

بررسی نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک سست مسلح شده با ژئوسنتتیک‌ها زیر پی نواری با استفاده از روش پردازش تصویری (PIV)

فروغ اشکان، مربی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ashkan@maragheh.ac.ir

دریافت: 95/04/17 - پذیرش: 95/09/18

چکیده

خاک به عنوان یک محیط دانه ای طبیعی حاصل از فرسایش و دگرگونی سنگها در برابر فشار و برش مقاومت خوبی دارد و لیکن مقاومت آن در مقابل کشش بسیار ضعیف می‌باشد. خاک مسلح از دو نوع ماده مختلف (خاک و تقویت کننده) ساخته شده است که توسط ژئوگرید یا ژئوتکستایل که از گروه ژئوسنتتیک ها هستند تقویت می شود. مسلح کننده باعث بهبود خواص مکانیکی خاک بوسیله تقویت نیروی کششی می شود و نیروی برشی را که توسط خاک منتقل میشود کاهش می دهد. هدف اصلی این مقاله بررسی نمودار نشست پی- نشست المانهای خاک در مقیاس آزمایشگاهی (استفاده از مدل فیزیکی و روش تصویری PIV (سرعت سنجی تصویری ذرات)) تحت اثر بارگذاری می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد که بدلیل تمایل خاک سست به تراکم، نشست المانهای خاک نسبت به نشست پی خیلی کمتر می باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک مسلح، ژئوسنتتیک، مدلسازی فیزیکی، روش تصویری، نشست

1-مقدمه

شد. مشخصات مکانیکی و فیزیکی ژئوتکستایل و ژئوگرید در زیر آورده شده است.

جدول 1. مشخصات ژئوتکستایل

Weight (g/m ²)	300
Thickness (mm)	1/6
Max. tensile strength, md/cmd* (KN/m)	13/22
Elongation at Max. Tensile strength, md/cmd* (%)	50/30
Puncture force (N)	3890
Displacement at static puncture strength (mm)	30
Characteristic opening size (mm)	0.07

* (md: machine direction , cmd: cross machine direction)

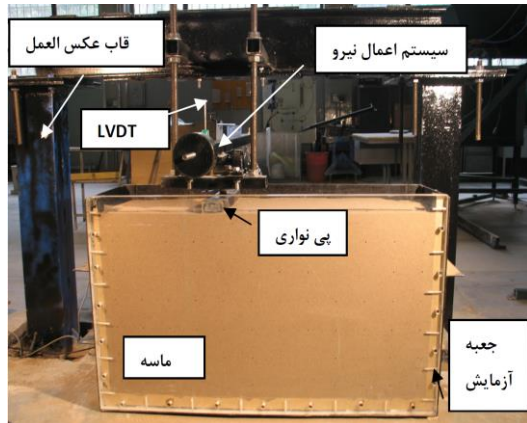
خاک مسلح عبارت است از مسلح کردن خاک بوسیله عناصر کششی نظیر میلگرد، تسمه فولادی و یا ژئوسنتتیک‌ها. اثرات سودمند خاک مسلح ناشی از دو عامل است. افزایش مقاومت کششی خاک و مقاومت برشی بوجود آمده به علت اصطکاک موجود در سطح تماس خاک و مصالح مسلح کننده

2-انواع مسلح کننده‌ها

در ساخت فونداسیون خاکی مسلح مورد آزمایش از دو نوع مسلح کننده ژئوگریدها و ژئوتکستایل‌ها استفاده

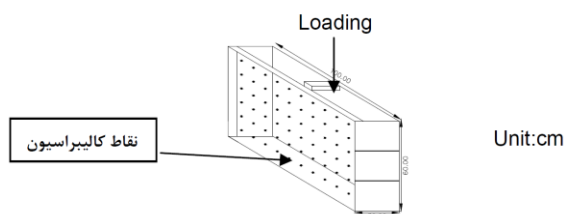
جدول 3. مشخصات ماسه مورد استفاده

ϕ	G_s	$\gamma(\text{gr/cm}^3)$	C_u	C_c
27	2.67	1.5	1.25	0.992



شکل 2. سازه نگهدارنده جک و ظرف مدل آزمایشگاهی

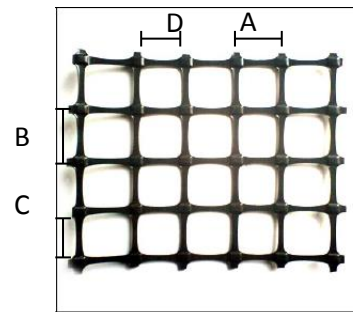
شکل 2 سازه نگهدارنده سیستم اعمال نیرو را نشان می‌دهد. بخاطر عکسبرداری از سیستم در طی بارگذاری های متوالی یک طرف محفظه مورد نظر از طلق شفاف به ضخامت 3 سانتی‌متر تشکیل شده است. شکل 3 جعبه مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل 3. جعبه آزمایش

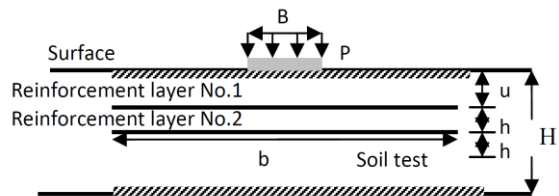
وسیله اعمال بار یک سیستم نیرو کنترل می‌باشد که در آن با افزودن وزنه‌ها تا لحظه گسیختگی نمونه افزایش داده می‌شود. بدلیل کاهش عملیات بارگذاری از سیستم اعمال بار اهرم مانند استفاده شد که دارای بازویی به ابعاد 1.1×0.03 متر و به ضخامت $0/03$ میلی‌متر می‌باشد که به یک طرف آن وزنه ای به جرم 3 کیلوگرم برای حفظ تعادل در سیستم نصب شده است.

جدول 2. مشخصات ژئوگرید



Grade	55/30-20
Polymer Type	Polyester
Unit Weight (Kg/m ²)	0.35
A×B (mm)	23×23
C×D (mm)	20×18
T(cult) (KN/m)	55
Strain at maximum tensile strength (%)	12.50

شکل 1، روش استفاده از ژئوستتیک‌ها به عنوان مسلح کننده در فونداسیونهای خاکی را نشان داده است. یک یا چند لایه ژئوستتیک در فاصله و اندازه های مشخص و در بین مصالح پر کننده خاکی در زیر شالوده سطحی نواری قرار می‌گیرد.

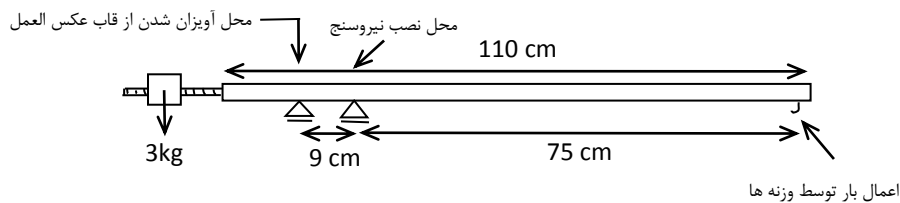


شکل 1. نحوه مسلح کردن فونداسیون های خاکی

پارامترهای متغیر آزمایشات با توجه به جدول 2 و 1 و شکل 1 عبارتند از: نوع مسلح کننده (ژئوگرید و ژئوتکستایل)، تعداد لایه‌های مسلح کننده (N)، عمق اولین لایه مسلح کننده (u)، پهنای مسلح کننده ها (b).

ویژگی‌های مدل فیزیکی و پردازش تصویری

در این تحقیق از ماسه خشک آزمایش استفاده شد. در رابطه با نحوه ریزش ماسه، برای ایجاد مدل‌های یکنواخت برای ماسه سست با استفاده از روش بارانی، ماسه از ارتفاع حدود 25 سانتی متری ریخته شد.



شکل 4. سیستم بارگذاری مورد استفاده در آزمایشات

فاصله محل قرارگیری وزنه ها تا محل نصب نیروسنج 75 سانتی متر است. بنابراین مقدار بار در هر مرحله بارگذاری 9/3 برابر افزایش می یابد. شکل 4 تصویر شماتیکی از سیستم بارگذاری و نوع تکیه گاه ها را نشان می دهد.

جدول 4. مشخصات آزمایشات

شماره آزمایش	1	2	3	4	5
نوع مسلح کننده	Geotextile	Geotextile	Geotextile	Geotextile	Geotextile
N	1	1	2	1	1
b/B	15	15	15	15	11
u/B	0.5	0.25	0.5	1	0.5
h/B	-	-	0.5	-	-
دانسیتته (g/cm ³)	1.45	1.45	1.45	1.48	1.45
شماره آزمایش	6	7	8	9	10
نوع مسلح کننده	Geotextile	Geotextile	Geotextile	Geogrid	Geogrid
N	2	2	1	1	1
b/B	11	11	9	15	15
u/B	0.25	0.5	0.5	0.5	0.25
h/B	0.5	0.5	-	-	-
دانسیتته (g/cm ³)	1.45	1.45	1.5	1.45	1.48
شماره آزمایش	11	12	13	14	15
نوع مسلح کننده	Geogrid	-	Geogrid	Geogrid	Geogrid
N	1	-	1	1	2
b/B	9	-	11	15	11
u/B	0.5	-	0.75	0.75	0.75
h/B	-	-	-	-	0.75
دانسیتته (g/cm ³)	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
شماره آزمایش	16	17	18	19	20
نوع مسلح کننده	Geogrid	Geotextile	Geotextile	Geotextile	Geotextile
N	2	1	2	1	2
b/B	15	8	8	9	9
u/B	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5
h/B	0.75	-	0.5	-	0.5
دانسیتته (g/cm ³)	1.45	1.46	1.45	1.45	1.45

نتایج آزمایشات

در زیر نتایج بصورت نمودارهای نشست المانهای خاک- نشست پی ارائه شده که در آن نشست بر حسب میلی‌متر می باشد. ابتدا اثر افزایش عمق و افزایش فاصله از مرکز پی را بر روی نشست المانهای خاک در یک آزمایش مورد بررسی قرار داده و بعد از آن تاثیر پارامترهای متغیر آزمایشات را در قالب نمودار نشست المانهای خاک _ نشست پی تحلیل می شود.

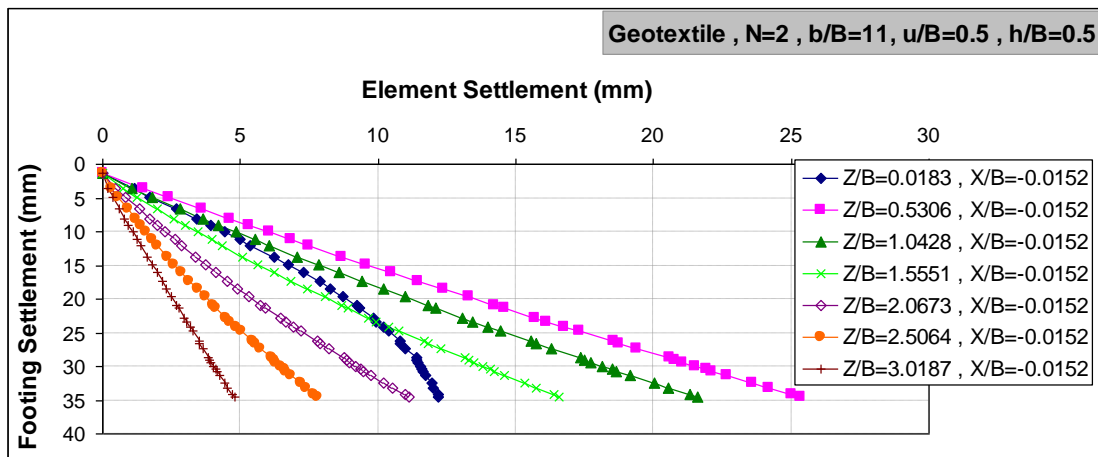
برای تمامی آزمایشات نشست پی با استفاده از LVDT اندازه‌گیری شده است و با استفاده از تحلیل PIV تغییر مکانهای نقاط مختلف خاک در جهت افقی و قائم بدست می‌آیند. شکل 5 مقدار تغییر مکان قائم پی را در مقابل تغییر مکانهای قائم به وقوع پیوسته در اعماق مختلف در زیر پی را برای Test 7 نشان می‌دهد (X فاصله از مرکز پی و Z عمق در زیر پی می باشد).

در طول آزمایش با استفاده از روش PIV از توده خاک در حال تغییر شکل با استفاده از دوربین دیجیتال با وضوح تصویر 7.1 مگا پیکسل (3072×2304) عکسبرداری شده و در حافظه داخلی ذخیره شده و بعد از انجام آزمایشات عکسهای گرفته شده با استفاده از نرم افزار Geopiv8 مورد پردازش تصویری قرار گرفتند. جدول 4 مشخصات آزمایشات را نشان می‌دهد.

برای انتقال جابجایی‌های اندازه‌گیری شده به فضای واقعی، موقعیت فضای تصویر نقاط مرجع شرح داده شده در فصل دوم با کاربرد کانون یابی چند آستانه تعیین می‌شود و با مشخص بودن مکان واقعی این نقاط، اندازه پیکسل برای هر آزمایش محاسبه می‌گردد و اندازه گیریهای انجام گرفته بر حسب پیکسل به فضای واقعی بر حسب میلیمتر منتقل گردیده و بردارهای جابجایی نهایی بدست می‌آیند. فاکتور کالیبراسیون بدست آمده از فتوگرامتری نزدیک برد برای هر کدام از آزمایشات بصورت جدول زیر می باشد.

جدول 5. اندازه پیکسل آزمایشات

شماره آزمایش	اندازه پیکسل (میلی متر)	شماره آزمایش	اندازه پیکسل (میلی متر)
1	0.094	11	0.232
2	0.091	12	0.217
3	0.102	13	0.236
4	0.084	1	0.249
5	0.088	15	0.259
6	0.107	16	0.272
7	0.093	17	0.277
8	0.082	18	0.27
9	0.076	19	0.256
10	0.085	20	0.257



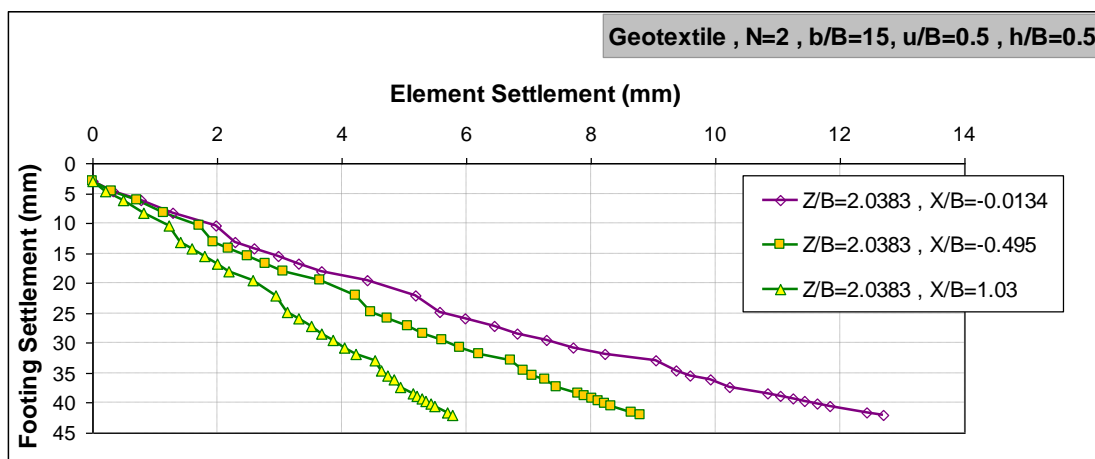
شکل 5. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 7)

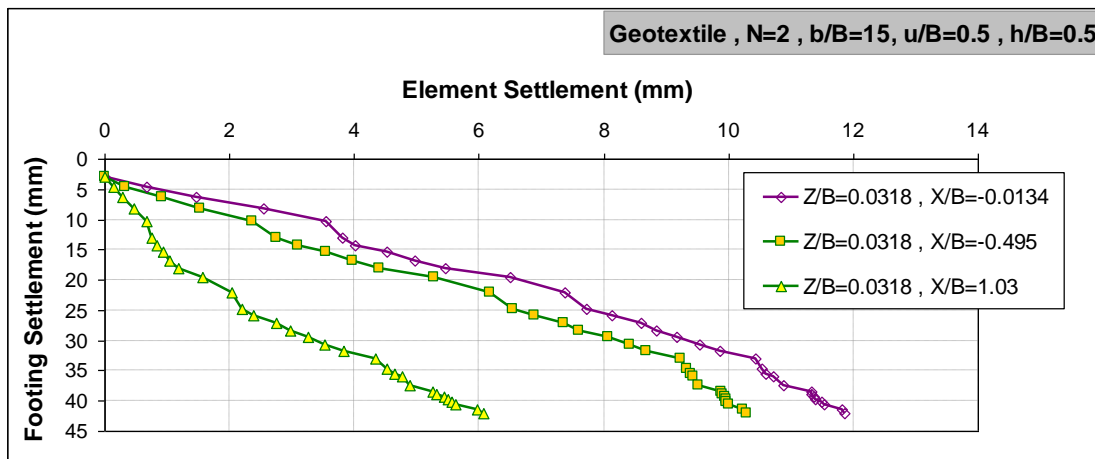
محفظه فاصله می‌گرفت و همزمان با بارگذاری، ما بین طلق و پی با خاک پر می‌شد. بنابراین، نشست المانهای خاک در این محدوده نمی‌توانست درست باشد. بنابراین برای تمامی آزمایشات منحنی مربوط به عمق مورد نظر مورد بررسی قرار نگرفت.

شکل 6 (الف) نشست المانهای خاک را در برابر نشست پی برای $X/B = -0.5, 0, 1$ نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در عمق یکسان، با افزایش فاصله از مرکز پی نشست المانهای خاک نسبت به نشست پی کمتر می‌باشد.

همانطور که مشاهده می‌شود در یک نشست پی یکسان با افزایش عمق، نشست المانهای خاک کاهش می‌یابد و در اعماق پایین تر نشست المانهای خاک نسبت به نشست پی خیلی کمتر می‌باشد. دلیل این امر ناشی از شل بودن خاک ماسه ای و تمایل به تراکم در زیر پی با افزایش بار می‌باشد.

در $Z/B=0.0183$ که تقریباً زیر پی می‌باشد نشست المانهای خاک بایستی بیشتر از اعماق پایین تر می‌شد. دلیل بروز خطا در این عمق ناشی از این است که صفحه فلزی مورد استفاده به عنوان پی، با افزایش بار و نشست پی، بتدریج از طلق شفاف موجود در جلوی





(ب)

شکل 6. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در X/B های مختلف (Test 3)

خاک زیر پی وجود دارد، در هر سه مورد نشست المانهای خاک کمتر از نشست پی می‌باشد. همچنین در مدل خاک شامل یک لایه ژئوگرید و با نشست پی یکسان، نشست المانهای خاک بیشتر از مدل خاک حاوی یک لایه ژئوتکستایل و حالت غیر مسلح می‌باشد.

با اعمال بارگذاری، در مدل خاک شامل مسلح کننده ژئوگرید بدلیل سختی و مقاومت برشی زیاد توده وسیعی از خاک مسلح دچار تغییر مکان شده و سطح لغزش توسعه می‌یابد. بنابراین المانهایی که در عمق واقع شده اند تحت تاثیر این تغییر مکان قرار گرفته و جابجا می‌شوند. برای خاک حاوی مسلح کننده ژئوتکستایل و حالت غیر مسلح، بدلیل اینکه در میزان نشست پی یکسان فشار اعمالی کمتر از حالت مسلح شده با ژئوگرید می‌باشد سطح لغزش در فاصله اندکی از زیر پی شروع به تشکیل شدن کرده و خاک دچار گسیختگی می‌شود بدون اینکه المانهای اعماق پایین تر تحت تاثیر این تغییر مکان قرار گیرند.

همچنین در خاک شامل مسلح کننده ژئوگرید، نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک خطی می‌باشد ولی در مسلح کننده ژئوتکستایل این نمودار از حالت خطی خارج شده است. دلیل این امر میتواند ناشی از سختی مواد مسلح کننده باشد. زیرا مسلح کننده ژئوگرید دارای مقاومت کششی بالا و سختی زیاد می‌باشد. بنابراین

شکل 6 (ب) نشست المانهای خاک را در برابر نشست پی برای $X/B = -0.5, 0, 1$ را در زیر پی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که دو منحنی مربوط به $X/B = -0.5, 0$ در نشست پی تقریبی 42 میلی متر بترتیب دارای نشست المان 12.7 و 8/7 میلیمتر می‌باشند در حالیکه منحنی مربوط به $X/B = 1$ در این میزان نشست، کاهش زیادی در نشست المانها از خود نشان داده است. زیرا این محدوده به فاصله $X = 63$ میلی متر از پی می‌باشد و با افزایش نشست پی، نشست المانهای خاک افزایش می‌یابد و این مقدار نسبت به دو مورد دیگر کمتر می‌باشد. در حالیکه در $X/B = -0.5$ المان در فاصله میلی متر $X = 30$ پی و در طرف چپ آن قرار گرفته است.

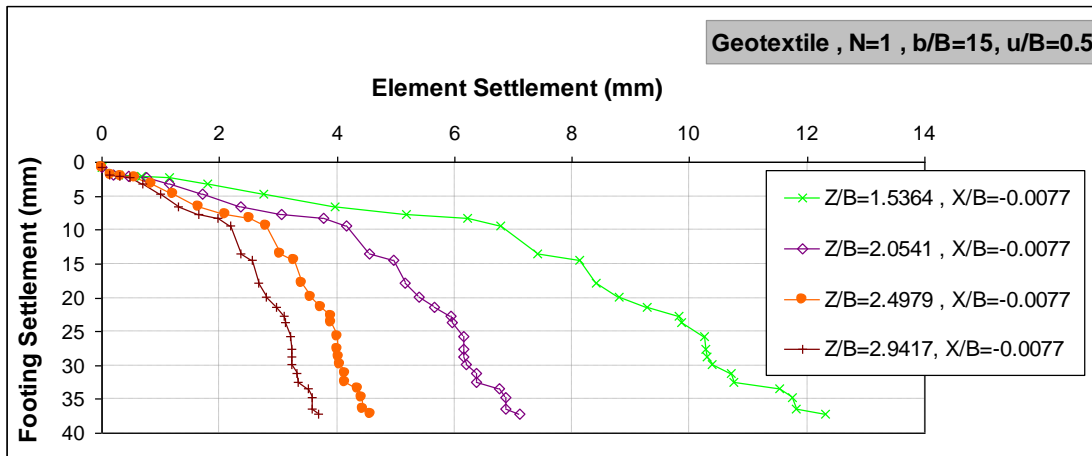
این نتایج با مطالعات صورت گرفته توسط (Gill, D.R. and Lehane, B.M. (2000)) و همچنین (Messphysik (1996)) مطابقت دارد.

3- تاثیر نوع مسلح کننده

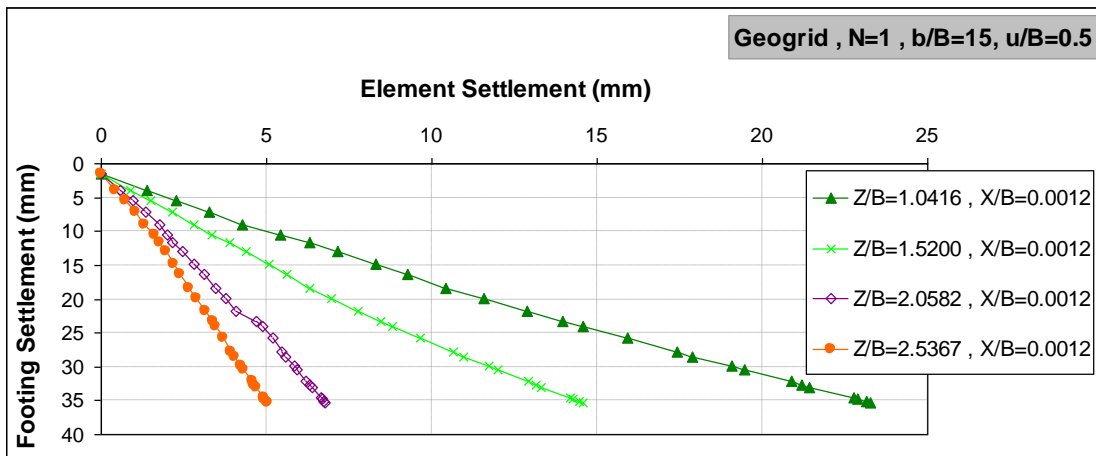
اشکال زیر نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک را برای یک لایه ژئوتکستایل و یک لایه ژئوگرید و حالت غیر مسلح نشان می‌دهند. مقایسه شکل 7 و شکل 8 و شکل 9 نشان می‌دهد که بدلیل اینکه خاک مورد استفاده ماسه سست می‌باشد و با افزایش بار، تمایل به تراکم در

در حالت غیر مسلح نیز تا نشست 5 میلی‌متر، نشست پی با نشست المانهای خاک رابطه تقریباً مستقیم دارد. ولی بعد از آن بدلیل وجود گسیختگی‌های برشی موضعی در خاک در نمودار پرش‌های ناگهانی دیده می‌شود.

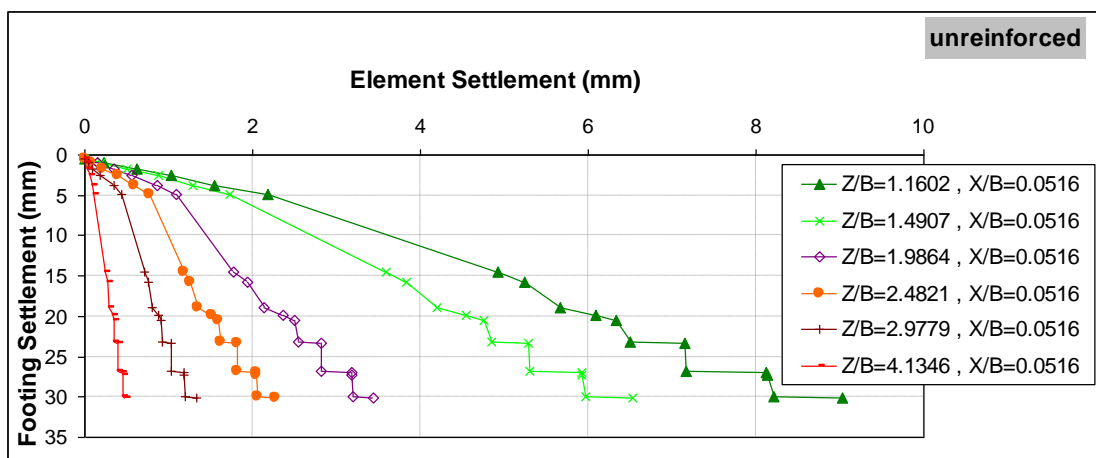
با جابجایی پی، المانهای خاک زیر پی نیز به موازات آن پایین می‌آیند ولی در مسلح کننده ژئوتکستایل خود لایه ژئوتکستایل با افزایش بار پی دچار کشش و تغییر شکل می‌شود. بنابراین المانهای خاک زیر لایه مسلح کننده نمی‌توانند به موازات نشست پی جابجا شوند.



شکل 7. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 1)



شکل 8. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 9)

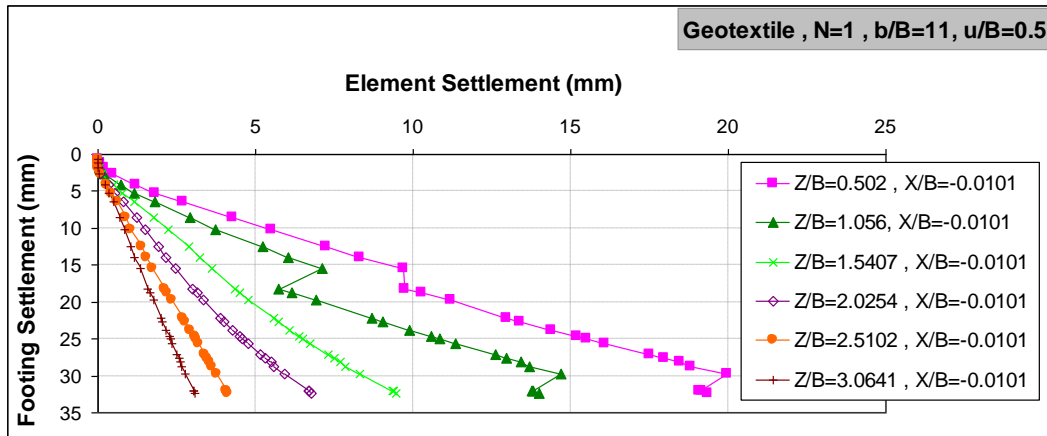


شکل 9. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 12)

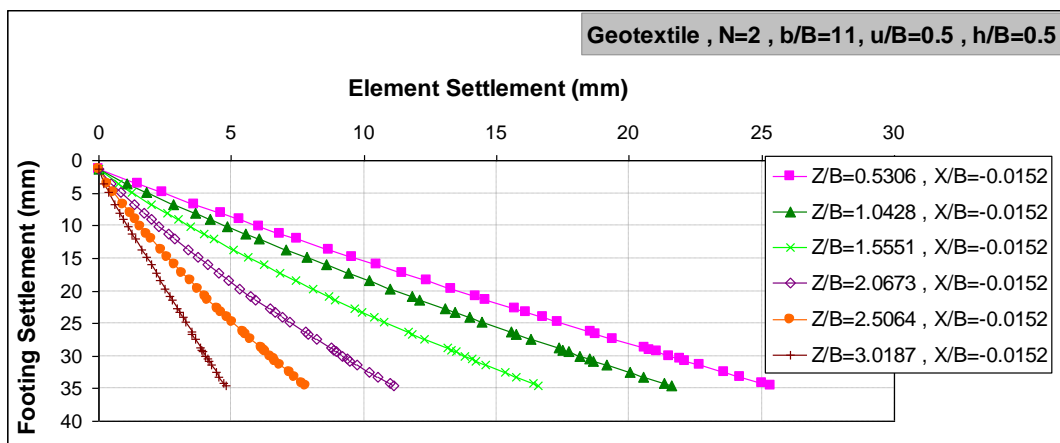
تأثیر تعداد لایه های مسلح کننده (N)

نشست پی نسبت به دو حالت دیگر بیشتر می‌باشد. با افزایش تعداد لایه‌های مسلح‌کننده فونداسیون خاکی مسلح بعنوان مجموعه‌ای یکپارچه عمل کرده و المانهای اعماق پایین تحت تأثیر این جابجایی قرار می‌گیرند.

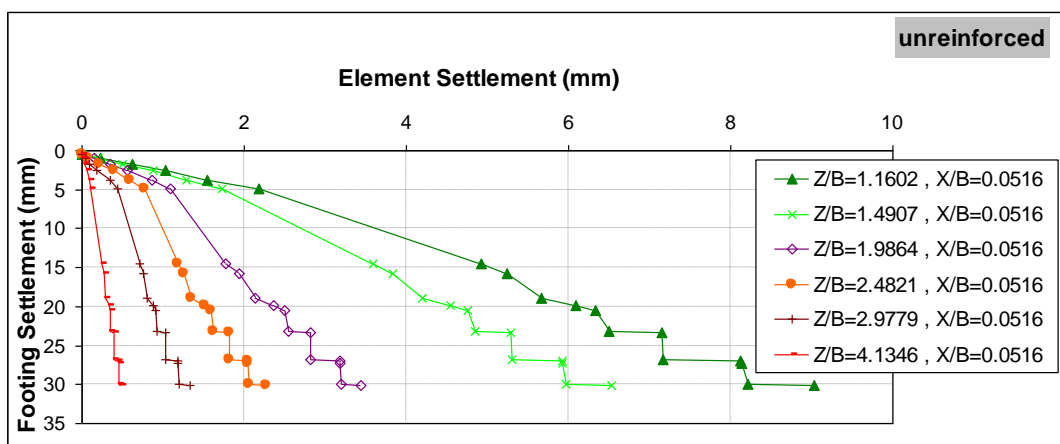
شکل 10 تا شکل 12 نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک را برای یک و دو لایه ژئوتکستایل و حالت غیر مسلح نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای حالت دو لایه ژئوتکستایل نشست المانهای خاک نسبت به



شکل 10. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 5)



شکل 11. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 7)

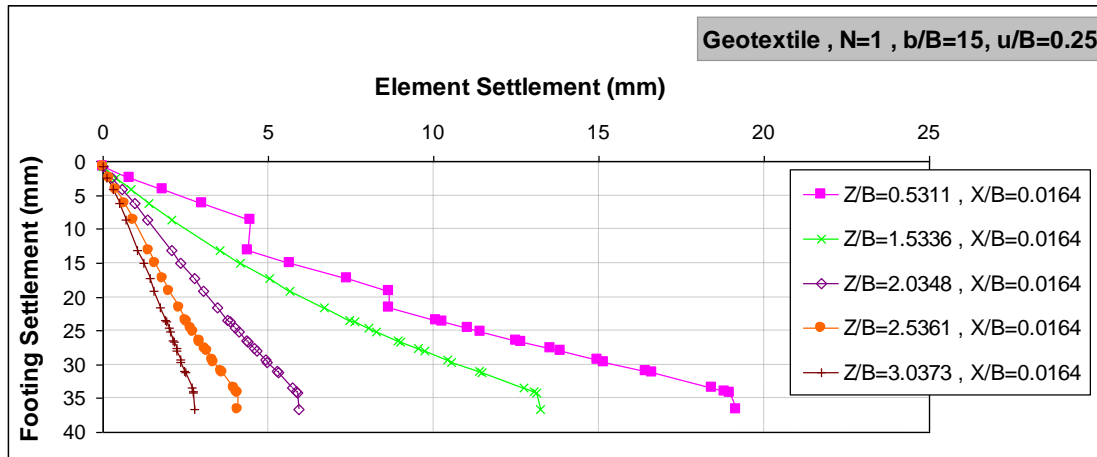


شکل 12. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 12)

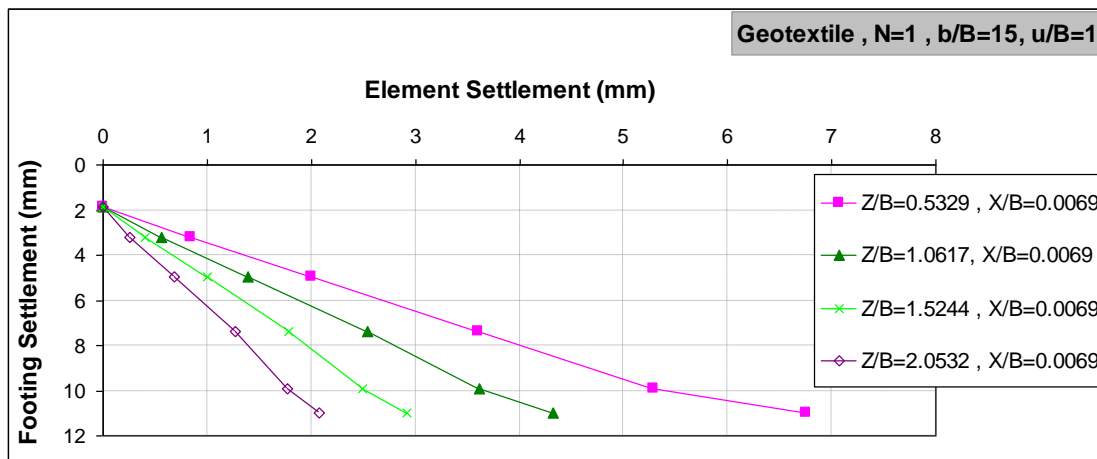
تأثیر عمق اولین لایه مسلح کننده (u)

خاک در عمق بحرانی $u/B=0.25$ بیشتر از منحنی مربوط به $u/B=0.5, 1$ می‌باشد. لیکن در اعماق پایین منحنی دارای $u/B=0.5$ عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

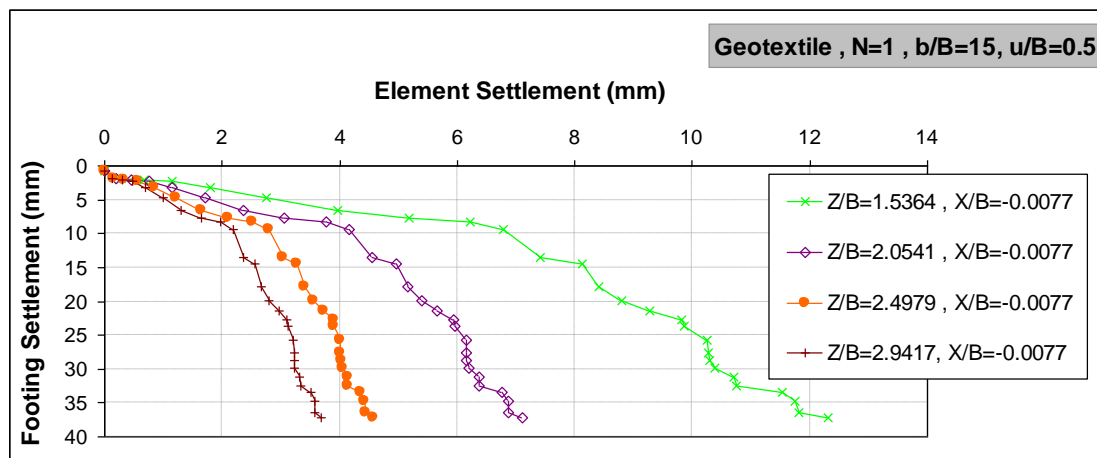
شکل 13 و شکل 14 و شکل 15 نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک را برای یک لایه ژئوتکستایل در u/B های مختلف نشان می‌دهد. در فشارهای پایین که در آن المانهای اعماق بالا جابجا می‌شوند، نشست المانهای



شکل 13. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 2)



شکل 14. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 4)



شکل 15. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 1)

4-تأثیر پهناي مسلح کننده ها (b)

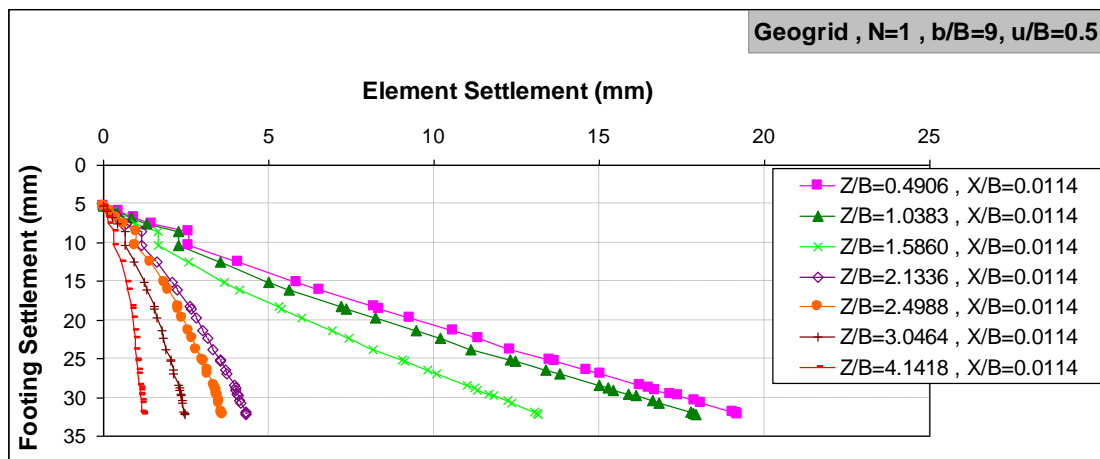
شکل 16 و شکل 17 نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک را برای یک لایه ژئوتکستایل در b/B های مختلف نشان می‌دهد. در $b/B=15$ ، مقدار نشست المانهای بیشتری نسبت به $b/B=9$ مشاهده می‌شود.

5-نتیجه‌گیری

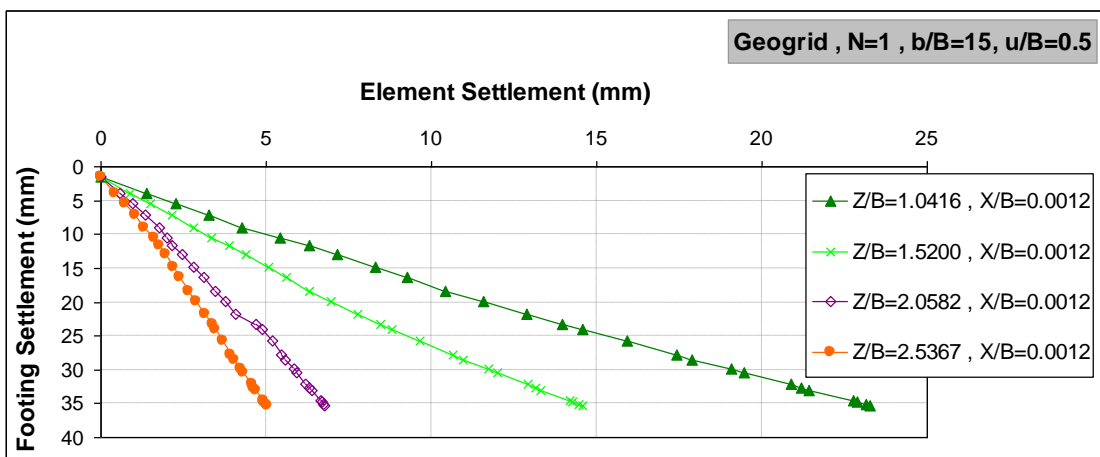
در این تحقیق، برای بررسی مکانیزم گسیختگی خاک تسلیح شده با ژئوستنتیک‌ها که به عنوان روشی مناسب برای افزایش ظرفیت باربری خاک و همچنین بالا بردن مقاومت برشی فونداسیون مسلح مطرح شده است، از مدل‌سازی فیزیکی ماسه سست استفاده شده است.

تعدادی مدل فیزیکی با مشخصات شرح داده شده ساخته شدند تا با انجام آزمایش و بدست آوردن داده‌هایی

از این مدل‌ها و بررسی آنها، بتوان پارامترهای متعدد تأثیر گذار بر روی مکانیزم گسیختگی خاک مسلح را مورد بررسی قرار داد. برای انجام اندازه‌گیری‌ها روش سرعت سنجی تصویری ذرات (PIV) با پردازش تصویری تصاویر دیجیتال معرفی گردید. تأثیر تمامی حالت‌های مسلح کننده‌ها بر روی نمودار نشست المانهای خاک - نشست پی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با بررسی نمودارهای موجود در تحقیق به این نتیجه می‌رسیم که خاک مسلح نسبت به حالت غیر مسلح دارای ظرفیت باربری بیشتر و همچنین سطح شکست در موارد تقویت شده با مسلح کننده طولانی‌تر است و توده عظیمی از خاک مسلح در برابر افزایش بار بسیج شده و ظرفیت باربری بزرگی را پوشش می‌دهد.



شکل 16. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 11)



شکل 17. نمودار نشست پی - نشست المانهای خاک در Z/B های مختلف (Test 9)

6-مراجع

- White D.J., Take W.A. & Bolton M.D. (2003), "Soil deformation measurement using particle image.
- Velocimetry (PIV) and photogrammetry". *Géotechnique* 53, No. 7, pp.619-631.
- Terzaghi, K., (1943), *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley, Inc., New York.
- Huang, C.C., Menq, F.Y., (1997), Deep footing and wide-slab effects on reinforced sandy ground. *Journal*.
- Of Geotechnical al and Geo environmental Engineering, (1999), *ASCE* 123 (1), pp.30-36.
- حاجی علیلوی بناب، م. (1386)، "توسعه روشهای تصویری در مدلسازی های پیشرفته ژئوتکنیکی و ارزیابی گسترش تغییر شکل در خاک"، گزارش طرح پژوهشی، دانشگاه تبریز، ایران.
- Bowles, Joseph E., (1982), " Foundation analysis and design ", McGraw-Hill Inc.
- Taylor R.N., Grant R.J., Robson S. & Kuwano J. (1998). "An image analysis system for determining plane.
- And D displacements in soil models". *Proceedings of Centrifuge'98*, pp.73-78 pubs. Balkema, Rotterdam.

Investigation of the Foundation Settlement- Elements Settlement Diagrams of Loose Soil Reinforced With Geosynthetics under Strip Footing By the Image Processing Method (PIV)

*F., Ashkan, Instructor, Faculty of Civil Engineering, University of Maragheh,
East Azarbaijan, Iran.*

E-mail: ashkan@maragheh.ac.ir

Received: June 2016-Accepted: Sep. 2016

ABSTRACT

Soil, as a natural gravel environment, has a good resistance to stress and shear, and its resistance to tension is very weak. The reinforced soil is made from two different materials (soil and reinforcement) that are reinforced by geogrid or geotextile, which are a group of geosynthetics. The reinforcement improves the mechanical properties of the soil by increasing the tensile strength and decreases the shear force transmitted by the soil. The main objective of this paper is to investigate the foundation settlement- elements settlement diagrams at the laboratory scale (using the physical model and PIV image (particle velocity) method) under loading. According to the results, it was observed that due to the tendency of loose soils to compression, the soil elements' settlement compared to the foundation settlement is much less.

Keywords: Reinforced Soil, Geosynthetic, Physical Modeling, Image method, Settlement