

بررسی ضریب اطمینان روش اشمرتمن در پایداری شیروانی‌های مسلح

با ژئوتکستایل

حسین غیاثیان، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

احمد رجیبیان، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علوم و تحقیقات فارس، شیراز، ایران

سپیده جعفری*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Sepidehjafari1362@gmail.com

دریافت: ۹۵/۰۱/۲۵ - پذیرش: ۹۵/۰۶/۱۵

چکیده

شیروانی‌های خاکی از جمله سازه‌هایی هستند که در موارد بسیار از جمله راه‌ها، جاده‌ها و ابنیه‌هایی از این قبیل کاربرد فراوانی دارند. این سازه‌ها در بسیاری از موارد مثل مقاومت کم خاک یا نوع بارگذاری بر روی شیب یا مشخصات هندسی آن همچون شیب بسیار تند یا ارتفاع زیاد نیاز به تسلیح دارند تا پایداری مورد نیاز حاصل شود. یکی از روش‌های تحلیل رفتار و ارایه الگوی مناسب طراحی و ساخت برای شیروانی‌ها روش اشمرتمن می‌باشد. در این روش، نحوه تأثیر المان تسلیح در مجاورت سطح لغزش به گونه‌ای در نظر گرفته شده که مؤلفه قائم نیروی مسلح‌کننده باعث افزایش نیروهای قائم بر سطح لغزش و در نتیجه افزایش مقاومت برشی می‌شود. اما اندر کنش خاک و ژئوتکستایل در هنگام حرکت توده (گوه) لغزش و بیرون کشیده شدن مسلح‌کننده می‌تواند باعث کاهش نیروهای مقاوم عمود بر سطح لغزش و در نتیجه ضریب اطمینان شیروانی گردد. به منظور بررسی صحت درستی این مساله تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS که مبتنی بر روش المان محدود می‌باشد انجام شده است. به عنوان نتیجه دیده می‌شود که اندرکنش ژئوتکستایل و خاک تأثیر چندانی در کاهش نیروهای مقاوم ضریب اطمینان حاصل از آن ندارد.

واژه‌های کلیدی: شیروانی خاکی، تسلیح، روش اشمرتمن، سطح لغزش، المان محدود

۱- مقدمه

- استفاده از ژئوسنتتیک‌هایی نظیر ژئو گریدها و ژئوتکستایل‌ها در تسلیح شیروانی‌ها کاربرد روز افزونی دارد. در این راستا روش‌های مختلفی برای طراحی شیروانی‌های مسلح با ژئو سنتتیک‌ها ارایه شده است. تفاوت روش‌های طراحی موجود عمدتاً در نوع فرضیات به کار رفته شامل شکل سطح لغزش (یک خطی، دوخطی، دایره‌ای، اسپایرال) و در بخش طراحی در نظر گرفتن طول المان و ... می‌باشد.
- یکی از روش‌های طراحی شیروانی‌های مسلح روش اشمرتمن می‌باشد. در این روش هم مثل بقیه روش‌های مشابه از فرضیاتی استفاده می‌شود که در زیر به آنها اشاره می‌شود. (اشمرتمن وهمکاران، ۱۹۸۷).
- ۱- خاک شیروانی دانه‌ای است ($C=0$ و ϕ)
 - ۲- خصوصیات خاک به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است.
 - ۳- سطح شیب یکنواخت است و در بالاترین نقطه شیب سطح زمین تخت در نظر گرفته می‌شود.
 - ۴- فشار آب منفذی صفر است.
 - ۵- خاک زیر خاکریز پایدار است.
- استفاده از ژئوسنتتیک‌هایی نظیر ژئو گریدها و ژئوتکستایل‌ها در تسلیح شیروانی‌ها کاربرد روز افزونی دارد. در این راستا روش‌های مختلفی برای طراحی شیروانی‌های مسلح با ژئو سنتتیک‌ها ارایه شده است. تفاوت روش‌های طراحی موجود عمدتاً در نوع فرضیات به کار رفته شامل شکل سطح لغزش (یک خطی، دوخطی، دایره‌ای، اسپایرال) و در بخش طراحی در نظر گرفتن طول المان و ... می‌باشد.
- یکی از روش‌های طراحی شیروانی‌های مسلح روش اشمرتمن می‌باشد. در این روش هم مثل بقیه روش‌های مشابه

این تنش از طرف المان بر خاک وارد می‌شود. مولفه قائم برآیند چنین تنشی می‌تواند در جهت مخالف یعنی کاهش نیروهای مقاوم که بر سطح لغزش عمودند و در نتیجه کاهش مقاومت اثر کند. در این صورت روش اشمیرتن مقاومت خاک را بیش از مقدار واقعی تخمین می‌زند و در واقع طراحی دست بالا صورت می‌گیرد.

۲- هدف تحقیق

تحقیق حاضر با هدف بررسی این موضوع در روش اشمیرتن به منظور تاثیر آن بر ضریب اطمینان شیب‌های مسلح صورت گرفته است. در این ارتباط با استفاده از روش المان محدود تحلیل پایداری شیروانی‌های مختلفی انجام شده و میزان تنش روی سطح لغزش به دست می‌آید و در نهایت ضریب اطمینان حاصله با ضریب اطمینان روش اشمیرتن مقایسه می‌گردد. در صورتی که ضریب اطمینان حاصل از ضریب اطمینان روش اشمیرتن کمتر باشد بدین معنی است که اندر کنش خاک و مسلح‌کننده باعث کاهش تنش‌ها یا نیروهای قائم بر سطح لغزش می‌شود.

۳- مدل شیروانی خاکی

۳-۱- پارامترهای خاکریز

شیروانی‌های مدل شده ماسه‌ای بوده از شیب ۳۰ تا ۷۰ درجه با زوایای اصطکاک ۲۰ تا ۴۰ درجه مدل شده اند. ماسه مورد

۶- اثر نیروهای زلزله نادیده گرفته می‌شود.

۷- بار یکنواخت را می‌توان در بالای شیب در نظر گرفت.

۸- زاویه اصطکاک وجه مشترک لایه‌های خاک با ژئو تکستایل

۹. برابر زاویه اصطکاک داخلی است. ($\delta = 0.9\phi$)

در روش اشمیرتن ضریب اطمینان به دست آمده از نیروهای حاصل از تحلیل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_s = \frac{R(\sum(W \cos \theta \cdot \tan \phi) + T_{all} \sin \theta \tan \phi) + T_{all} \times H}{(\sum(W \sin \theta)) \times R} \quad (1)$$

در رابطه (۱) پارامترها عبارتند از:

W : وزن هر قطعه در محاسبه ضریب اطمینان شیروانی به روش قطعات

T_{all} : نیروی کششی مجاز هر مسلح‌کننده

θ : زاویه انحراف مماس بر انتهای هر قطعه نسبت به افق

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی خاک

R : شعاع دایره لغزش

H : فاصله قائم هر مسلح‌کننده تا مرکز دایره لغزش

همانطور که در رابطه (۱) دیده می‌شود مولفه قائم نیروی

کششی مسلح‌کننده ($T_{all} \sin \theta$) باعث افزایش نیروهای قائم

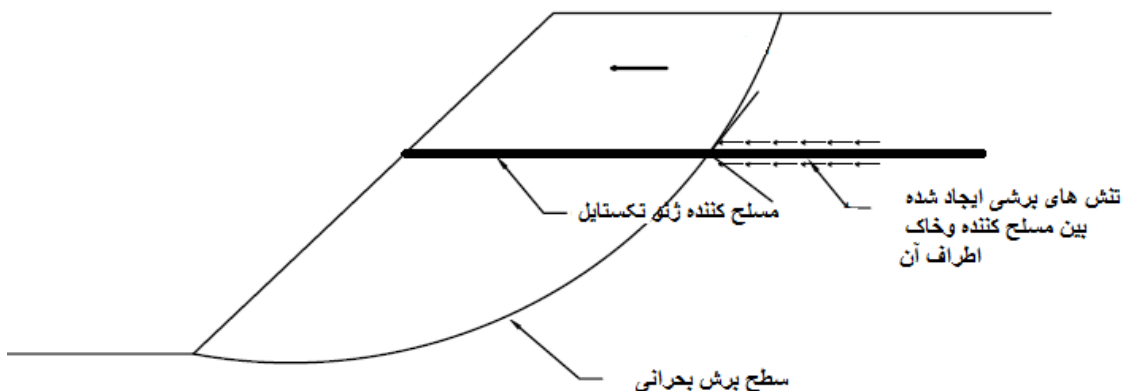
بر سطح لغزش می‌شود. در نتیجه نیروهای مقاوم موثر بر

پایداری افزایش یافته و ضریب اطمینان شیروانی را افزایش

می‌دهند.

اما در واقع هنگامی که المان تسلیح شروع به لغزش می‌کند

از طرف خاک بر آن تنش برشی وارد می‌شود که عکس‌العمل



شکل ۱. وضعیت پخش تنش روی لایه لغزش در اطراف المان تسلیح

k : ضریب فشار جانبی اشمرتمن

γ : وزن مخصوص خاک

Z : ارتفاع از بالای شیب

در رابطه بالا Z برابر ارتفاع دیوار در نظر گرفته می‌شود. مقدار k در این رابطه نیز از نمودار اشمرتمن و براساس زاویه شیب و زاویه اصطکاک بسیج شده خاک بدست می‌آید. لازم به ذکر است که در طراحی به روش اشمرتمن مقدار Z برای هر مسلح‌کننده از بالای شیب محاسبه می‌شود در حالی که در اینجا مقدار Z برای همه مسلح‌کننده‌ها یکسان و برابر ارتفاع دیوار در نظر گرفته می‌شود. علت این امر این است که نیروی کششی مجاز هر مسلح‌کننده (T_{all}) از رابطه ۲ به دست می‌آید. با فرض رفتار الاستیک خطی برای مسلح‌کننده‌ها از رابطه (۳) مقدار مدول الاستیک فابریک به دست آمده و به آباکوس معرفی می‌شود. در حالی که اگر برای هر مسلح‌کننده یک ارتفاع در نظر گرفته شود مسلماً T_{all} و از آنجا مدول الاستیسیته (E) هر مسلح‌کننده متفاوت خواهد بود. اما اگر همه مسلح‌کننده‌ها براساس بحرانی‌ترین وضعیت یعنی پایین‌ترین مسلح‌کننده طراحی شوند با توجه به این که مقدار کشش در هریک از آنها پس از تحلیل قرائت می‌شود در واقع در هر مسلح‌کننده با توجه به وضعیت آن و تنش‌های موجود در آن نیروی کششی بسیج می‌شود و این با واقعیت تطابق دارد.

$$\varepsilon = \frac{T_{all} \cdot b}{E \cdot A} \quad (3)$$

b : عرض هر مسلح‌کننده

با توجه به مطالب بالا برای هر شیب مسلح‌کننده‌های مناسب طراحی و پارامترهای مورد نیاز به برنامه معرفی می‌شود. رفتار مسلح‌کننده الاستیک خطی در نظر گرفته می‌شود.

۴- مشخصات مدل شیروانی‌ها

در مطالعه حاضر پس از ساخت مدل هندسی و معرفی پارامترهای مورد نیاز خاکریز و مسلح‌کننده مش‌بندی شیروانی توسط المان‌های چهار ضلعی چهارگانه‌ای با ۴ نقطه گوسی در شرایط کرنش مسطح انجام می‌گردد. مسلح‌کننده‌ها نیز توسط المان‌های خرابایی دو گره‌ای خطی با دو نقطه گوسی مدل می‌شوند.

نظر از نوع ماسه متوسط بوده و مدل رفتاری در نظر گرفته شده مدل موهر-کولمب است. در این مدل رفتاری که یک مدل الاستیک-پلاستیک کامل است پارامترهای مورد نیاز برای بخش الاستیک، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون و پارامترهای مورد نیاز برای بخش پلاستیک، زاویه اصطکاک، زاویه اتساع خاک و چسبندگی می‌باشد. ۳ مقادیر فرض شده برای این پارامترها در جدول (۳) خلاصه شده است.

جدول ۱. پارامترهای ژئوتکنیکی ماسه متوسط برای شیروانی

خاکی مدل

پارامتر	مقدار	مقادیر در نظر گرفته شده در تحلیل
مدول (E) الاستیسیته	۴۰-۲۰ (مگا پاسکال)	۳۰
ضریب پواسون (ν)	۰.۳-۰.۲۵	۰.۲۸
زاویه اتساع (ψ)	(درجه) ۲۰-۱۰	۱۰

از آنجایی که نرم‌افزار آباکوس عدد صفر را برای مقدار چسبندگی مصالح نمی‌پذیرد، این مقدار برابر ۱ پاسکال انتخاب شده است.

با توجه به جدول بالا مقادیر زیر برای خاک تمامی شیروانیها در نظر گرفته شده است.

ارتفاع تمامی خاکریزها ۱۰.۳ متر و وزن مخصوص خاک

برابر ۲۰ کیلو نیوتن بر متر مکعب در نظر گرفته شده است.

۳-۲- طراحی مسلح‌کننده‌ها با استفاده از روش

اشمرتمن

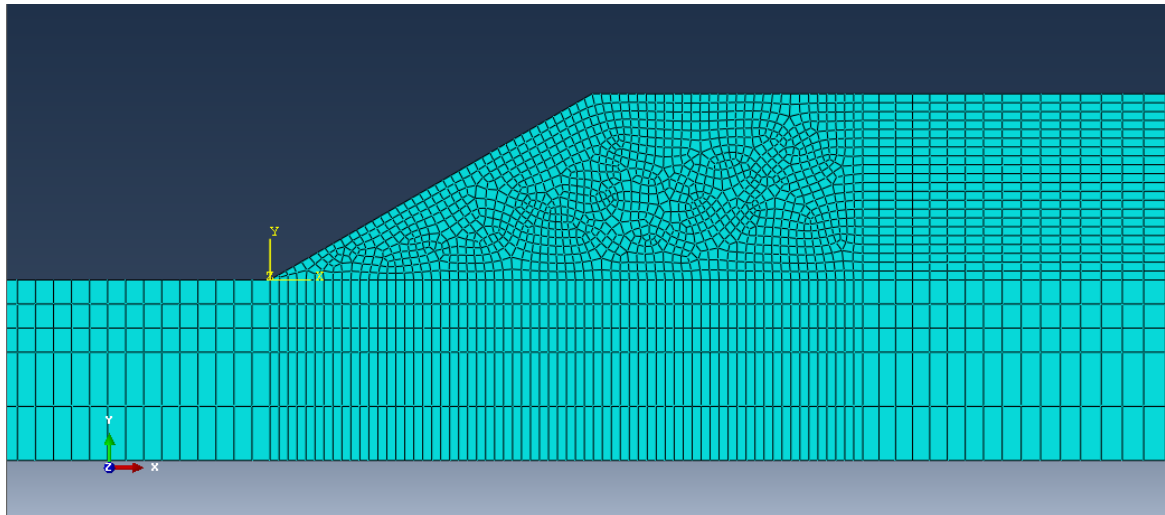
همانطور که گفته شد هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر اندرکنش ژئوتکتایل و خاک بر ضریب اطمینان حاصل از روش اشمرتمن می‌باشد.

به منظور طراحی شیب‌ها به روش اشمرتمن فاصله مسلح‌کننده‌ها یکسان و برابر ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. در این روش رابطه فاصله مسلح‌کننده‌ها برابر با:

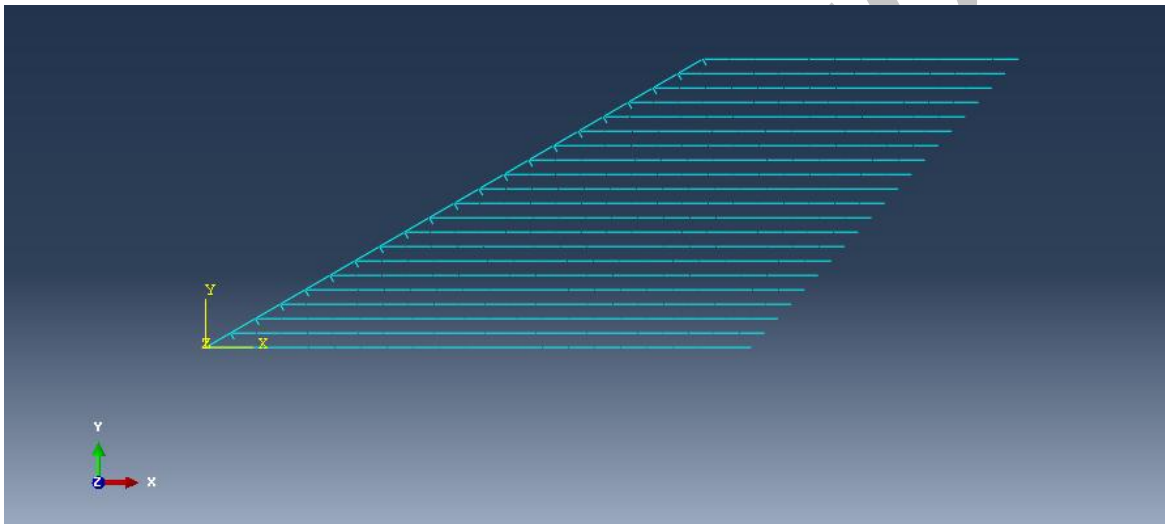
$$S_v = \frac{T_{all}}{k \cdot \gamma \cdot z} \quad (2)$$

می‌باشد که:

T_{all} : نیروی مجاز مسلح‌کننده



(الف)



(ب)

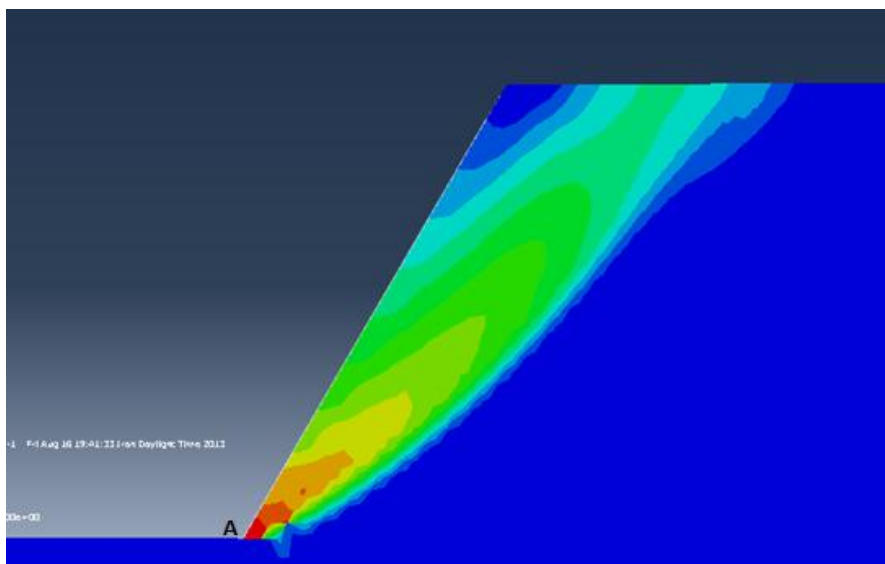
شکل ۲. الف) مدل شیروانی خاکی مش بندی شده، ب) مدل مسلح کننده های مش بندی شده

۵- تحلیل شیروانی و تعیین سطح لغزش

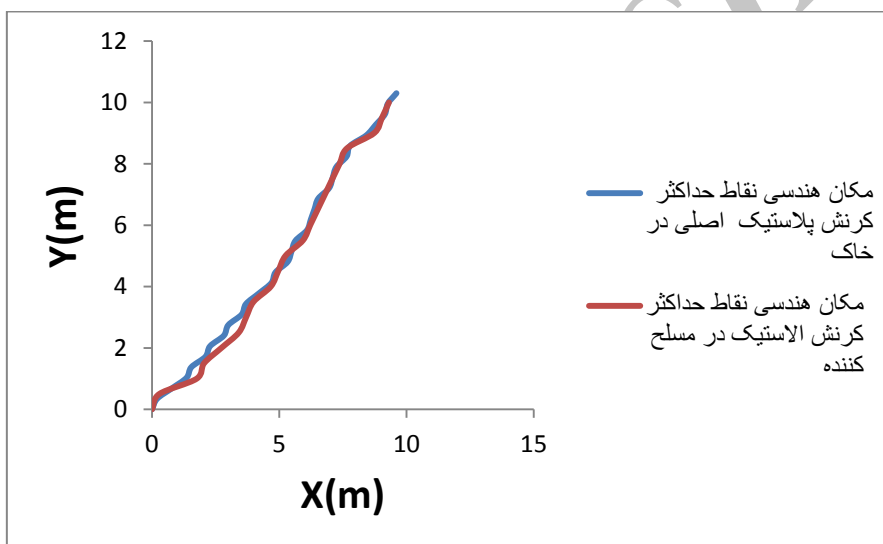
داشته باشد. در این صورت می توان مکان هندسی حداکثر پارامترهای مذکور را به عنوان سطح لغزش شیروانی در نظر گرفت.

شکل ۵ نتایج تحلیل یک شیروانی با زاویه شیب ۶۰ درجه و زاویه اصطکاک ۴۰ درجه را نشان می دهد. برای این شیب، نقاطی از خاک که کرنش پلاستیک حداکثر و نقاطی از مسلح کننده که کرنش الاستیک حداکثر دارند تعیین شده و نمودار مکان هندسی این نقاط پس از ترسیم با هم مقایسه می شوند. (شکل ۳). در این شکل محور X معرف طول نقاط و محور Y معرف عرض نقاط می باشد. مبدا مختصات در این شکل با نقطه A روی پنجه شیب مطابقت دارد.

به منظور یافتن تنش های روی سطح لغزش ابتدا بایستی سطح لغزش هر شیروانی پس از تحلیل تعیین گردد. در نرم افزار آباکوس سطح لغزش مشخصی به عنوان سطح لغزش یک شیروانی معرفی نمی شود بلکه کرنش ها، جابجایی ها و تنش ها به صورت کانتورهای پیوسته نمایش داده می شوند. با این حال بر طبق نظرات مختلف (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲) و (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۹) سطح لغزش را می توان مکان هندسی حداکثر کرنش در مسلح کننده ها و یا مکان هندسی حداکثر کرنش اصلی پلاستیک در خاک شیروانی در نظر گرفت. بنابراین باید مکان حداکثر کرنش های پلاستیک اصلی در خاک با مکان حداکثر کرنش های الاستیک موجود در مسلح کننده مطابقت



شکل ۳. کانتورهای کرنش پلاستیک در خاک شیروانی با $\phi=40$ و $\beta=60$



شکل ۴. مقایسه مکان هندسی نقاط حداکثر کرنش پلاستیک در خاک و حداکثر کرنش الاستیک در مسلح در شیب با $\phi=4$ و $\beta=60$

تنش در اطراف آن محاسبه گردد و سپس با ضریب اطمینانی که اشمترمن فقط با توجه به اثر مولفه قائم مسلح‌کننده بر مقاومت برشی محاسبه می‌کند مقایسه گردد. روابط (۴) و (۵) و (۶) به ترتیب ضریب اطمینان اشمترمن، کرنر و ضریب اطمینان اصلاح شده را نشان می‌دهد.

$$F_{sschmertmann} = \frac{(R \tan \phi) \sum (w \cos \theta + T_{all} \sin \theta) + T_{all} \times H}{R \times \sum (w \sin \theta)} \quad (۴)$$

$$F_{skorner} = \frac{(R \tan \phi) \sum (w \cos \theta) + T_{all} \times H}{R \times \sum (w \sin \theta)} \quad (۵)$$

$$F_{smodified} = \frac{(R \tan \phi) \sum (\sigma_{\theta} \times \Delta l) + T_{all} \times H}{R \times \sum (w \sin \theta)} \quad (۶)$$

- در رابطه ۴ فرض شده که المان در هنگام لغزش توده خاک

همانطور که مشاهده می‌شود مکان هندسی نقاط با حداکثر کرنش الاستیک در مسلح‌کننده با مکان هندسی نقاط حداکثر کرنش پلاستیک در خاک تطابق خوبی دارد. بنابراین می‌توان برای تعیین سطح لغزش شیروانی از نقاط حداکثر کرنش پلاستیک در خاک استفاده کرد چون منطقی است که سطح لغزش در یک شیروانی همان نقاط حداکثر کرنش یا تنش در مسلح‌کننده باشد. (با فرض رفتار خطی برای مسلح‌کننده). پس از تعیین مکان سطح لغزش برای هر شیروانی تنش‌های عمود و برشی روی سطح لغزش تعیین می‌گردد.

همانطور که گفته شد باید ضریب اطمینان حاصل از تنش‌های روی سطح لغزش با توجه به اثر مسلح‌کننده بر پخش

شرطی می‌تواند در روابط مورد استفاده قرار گیرد که برابر با نیروی کششی نهایی مسلح‌کننده (T_{all}) باشد و بدین منظور لازم است که ضریب اطمینانی که نرم‌افزار برای هر یک از شیب‌ها می‌دهد در شرایط حدی و برابر ۱ باشد. در این ارتباط مجموع مقادیر نیروی کششی در مسلح‌کننده‌ها بایستی برابر با حداکثر نیروی وارده از طرف خاک در ارتفاع خاکریز باشد یعنی

$$\sum_{i=1}^n T_i = 0.5 \times k \times \gamma \times H^2 \quad (7)$$

در رابطه بالا k ضریبی است که از نمودارهای اشمترمن و با توجه به زاویه شیب شیروانی و زاویه اصطکاک بسیج شده خاک به دست می‌آید، γ وزن مخصوص خاک و H ارتفاع دیوار است. با داشتن γ ، H و مجموع نیروهای موجود در مسلح‌کننده‌ها می‌توان k و از آنجا از طریق نمودارهای اشمترمن زاویه اصطکاک بسیج شده خاک را بدست آورد. بر طبق رابطه

$$F_s = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_m} \quad (8)$$

در صورتی که ضریب اطمینان برابر ۱ به دست بیاید به این معنی است که نیروهای بسیج شده در مسلح‌کننده‌ها همان نیروهای نهایی در آنها است. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که پس از تحلیل هر شیب می‌توان از نیروی کششی بسیج شده در مسلح‌کننده در روابط ضریب اطمینان استفاده کرد. جدول (۲) ضریب اطمینان حاصل از رابطه (۸) برای همه شیب‌های مسلح در مطالعه حاضر را نشان می‌دهد.

۷- تنش‌های روی سطح لغزش

پس از یافتن مکان سطح لغزش نوبت به محاسبه ضرایب اطمینان می‌رسد. محاسبه ضرایب اطمینان به روش‌های کرنر و اشمترمن نیازمند بدست آوردن وزن توده خاک لغزنده و نیروهای کششی مسلح‌کننده‌ها در هر شیب می‌باشد. برای به دست آوردن وزن و مشخصات هندسی هر قطعه در محاسبه ضرایب اطمینان به روش‌های کرنر و اشمترمن همانطور که اشاره شد یک نرم‌افزار ترسیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نیروی کششی مسلح‌کننده‌ها نیز پس از تحلیل شیب‌ها از اطلاعات خروجی تحلیل به دست خواهند آمد. اما برای به دست آوردن ضریب اطمینان به روش اصلاحی تنش‌های روی سطح لغزش (تنش‌های نرمال و تنش‌های برشی روی سطح لغزش) استخراج گردیده و سپس با استفاده از رابطه (۶) ضریب اطمینان محاسبه می‌گردد. به منظور یافتن تنش‌ها با استفاده از روابط مور-کولمب تنش‌های قائم و برشی در راستای زاویه

می‌چرخد و موازی سطح لغزش قرار می‌گیرد. این فرض باعث می‌شود که مولفه قائم نیروی مسلح‌کننده در حالت حدی ($T_{all} \sin \theta$) باعث افزایش نیروهای قائم وارد بر سطح لغزش شده و مقاومت برشی را افزایش دهد.

- در رابطه کرنر فرض می‌شود که المان در لغزش توده خاک به صورت افقی باقی می‌ماند و ممان مقاوم حاصل از نیروی آن باعث افزایش مقاومت چرخشی توده لغزش می‌گردد.

- رابطه (۶) یک رابطه اصلاحی است که براساس تحقیق حاضر به دست آمده است. در این رابطه فرض می‌شود نیروی برشی که از طرف المان به خاک در هنگام لغزش به بیرون وارد می‌شود بر تنش‌های قائم روی سطح لغزش اثر منفی دارد و از مقاومت برشی ناشی از این تنش‌ها می‌کاهد. در این رابطه σ_{θ} همان تنش‌های قائم روی سطح لغزش است.

در روابط (۴) و (۵) و (۶)، w وزن توده خاک هر قطعه، θ زاویه پای هر قطعه با افق، Δl عرض هر قطعه، φ زاویه اصطکاک خاک، H فاصله قائم هر مسلح‌کننده تا مرکز دایره لغزش، R شعاع دایره لغزش، σ_{θ} تنش نرمال بر پای قطعه و T_{all} نیروی کششی مجاز مسلح‌کننده مربوط به آن قطعه است. برای به دست آوردن پارامترهای هندسی پس از به دست آوردن مکان سطح لغزش هر شیروانی مدل شیروانی و سطح لغزش در یک نرم‌افزار ترسیمی مثل اتوکد ایجاد می‌گردد. سطح لغزشی که با استفاده از نقاط ذکر شده به دست می‌آید به جهت امکان و سهولت محاسبات به صورت دایره‌ای مدل خواهد شد. بدین منظور با استفاده از مختصات سه نقطه در بالا، وسط و پایین شیب بهترین دایره ممکن به عنوان سطح لغزش در نظر گرفته می‌شود. سپس همانند روش قطعات در محاسبه ضریب اطمینان، گوه لغزش در آن به قطعات مناسب تقسیم شده و برای هر قطعه زاویه پای هر قطعه با افق (θ)، مساحت هر قطعه (A)، و عرض هر قطعه Δl و شعاع و مرکز دایره لغزش محاسبه می‌گردد.

۶- مقایسه مقادیر ضرایب اطمینان

با توجه به روابط (۴) تا (۶) مشخص است که در صورت کسر، از مقاومت نهایی و در مخرج آن از مقاومت بسیج شده استفاده می‌گردد. به دلیل این که نیروی کششی مسلح‌کننده که در روابط بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد همان نیروی کششی است که پس از تحلیل از تنش بسیج شده در مسلح‌کننده‌ها بدست می‌آید به

۸- نتیجه گیری

ضرایب اطمینان با سه روش کرنر، اشمرتمن و روش پیشنهادی در این تحقیق با نام روش اصلاحی به دست آمده است.

ضرایب اطمینان محاسبه شده در جدول ۳ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در اکثر موارد تفاوت ضریب اطمینان به روش اصلاحی با روش اشمرتمن مقدار قابل توجهی نیست و قابل اغماض می‌باشد. بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود در محاسبه ضریب اطمینان پایداری یک شیب با استفاده از روش اشمرتمن تنش برشی ایجاد شده بین توده خاک و مسلح‌کننده به دلیل جابجایی توده خاک، اثر چندانی بر مقاومت خاک در برابر لغزش و در نتیجه کاهش ضریب اطمینان پایداری ندارد و این روش برای بررسی پایداری شیب در برابر لغزش مناسب و قابل استناد است.

سطح لغزش نسبت به افق محاسبه می‌گردند. سپس با داشتن سایر پارامترهای مورد نیاز ضرایب اطمینان از روابط (۴) و (۵) و (۶) محاسبه خواهند شد.

جدول ۲. ضرایب اطمینان شیروانی‌ها حاصل از نیروی کششی

مسلح‌کننده

زاویه شیب (درجه)	زاویه اصطکاک خاک شیروانی (درجه)	ضریب اطمینان
۳۰	۲۰	۱.۰۳
۳۰	۳۰	۱.۰۴
۴۰	۲۰	۰.۹۷
۴۰	۳۰	۱.۰۰
۴۰	۴۰	۱.۰۳
۵۰	۲۰	۰.۹۷
۵۰	۳۰	۱.۰۰
۵۰	۴۰	۱.۰۳
۶۰	۲۰	۰.۹۵
۶۰	۴۰	۰.۹۸
۷۰	۲۰	۰.۹۵
۷۰	۳۰	۰.۹۶
۷۰	۴۰	۰.۹۶

جدول ۳. مقایسه ضرایب اطمینان

β (درجه)	ϕ (درجه)	$fSkorner$	$fSchmertmann$	$fSmodified$
۳۰	۲۰	۹۸۰	۰.۲۱	۰.۷۱
۳۰	۳۰	۰.۱	۰.۰۱	۰.۰۱
۴۰	۲۰	۹۶۰	۰.۴۱	۰.۹۱
۴۰	۳۰	۹۶۰	۰.۱۱	۰.۴۱
۴۰	۴۰	۰.۴۱	۰.۵۱	۱.۲۱
۵۰	۲۰	۰.۱۱	۱.۱۱	۱.۶۱
۵۰	۳۰	۹۴۰	۰.۳۱	۰.۶۱
۵۰	۴۰	۰.۲۱	۱.۰۱	۱.۷۱
۶۰	۲۰	۱۳۱	۲.۵۱	۳.۲۱
۶۰	۳۰	۰.۸۱	۱.۹۱	۲.۹۱
۶۰	۴۰	۸۹۰	۹.۸۰	۹.۱۰
۷۰	۲۰	۱.۲۱	۲.۸۱	۳.۰۱
۷۰	۳۰	۲.۰۱	۳.۴۱	۴.۰۱
۷۰	۴۰	۸۳۰	۰.۰۱	۰.۰۱

- fabric assn. Int.,st.Paul,Minn., pp. 108-120.
- Budhu, M., " Soil mechanics and foundations" , 2nd Edition(2008), USA,John Wiley & Sons.
 - Yang, K., J. Zornberg (2012). "Stress distribution and development within Geosynthetic-reinforced soil slopes." Geosynthetics International 19(1): pp. 62-78.
 - Zheng, H., G. Sun (2009). "A practical procedure for searching critical slip surfaces of slopes based on the strength reduction technique." Computers and Geotechnics 36(1):pp. 1-5.
 - Zheng, H., G. Sun (2009). "A practical procedure for searching critical slip surfaces of slopes based on the strength reduction technique." Computers and Geotechnics 36(1): pp. 1-5.

- داس. براجا. ام. (۱۹۴۱)، "اصول مهندسی ژئوتکنیک"، شاپور طاحونی، جلد اول، فصل ۶ و فصل ۸.

همانطور که در تمامی موارد دیده می شود ضریب اطمینان حاصل از روش کرنر از ضرایب اطمینان حاصل از دو روش دیگر کمتر است. با توجه به رابطه (۵) و مقایسه آن با دو رابطه (۴) و (۶) واضح است که در رابطه کرنر اثر مقاومتی مولفه قائم نیروی مسلح کننده در پخش تنش در روی سطح لغزش در نظر گرفته نشده و نیروی مسلح کننده تنها باعث افزایش مقاومت چرخشی گوه لغزش می گردد. بنابراین انتظار می رود که با کم شدن نیروی مقاوم در برابر لغزش در روش کرنر ضریب اطمینان حاصل از این روش نیز کمتر از دو روش دیگر باشد.

۹- مراجع

- Schmertmann, G.R., V.E. Chourey - Curtis, Johansson, R.D. ,and Bonaparte ,R. ,(1987). " Design charts for Geogrid-reinforced soil slopes." Proc. Geosynthetics '87,Vol.1, Industrial

Archive of SID