، هم برای بار گسیختگی ابتدایی و هم برای بار گسیختگی نهایی، افزایش نشست را نشان می داد (برای فاصله ی نسبی (مرکز تا مرکز پی ها بر عرض آنها) کمتر از  $4/5$ ) (Das & Larbi-Cherif, 1983). مطالعه ی دیگری روی تأثیر متقابل پی ها ی زیر مجاور بر رفتار یکدیگر توسط داس و همکاران، توسط ساخت مدل فیزیکی، بر روی ماسه ی مسلح شده با ژئوگرید انجام گرفت. که، افزایش نشست (در ظرفیت باربری نهایی) با کاهش فاصله ی پی های مجاور را، هم در ماسه ی مسلح نشده و هم در ماسه ی مسلح شده با ژئوگرید، و همچنین، شبیه شدن رفتار پی های مجاور به رفتار پی تنها، با افزایش فاصله ی بین آنها را نتیجه داد (Khing, Das, Yen, PURI, & Cook, 1992). مطالعه ی دیگری روی تأثیر متقابل پی ها بر رفتار یکدیگر، توسط مدل تحلیلی (ریاضی)، توسط قوانین بنیادین خاک ها، بر روی خاک رس، برای پی نواری زبر و کاملا انعطاف پذیر، توسط احمد عامر و همکاران، صورت گرفت. که، افزایش نشست و کجی پی ها، با کاهش یافتن فاصله ی آنها (در یک شدت فشار خاص)، و کج شدن پی ها به سوی مرکز سیستم، و بستگی داشتن مقدار کجی پی ها، به شدت فشار و فاصله ی نسبی آنها را به عنوان نتیجه به ارمغان آورد (Amer & Romi). مطالعه ی دیگری روی تأثیر متقابل پی ها بر نشست یکدیگر، توسط مین ژائو و همکاران انجام گرفت، با فرضیات: پی بتن مسلح نواری متکی بر خاک چسبنده. پژوهش توسط نرم افزاری رایانه ای که از روش عددی اجزاء محدود استفاده می کرد، انجام شد و به نتیجه ی زیر منتهی گشت: کشف فرمول هایی بین میزان تداخل نشست، و فاصله ی نسبی بین پی ها (Wang & Jao, 2002). پژوهشی دیگر روی تأثیر متقابل پی ها بر رفتار یکدیگر، توسط کومار و ساران انجام گرفت. مطالعه توسط ساخت مدل فیزیکی انجام شد و نوع خاک، ماسه ی مسلح شده با ژئوگرید؛ و نوع پی، نواری، و مستطیلی صلب، فرض گردید. از این تحقیق نتایج زیر حاصل شد: افزایش زاویه ی کجی پی های مجاور، با کاهش فاصله ی نسبی بین آن ها، و، ناچیز شدن زاویه ی کجی پی ها، با تعبیه ی دو لایه ممتد ژئوگرید در زیر خاک آنها (Kumar & Saran, 2003). پژوهش دیگری روی تأثیر متقابل پی ها بر رفتار یکدیگر توسط نابی خان و همکاران انجام پذیرفت. نوع پژوهش، مدل فیزیکی؛ و نوع پی، زبر مستطیلی سطحی، دایره ای و نواری متکی بر ماسه؛ انتخاب شد. تفاوت عمده ی این پژوهش با کار های دیگران، بارگذاری یک پی تا ظرفیت باربری ایمنش، سپس بارگذاری نموی پی مجاور تا گسیختگی؛ بوده است. از این تحقیق نتایج زیر مستفاد شد: برای یک نشست یکسان، افزایش شدت بار، با کاهش فاصله ی بین پی ها، و، برای یک شدت بار مفروض، کاهش نشست، با کاهش فاصله ی بین پی ها (Khan, Bohara, Ohri, & Sin, 2006). پژوهشی دیگر روی تأثیر متقابل پی های مجاور بر رفتار یکدیگر توسط کومار و بوی صورت گرفت. نوع پژوهش، مدل فیزیکی و نوع خاک، ماسه بوده است. مفروضات (محدودیت های) مدل بدین قرار بوده: تحمل بار مساوی برای همه ی پی



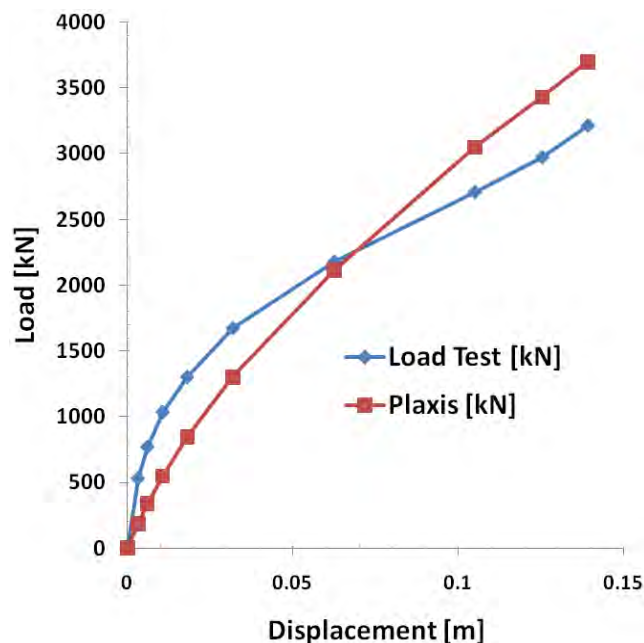
ها، نشست مساوی همه ی پی ها، ندادن اجازه ی انحراف به پی. از این مطالعه نتایج زیر به دست آمده است: افزایش نشست (متناظر با گسیختگی نهایی)، با کاهش فاصله ی پی های مجاور، و، افزایش اثر تداخل پی های مجاور، با بیشتر شدن زاویه ی اصطکاک داخلی توده ی خاک (Kumar & Bhoi, 2008). پژوهشی دیگر روی تأثیر متقابل پی های مجاور بر رفتار یکدیگر، توسط گاش انجام گردید. تحقیق توسط ساخت مدل فیزیکی انجام گرفته است. نوع خاک، ماسه ی مسلح شده با یک لایه ژئوگرید؛ و نوع پی، نواری زبر؛ بوده است. چگالی ماسه متوسط بوده، و دو پی همزمان بارگذاری شده اند. از این تحقیق نتایج زیر حاصل شد: بهبود ویژگی های نشست پی های متداخل (مجاور)، در فاصله ای بحرانی معینی بین آنها، و، از بین رفتن اثر تداخل پی ها، در فواصل زیاد (Ghosh P. , 2009). پژوهش دیگری روی تأثیر متقابل پی ها بر نشست یکدیگر، توسط گاش و شارما انجام شده است. نشست دو پی نواری زبر نزدیک به هم و متکی بر خاک دو لایه، با لایه ی بالایی قوی و لایه زیرین سست، توسط روش عددی تفاضل محدود، بررسی شده است. همچنین رفتار خاک الاستیک خطی فرض گردیده است. از این تحقیق نتایج زیر به دست آمده است: افزایش نشست پی های مجاور، نسبت به نشست پی تنهای همسان، کاهش پیوسته ی نشست پی ها با افزایش فاصله ی آنها و نهایتاً مساوی نشست پی تنها شدن، و، کاهش نشست پی های متداخل متکی بر خاک لایه ای، توسط بهسازی لایه ی ضعیف خاک (Ghosh & Sharma, 2010). پژوهشی دیگر توسط جلالی مارنانی و همکاران، بر روی میزان اثر تداخل دو پی نواری مجاور موازی سطحی صلب متکی بر خاک ماسه ای، در نشست الاستوپلاستیک یکدیگر، توسط نرم افزار پلکسیس با استفاده از مدل رفتاری مور-کلمب برای خاک انجام گرفت. از نتایج این پژوهش می توان به، ناچیز شدن اثر تداخل پی های مجاور در فاصله ی لب به لب ۵ برابر عرض پی؛ و افزایش حدوداً ۲۰ درصدی میزان نشست الاستوپلاستیک دو پی نواری مجاور، نسبت به پی نواری تنها، اشاره کرد (جلالی مارنانی، حاجیان نیا، & هدهدی، اسفند ۱۳۹۱). در پژوهش حاضر، میزان اثر تداخل سه پی نواری مجاور موازی سطحی صلب متکی بر خاک ماسه ای، در نشست الاستیک یکدیگر، بررسی گردیده است. همچنین یک ضریب برای اصلاح روش های کلاسیک (که عمدتاً بر پایه تئوری الاستیسیته بنا شده اند)، برای برآورد نشست الاستیک سه پی نواری مجاور، تعریف و محاسبه گردیده است.

### ۳- فرآیند پژوهش

این پژوهش به روش شبیه سازی عددی توسط نرم افزار رایانه ای پلکسیس انجام شده است که اساس کار آن نرم افزار، روش اجزاء محدود می باشد. همانگونه که ذکر شد، اکثر روش های تحلیلی کلاسیک، بر پایه ی تئوری الاستیسیته بنا گردیده اند، همانند روش تیموشنکو، روش تیموشنکوی اصلاح شده، و روش اشمرتمن. بنابراین، مدل رفتاری خاک، مدل الاستیک خطی (L.E.) فرض گردید، زیرا مدل رفتاری الاستیک خطی، ماهیتاً قرابت بیشتری به تئوری الاستیسیته دارد، و هدف پژوهش، اصلاح روش های تحلیلی کلاسیک رایج، بوده است.

### ۳-۱- صحت سنجی

به منظور اطمینان از درستی نتایج نرم افزار پلکسیس، یک آزمایش بزرگ مقیاس بارگذاری پی، که در تکزاس امریکا انجام شده است (Briaud & Gibbens, 1997)، توسط این نرم افزار شبیه سازی شد و نتایج مقایسه شد (شکل (۱)).



شکل ۱ - مقایسه ی منحنی بار-نشست، بین آزمایش بزرگ مقیاس و پلکسیس

این مقایسه تطابق بالای نتایج نرم افزار، و واقعیت مشاهده شده را نشان می دهد.

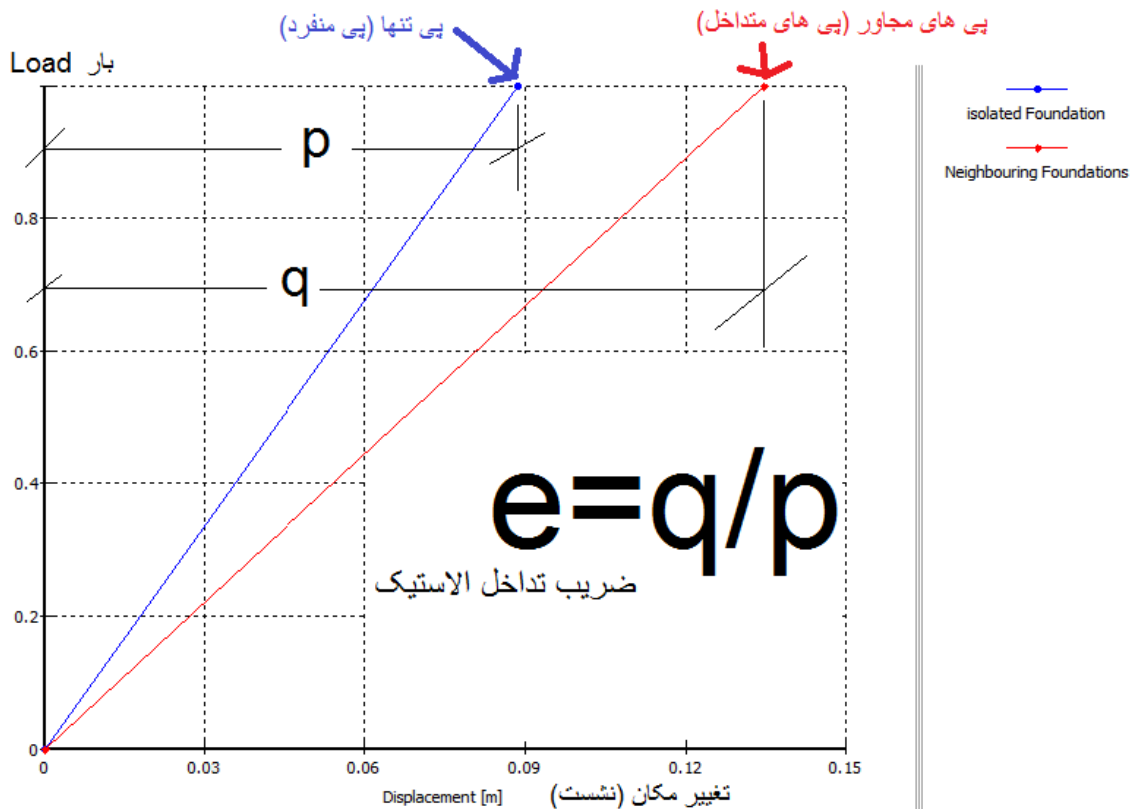
### ۳-۲- تحلیل حساسیت

هدف از تحلیل حساسیت، تعیین میزان حساسیت نتایج نرم افزار، نسبت به پارامترهای مختلف می باشد، تا بتوان به مدل بهینه ای دست یافت که کمترین تأثیر ممکن را بر روی نتایج داشته باشد. برای این کار، در هر مرحله، همه ی پارامترهای مدل ثابت نگه داشته شد، و تنها با ایجاد تغییرات در یک پارامتر خاص، به بررسی تغییرات نتایج پرداخته شد. در نهایت، با ترسیم نمودار تغییرات نتایج بر حسب تغییرات آن پارامتر خاص و تحلیل نمودار مربوطه، به بررسی تأثیر آن پارامتر خاص بر روی نتایج پرداخته شد. سپس بر اساس نتایج کلی آن، مدلی بهینه استخراج گردید.

### ۳-۳- تحلیل عددی

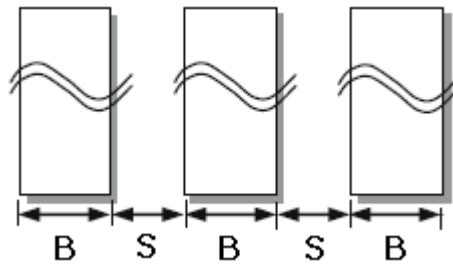
به منظور پژوهش بر روی تغییر میزان نشست الاستیک پی های مجاور متکی بر خاکی که از مدل الاستیک خطی پیروی کند، نسبت به نشست الاستیک پی تنهای همسان، ضریب تداخل نشست الاستیک<sup>۱</sup> e تعریف گردید: ضریب تداخل نشست الاستیک<sup>۱</sup> e، نسبت نشست الاستیک<sup>۱</sup> پی های مجاور، در یک تنش مفروض دلخواه، به نشست الاستیک پی تنهای همسان، در همان تنش مفروض، می باشد ((شکل (۲)) هم پی تنها و هم پی های مجاور، متکی بر خاکی که از مدل الاستیک خطی پیروی می کند، فرض شده اند).

<sup>۱</sup> Elastic Settlement



شکل ۲ - نمودار بار - نشست پی تنها و پی های مجاور متکی بر خاک الاستیک خطی (ضریب تداخل نشست الاستیک e)

این نمودار از مدل سازی عددی توسط پلکسیس به دست آمده است. هم اکنون، بیشتر روش های موجود برای محاسبه ی مقدار نشست پی ها، بر مبنای تئوری الاستیسیته، پایه ریزی شده اند که رفتار بار-نشست خاک را، الاستیک خطی فرض می کنند. تمامی این روش ها، پی را تنها (منفرد)، فرض می کنند، در حالیکه، همانگونه که از شکل (۲) قابل استنتاج می باشد، مجاورت پی های متکی بر خاک الاستیک خطی، باعث افزایش نشست آنها نسبت به پی تنها همسان می گردد. حال اگر مهندس طراح ژئوتکنیکی، با یکی از روش های مرسوم فعلی (که همانگونه که ذکر شد، اغلب متکی بر تئوری الاستیسیته می باشند)، اقدام به محاسبه ی نشست الاستیک پی های مجاور کند، نیاز به دانستن میزان افزایش نشست الاستیک پی های مجاور، نسبت به پی تنها همسان، خواهد داشت، که ضریب تداخل نشست الاستیک e این اطلاعات را به وی خواهد داد. یعنی کافی است نشست الاستیک را با روش کلاسیک محاسبه کند، سپس پاسخ خود را در ضریب تداخل نشست الاستیک e، ضرب کند تا نشست الاستیک واقعی پی های مجاور به دست آید. با دقت در شکل (۲) می توان نشان داد که ضریب تداخل نشست الاستیک e، کاملاً از مقدار بار، مستقل است. گاش و شارما نیز به همین نتیجه رسیدند، آنان همچنین دریافتند که، این ضریب، از مقدار مدول یانگ خاک نیز کاملاً مستقل می باشد (Ghosh & Sharma, 2010). هدف این پژوهش، به دست آوردن نمودار ضریب فوق، بر حسب فاصله های نسبی مختلف پی ها (S/B) های مختلف (شکل (۳))، در سه پی نواری موازی سطحی مجاور بوده است.



شکل ۳- سه پی نواری موازی، و پارامترهای مربوط به آنها (S فاصله ی لب به لب پی ها، B عرض پی، و D عمق پی می باشد)

برای نیل به این هدف، ابتدا پی نواری سطحی تنها (منفرد)، به صورت نمودار بارگذاری شد، و نمودار بار-نشست آن، ترسیم شد. سپس سه پی نواری سطحی موازی (همسان با آن پی تنها)، مدل شدند و به صورت مساوی و همزمان به طور نمودار بارگذاری شده و مشابه حالت قبل، نمودار بار-نشست آنها، ترسیم شد (رفتار پی میانی رُصد شد و نمودار بار-نشست آن ترسیم شد، زیرا پی میانی، دو پی در مجاورت خود دارد ولی پی های کناری، تنها یک پی در مجاورت خود دارند). این کار در فواصل متفاوت پی ها (در S های مختلف)، و برای پی های نواری سطحی، با عرض (B) های ۱، ۲، ۳ و ۴ متر انجام شد و در هر یک از موارد ضریب تداخل نشست الاستیک e محاسبه گردید و در نهایت نمودارهای این ضریب برحسب فاصله ی نسبی (S/B) پی ها ترسیم شد. پس از میانگین گیری از نمودارها، رابطه ای بین ضریب تداخل و فاصله ی نسبی پی ها (با استفاده از نمودار میانگین)، برآزش شد. همچنین فاصله ای که تداخل پی های مجاور ناچیز می شود و فاصله ی بحرانی (فاصله ی تداخل بیشینه) پی های مجاور تعیین شد.

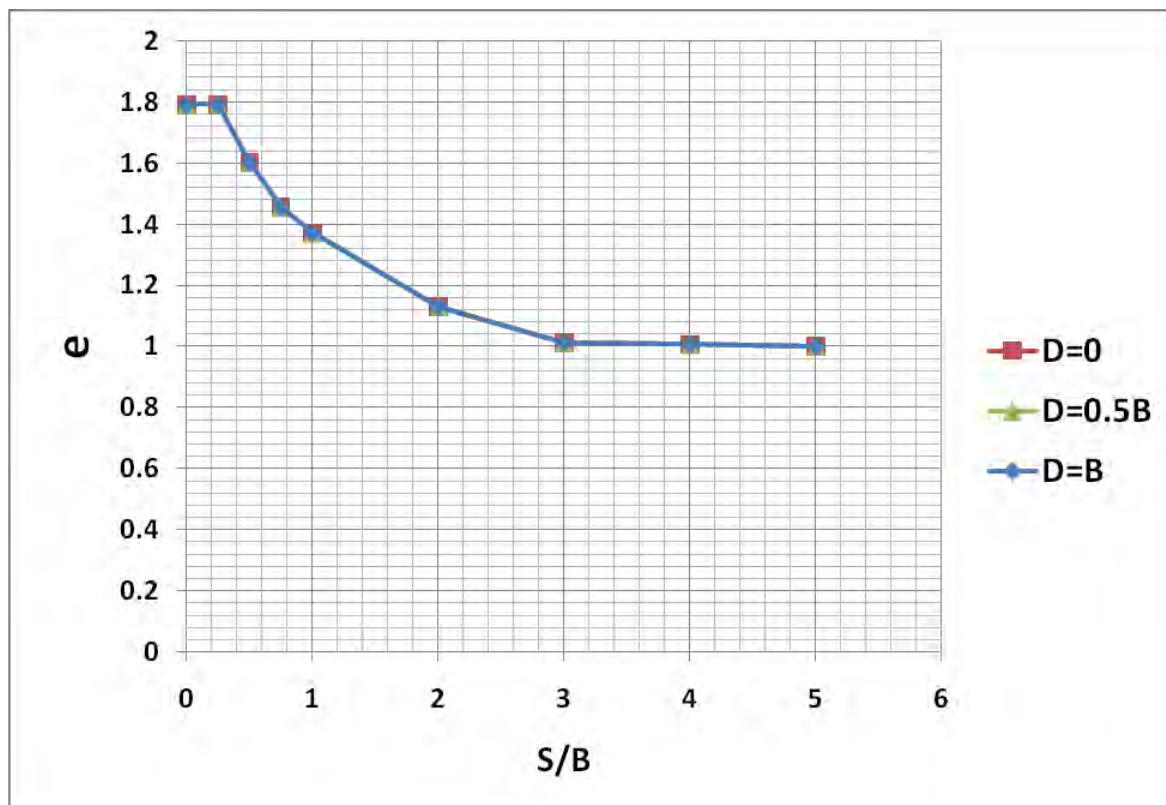
#### ۴- بررسی پاسخ ها، بحث و مقایسه

در این بخش به تشریح الگوی نتایج به دست آمده از تحلیل عددی و مقایسه ی آن با نتایج پژوهش های دیگران، پرداخته می شود.

ابتدا به ویژگی ها و محدودیت های این پژوهش اشاره می شود: خاک مورد پژوهش، دارای ویژگی های یکسان با لایه ی بالایی خاک آزمایش بزرگ مقیاس مذکور در تکراس می باشد یعنی نوع خاک ماسه ای، با زاویه ی اصطکاک داخلی ۳۲/۵ درجه، فاقد چسبندگی، مدول الاستیسیته ی ۱۵۱۰۰ کیلوپاسکال، نسبت پواسون ۰/۳۱۶ و وزن مخصوص ۱۷ کیلو نیوتن بر متر مکعب.

همچنین در این پژوهش، سه پی نواری همسان موازی سطحی که کاملاً صلب مدل شده بودند، به عنوان پی های مجاور، مورد مطالعه قرار گرفتند. بارگذاری بر روی تمام پی ها به طور نمودار انجام شده است. در پی های مجاور موازی، بارگذاری پی ها، به صورت مساوی و همزمان انجام گرفته است.

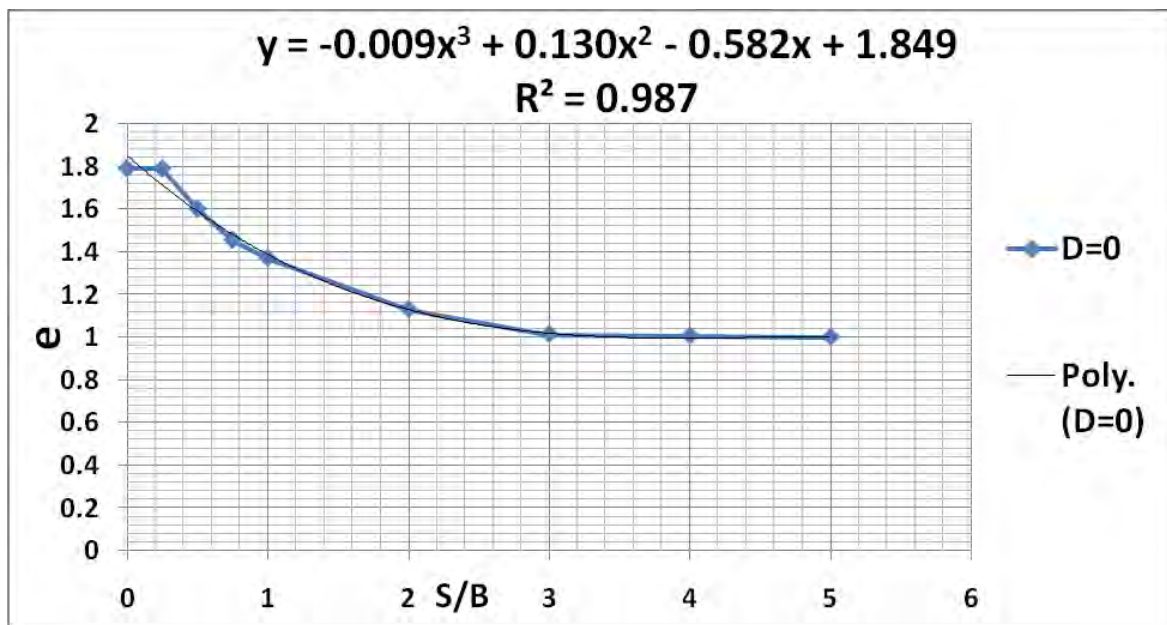
در شکل (۴)، نمودار میانگین ضریب تداخل نشست الاستیک e بر حسب فاصله ی نسبی پی ها (S/B)، برای سه پی نواری مجاور، نشان داده شده است (این نمودار، میانگین ۴ نمودار پی های به عرض ۱، ۲، ۳ و ۴ متر می باشد).



شکل ۴- نمودار های ضریب تداخل نشست الاستیک e بر حسب فاصله ی نسبی پی ها (S/B) برای سه پی نواری مجاور (محصول پلکسیس)

همانگونه که در شکل (۴) مشاهده می شود، با تغییر عمق پی ها، هیچ تغییری در مقدار ضریب تداخل نشست الاستیک e رخ نمی دهد. دلیل احتمالی را می توان به استقلالِ مدل رفتاری الاستیکِ خطی، از میزان تنش های اولیه<sup>۱</sup> ی محیطِ خاک، ارتباط داد. متأسفانه، در ادبیات فنی، هیچ پژوهشی درباره ی ضریب تداخل نشست الاستیک e ، برای سه پی نواری موازی (متکی بر خاک با مدل رفتاری الاستیک خطی)، یافت نشد، تا بتوان، نتایج پژوهش حاضر را با آن مقایسه کرد. در شکل (۵) ، رابطه ی کاربردی برازش شده از نمودار ضریب تداخل نشست الاستیک e بر حسب فاصله ی نسبی پی ها (S/B) ، که توسط نرم افزار مایکروسافت اکسل به دست آمده، نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Initial Stress



شکل ۵- رابطه ی ضریب تداخل نشست الاستیک e بر حسب فاصله ی نسبی پی ها (S/B) ، برای سه پی نواری مجاور

همانگونه که در نمودار های اشکال (۴)، و (۵) دیده می شود، هنگامی که فاصله ی لب به لب سه پی نواری مجاور، صفر باشد (سه پی به هم چسبیده باشند)، بیشترین افزایش نشست الاستیک آن ها، رخ می دهد که این افزایش نشست الاستیک سه پی نواری مجاور، می تواند به حدود ۸۰ درصد نیز برسد، که در نظر نگرفتن آن، می تواند منجر به نتایج فاجعه باری گردد! (به عبارت دیگر، فاصله ی بحرانی (فاصله ی تداخل بیشینه) سه پی نواری مجاور، برابر صفر می باشد) البته در پی های صلب))، با افزایش فاصله ی پی های مجاور، افزایش نشست الاستیک آنها، نرخ نزولی به خود می گیرد و هنگامی که فاصله ی لب به لب سه پی، ۵ برابر عرض پی می شود، دیگر هیچ افزایش نشست الاستیکی رخ نمی دهد (تداخل پی ها صفر می شود) .

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله، اثر تداخل سه پی نواری مجاور، از دیدگاه نشست، بررسی گردید. این کار توسط نرم افزار اجزاء محدود پلکسیس، بر روی سه پی نواری موازی مجاور سطحی همسان (که متکی بر ماسه، و نیز صلب بودند)، با بارگذاری نُموی و مساوی و همزمان پی ها، و با استفاده از مدل رفتاری الاستیک خطی برای خاک، انجام گردید. برای بررسی اثر تداخل آنها، یک ضریب تداخل با نام e تعریف شد. از این پژوهش نتایج زیر به دست آمد:

۱. هنگامی که سه پی نواری، در مجاورت هم قرار می گیرند، نشست الاستیک آن ها نسبت به نشست الاستیک پی تنهای همسان، افزایش می یابد.
۲. می توان برای پی های مجاور، برای اصلاح نتایج روشهای کلاسیک محاسبه ی نشست الاستیک پی ها (که پی را تنها فرض می کنند)، نتایج روش های کلاسیک را در ضریبی تحت عنوان ضریب نشست الاستیک e ضرب نمود، تا نتایج به واقعیت نزدیکتر شوند.
۳. می توان ضریب تداخل نشست الاستیک e را به صورت یک معادله ی چند جمله ای، بر حسب فاصله ی نسبی (S/B) پی ها، به دست آورد. (که S فاصله ی لب به لب پی ها می باشد).
۴. با افزایش فاصله ی سه پی نواری مجاور، ضریب تداخل نشست الاستیک e آنها کاهش می یابد.
۵. هنگامی که فاصله ی لب به لب سه پی نواری مجاور، ۵ برابر عرض پی می شود، تداخل (اندرکنش) آنها ناچیز می گردد، یعنی پی های مجاور، همانند پی تنها، رفتار می کنند.





۶. فاصله ی بحرانی (یعنی فاصله ی تداخل بیشینه) سه پی نواری مجاور، برابر صفر می باشد یعنی وقتی فاصله ی لب به لب پی ها صفر باشد، بیشترین افزایش نشست الاستیک رخ می دهد (البته در پی های صلب).

۷. در اثر مجاورت سه پی نواری، میزان نشست الاستیک آنها می تواند تا ۸۰ درصد افزایش یابد، که در نظر نگرفتن این افزایش نشست الاستیک، می تواند منجر به نتایج فاجعه باری گردد!

## ۶- پیشنهاداتی برای پژوهش های آتی

در این بخش پیشنهاداتی برای ادامه ی پژوهش حاضر، توسط محققان آتی، ارائه می شود:

- تکرار پژوهش حاضر توسط دیگر نرم افزار های عددی همانند (FLAC)، (FLAC3D)، (UDEAC)، (3DEC)، (PFC)، (PFC3D)، (ABAQUS)، (Z-Soil)، (GeoStudio) و غیره و مقایسه ی نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر
- تکرار پژوهش حاضر، ولی برای پی های مربعی
- تکرار پژوهش حاضر، ولی برای پی های دایره ای

## ۷- سپاسگزاری

این مقاله از پایان نامه ی کارشناسی ارشد نویسنده ی اول آن، "علی جلالی مارنانی" دانشجوی (پیشین) کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، با عنوان "برآورد عددی اثر تداخل پی های مجاور، از دیدگاه نشست"، و به راهنمایی "دکتر البرز حاجیان نیا" و مشاوره ی "دکتر مریم هدهدی"، استخراج گردیده است. نویسنده گان بر خود واجب می دانند از زحمات جناب آقای "دکتر رضا ابراهیمی" معاون پژوهشی دانشگاه، و به ویژه، جناب آقای "دکتر نصرت اله صلح جویی" معاون پژوهشی دانشکده عمران، به دلیل حمایت های همه جانبه ی خود در طی فرایند پژوهش، مراتب سپاسگزاری خود را اعلام نمایند.

## مراجع

- Alimardani Lavasan, A., & Ghazavi, M. (2012). Behavior of closely spaced square and circular footings on reinforced sand. *Soils and Foundations*, 52(1), 160-167.
- Amer, A., & Romi, E. (n.d.). Settlement and tilt of two interfering footings on clay.
- Briaud, J., & Gibbens, R. (1997). *Large scale load tests and data base of spread footings on sand*. FHWA.
- Das, B., & Larbi-Cherif, S. (1983). Bearing capacity of two closely spaced shallow foundations on sand. *Soils and Foundations*, 23(1), 1-7.
- Ghazavi, M., & Alimardani Lavasan, A. (2008). Interference effect of shallow foundations constructed on sand reinforced with geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 404-415.
- Ghosh, P. (2009). Interference effect of two nearby strip footings on reinforced sand. *Contemporary Engineering Sciences*, 2(12), 577-592.
- Ghosh, P., & Sharma, A. (2010). Interference effect of two nearby strip footings on layered soil: theory of elasticity approach. *Acta Geotechnica*, 5, 189-198.



- Khan, I., Bohara, K., Ohri, M., & Sin, A. (2006, March). A study on interference of surface model footings resting on sand. *The Institution of Engineers*, 67(1).
- Khing, K., Das, B., Yen, S., PURI, V., & Cook, E. (1992). Interference effect of two closely-spaced shallow strip foundations on geogrid-reinforced sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, 10, 257-271.
- Kumar, A., & Saran, S. (2003). Closely spaced footings on geogrid-reinforced sand. *Geotech. Engrg.*, 129(7), 660-664.
- Kumar, J., & Bhoi, M. (2008). Interference of multiple strip footings on sand using small scale model tests. *Geotech Geol Eng*, 26, 469-477.
- Wang, M., & Jao, M. (2002). Behavior of interacting parallel strip footings. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 7(part A).
- جلالی مارنانی، ع.، حاجیان نیا، ا.، & هدهدی، م. (اسفند ۱۳۹۱). برآورد عددی اثر تداخل پی های نواری مجاور، از دیدگاه نشست. کنفرانس بین المللی پژوهشهای نوین در مهندسی. خمینی شهر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر.