

محاسبه پروفیل تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح با رویه دورپیچ با استفاده از روش تیر برشی

حمیده حمیدی^۱، سید احسان سیدی حسینی نیا^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

eseyedi@um.ac.ir

چکیده

تغییر شکل جانبی بیش‌ازحد در دیوارهای خاک مسلح می‌تواند منجر به آسیب‌های جدی به سازه و حتی تخریب کامل آن گردد. از این رو، تحلیل دقیق جابه‌جایی این دیوارها جهت پیش‌بینی رفتار و جلوگیری از خسارات احتمالی ضروری است. در روش تحلیلی حاضر با بهره‌گیری از رویکرد همگن‌سازی، ناحیه خاک مسلح به صورت یک تیر برشی همگن و ناهمسان تحت فشار جانبی خاکریز مجاور مدل‌سازی می‌گردد و تأثیر سه پارامتر طول، سختی و فاصله قائم لایه‌های مسلح‌کننده بر تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح بررسی می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش‌های پیشین مقایسه و اعتبارسنجی شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که افزایش نسبت طول مسلح‌کننده به ارتفاع دیوار از ۰/۷ به ۱/۱ موجب کاهش ۳۶ درصدی در تغییر شکل جانبی می‌شود. همچنین، کاهش نسبت فاصله قائم لایه‌ها به ارتفاع دیوار از ۰/۷۵ به ۰/۲۵ سبب کاهش ۹ درصدی در جابه‌جایی می‌گردد. علاوه بر این، افزایش سختی مسلح‌کننده از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر نیز کاهش ۳۹ درصدی در تغییر شکل را به همراه دارد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که از بین پارامترهای مورد بررسی، سختی مسلح‌کننده‌ها بیشترین و فاصله قائم لایه‌ها کمترین اثر را در کاهش تغییر شکل جانبی دیوار دارند.

کلمات کلیدی: خاک مسلح، تغییر شکل جانبی، روش تیر برشی، همگن‌سازی.

مقدمه

دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی^۱ (GRS) طی دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در پایدارسازی شبروانی‌ها و سازه‌های نگهبان، مورد توجه گسترده مهندسان ژئوتکنیک قرار گرفته‌اند. در این سازه‌ها لایه‌های مسلح‌کننده ژئوسنتتیکی نظیر ژئوتکستایل و ژئوگرید به‌صورت موازی و با فاصله کم در خاک دانه‌ای متراکم قرار می‌گیرند. فاصله بین مسلح‌کننده‌ها در این دیوارها عموماً کمتر از ۳۰ سانتی‌متر بوده و در اغلب موارد حدود ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود [۲ و ۱]. روش‌های طراحی دیوارهای خاک مسلح عمدتاً بر روی حالات حدی مقاومتی آن‌ها (مانند بیرون کشیدگی مسلح‌کننده، گسیختگی داخلی و پایداری کلی) متمرکز شده‌اند. با این حال، بیشتر آسیب‌های وارد بر این سازه‌ها ناشی از تغییر شکل بیش‌ازحد در آن‌ها است. کورنر و همکاران^۲ [۳]، ۳۲۰ دیوار خاک مسلح را بررسی کردند که از این تعداد، ۹۹ دیوار به دلیل تغییر شکل جانبی بیش‌ازحد مجاز آسیب‌دیده بودند.

تحقیقات متعددی با هدف برآورد تغییر شکل جانبی دیوارهای GRS انجام شده است. گیروود^۳ [۴] با رویکردی مبتنی بر تعادل حدی و با استفاده از حداکثر کرنش در لایه‌های مسلح‌کننده، تغییر شکل جانبی را محاسبه کرد. کریستوفر و همکاران^۴ [۵] با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی، رابطه‌ای بین حداکثر تغییر شکل جانبی و پارامترهایی نظیر طول مسلح‌کننده و ارتفاع دیوار ارائه دادند. همچنین وو^۵ [۶]، تغییر شکل جانبی دیوارهای خاک مسلح را با استفاده از حداکثر کرنش موجود در لایه‌های مسلح‌کننده محاسبه کرد. نتایج نشان داد این روش عمدتاً برای دیوارهایی با ارتفاع کمتر از ۶/۱ متر و با

¹ Geosynthetic reinforced soil walls

² Koerner et al

³ Giroud

⁴ Christopher et al

⁵ Wu

رویه انعطاف‌پذیر (نظیر رویه دورپیچ)، قابل استفاده است. جول و میلیگان^۱ [۷] با استفاده از تحلیل تنش و کرنش توده‌ای از خاک مسلح، نمودارهای طراحی جهت تخمین تغییر شکل جانبی دیوارهای خاک مسلح ارائه دادند که در آن اثر سختی رویه دیوار صرف نظر شده است. در ادامه، وو و همکاران^۲ [۸] با اصلاح روش پیشنهادی جول و میلیگان [۷]، یک مدل تحلیلی ارائه کردند به طوری که امکان برآورد پروفیل تغییر شکل جانبی دیوارهای GRS را با در نظر گرفتن اثر سختی رویه دیوار فراهم می‌سازد. در مطالعه‌ای دیگر، لیو و یانگ^۳ [۹]، ناحیه خاک مسلح را به صورت یک تیر برشی که تحت فشار جانبی خاکریز قرار دارد، مدل‌سازی کردند و تغییر شکل جانبی دیوار را به صورت حاصل جمع سه مؤلفه که شامل جابه‌جایی جانبی در پشت دیوار، تغییر طول مسلح‌کننده و لغزش بین خاک و مسلح‌کننده است، در نظر گرفتند. لازم به ذکر است در این روش اثر سختی رویه لحاظ نشده است همچنین این روش تنها برای مسلح‌کننده‌های فلزی قابل استفاده است. با توجه به مباحث مطرح شده، توسعه‌ی مدل‌های تحلیلی که قادر به لحاظ تأثیر پارامترهای مختلف مصالح خاک و مسلح‌کننده بر میزان تغییر شکل جانبی دیوارهای خاک مسلح باشند، ضروری به نظر می‌رسد. در همین راستا، هدف این پژوهش به کارگیری رویکرد همگن‌سازی به منظور بررسی و تحلیل نقش پارامترهای مختلف مسلح‌کننده (نظیر سختی، فاصله‌ی قائم و طول) بر میزان تغییر شکل جانبی دیوارهای GRS است. در حقیقت با استفاده از رویکرد همگن‌سازی، ناحیه‌ی خاک مسلح به صورت محیطی همگن و ناهمسان مدل‌سازی می‌شود، به طوری که پارامترهای مکانیکی محیط همگن شده، تابعی از پارامترهای خاک، پارامترهای مسلح‌کننده و نسبت حجمی هر کدام از مصالح تعیین می‌گردد.

۲- روش تحقیق

۲-۱ مدل تیر برشی برای دیوار خاک مسلح

این پژوهش به تحلیل تغییر شکل جانبی دیوارهای خاک مسلح ژئوستاتیکی با بهره‌گیری از روش تیر برشی و رویکرد همگن‌سازی می‌پردازد. در روش پیشنهادی مطابق شکل ۱-الف، دیوار خاک مسلح قائم با ارتفاع H که بر روی پی صلب مستقر است، توسط مسلح‌کننده‌هایی از نوع ژئوسنتیک با طول L و فاصله قائم S_v از یکدیگر تسلیح شده است. همان‌طور که در شکل ۱-ب مشاهده می‌شود، ناحیه خاک مسلح به صورت یک تیر برشی همگن و ناهمسان که تحت فشار جانبی خاکریز قرار دارد، در نظر گرفته می‌شود. با توجه به دیاگرام آزاد نیروهای افقی وارد بر یک قطعه از تیر برشی به ضخامت dz که در شکل ۱-پ ارائه شده است، معادله تعادل نیروهای افقی مطابق رابطه ۱ استخراج می‌شود [۹]. فرضیات تحقیق حاضر عبارت‌اند از:

- (۱) جنس مصالح خاکی در خاکریزهای مسلح و حائل، همگن، دانه‌ای و غیرچسبنده است.
- (۲) دیوار خاک مسلح روی پی صلب ساخته شده است و از تغییر شکل‌های سیستم فونداسیون صرف نظر می‌شود.
- (۳) اثر سختی رویه دیوار در نظر گرفته نمی‌شود در نتیجه این روش برای دیوارهای ساخته شده از رویه با سختی کم مانند دیوار با رویه دورپیچ مناسب است.

$$\sqrt{F_x} = 0 \rightarrow Q - (Q - dQ) - pdz = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{dQ}{dz} = p \quad (۲)$$

در روابط بالا، Q نیروی برشی متوسط روی جدار قطعه است. همچنین p فشار جانبی خاکریز است که بر قطعه مورد نظر وارد می‌شود و مطابق روابط ۳ و ۴ تعیین می‌گردد.

$$p = (1 - \sin \phi) \sigma_v \quad (۳)$$

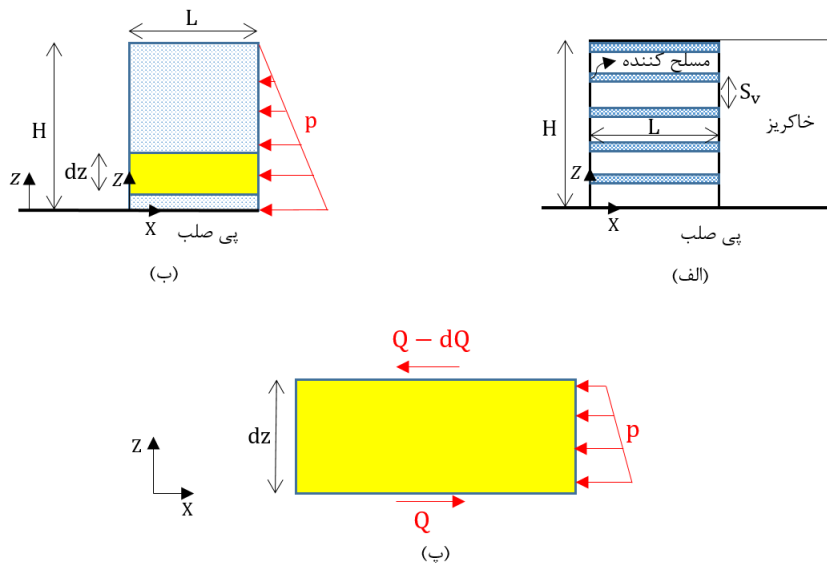
$$\sigma_v = \gamma(H - z) + q \quad (۴)$$

^۱ Jewell and Milligan

^۲ Wu et al

^۳ Liu and Yong

در اینجا ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک و σ_v تنش قائم در توده خاک مسلح است. همچنین γ وزن مخصوص خاک، H ارتفاع دیوار خاک مسلح، Z تراز قائم از کف دیوار و q سربار اضافی است.



شکل ۱- مدل تیر برشی برای دیوار خاک مسلح (الف) هندسه دیوار خاک مسلح (ب) مدل تیر برشی دیوار خاک مسلح (پ) دیاگرام آزاد نیروهای افقی در یک قطعه از تیر برشی

نیروی برشی Q را می توان به صورت زیر نوشت.

$$Q = \tau \times L \times 1 = G_{eq} \times \frac{dU}{dz} \times L \quad (5)$$

در این جا τ تنش برشی متوسط و U جابه جایی جانبی تیر برشی است همچنین G_{eq} مدول برشی معادل تیر برشی همگن شده است که مطابق با رابطه ۱۸ تعیین می گردد.

با جایگذاری روابط ۲ و ۵ در رابطه ۱ داریم:

$$G_{eq} \times \frac{d^2 U}{dz^2} + \frac{dG_{eq}}{dz} \times \frac{dU}{dz} = \frac{p(z)}{L} \quad (6)$$

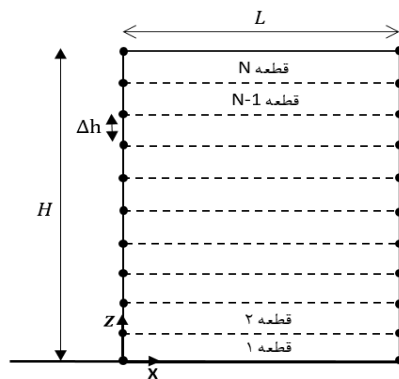
در رابطه بالا $\frac{dG_{eq}}{dz}$ مشتق اول مدول برشی معادل تیر برشی همگن شده (G_{eq}) نسبت به ارتفاع Z است که مطابق با رابطه ۱۹ تعیین می گردد.

در این تحقیق، جهت تحلیل رفتار تیر برشی با ارتفاع مشخص از روش تفاضل محدود استفاده شده است. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود یک تیر برشی با ارتفاع H به N قطعه افقی با ضخامت دلخواه Δh تقسیم بندی شده است ($\Delta h = H/N$). در نتیجه تعداد نقاط روی تیر برشی برابر $N + 1$ است. در ادامه با بهره گیری از روش تفاضل محدود، مشتقات مرتبه اول و دوم جابه جایی نسبت به ارتفاع Z ، به صورت زیر نوشته می شوند.

$$\frac{dU}{dz} = \frac{U_{i+1} - U_{i-1}}{2\Delta h} \quad (7)$$

$$\frac{d^2 U}{dz^2} = \frac{U_{i+1} - 2(U_i) + U_{i-1}}{\Delta h^2} \quad (8)$$

در این روابط U_i جابه جایی جانبی نقطه i ام روی تیر برشی است.



شکل ۲ - تقسیم‌بندی مدل تیر برشی

مقدار تنش برشی در بالای تیر برشی صفر است؛ بنابراین شرایط مرزی مسئله به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$(z = 0, U = 0), \left(\frac{d(U)}{dz} = 0 \right) \quad (9)$$

با جایگذاری روابط ۷ و ۸ در رابطه ۶ و اعمال شرایط مرزی، معادلات زیر حاصل می‌شوند.

$$\frac{-2(G_{eq})_1}{(\Delta h)^2}(U_1) + \left(\frac{(G_{eq})_1}{(\Delta h)^2} + \frac{\left(\frac{dG_{eq}}{dz}\right)_1}{2\Delta h} \right) (U_2) = \frac{(p_0(z))_1}{L} \quad (10-الف)$$

$$\left(\frac{(G_{eq})_i}{(\Delta h)^2} - \frac{\left(\frac{dG_{eq}}{dz}\right)_i}{2\Delta h} \right) (U_{i-1}) - \frac{2(G_{eq})_i}{(\Delta h)^2} (U_i) + \left(\frac{(G_{eq})_i}{(\Delta h)^2} + \frac{\left(\frac{dG_{eq}}{dz}\right)_i}{2\Delta h} \right) (U_{i+1}) = \frac{(p_0(z))_i}{L} \quad (10-ب)$$

$$(2 \leq i \leq N-1)$$

$$U_N - U_{N-1} = 0 \quad (10-پ)$$

در ادامه با حل معادلات ۱۰-الف، ۱۰-ب و ۱۰-پ، تغییر شکل جانبی برای تمام نقاط روی تیر برشی به دست می‌آید.

۲-۲ تعیین مدول الاستیسیته و مدول برشی معادل تیر برشی همگن شده

در مدل تیر برشی، خاک مسلح به صورت یک ماده الاستیک غیرخطی مدل‌سازی می‌شود. مدول الاستیسیته خاک (E_s) را می‌توان با یک رابطه هذلولی و تابعی از تنش همه‌جانبه خاک به صورت زیر در نظر گرفت [۱۰].

$$E_s = kP_a \left(\frac{\sigma_h}{P_a} \right)^n \left(1 - \frac{(1 - \sin \phi)(1 - K_r)}{2K_r \sin \phi} R_f \right)^2 \quad (11)$$

در اینجا P_a فشار اتمسفر، R_f نسبت گسیختگی، k شمارنده و n توان مدول است. همچنین σ_h تنش جانبی در خاک مسلح است که مطابق با رابطه ۱۳ تعیین می‌گردد.

$$\frac{dE_s}{dz} = -kP_a \left(\frac{\sigma_h}{P_a} \right)^n \left(1 - \frac{(1 - \sin \phi)(1 - K_r)}{2K_r \sin \phi} R_f \right)^2 \left(\frac{\gamma K_r}{\sigma_h} \right) \quad (12)$$

در رابطه بالا $\frac{dE_s}{dz}$ مشتق اول مدول الاستیسیته خاک (E_s)، نسبت به ارتفاع z است.

$$\sigma_h = K_r [\gamma(H - z) + q] \quad (13)$$

در این رابطه K_r ضریب فشار جانبی در خاک مسلح است که بر اساس استاندارد آشتو [۱۱] و با توجه به نوع مسلح‌کننده (نوار فلزی، شبکه فلزی، شبکه سیمی جوش شده و ژئوسنتتیک) تعیین می‌گردد. این ضریب برای خاک مسلح با لایه‌های ژئوسنتتیک، برابر ضریب فشار محرک رانکین k_a ، در نظر گرفته می‌شود.

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (14)$$

در رویکرد همگن‌سازی [۱۲]، یک ماده کامپوزیت ناهمگن و ناهمسان نظیر خاک مسلح، به صورت یک محیط همگن و ناهمسان مدل‌سازی می‌شود؛ به طوری که پارامترهای محیط همگن‌شده معادل، تابعی از پارامترهای خاک، پارامترهای مسلح‌کننده و نسبت حجمی هرکدام تعیین می‌گردد. در ادامه جزئیات فرایند همگن‌سازی برای محیط خاک مسلح ارائه شده است. شکل ۳، برشی از ماده کامپوزیت (شامل خاک و مسلح‌کننده) را نشان می‌دهد. در این شکل راستای یک نشان‌دهنده راستای قرارگیری لایه‌های مسلح‌کننده و راستای دو، عمود بر آن است. برای تیر برشی همگن‌شده مدول الاستیسیته معادل در راستای (۱) (E_1)، مدول الاستیسیته معادل در راستای (۲) (E_2) و نسبت پواسون معادل (ν_{eq}) به ترتیب مطابق با روابط ۱۵-الف، ۱۵-ب و ۱۵-پ تعیین می‌گردد. شایان‌ذکر است که در روش‌های همگن‌سازی، خاک و مسلح‌کننده به صورت کاملاً متصل (با فرض پیوند کامل) در نظر گرفته می‌شوند و تغییر شکل تیر برشی همگن‌شده در راستای ۱ به صورت یکپارچه صورت می‌گیرد. از این رو اثرات ناشی از کشیدگی مسلح‌کننده و لغزش بین خاک و مسلح‌کننده در این مسئله مطرح نمی‌شود.

$$E_1 = E_s V_s + E_r V_r \quad (15-الف)$$

$$E_2 = E_s \quad (15-ب)$$

$$\nu_{eq} = \nu_s V_s + \nu_r V_r \quad (15-پ)$$

در روابط بالا E و ν به ترتیب مدول الاستیسیته و نسبت پواسون مصالح هستند و اندیس‌های S و R در این پارامترها به ترتیب مصالح خاک و مسلح‌کننده را تعریف می‌کنند همچنین V_s و V_r نسبت‌های حجمی خاک و مسلح‌کننده هستند که به ترتیب مطابق روابط ۱۶-الف و ۱۶-ب محاسبه می‌شوند. بدیهی است مجموع نسبت‌های حجمی خاک و مسلح‌کننده برابر واحد است ($V_s + V_r = 1$).

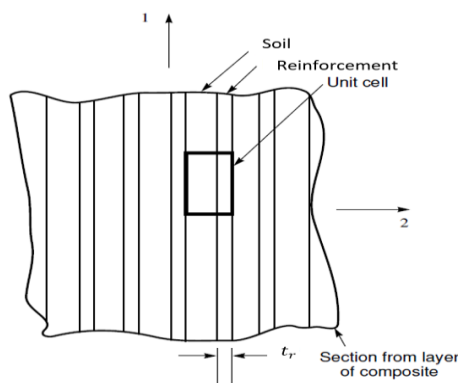
(۱۶-الف)

$$V_r = \frac{t_r}{S_v}$$

(۱۶-ب)

$$V_s = 1 - \frac{t_r}{S_v}$$

در اینجا t_r ضخامت مسلح کننده است.



شکل ۳ - مقطع جداشده از ماده کامپوزیت خاک و مسلح کننده [۱۲]

مدول برشی معادل تیر برشی G_{eq} در صفحه ۱-۲، به صورت زیر تعیین می شود [۱۳].

(۱۷)

$$G_{eq} = \frac{E_1 E_2}{E_1 (1 + 2\nu_{eq}) + E_2}$$

در نهایت با جایگذاری روابط بالا در رابطه ۱۷، مدول برشی معادل تیر برشی به صورت زیر بازنویسی می شود.

(۱۸)

$$G_{eq} = \frac{\left[E_s \left(1 - \frac{t_r}{S_v} \right) + E_r \left(\frac{t_r}{S_v} \right) \right] E_s}{\left[E_s \left(1 - \frac{t_r}{S_v} \right) + E_r \left(\frac{t_r}{S_v} \right) \right] \left[1 + 2 \left(\nu_s \left(1 - \frac{t_r}{S_v} \right) + \nu_r \left(\frac{t_r}{S_v} \right) \right) \right] + E_s}$$

(۱۹)

$$\frac{dG_{eq}}{dz} = \frac{dE_s}{dz} \left[\frac{(2E_s B_1 + B_2)(E_s B_3 + B_4) - B_3(E_s^2 B_1 + E_s B_2)}{(E_s B_3 + B_4)^2} \right]$$

$$B_4 = E_r \left(\frac{t_r}{S_v} \right) (1 + 2\nu_{eq}) \text{ و } B_3 = 1 + \left(1 - \frac{t_r}{S_v} \right) (1 + 2\nu_{eq}) \text{ ، } B_2 = E_r \left(\frac{t_r}{S_v} \right) \text{ ، } B_1 = 1 - \frac{t_r}{S_v}$$

هستند.

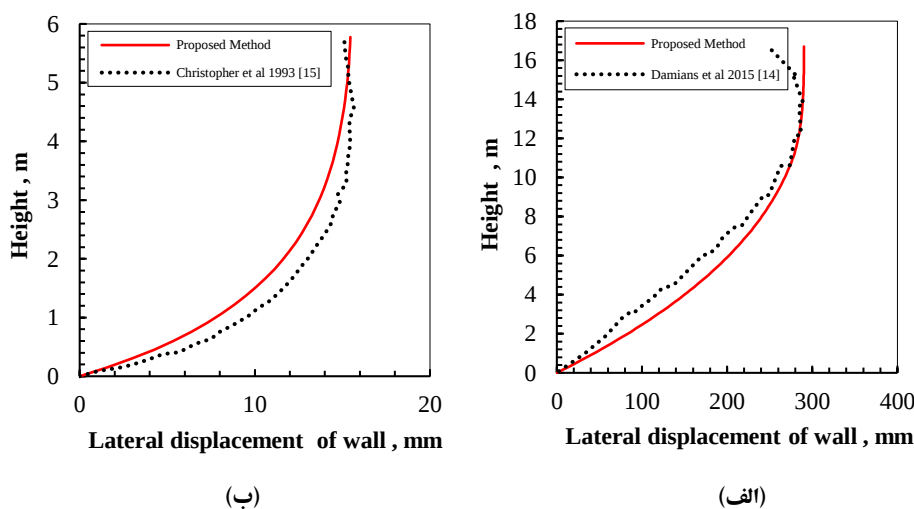
۳ - ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی صحت روش تحلیلی ارائه شده، نتایج حاصل از این روش با داده‌های منتشر شده در ادبیات فنی موجود مقایسه شد که در ادامه شرح داده می‌شود. نخست، در پژوهش دامیانز و همکاران^۱ [۱۴]، رفتار یک دیوار خاک مسلح به ارتفاع ۱۶/۷ متر با استفاده از روش اجزای محدود بررسی شد. در این مدل، از مسلح‌کننده‌هایی با سختی کششی متغیر در بازه ۴۴۰۰۰ تا ۱۳۲۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر که با فاصله قائم ۰/۷۵ متر در توده خاک جایگذاری شده‌اند، استفاده شده است. طول معمول مسلح‌کننده‌ها ۱۱/۹ متر در نظر گرفته شد، در حالی که پنج لایه ی پایینی دارای طول بیشتری معادل ۱۵/۵۴ متر هستند. در پژوهش دوم، کریستوفر و همکاران^۲ [۱۵]، یک دیوار خاک مسلح با ارتفاع ۶/۱ متر را به صورت عددی مدل‌سازی کردند. در این مطالعه، هشت عدد مسلح‌کننده با سختی ۳۷۶۰۰ کیلو نیوتن بر متر و طول ۴/۲۵ متر مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی‌های مکانیکی خاک به کاررفته در هر دو مدل‌سازی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مکانیکی خاک در اعتبارسنجی روش تحلیلی

پارامتر	n	R_f	k	ϕ (degree)	γ (kN/m ³)
دامیانز و همکاران [۱۴]	0.3857	0.75	168	44	21.8
کریستوفر و همکاران [۱۵]	0.5	0.7	460	43	20.4

به منظور ارزیابی دقت روش پیشنهادی، نتایج حاصل از روش تحقیق حاضر با یافته‌های دامیانز و همکاران [۱۴] و کریستوفر و همکاران [۱۵] که به ترتیب در شکل‌های ۴-الف و ۴-ب نشان داده شده است، مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نمودارهای ارائه شده حاکی از آن است که حداکثر میزان اختلاف در پیش‌بینی تغییر شکل جانبی بین روش پیشنهادی و داده‌های گزارش شده در مطالعات پیشین، کمتر از ۸ درصد است که این میزان اختلاف، دقت و اعتبار مناسب نتایج روش پیشنهادی را تأیید می‌کند.



شکل ۴- مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با داده‌های منتشر شده در دو پژوهش الف) پژوهش دامیانز و همکاران [۱۴]؛ ب) پژوهش کریستوفر و همکاران [۱۵]

۴- نتایج و بحث

پس از اعتبارسنجی روش پیشنهادی در این تحقیق، نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوار خاک مسلح ژئوستنتیکی با رویه دورپیچ با بهره‌گیری از روش حاضر، برای نه حالت مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. هدف از انجام این مدل‌سازی‌ها، بررسی تأثیر سه پارامتر کلیدی شامل فاصله قائم بین

¹ Damians et al

² Christopher et al

لایه‌های مسلح‌کننده (S_v)، سختی مسلح‌کننده (J) و طول لایه‌های مسلح‌کننده (L) بر تغییر شکل جانبی دیوار است. در تمامی مدل‌ها، ارتفاع دیوار (H)، برابر چهار متر فرض شد. همچنین طول لایه‌های مسلح‌کننده به صورت مقادیر $2/8$ ، $3/6$ و $4/4$ متر در نظر گرفته شد که به ترتیب معادل نسبت (L/H) برابر با $0/7$ ، $0/9$ و $1/1$ است. نوع خاک مورد استفاده در تمامی مدل‌ها یکسان فرض شده و مشخصات ژئوتکنیکی آن در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر مختلف پارامترهای کلیدی مورد استفاده در حالت‌های مختلف مدل‌سازی در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۲- مشخصات مکانیکی خاک مورد استفاده در مطالعه پارامتریک

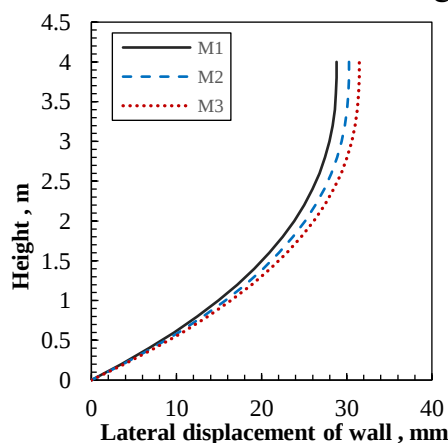
γ (kN/m^3)	ϕ (degree)	k	n	R_f
18.4	40	368	0.5	0.7

جدول ۳- مقادیر پارامترهای کلیدی در حالت‌های مختلف مدل‌سازی

Model no.	S_v/H	L/H	J (kN/m)	توضیح
M_1	0.025			
M_2	0.05	0.7	1000	بررسی تأثیر فاصله لایه‌های مسلح‌کننده
M_3	0.075			
M_4		0.7		
M_5	0.05	0.9	1000	بررسی تأثیر طول لایه‌های مسلح‌کننده
M_6		1.1		
M_7			100	
M_8	0.05	0.7	1000	بررسی تأثیر سختی کششی مسلح‌کننده
M_9			10000	

۴-۱ اثر فاصله قائم لایه‌های مسلح‌کننده

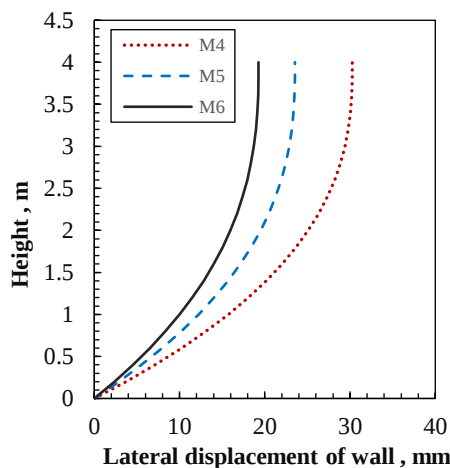
در این بخش تأثیر نسبت فاصله قائم بین لایه‌های مسلح‌کننده به ارتفاع دیوار ($\frac{S_v}{H}$)، بر میزان تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح با پوشش دورپیچ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی در شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش فاصله قائم بین لایه‌های مسلح‌کننده، میزان تغییر شکل جانبی دیوار افزایش می‌یابد به طوری که دیوار مدل‌شده با مقدار ($\frac{S_v}{H}$) برابر $0/25$ کمترین میزان جابه‌جایی جانبی را تجربه کرده است، در حالی که در حالت ($\frac{S_v}{H}$) برابر $0/75$ ، بیشترین میزان تغییر شکل حاصل شده است. این روند، گویای آن است که تراکم بیشتر لایه‌های مسلح‌کننده (کاهش فاصله قائم بین آن‌ها) موجب کاهش تغییر شکل جانبی دیوار می‌گردد. همچنین، در تمامی حالات، بیشترین میزان تغییر شکل جانبی در نواحی بالایی دیوار مشاهده می‌شود، که ناشی از کاهش فشار سربار در سطوح بالایی است.



شکل ۵ - تأثیر فاصله قائم بین لایه‌های مسلح‌کننده بر میزان تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح ژئوستاتیکی

۴-۲ اثر طول لایه‌های مسلح‌کننده

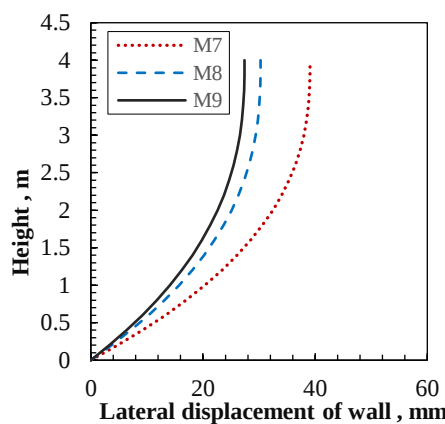
در این تحلیل، سه حالت با (L/H) معادل ۰/۷، ۰/۹ و ۱/۱ مطابق با مدل‌های M_4 ، M_5 و M_6 در جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سایر پارامترها، شامل سختی مسلح‌کننده و فاصله قائم بین لایه‌ها، ثابت نگه‌داشته شده‌اند. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش طول مسلح‌کننده‌ها، جابه‌جایی جانبی دیوار به صورت محسوس کاهش می‌یابد. دیوار مجهز به مسلح‌کننده با طول بیشتر (M_6) کمترین تغییر شکل را در ارتفاع دیوار تجربه کرده، در حالی که دیوار با کوتاه‌ترین مسلح‌کننده (M_4) بیشترین جابه‌جایی را نشان داده است. در نهایت، افزایش (L/H) از ۰/۷ به ۱/۱ سبب کاهش حدود ۳۶/۴ درصدی در تغییر شکل جانبی رأس دیوار شده است. این تفاوت عملکرد به این دلیل است که در طول‌های بلندتر، مسلح‌کننده‌ها سطح تماس بیشتری با خاک دارند و در نتیجه، درگیرشدگی و انتقال تنش بین خاک و مسلح‌کننده به صورت مؤثرتری انجام می‌شود. این موضوع باعث افزایش پایداری و کاهش تغییر شکل دیوار می‌گردد.



شکل ۶ - تأثیر طول لایه‌های مسلح‌کننده بر میزان تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیک

۴-۳ اثر سختی لایه‌های مسلح‌کننده

در این تحلیل، سه مقدار متفاوت از سختی مسلح‌کننده به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر که مطابق با مدل‌های M_7 ، M_8 و M_9 در جدول ۳ است، مورد ارزیابی قرار گرفت. سایر پارامترها، شامل طول و فاصله قائم لایه‌های مسلح‌کننده، ثابت هستند. شکل ۷ به بررسی اثر سختی مسلح‌کننده‌ها بر میزان تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیک با رویه دورپیچ اختصاص دارد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سختی مسلح‌کننده‌ها، تغییر شکل جانبی دیوار صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. افزایش سختی مسلح‌کننده از ۱۰۰ به ۱۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر، سبب کاهش ۲۹/۲ درصدی در میزان جابه‌جایی رأس دیوار می‌شود در حالی که با افزایش بیشتر سختی تا ۱۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر، این کاهش به حدود ۳۸/۶ درصد نسبت به حالت اولیه می‌رسد. این روند نشان می‌دهد که هرچند با افزایش سختی، کاهش تغییر شکل ادامه دارد، اما نرخ این کاهش در مقادیر بالاتر کمتر می‌شود.



شکل ۷ - تأثیر سختی لایه‌های مسلح‌کننده بر میزان تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیک

۵- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از رویکرد همگن سازی، دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی با رویه دورپیچ، به صورت یک تیر برشی همگن و ناهمسان تحت اثر فشار جانبی خاکریز، مدل سازی گردید. در این مطالعه تأثیر سه پارامتر کلیدی طراحی شامل طول، سختی و فاصله قائم لایه‌های مسلح کننده بر تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح بررسی شد. نتایج حاصل از مدل سازی‌های انجام شده نشان داد که هر سه پارامتر مذکور تأثیر قابل توجهی بر میزان جابه‌جایی جانبی دیوار دارند. افزایش نسبت طول مسلح کننده به ارتفاع دیوار از ۰/۷ به ۱/۱ موجب کاهش حدود ۳۶ درصدی در تغییر شکل جانبی دیوار گردید. از سوی دیگر، کاهش نسبت فاصله قائم لایه‌ها به ارتفاع دیوار از ۰/۷۵ به ۰/۲۵ سبب کاهش ۹ درصدی در تغییر شکل جانبی دیوار شده است. همچنین با افزایش مقدار سختی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر، تغییر شکل جانبی دیوار حدود ۳۹ درصد کاهش یافت. اگرچه نرخ این کاهش با افزایش مقدار سختی به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که از بین پارامترهای مورد بررسی، سختی مسلح کننده‌ها بیشترین و فاصله قائم لایه‌ها کمترین اثر را در کاهش تغییر شکل جانبی دیوار دارند. افزون بر این استفاده از مسلح کننده‌های سخت‌تر، افزایش طول لایه‌های مسلح کننده و کاهش فاصله قائم بین آن‌ها، به طور هم افزا منجر به بهبود عملکرد دیوار خاک مسلح می‌گردد.

۶- مراجع

- Adams, M., Nicks, J., Stabile, T., Schlatter, W. and Hartmann, J. (2012) "Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System Interim Implementation Guide", Federal Highway Administration (US).
- Saghebfar, M., Abu-Farsakh, M., Ardah, A., Chen, Q. and Fernandez, B. A. (2017) "Performance Monitoring of Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System (GRS-IBS) in Louisiana", *Geotextiles and Geomembranes*, 45 (2), pp 34-47.
- Koerner, R. M. and Koerner, G. R. (2018) "An Extended Data Base and Recommendations Regarding 320 Failed Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls", *Geotextiles and Geomembranes*, 46 (6), pp 904-912.
- Giroud, J. (1989) "Geotextile Engineering Workshop – Design Examples", Report No. FHWA-HI-89, 2.
- Christopher, B. R., Gill, S., Giroud, J.-P., Juran, I., Mitchell, J. K., Schlosser, F. and others (1990) "Reinforced Soil Structures. Volume I. Design and Construction Guidelines".
- Wu, J. T. (1994) "Design and Construction of Low Cost Retaining Walls: The Next Generation in Technology", Colorado Transportation Institute.
- Jewell, R. and Milligan, G., editors (1989) "Deformation Calculations for Reinforced Soil Walls", *Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations*, 12.
- Wu, J. T., Pham, T. Q. and Adams, M. T. (2013) "Composite Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Mass", United States. Federal Highway Administration.
- Liu, H. and Yang, G. (2015) "Analytical Method for the Lateral Displacements of Steel-Reinforced Soil Walls on Stiff Foundations with Incremental Panel Facings", *Géotechnique*, 65 (9), pp 728-739.
- Duncan, J. (1980) "Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses", Report No. UCB/GT/80-01.
- Aashto, L. (1998) "Bridge Design Specifications".
- Hyer, M. W. and White, S. R. (2009) "Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials", DEStech Publications, Inc.
- Lekhnitskiĭ, S. G. (1981) "Theory of Elasticity of an Anisotropic Body", Mir Publishers.
- Damians, I., Bathurst, R., Josa, A. and Lloret, A. (2015) "Numerical Analysis of an Instrumented Steel-Reinforced Soil Wall", *International Journal of Geomechanics*, 15 (1), 04014037.
- Christopher, B. R. (1993) "Deformation Response and Wall Stiffness in Relation to Reinforced Soil Wall Design", PhD thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, USA.

Reply Reply all Forward Delete Print Spam Mark More Previous Next

نتیجه نهایی داوری مقاله ارسالی به چهاردهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران



From 14ICCE@sharif.edu

To eseyedi@um.ac.ir

Date 2025-09-30 01:09

Summary Headers Plain text

استاد ارجمند/پژوهشگر گرامی،

با سلام و احترام،

ضمن تبریک، بدین‌وسیله نتیجه داوری مقاله ارسالی شما به چهاردهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران را به اطلاع می‌رسانیم:

کد مقاله	عنوان مقاله	محور	نتیجه داوری
GE-01404-21-002	محاسبه پروفیل تغییر شکل جانبی دیوار خاک مسلح یا رویه دور پیچ با استفاده از روش تیر برشی	مهندسی ژئوتکنیک	پذیرش به صورت ارائه شفاهی

از شما دعوت می‌شود، به منظور پرداخت هزینه ثبت نام و حضور در کنگره، از لینک زیر اقدام نمایید.

[لینک ثبت نام و پرداخت هزینه](#)

لازم به ذکر است عدم پرداخت هزینه ثبت نام برای مقالات پذیرفته شده، به منزله انصراف از ارسال مقاله بوده و مقاله موردنظر منتشر نخواهد شد.

با تشکر از همکاری شما،

دبیرخانه چهاردهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران