



## تأثیر مسلح کننده ژئوتکستایل در رفتار خاکریز احداث شده روی بستر سست – مطالعه موردی بزرگراه شهید کلانتری ارومیه- تبریز

رقیه امامی<sup>۱</sup> و کاظم بدو<sup>۲</sup>

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه ارومیه، صندوق پستی ۱۶۵  
پست الکترونیکی: k.badv@urmia.ac.ir

### خلاصه

احداث خاکریز روی خاکهای آلی و سست بدلیل تراکم پذیری زیاد و مقاومت برشی کم با مشکلاتی از قبیل ایجاد تغییر شکلهای بلند مدت و بروز مشکلاتی در ناپایداری خاکریز مواجه است. امروزه استفاده از مواد پلیمری ژئوسینتتیک بعنوان یکی از روشهای کاربردی اصلاح خاک پذیرفته شده و بطور گسترده ای مورد استفاده قرار میگیرد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار PLAXIS و مدل رفتاری خاک نرم خزشی، رفتار خاکریز قرار گرفته روی بستری از خاکهای آلی و سست در قسمتی از بزرگراه شهید کلانتری ارومیه - تبریز تحلیل گردید. سپس بعنوان یک روش درمانی جهت کاهش نشست، خاکریز با وجود یک لایه ژئوتکستایل در بستر آن طراحی شده و آنالیز نشست انجام پذیرفت. نتایج آنالیز های نشست با و بدون لایه ژئوتکستایل مسلح کننده نشان داد که استفاده از لایه ژئوتکستایل سبب بهبود عملکرد خاکریز از نظر نشست و کاهش تغییر مکانهای افقی و عمودی جاده می گردد.

کلمات کلیدی: مسلح کننده، ژئوتکستایل، خاکریز، بستر سست، مدل خاک نرم خزشی، PLAXIS

### مقدمه

طراحی و احداث خاکریز روی بسترهای سست یکی از مسائل چالشی در مهندسی ژئوتکنیک بشمار میرود. از خصوصیات اصلی خاکهای سست تراکم پذیری زیاد و مقاومت برشی کم آنها می باشد که سبب ایجاد تغییر شکلهای بلند مدت و بروز مشکلاتی در پایداری خاکریز می شود [1]. از ناپایداریهای اتفاق افتاده در کشورمان میتوان به نشست بزرگراه شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ اشاره کرد. خاکریز بزرگراه شهید کلانتری ارومیه به عنوان بخشی از پروژه میانگذر دریاچه ارومیه در تاریخ ۱۳۷۲ توسط اداره کل راه و ترابری استان آذربایجان غربی احداث شده است. این جاده تا تاریخ ۱۳۸۱ در کیلومتر ۷+۸۰۰ در طول تقریبی ۱۰۰ متر بطور قابل ملاحظه ای نشست کرده است. حداکثر میزان نشست حدود ۱/۱ متر در وسط محور صد متری و شانه راست بزرگراه بوده که منجر به استفاده بیش از ۵۰۰ تن آسفالت جهت ترمیم بزرگراه گردیده است. کاوشهای ژئوتکنیکی وجود لایه های ضخیم خاک آلی در زیر و عمدتاً در حاشیه راست بزرگراه از یک طرف و وجود لایه های رس سیلتی سست از طرف دیگر را از عوامل اصلی نشست در این قسمت از مسیر نشان داد. روشهای مختلفی جهت ساخت خاکریز روی بستر سست وجود دارد که هر یک از روشها دارای معایب و مزایایی می باشند. یکی از این روشها استفاده از ژئوسینتتیکها می باشد که در طی سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در این تحقیق خاکریز بزرگراه شهید کلانتری در دو حالت مسلح و غیر مسلح مدلسازی گردیده و رفتار آن مورد مقایسه قرار گرفته است. تحقیقات نشان داده است که نیروی کششی بسیج شده در مسلح کننده پس از خمیری شدن پی، پایداری را افزایش می دهد و تغییر شکلهای جانبی خاک پی را کاهش می دهد. از مزایای استفاده از ژئوسینتتیک بهبود رفتار خاکریز، صرفه جویی در هزینه و افزایش امکان ساخت خاکریز می باشد [2, 3, 4, 5]. مشاهده شده است که با استفاده از مسلح کننده و ساخت مرحله ای، امکان ساخت خاکریز تا ارتفاع ۲/۹ متر روی خاک آلی بسیار نرم وجود دارد [6] (Volk et. al.). Shimel and Gertje گزارش کرده اند که با استفاده از مسلح کننده با مقاومت بالا و ساخت مرحله ای امکان ساخت خاکریز با ارتفاع ۴/۳ متر روی پی سست وجود دارد [7].

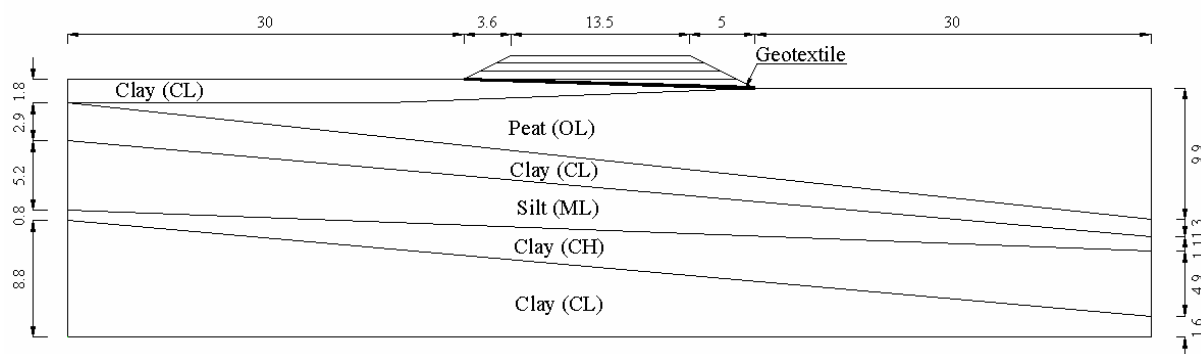
<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و بی

<sup>۲</sup> دانشیار



## هندسه مدل

شکل (۱) مقطع عرضی خاکریز جاده شهید کلانتری در کیلومتر ۷+۸۰۰ را نشان می‌دهد. عرض این خاکریز ۱۳/۵ متر، ارتفاع آن در محور وسط خاکریز ۲/۷ متر و شیبهای طرفین آن ۱:۲ (V:H) می‌باشد. بستر خاکریز تا عمق ۲۰ متری شامل لایه‌هایی از خاک سست نظیر پیت، سیلت و رس می‌باشد. عرض پی بگونه‌ای در نظر گرفته شده است که فاصله مرزهای کناری مدل تا کناره خاکریز حدوداً ۳۰ متر باشد. سطح آب زیرزمینی ۱ متر زیر تراز زمین طبیعی در نظر گرفته شده است. جهت شبیه‌سازی نحوه ساخت خاکریز، بدنه خاکریز به لایه‌هایی به ضخامت ۰/۶ متر تقسیم شده است. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است یک لایه ژئوتکستایل بعنوان مسلح کننده در بستر خاکریز در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- شکل شماتیک هندسه مدل خاکریز و لایه های پی

## خصوصیات مصالح

با توجه به اینکه بسترخاکریز از مصالح سست تشکیل یافته است و این مصالح دارای نشست خزشی نیز می‌باشند، جهت مدلسازی از نرم افزار PLAXIS و برای این نوع مصالح، از مدل رفتاری خاک نرم خزشی (Soft Soil Creep) استفاده شد [1, 8, 9, 10]. پارامترهای مقاومتی لایه های پی در جدول (۱) و پارامترهای مقاومتی خاکریز در جدول (۲) ارائه گردیده است. مدل رفتاری در نظر گرفته شده برای مدلسازی خاکریز مدل الاستوپلاستیک موهرکولمب می‌باشد. با توجه به اینکه بین خاکریز و بستر، ژئوتکستایل استفاده شده است لازم است که مشخصات ژئوتکستایل به نرم افزار معرفی گردد. PLAXIS ژئوتکستایل را یک عنصر کششی که نوع آن با پارامتر EA=2500 KN/m منظور شده است. برای لحاظ کردن اندرکنش ژئوتکستایل با خاک در محل تماس آن با خاکریز و پی از المان Interface استفاده می‌شود. در نرم‌افزار PLAXIS پارامتر R تعیین کننده مقاومت برشی خاک و مسلح کننده می‌باشد. طبق تحقیقاتی که Bergado و همکارانش در سال 2003 با شبیه‌سازی آزمایشات برش مستقیم و Pullout Test با نرم‌افزار PLAXIS انجام داده‌اند R=0.9 می‌باشد [11].

جدول ۱- مشخصات مصالح بستر

Parameter	Name	Clay (CL)	Peat (OL)	Clay (CL)	Silt (ML)	Clay (CH)	Clay (CL)	Unit
Material model	Model	SSC	SSC	SSC	SSC	SSC	SSC	-
Type of material behaviour	Type	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	-
Soil unit weight above p.l.	$\gamma_{unsat}$	15.5	14.8	15.5	13.4	12.6	11.1	kN/m <sup>3</sup>
Soil unit weight below p.l.	$\gamma_{sat}$	17	18	16	18.6	17.7	15	kN/m <sup>3</sup>
Horizontal permeability	$k_x$	3.00E-05	3.50E-04	1.00E-04	3.80E-04	6.65E-04	3.09E-04	m/day
Vertical permeability	$k_y$	3.00E-05	3.50E-04	1.00E-04	3.80E-04	6.65E-04	3.09E-04	m/day
Modified compression index	$\lambda^*$	0.06	0.12	0.07	0.075	0.064	0.098	-
Modified swelling index	$\kappa^*$	0.015	0.037	0.02	0.02	0.015	0.019	-
Secondary compression index	$\mu^*$	0.0025	0.003	0.0028	0.0031	0.0029	0.0033	-
Cohesion	c	10	5	10	3	12	14	kN/m <sup>2</sup>
Friction angle	$\phi$	22	30	20	22	14	24	°
Dilatancy angle	$\psi$	0	0	0	0	0	0	°
Over consolidation ratio	OCR	1	1.27	1	1	1	1.54	-



## بارگذاری

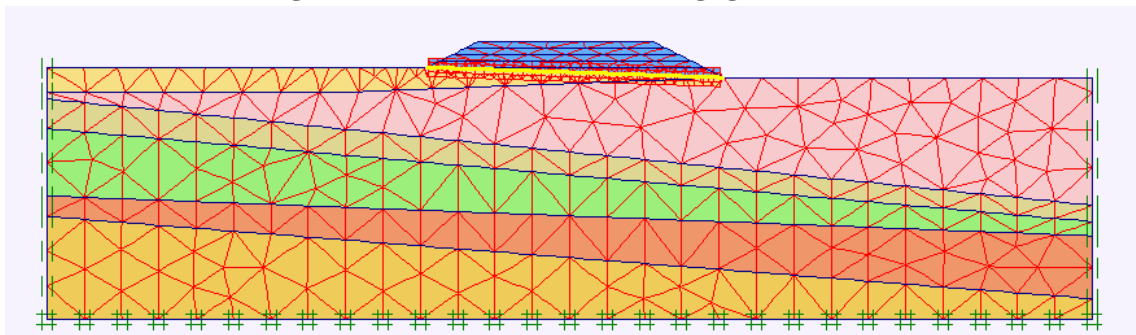
برای خاکریزهای با ارتفاع کوتاه (کمتر از ۳ متر) که روی بستر سست ساخته می‌شوند، نشستهای دائمی ناشی از بار ترافیک یکی از فاکتورهای مهم طراحی جاده می‌باشد. فاکتورهای متعددی در تغییرشکلهای ناشی از بار ترافیک مؤثرند. این عوامل عبارتند از (۱) پارامترهای مقاومت و تغییر شکل خاک بستر، (۲) خواص روسازی، اساس و زیر اساس جاده، و (۳) میزان و تعداد اعمال بار ترافیکی. در روش طراحی که توسط Kutara et. al. [12] پیشنهاد شده است بار ترافیک بصورت بار استاتیکی معادل در نظر گرفته شده و تئوری تحکیم یک بعدی برای تخمین نشست مورد استفاده قرار گرفته است. بار ترافیک معادل جاده  $12 \text{ KN/m}^2$  در نظر گرفته شده است که بصورت استاتیکی به مدل اعمال شده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح خاکریز

Parameter	Name	Embankment	Unit
Material model	Model	MC	-
Type of material behaviour	Type	Drained	-
Soil unit weight above p.l.	$\gamma_{\text{unsat}}$	20.5	$\text{kN/m}^3$
Soil unit weight below p.l.	$\gamma_{\text{sat}}$	21.5	$\text{kN/m}^3$
Horizontal permeability	$k_x$	1.00E+00	m/day
Vertical permeability	$k_y$	1.00E+00	m/day
Young's modulus	$E_{\text{ref}}$	5.00E+04	$\text{kN/m}^2$
Poisson's ratio	$\nu$	0.35	-
Cohesion	c	1	$\text{kN/m}^2$
Friction angle	$\phi$	34	$^\circ$
Dilatancy angle	$\psi$	0	$^\circ$

## المان بندی

المانهای بکار رفته در این تحلیل المانهای ۱۵ گرهی می‌باشند. شکل (۲) نحوه المان بندی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نحوه المان بندی مدل

## آنالیز مدل

در آنالیز مدل ابتدا اجرای لایه ژئوتکستایل به مدت یک روز در نظر گرفته شده است، سپس احداث خاکریز بصورت مرحله‌ای و در لایه‌هایی به ضخامت ۰/۶ متر انجام شده است و فرض گردیده که مدت زمان ساخت هر لایه دو روز بطور می‌انجامد و سپس آنالیز تحکیم برای سالهای مختلف (۴، ۹، و ۱۰/۵ سال پس از پایان ساخت و پایان تحکیم) انجام گردیده است. مراحل آنالیز و نوع محاسبات در جدول (۳) ارائه گردیده است. لازم به ذکر است در این پروژه از آنالیز مش بروز شده استفاده شده است.

جدول ۳- مراحل آنالیز مدل

Identification	Phase no.	Start from calculation	Loading input	Time(Day)
Initial phase	0	0	N/A	0
<Phase 1>	1	0	Plastic	1
<Phase 1>	1	0	Plastic	2
<Phase 2>	2	1	Plastic	2
<Phase 3>	3	2	Plastic	2
<Phase 4>	4	3	Plastic	2
<Phase 5>	5	4	Plastic	2
<Phase 6>	6	5	Plastic	0.1
<Phase 7>	7	6	Consolidation	1460
<Phase 9>	9	8	Consolidation	1825
<Phase 10>	10	9	Consolidation	540
<Phase 11>	11	10	Consolidation	68985



## تحلیل نتایج

### (۱) فشار آب حفره ای اضافی

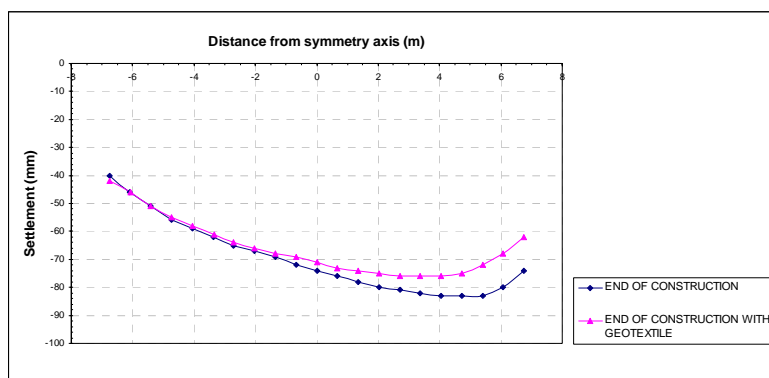
با توجه به نتایج تحلیل حداکثر فشار آب حفره ای اضافه در پایان ساخت و پس از اعمال بار ترافیک در زیر خاکریز اتفاق افتاده و در دو حالت مسلح و غیر مسلح تقریباً برابر می باشند. با گذشت زمان و زهکشی مصالح بستر فشار آب حفره ای اضافه کاهش می یابد. در سالهای اولیه تحکیم فشار آب حفره ای اضافه حداکثر در خاکریز مسلح نسبت به خاکریز غیر مسلح بیشتر است که بیانگر این مطلب می باشد که میزان زهکشی و نشست تحکیمی در خاکریز مسلح کمتر است. زمان زایل شدن فشار آب حفره ای اضافه در خاکریز مسلح ۲۶ سال بیشتر از خاکریز غیر مسلح می باشد. یعنی وقوع نشست در خاکریز مسلح کندتر می باشد.

### (۲) نشست خاکریز (تغییر مکان قائم)

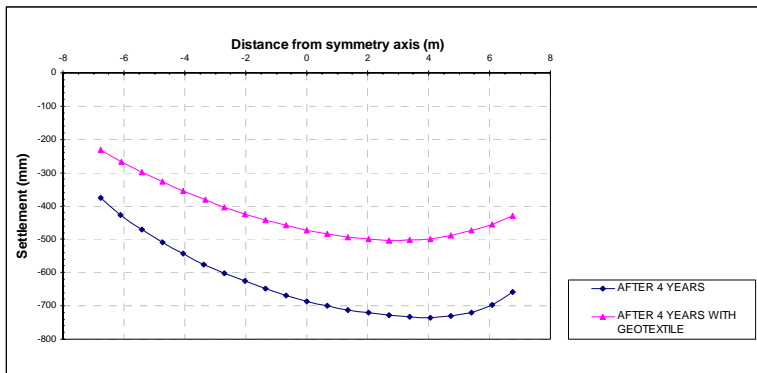
نشست تاج خاکریز در مراحل مختلف تحلیل و در دو حالت مسلح و غیر مسلح در شکل‌های (۳) الی (۷) مقایسه گردیده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان می دهد در پایان عملیات ساختمانی بدلیل اینکه قسمت عمده نشست از تغییر شکل بدنه خاکریز ناشی می گردد وجود ژئوتکستایل تاثیر چندانی در نشست خاکریز نداشته و فقط در شانه راست جاده میزان نشست را حدود ۹٪ کاهش داده است. در مراحل بعدی با تحکیم پی، ژئوتکستایل تاثیر بیشتری در کاهش نشست می گذارد. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است در سال چهارم پس از ساخت خاکریز میزان کاهش نشست در تاج خاکریز حدود ۲۶٪ و در پی حدود ۳۵٪ بوده است. همچنین می توان ملاحظه کرد که در خاکریز غیرمسلح تفاوت نشست شانه راست و چپ جاده ۳۳/۶ سانتی متر می باشد در حالیکه در خاکریز مسلح این میزان به ۱۹/۷ کاهش یافته است یعنی وجود ژئوتکستایل سبب یکنواختی نشست خاکریز و افزایش پایداری خاکریز می شود. در سال چهارم با توجه به اینکه در خاکریز غیر مسلح به علت تعمیر جاده مقداری بار اضافه گردیده است و در خاکریز مسلح این بار لحاظ نشده است طبیعتاً مقداری از نشست در حالت اول ناشی از سرباری است که در این مرحله اضافه گردیده است که باید مد نظر قرار گرفته شود یعنی مقداری از تفاوت نشست در دو حالت مربوط به این سربار است. با در نظر گرفتن این مطلب در سال نهم کاهش نشست در تاج خاکریز برابر ۲۹٪ می باشد. نهایتاً پس از پایان تحکیم میزان تفاوت نشست به ۱۰٪ می رسد که این مساله نشان می دهد که ژئوتکستایل سبب کاهش مقدار نشست تحکیم کل نمی گردد بلکه سبب کاهش نرخ افزایش نشست در سالهای اولیه گردیده و باعث افزایش پایداری می شود یعنی با گذشت زمان و کسب مقاومت توسط پی، کارایی ژئوتکستایل کاهش می یابد.

### (۳) تغییر مکانهای افقی

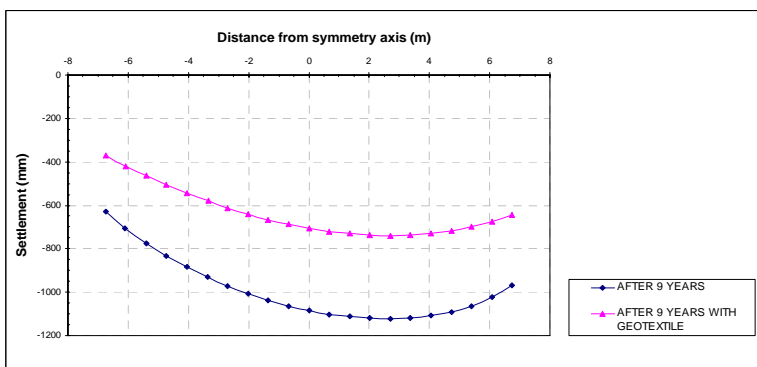
تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در مراحل مختلف تحلیل و در دو حالت مسلح و غیر مسلح در شکل‌های (۸) الی (۱۱) مقایسه گردیده است. با توجه به اشکال در پایان ساخت خاکریز کاهش تغییر شکل افقی حداکثر، برابر ۱۳٪ می باشد. پس از ۴ سال میزان کاهش نشست برابر ۲۲٪ گردیده است که در مقایسه با تغییر شکل‌های عمودی میزان کاهش کمتر است. در سال نهم میزان این کاهش به ۲۶٪ رسیده است و نهایتاً در پایان تحکیم ۲۴٪ کاهش وجود داشته است. بنظر میرسد که میزان کاهش تغییر مکانهای افقی توسط ژئوتکستایل کمتر از میزان کاهش نشست است که دلیل اصلی این تفاوت شبیدار بودن بستر و تمایل خاکریز به تغییر شکل جانبی به دلیل این شیب می باشد.



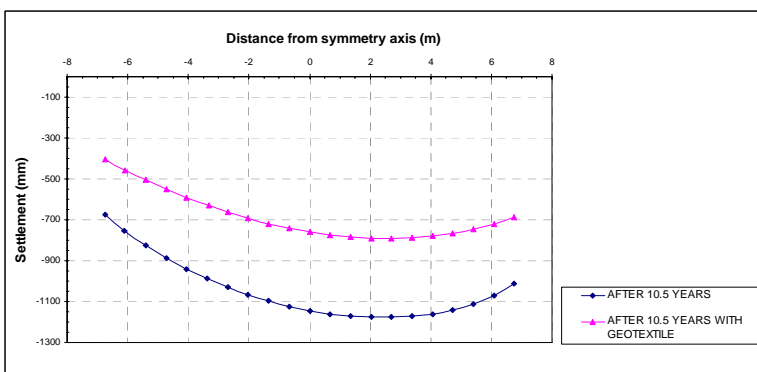
شکل ۳- مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان ساخت



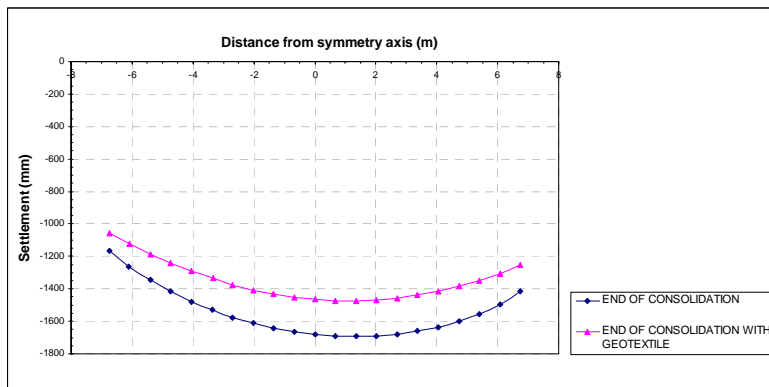
شکل ۴- مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۴ سال



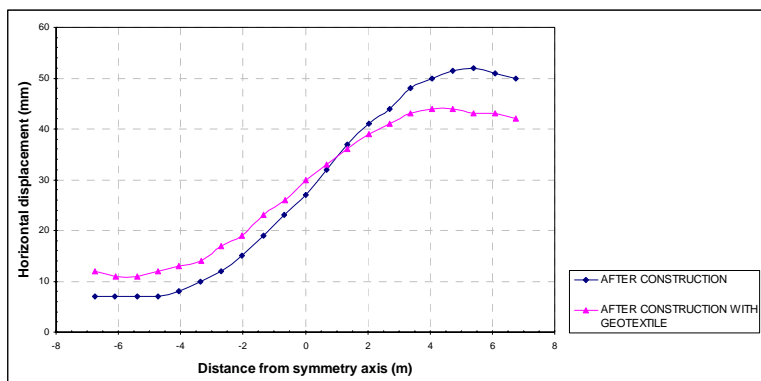
شکل ۵- مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۹ سال



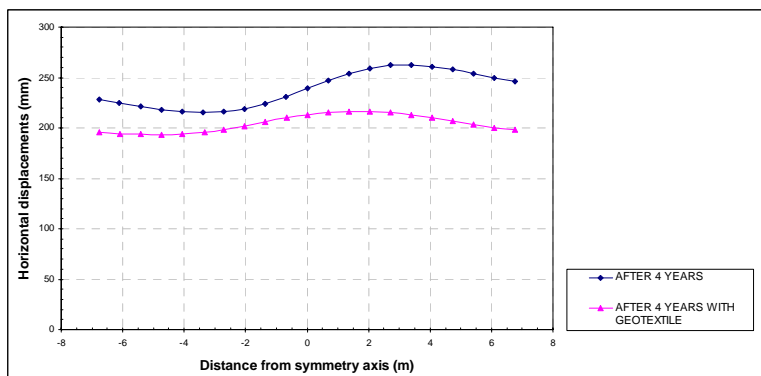
شکل ۶- مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۱۰/۵ سال



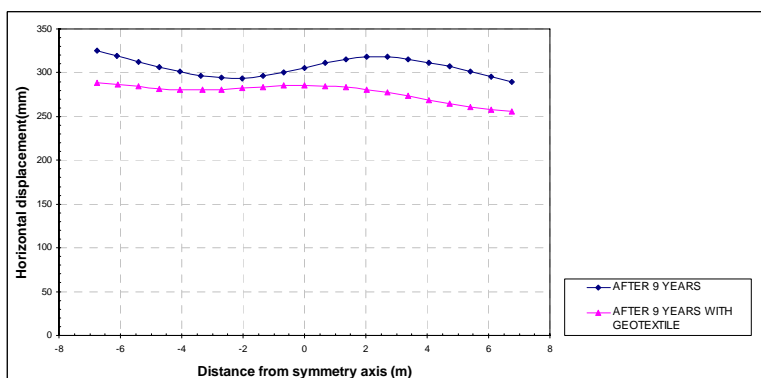
شکل ۷- مقایسه نشست تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان تحکیم



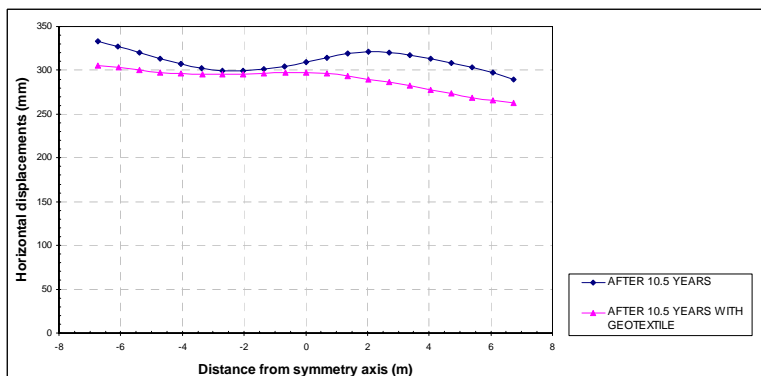
شکل ۸- مقایسه تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان ساخت



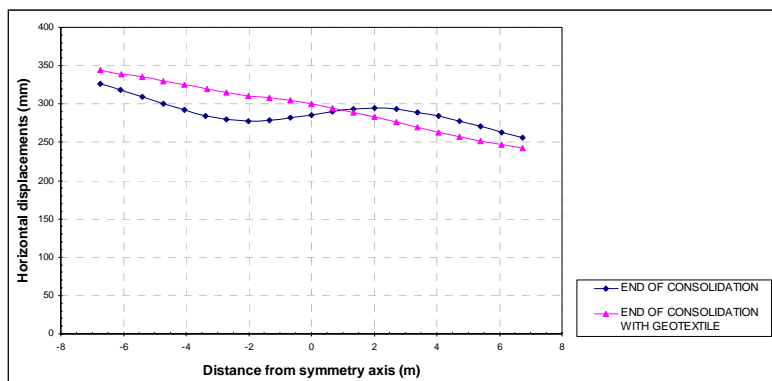
شکل ۹- مقایسه تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۴ سال



شکل ۱۰- مقایسه تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح، پس از ۹ سال



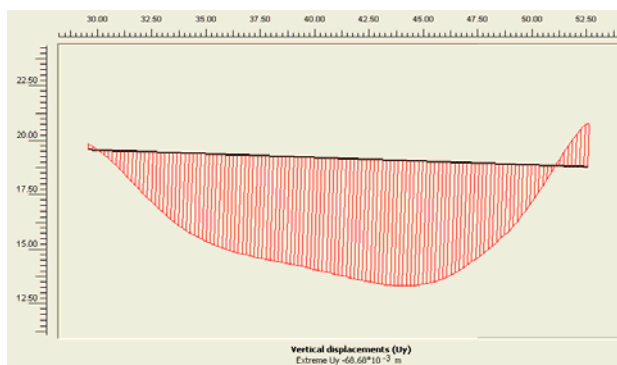
شکل ۱۱- مقایسه تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح پس از ۱۰/۵ سال



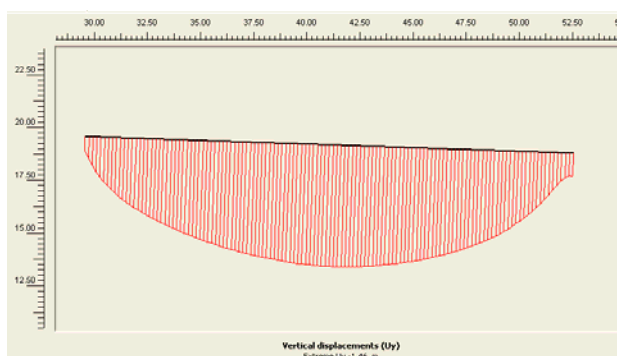
شکل ۱۲- مقایسه تغییر مکانهای افقی تاج خاکریز در دو حالت مسلح و غیر مسلح در پایان تحکیم

### تغییر شکلهای ژئوتکستایل

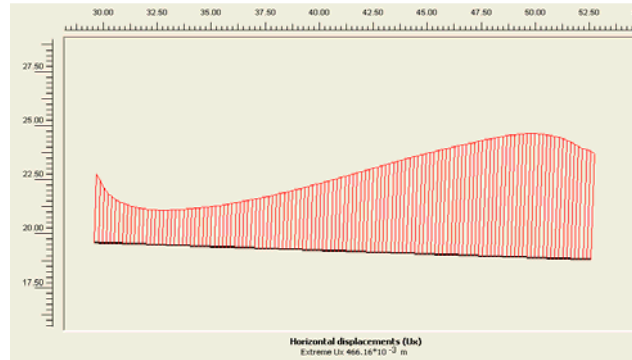
اشکال (۱۳) و (۱۴) تغییر شکلهای قائم ژئوتکستایل بعد از ساخت خاکریز و پس از انتهای تحکیم را نشان می‌دهد. با توجه به این اشکال مشاهده می‌شود که بعد از ساخت خاکریز و قبل از عمل تحکیم به علت بالا آمدن خاک پی از اطراف (که به علت تراکم‌پذیری و رفتار تقریبی شبیه به مایع آن قبل از عمل زهکشی) کناره‌های ژئوتکستایل به سمت بالا تغییر شکل داده است ولی بعد از عمل تحکیم به علت زهکشی و تحکیم پی قسمت برآمده کناره نیز نشست کرده و ژئوتکستایل در کل طول خود دارای حرکت به سمت پایین می‌باشد. شکل (۱۵) نیز تغییر شکل افقی ژئوتکستایل پس از انتهای تحکیم را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال مشاهده می‌شود که پس از پایان ساخت در پنجه‌های خاکریز ژئوتکستایل تمایل به حرکت به سمت بیرون خاکریز دارد. پس از انتهای تحکیم ژئوتکستایل به همراه حرکت خاکریز به سمت راست جابجا می‌شود ولی نسبت به خاکریز جابجایی چندانی ندارد. یعنی لغزش خاکریز روی ژئوتکستایل اتفاق نمی‌افتد.



شکل ۱۳- تغییر مکانهای قائم ژئوتکستایل در پایان ساخت



شکل ۱۴- تغییر مکانهای قائم ژئوتکستایل در پایان تحکیم



شکل ۱۵- تغییر مکانهای افقی ژئوتکستایل در پایان تحکیم

### خلاصه و نتیجه گیری

خلاصه نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می باشد: (۱) نتایج بدست آمده از آنالیز خاکریز جاده شهید کلانتری در حالت غیر مسلح با مقادیر نشست مشاهده شده تطابق خوبی داشت. (۲) از آنجاییکه ضخامت لایه پیت در سمت راست جاده بیشتر است و همچنین به علت ارتفاع بیشتر خاکریز که از شیبدار بودن سطح زمین طبیعی ناشی شده است، حداکثر میزان نشست در سمت راست خاکریز اتفاق افتاده است. (۳) عملکرد نرم افزار PLAXIS در تحلیل نشست خاکریز جاده موفقیت آمیز بوده است. (۴) استفاده از مدل Soft Soil Creep جهت مدل کردن رفتار وابسته به زمان خاکهای سست بسیار مفید می باشد. (۵) استفاده از مسلح کننده سبب کاهش تغییر مکانهای عمودی و افقی خاکریز می گردد. (۶) به علت شیبدار بودن بستر خاکریز، کاهش تغییر مکانهای عمودی (نشست) بیش از کاهش تغییر مکانهای افقی می باشد. (۷) استفاده از مسلح کننده سبب کاهش نشستهای تفاضلی می شود. (۸) استفاده از مسلح کننده سبب افزایش پایداری خاکریز می گردد. (۹) استفاده از ژئوتکستایل سبب افزایش زمان تحکیم پی می گردد.

### مراجع

1. Van Baars, S. (2003) Soft soil creep modelling of large settlements, *2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Soft Soil Engineering and Technology*, 2-4 July, Putrajaya, Malaysia.
2. Row, R.K., and Li, A.L. (2005) Geosynthetic reinforced embankments over soft foundations, *Geosynthetics International Special Issue on The Giroud Lecture*, **12**(1), 50-85.
3. Borges, J.L. and Cardoso, A. S. (2002) Overall stability of geosynthetic reinforce embankments on soft soils, *Geotextiles and Geomembranes* **20**, 395-421.
4. Bergado, D.T., Long, P.V. and Murthy, B.R.S. (2002) A case study of geotextile-reinforced embankment on soft ground, *Geotextiles and Geomembranes* **20**, 343-365.
5. Hinchberger, S.D. and Rowe, R.K. (2003) Geosynthetic reinforced embankments on soft clay foundations: predicting strains at failure, *Geotextiles and Geomembranes*, **21**, 151-175.
6. Volk, J.C., Hunt, R.E., Leshchinsky, D., Diloreto, R. and Collins, T.G. (1994) Reinforced embankment over very soft soils: Grassy ground highway embankment, *Proceedings 5<sup>th</sup> International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore, **1**, 41-48.
7. Shimel, S., and Gertje, H. (1997) The use of geotextile for roadway embankment over soft soils, *Proceedings Geosynthetics*, **97**, 25-38.
8. Haval, F. (2004) Creep in soft soil, *Doctoral Thesis for the Degree of Doktor Ingenior*, Norwegian University of Science and Technology.
9. Ravaska, D. (2006) Modelling creep of soft Finnish clay, *Ph.D. Thesis*, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology.
10. PLAXIS (2005) *PLAXIS Version 8.2, Reference manual*, Web: <http://www.plaxis.nl.com>.
11. Bergado, D.T., Youwai, S., Teerawattanasuk, C. and Visudmedanukul, P., (2003) The interaction mechanism and behaviour of hexagonal wire mesh reinforced embankment with silty sand backfill on soft clay, *Computers and Geotechnics*, **30**, 517-534.
12. Kutara, K., Miki, H., Mashita, Y. and Seki, K. (1980) Settlement and countermeasures of the road with low embankment on soft ground, *Tech. Reo. Of Civil Eng., JSCE*, **22**(8), 13-16 (In Japanese).