

تحلیل پایدارسازی ترانشه ها با استفاده از ژئوگریدها

رامین وفائی¹، حسن علیاری²، حامد حمیدی³

1- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز - دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی

2,3- عضو باشگاه پژوهشگران جوان شعبه تبریز، تبریز - باشگاه پژوهشگران جوان

E.mail: Hassan.aliyari@gmail.com

چکیده

با توجه به لزوم پایدارسازی ترانشه ها در هنگام احداث و بهره برداری، در این مقاله سعی گردیده است تا پایدارسازی اینگونه دیواره ها با استفاده از ژئوگریدها که یک روش نسبتاً جدیدی بوده و نیز مزایای آن از لحاظ فنی، اقتصادی، مدت زمان اجرا و عمر مفید مسلم شده است، مورد بحث و بررسی قرار گیرد. بدین منظور ابتدا به معرفی انواع ژئوگریدها پرداخته و موارد کاربرد آنها نیز در هر زمینه بطور خلاصه بیان گردیده و سپس مکانیسم عملکرد و اندرکنش بین خاک و ژئوگرید به هنگام تاثیر نیروهای محرک برای رساندن ترانشه به ناپایداری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، روی یک پروژه موردی با استفاده از روش اجزاء محدود که در نرم افزار PLAXIS مدل گردیده، تحلیل انجام گرفته است. نتایج حاکی از آن است که پایدارسازی ترانشه ها با استفاده از ژئوگریدها یک روش بسیار مناسب بوده و با توجه به گسترش و تنوع ساخت اینگونه مصالح میتوان با یک تحلیل مناسب، از اینگونه مصالح در عمل بطور وسیع استفاده نمود.

کلید واژه: پایدارسازی ترانشه، دیوارهای مسلح، ژئوگریدها.

مقدمه

از دیرباز تلاش های متعددی به منظور غلبه بر ضعف کششی خاک انجام گرفته است. استفاده از یک عنصر (جسم) کششی به منظور بهبود مقاومت خاک از مدت ها قبل به کار گرفته شده به طوری که بیش از سه هزار سال پیش، بابلیان در ساخت زیگوراتها از خاک مسلح استفاده کرده اند. همچنین استفاده از ترکیب خاک و گاه به عنوان مصالح ساختمانی در ایران نیز متداول بوده است. در عصر حاضر خاک مسلح در سال 1966 توسط Herti Vidal، مهندس فرانسوی ابداع شد. لازم به ذکر است که اداره شاهراههای کارولینای جنوبی در ایالات متحده آمریکا در سال 1926 برای نخستین بار در ساخت جاده ها از پارچه نخی با الیاف طبیعی به عنوان مصالح تسلیح کننده استفاده کرده و در سال 1966، نخستین ترانشه از خاک مسلح به ارتفاع پنج متر ساخته شد. در سال 1967، فن آوری خاک مسلح در هفت پروژه بزرگ از جمله یک دیوار نگهدارنده 23 متری در بزرگراه نیس با موفقیت بکار گرفته شد و پس از آن استفاده از خاک مسلح در اکثر کشورهای جهان و از جمله در ایالات متحده آمریکا به سرعت معمول گردید. در اواخر دهه 70 میلادی استفاده از مصالح با قابلیت کشسانی، نظیر ژئوتکستایل که پیش از آن جهت جداسازی و فیلتراسیون استفاده می شد، به عنوان مصالح تسلیح کننده معمول گردید. پارچه های پلیمری یا مصنوعی مانند ژئوتکستایل و ژئوگرید به دلیل سختی نسبتاً کم، از نظر تغییر شکل پذیری با خاک سازگارتر می باشند. علاوه بر این، پارچه ها تراوا و مقاوم در برابر خوردگی هستند و بعضی از آنها در برابر پوسیدگی، حملات باکتری ها و اسیدها پایدار بوده و غیرسمی نیز می باشند. در سال 1984، 300 میلیون متر مربع ژئوگرید در بیش از 100 پروژه عمرانی در نقاط مختلف جهان به کار گرفته شد.

E.mail: Raminvafaei@yahoo.com

¹ - دانشجوی مقطع دکترای دانشگاه تبریز و عضو باشگاه پژوهشگران جوان شعبه تبریز -

^{۲,۳} - دانشجوی رشته مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز و عضو باشگاه پژوهشگران جوان شعبه تبریز

معرفی ژئوگریدها

ژئوگریدها یکی از انواع مصالح ژئوسنتتیک (یعنی مصالحی از جنس پلیمر که با اهداف مسلح سازی، جداسازی، فیلتراسیون و... در مجاورت و تعامل با سازه های خاکی و سنگی به کار برده می شوند) هستند. معمولاً به منظور تقویت استفاده می شوند و شامل شبکه ای از اجزای کششی هستند که اندازه ی چشمه های آنها به صورتی است که بتواند با مصالح اطراف قفل و بست ایجاد کند. این مصالح دارای ساختاری صفحه ای می باشند، یعنی از المانهای کششی که به صورت طولی و عرضی قرار گرفته اند و در نقاط فصل همدیگر را قطع کرده و ایجاد شبکه با اشکال و اندازه های متفاوت می نمایند، تشکیل شده یافته اند. انواع مختلف ژئوگرید را می توان با توجه به مواد تشکیل دهنده و نحوه تولید دسته بندی کرد. مواد اولیه ای که در تولید ژئوگریدها بکار می روند عمدتاً پلیمر می باشند. انواع پلیمرهایی که در تولید ژئوگرید بکار می رود به همراه توضیح مختصری راجع به خواص و برخی از مزایا و نقاط ضعف استفاده از آنها به شرح زیر است:

الف - پلی پروپیلن (PP) : ارزاترین نوع پلیمر در ساخت ژئوگریدها بوده و کمترین میزان مقاومت پس از خزش را در بین انواع پلیمرها را دارد. مقاومت این نوع ژئوگریدها پس از خزش به کمتر از یک سوم (۳۰٪) کاهش پیدا می کند.

ب - پلی اتیلن (PE) : این نوع پلیمرها جهت تولید ژئوگرید نسبت به پلیمرهای دسته اول از مطلوبیت بیشتری برخوردارند و مقاومت خزش آنها 36 درصد مقاومت نهایی آن می باشد و در انواع محیط های شیمیایی قابل استفاده هستند اما به دلیل ساختار خشک و غیر منعطفی که دارند باید جهت اتصال آنها به بلوک بتنی مدولار، تمهیدات خاصی در نظر گرفت.

ج - پلی استر (PET) : این نوع پلیمرها کمترین کاهش مقاومت در اثر خزش را دارد و مقاومت آن پس از خزش به 63/5 درصد مقاومت نهایی می رسد. از آنجا که پلی استر در محیط های قلیایی دارای دوام مناسبی نمی باشد، ژئوگریدهای پلی استری معمولاً با روکشی از جنس پلی پروپیلن یا دیگر پلیمرهای مقاوم در شرایط خاص شیمیایی ارائه می شوند. با این حال استفاده از ژئوگریدهای پلی استری در محیط های قلیایی توصیه نمی شود.

د - آرامید : پلیمرهایی گران قیمت با درصد کرنش خیلی پایین (به ترتیب 5 و 2 درصد) هستند و برای پروژه های حساس از نقطه نظر جابجائی و نشست مثل کوله های باربر مورد استفاده قرار می گیرند.

ساختار تشکیل دهنده ژئوگریدها به نحوه تولید آنها باز می گردد، سه روش عمده برای تولید ژئوگریدها وجود دارد و بر این اساس ژئوگریدها به سه دسته تقسیم می گردند:

الف - ژئوگریدهای بافته شده: از بافته شدن الیاف پلی استر به همدیگر در شبکه های حدود 2×2 cm یا 3×3 cm و پوشش آنها با پلیمر PVC ژئوگریدهای منعطف پلی استری ساخته می شوند. از مهمترین مزایای آن می توان به کرنش پایین و مقاومت بالا در برابر خزش و اجرای آسان آن اشاره کرد. این نوع ژئوگریدها هم به روش مکانیکی و هم به روش اصطکاکی با بلوکها می توانند اتصال برقرار کنند.

ب - ژئوگریدهای تزریق: اکثر ژئوگریدهای پلی اتیلن و پلی پروپیلن به روش تزریقی یا اکستروودی تولید می شوند. محدودیت این نوع ژئوگریدها این است که حتماً بایستی به روش مکانیکی با بلوکهای اتصال پیدا کنند.

ج - ژئوگریدهای اتصالی: نوع خاصی از ژئوگریدها هستند که بصورت تسمه های تزریقی در جهت های طولی و عرضی روی هم قرار داده شده و از طریق اشعه های لیزری نوارهای طولی و عرضی به همدیگر اتصال پیدا می کنند. محدودیت این نوع ژئوگریدها مثل ژئوگریدهای ردیف (ب) عدم امکان اتصال آن به بلوک به روش اتصال اصطکاکی می باشد. این نوع ژئوگریدها منعطف با مقاومت کششی بسیار بالا می باشند که جهت تسلیح خاک به کار برده می شود.

ژئوگریدها از الیاف پلی استر با سختی بالا و خزش کم ساخته شده و با یک لایه محافظ پلیمری پوشش داده می شوند و در اندازه چشمه های مختلف و معمولاً با مقاومتی بین 10 KN/m الی 150 KN/m تولید می شوند. عرض هر رول آن بطور معمول $3/7$ m تا 3 m و طول آن بین 100 تا 300 متر بوده و در نتیجه همپوشانی لایه ها به حداقل می رسد.

ژئوگریدها با جنس فایبرگلاس یک نوع با کیفیت بالاست که به عنوان تقویت کننده های مهمی در جاده ها مورد استفاده قرار می گیرند. این نوع از ژئوگرید با پوششی از پلی استر برای تقویت اسفالت سطحی، زیر اساس با خصوصیات کششی بالا به صورت ژئوگریدهای دومحوره استفاده می گردد که دارای خصوصیات دیگری مثل مدول بالا، دوام دراز مدت و طولیل شدگی کم هستند. همچنین این نوع از ژئوگرید در بستر سازی مسیر راه آهن، فرودگاه، و پایدارسازی شیب به کار می رود. از خصوصیات مهم دیگر این نوع از ژئوگرید می توان به پایداری دما، پایداری شیمیایی و فیزیکی اشاره کرد.

میکروگریدهای لایه لایه از جنس پلی استر بافته شده ریز است که در آن سلولهای تشکیل دهنده شبکه ها از هم فاصله مشخص و تعریف شده ای دارند. میکروگریدها، قفل شدگی بالایی را با خاک ایجاد می کنند و همچنین نفوذپذیری بالایی را نشان می دهند. این نوع از ژئوگریدها برای تقویت خاک هایی استفاده می شوند که وزن مخصوص بالایی دارند و برای استحکام بیشتر آنها احتیاج به یک پوشش

روش گوه توسط Bell و Steward توسعه داده شد. در این روش توده خاک مسلح انعطاف پذیر فرض شده و بنابراین اثر تنش جانبی خاک پشت توده مسلح صرف نظر شده و تنش قائم برابر gz می‌باشد. با توجه به فرض این روش، این مدل برای مسلح کننده‌های انعطاف پذیر، نظیر ژئوتکستایل توصیه می‌شود که به همین علت به بررسی مختصر آن می‌پردازیم. در این روش با فرض تغییر شکل‌های کافی، موقعیت تنشها در حالت اکتیو در نظر گرفته شده و بنابراین ضریب فشار جانبی خاک برای تمام عمق K_a می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق حداکثر نیروی کششی مسلح کننده‌ها به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$T_{\max} = S_v R_c K_a (gz + S) \quad (1)$$

که در آن S و Z به ترتیب عمق مورد نظر از بالای دیوار و میانگین سربار خاک بالای دیوار می‌باشند. طراحی مسلح کننده‌ها در برابر بیرون کشیدگی: به منظور فراهم کردن پایداری داخلی خاک مسلح لازم است که مسلح کننده‌ها در برابر بیرون کشیدگی مقاومت کافی داشته باشند. برای تعیین طول مهاري مورد نیاز، از فرمول ارائه شده توسط AASHTO (۱۹۹۹)، مطابق رابطه ۲ استفاده می‌شود.

$$L_e = \frac{g_{EH} T_{\max}}{j_{po} F^* ab_v CR_C} \quad (2)$$

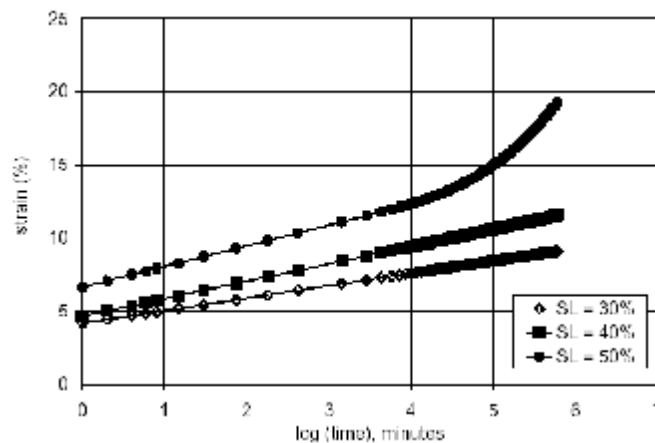
که در آن L_e طول مهاري مورد نیاز در منطقه مقاوم خاک، j_{po} مقاومت در برابر بیرون کشیدگی، F^* فاکتور اصطکاک در برابر بیرون کشیدگی، a فاکتور اصلاح اثر اندازه (برای ژئوتکستایل و ژئوگرید به ترتیب 0.6 و 0.8 بوده و برای مسلح کننده‌های فولادی 1 می‌باشد)، S_v تنش قائم لایه مورد نظر در منطقه مقاوم خاک و C تعداد سطوح تماس مسلح کننده با خاک است. مقاومت دراز مدت سازه‌های MSE: به منظور اطمینان از پایداری دراز مدت سازه‌های MSE لازم است که مساله خوردگی در مورد مسلح کننده‌های فلزی و پدیده خزش در مورد ژئوسنتتیکها مورد توجه قرار گیرد.

در مورد ژئوسنتتیکها باید پدیده خزش مورد توجه قرار گرفته و سختی مسلح کننده با در نظر گرفتن این پدیده محاسبه شود. رابطه کرنش و زمان در ژئوسنتتیکها، غالباً به صورت تابعی خطی یا نمائی است. به صورتیکه در ابتدا رابطه کرنش و زمان به صورت خطی ظاهر می‌شود و بعد از یک کرنش معین به صورت تابعی نمائی در می‌آید. روابط کرنش و زمان در پدیده خزش را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت.

$$e = mT_L + e_0 \quad \text{رابطه خطی} \quad (3)$$

$$e = C_1 + C_2 e^{C_3 T_L} \quad \text{رابطه نمایی} \quad (4)$$

که در آن T_L زمان بر حسب دقیقه، M شیب قسمت خطی نمودار کرنش - زمان، e_0 کرنش در زمان $T_L = 0$ و C_1, C_2, C_3 ضرایب ثابت می‌باشند. در شکل (۱) نمودار کرنش - زمان، برای ژئوگرید HDPE UX-۱۴۰۰ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار کرنش-زمان برای ژئوگرید HDPE در دمای 30 درجه و سطح تنش مختلف

نیروهای دینامیکی در سازه‌های خاک مسلح: بررسی و مطالعه دیوارهای خاک مسلح در برابر نیروهای زلزله نشان می‌دهد که این دیوارها عملکرد بسیار خوبی بهنگام زلزله از خود نشان می‌دهند. در زیر نتایج بررسی‌های انجام گرفته درباره عملکرد تعدادی از دیوارهای خاک مسلح بهنگام زلزله بیان شده است:

- گزارشها درباره عملکرد سه دیوار خاک مسلح با کاربری پایه پل واقع در بلژیک، که در $3/5$ کیلومتری مرکز زلزله‌ای به بزرگی 5 ریشتر (1983) قرار داشتند حاکی از آنست که هیچ مشکل خاصی بهنگام زلزله در این سه سازه رخ نداده است.

- دو دیوار خاک مسلح با کاربری پایه پل، واقع در نیوزلند که در 30 کیلومتری مرکز زلزله‌ای به بزرگی 6/3 ریشتر (1978) قرار داشتند، دارای عملکرد بسیار خوبی بهنگام زلزله بودند و بعد از زلزله نیاز به انجام هیچگونه ترمیم در سازه‌ها وجود نداشته است.

- بررسی 21 دیوار حائل خاک مسلح و 2 دیوار خاک مسلح با کاربری پایه پل در Northridge کالیفرنیا در برابر زلزله‌ای به بزرگی 6/1 ریشتر (1994) حاکی از آنست که با وجود اینکه تعدادی از پلها، ساختمانها و بزرگراهها دچار مشکل و خسارت شده‌اند، دیوارهای خاک مسلح عملکرد بسیار خوبی داشته و فقط در مورد یک دیوار تعداد کمی از پانلهای نما دچار آسیب جزئی شده‌اند.

با توجه به عملکرد دیوارهای خاک مسلح در برابر زلزله، بدیهی است که روشهای متداول برای طراحی این دیوارها در برابر نیروهای زلزله محافظه کارانه می‌باشد. با این وجود برای تعیین نیروهای دینامیکی در سازه‌های خاک مسلح می‌توان از روش Mononobe-Okabe استفاده نمود.

اندرکنش خاک و مسلح کننده :

تنش-کرنش در المان خاک مسلح: به منظور بدست آوردن مدول الاستیسیته المان خاک مسلح تحت شرایط کرنش صفحه‌ای، با توجه به شکل (2) و کرنش صفر در جهت 2 داریم:

$$S_{1comp} = S_{1, e_{1comp}} = e_1 \quad (5)$$

که در آن e_1 کرنش کامپوزیت خاک مسلح در جهت 1 است.

با توجه به شرایط کرنش صفحه‌ای، کرنش در جهت 2 صفر می‌باشد، کشش مسلح کننده نیز در این جهت ناچیز می‌باشد، بنابراین:

$$S_{2comp} = S_{2, e_{2comp}} = e_2 \quad (6)$$

که در آن e_2 کرنش کامپوزیت خاک مسلح در جهت 2 می‌باشد.

در جهت 3 داریم:

$$S_{3comp} = \frac{F_r}{A_r} \quad (7)$$

که در آن:

$$A_r = A_{r_s} + A_{r_g}$$

$$F_r = S_r \cdot A_{r_s} + T_r$$

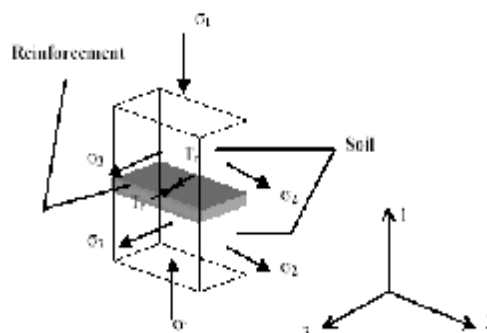
به ترتیب مساحت مسلح کننده و المان خاک در جهت 3 و T_r کشش مسلح کننده می‌باشد. با توجه به این که

$$A_r \approx A_{r_s}, \quad A_{r_s} \gg A_{r_g}$$

برای تنش و کرنش در جهت 3 داریم:

$$S_{3comp} = S_r + \frac{T_r}{A_r} \quad (8)$$

$$e_r = e_{rcomp}$$

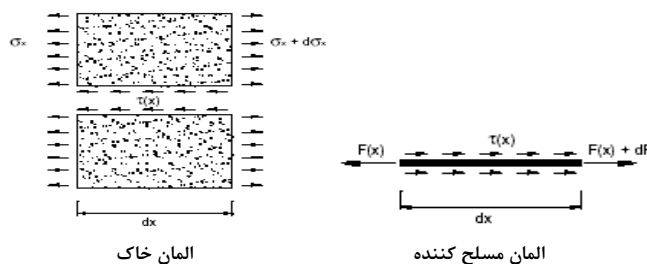


شکل 2- شرایط تنش در المان خاک مسلح

ارائه مدلی برای اندرکنش خاک و مسلح کننده (مسلح کننده دارای رفتار غیر خطی): برای ژئوسنتتیکها رابطه تنش- کرنش عموماً غیر خطی است. بررسی های تجربی نشان می دهد که با در نظر گرفتن شکل (3) رابطه بین نیروی کششی ژئوتکستایل در واحد عرض و کرنش را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$t(x) = \frac{1}{\gamma} \left[\frac{a \frac{d^2 V(x)}{dx^2}}{\left[a + b \frac{du(x)}{dx} \right]^\gamma} \right] \quad (9)$$

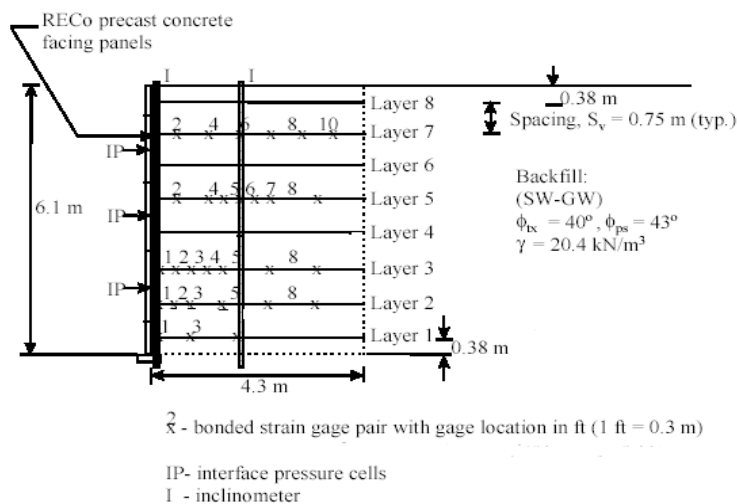
که در آن a, b ثابت های عددی هستند.



شکل 3- توزیع تنش

آنالیز موردی ترانشه خاک مسلح

ترانشه ای در کیلومتر 5 بزرگراه شمالی تبریز بصورت موردی انتخاب گردیده که با یک ترانشه دیگر در شهر تبریز مورد مقایسه قرار گرفته است. آزمایشات ژئوتکنیک برای هر دو دیوار قبلاً در مرجع (5) که توسط مؤلف ارائه گردیده بود، مشخص شده است. ترانشه یک با ژئوگرید و ترانشه دو با تسمه های فولادی آجدار. وزن مخصوص خاکریز از طریق آزمایش دانسیته در محل بدست آمده و خاکریز تا 95 درصد پروکتور استاندارد (ASTM D 698) متراکم شده است. مشخصات دو نوع مسلح کننده بکار رفته در این دیوارها در جدول 1 نشان داده شده است.

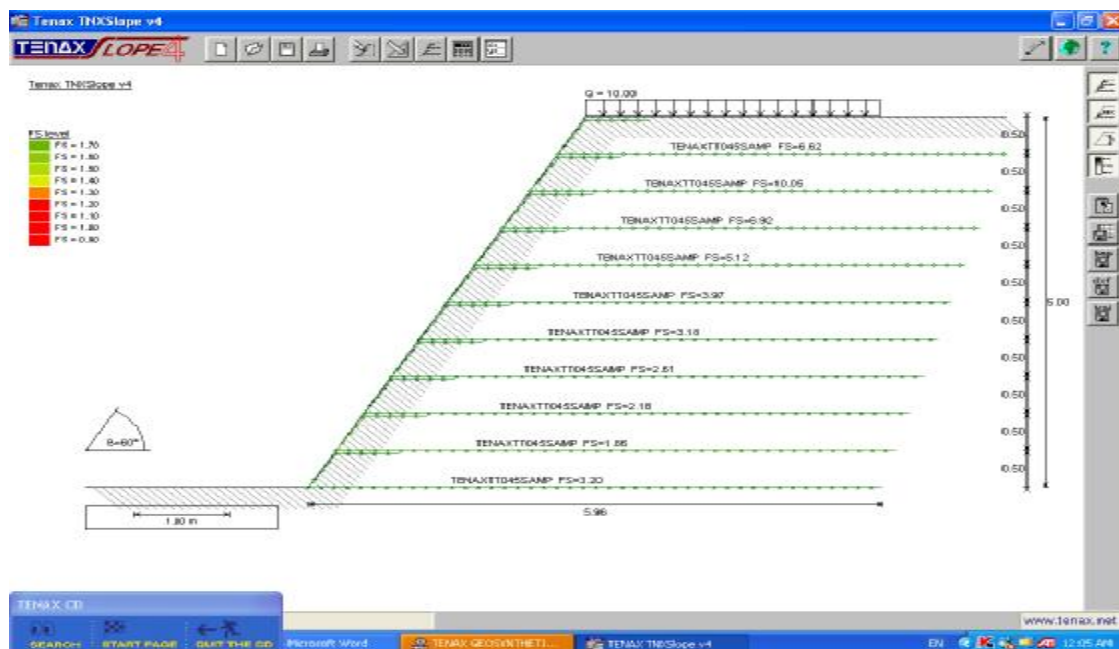


شکل 4- مقطع ترانشه ها

جدول 1: مشخصات مسلح کننده های ترانشه ها

مشخصات	تسمه های فولادی	ژئوگرید
مدول الاستیک	200000 MPa	1222 - 3.7 N
محد اکثر مقاومت کششی هر واحد عرض (kN/m)	68 kN/m	67.7 kN/m
محد اکثر کرنش مسلح کننده (mm)	0.2	12
مقطع مقطع مسلح کننده (mm)	6.3	
ضخامت افقی مسلح کننده (mm)	0.2	

پس از مدل کردن این دو نوع ترانشه در نرم افزار Plaxis و تحلیل آن به روش المان محدود (شکل 5)، نتایج آن با نتایج حاصله از آزمایشات بر روی این ترانشه ها مقایسه گردید. جداول مقایسه ای به صورت کامل در مرجع (4) آمده که به علت محدودیت در تعداد صفحات، از تکرار مجدد آن در این مقاله خودداری شده و فقط نتایج حاصله آورده شده است.



شکل 5- طرح نهائی مدلسازی ترانشه با نرم افزار Plaxis

نتیجه گیری:

- تغییر شکل جانبی ترانشه با مسلح کننده ژئوگرید و تسمه فولادی نشان داد حداکثر تغییر مکان افقی ترانشه مسلح شده با تسمه های فولادی در حدود 5 میلی متر بوده که به مراتب کمتر از تغییر مکان جانبی ترانشه مسلح شده با ژئوگرید می باشد. این مسأله بدلیل آنست که تسمه های فولادی نسبت به ژئوگرید از سختی بسیار بالاتری برخوردار هستند.
- توزیع کرنش در مسلح کننده ها (انتهای ساخت) نشان داد در مسلح کننده های فولادی به دلیل سختی بالا کرنش مسلح کننده بمراتب کمتر از کرنش ژئوگرید می باشد و نیز در هر دو ترانشه در نیمه بالای نتایج بدست آمده از ابزاربندی مقادیر بیشتری را نسبت به مدل کامپیوتری نشان می دهد و این در حالیست که در نیمه پایین، عکس این رفتار مشاهده می شود. با توجه به توزیع کرنش مسلح کننده ها در تسمه های فولادی و ژئوگرید، حداکثر اختلاف کرنش بدست آمده از مدل کامپیوتری و ابزاربندی در تسمه های فولادی مربوط به لایه 4 و 7 و 0/016 درصد می باشد و برای ژئوگرید حداکثر اختلاف مربوط به لایه اول و 25/0 درصد می باشد. در مورد ترانشه های مسلح شده با ژئوستنتیکها انتظار می رود که از عمق $\frac{1}{8}H$ (ارتفاع کل ترانشه) به پایین نیروی مسلح کننده ها نسبت به لایه های فوقانی کاهش یابد که نتایج بدست آمده از مدل کامپیوتری و ابزاربندی این مسأله را تأیید می کنند. البته باید توجه داشت که مدل کامپیوتری شدت کاهش نیرو را کمتر از مقادیر تئوری و ابزاربندی نشان می دهد و به همین دلیل، در لایه اول اختلاف بین حداکثر کرنش بدست آمده از ابزاربندی و مدل کامپیوتری نسبت به لایه های فوقانی بیشتر است.
- میانگین نیروی کششی مسلح کننده ها از ضرب میانگین کرنش مسلح کننده در مدول الاستیسیته، بدست می آید. با مشاهده نحوه توزیع نیروی کششی در مسلح کننده ها می توان نتایج زیر را بدست آورد:
الف) در روشهای FHWA و Simplified (AASHTO ۱۹۹۹) با افزایش عمق نیروی کششی مسلح کننده ها افزایش می یابد، در حالیکه نتایج مدل کامپیوتری نشان می دهد که تا عمق $\frac{1}{8}H$ از بالای ترانشه با افزایش عمق نیروی کششی

مسلح کننده‌ها افزایش یافته ولی از آن به بعد، با افزایش عمق نیروی کششی در مسلح کننده‌ها کاهش می‌یابد. این نحوه توزیع نیروی کششی در مسلح کننده‌ها هماهنگی خوبی با فرض روش Ko- stiffness دارد.

ب) نحوه توزیع نیروی کششی در مسلح کننده‌ها، به خصوص ژئوگرید، هماهنگی خوبی با روش Ko- stiffness دارد و این بدلیل آنست که در این روش تأثیر سختی مسلح کننده در جذب نیرو در نظر گرفته شده است.

- حداکثر تغییر شکل جانبی ترانشه با تسمه‌های فولادی و ژئوگرید در اثر بار نواری (فقط بار نواری)، در عمق $H/13$ (H ارتفاع ترانشه) از بالای ترانشه می‌باشد.

- در بررسی توزیع کرنش مسلح کننده‌های فولادی و ژئوگرید، بعد از اعمال بار نواری مشاهده می‌شود در مسلح کننده‌های ژئوگرید و مخصوصاً در نیمه پایینی ترانشه، کرنش مسلح کننده در فاصله‌های بیشتر از 4 متر از پانلهای نما تقریباً صفر است. این مسأله بدلیل سطح تماس زیاد مسلح کننده‌های ژئوگرید با خاک است.

- نیروی کششی مسلح کننده‌ها بعد از اعمال بار نواری: برای مقایسه میانگین نیروی کششی مسلح کننده‌ها با سایر روشها، توزیع 2:1 تنش برای بار نواری در نظر گرفته شده است. در مورد مسلح کننده‌های فولادی مشاهده شد که میانگین نیروی کششی مسلح کننده‌ها، هماهنگی خوبی با روش Tieback دارد. با توجه به اینکه در این روش ضریب فشار جانبی خاک برابر K_a در نظر گرفته شده، بنابراین برای بدست آوردن نیروی مسلح کننده‌ها بعد از اعمال بار نواری بهتر است که ضریب فشار جانبی برابر K_a در نظر گرفته شود. برای ژئوگرید نیز همانطور که انتظار می‌رود میانگین نیروی کششی مسلح کننده‌ها هماهنگی بسیار خوبی با روش Ko- stiffness دارد.

مراجع:

1. مرجع کامل PLAXIS ، تالیف مهندس رامین وفائی پور سرخابی و مهندس محمد بهپور، انتشارات فروزش، 1385
 2. بررسی پایداری استاتیکی و دینامیکی شیروانیها، مهندس رامین وفائی پور سرخابی، طرح پژوهشی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، 1384
 3. بررسی پایدارسازی شیروانیها، مهندس رامین وفائی پور سرخابی، طرح پژوهشی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، 1385
 4. تثبیت شیبها و دیواره‌ها با استفاده از ژئوگریدها، مهندس رامین وفائی پور سرخابی، طرح پژوهشی، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، 1386
- o. Vafaiepour R, Study, Analysis and Stabilization of the Slope of Km .۲ of Northern Freeway of Tabriz, problematic soils conference, trent univ.U.K, ۲۰۰۳