امکان‌سنجی اجرای دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک و بررسی موردی آن در جاده ویژه گلستان

غلامعلی شفابخش، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
عبدالحسین حداد، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
مهدی اکبری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه سمنان، ایران
زهرا گواشیری، کارشناس ارشد، پژوهشکده حمل‌ونقل، تهران، ایران
E-mail: ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

چکیده

دیوارهای حائل از جمله ابنیه فنی هستند که در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی کاربرد گسترده‌ای دارند. برای سالهای متمادی از دیوارهای حائل غیرمسلح استفاده می‌شد. هرچند طراحی این دیوارها ساده و مصالح آن نیز در دسترس هستند اما عملکرد این دیوارها محدود است. به این علت، احداث دیوارهای خاک مسلح توسعه پیدا کرد و با توجه به قابلیت‌های فراوان ژئوسنتتیک‌ها (خصوصاً تسلیح‌کنندگی و زهکشی)، طراحی و اجرای این نوع دیوار خاک مسلح به طور روزافزون گسترش یافت و امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. امکان‌سنجی اجرای این گونه دیوارها فرصتی است تا این دیوارها را مورد ارزیابی‌های فنی و اقتصادی و تحلیل اعتمادپذیری قرار داده و تأثیرپذیری از محیط را بر روی آنها بررسی کنیم. تحلیل‌های اعتمادپذیری نشان دادند که دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک از اعتمادپذیری بیشتری برخوردار بوده و نسبت به تغییر پارامترها حساسیت کمتری دارد. در این مقاله همچنین به ارزیابی اقتصادی دیوارهای حائل خاک مسلح و متعارف نیز پرداخته شده و در آن هزینه احداث انواع دیوارها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج به دست آمده از ارزیابی‌ها نشان دادند که احداث دیوار خاک مسلح تا ارتفاع ۶ متر گران تر از دیوار حائل وزنی با مصالح سنگی است. اما در ارتفاع بیش از ۶ متر، دیوار خاک مسلح کمترین هزینه ساخت را دارد. نهایتاً در مطالعه‌ای موردی مربوط به جاده ویژه گلستان امکان سنجی احداث این گونه سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این مطالعه، پس از بازرسی منطقه و جمع‌آوری داده‌های طراحی، دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک طراحی شده و با توجه به تحلیل‌های اعتمادپذیری، اقتصادی و تأثیر محیط، اجرای این نوع دیوار حائل امکان‌سنجی شد. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که با وجود آن که از نظر هزینهٔ احداث دیوار خاک مسلح در امتداد جاده ویژه گلستان مقرون به صرفه و قابلیت اعتمادپذیری آن نیز قابل‌قبول است، اما به دلیل آسیب‌پذیری دیوار خاک مسلح ژئوگریدی با پوشش ژئوبلوک در برابر جریان‌های سیلابی، که غالباً سنگ‌های بزرگی را همراه خود جابجا می‌کنند، در تصمیم‌گیری‌ها، احداث این نوع دیوار حائل کنار گذاشته شد.

واژه‌های کلیدی: ژئوسنتتیک، دیوار خاک مسلح، تحلیل اعتمادپذیری، ارزیابی اقتصادی، تأثیر شرایط محیطی.

۱. مقدمه

دیوارهای حائل در شبکه‌های راه و راه‌آهن کاربردهای مختلفی دارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

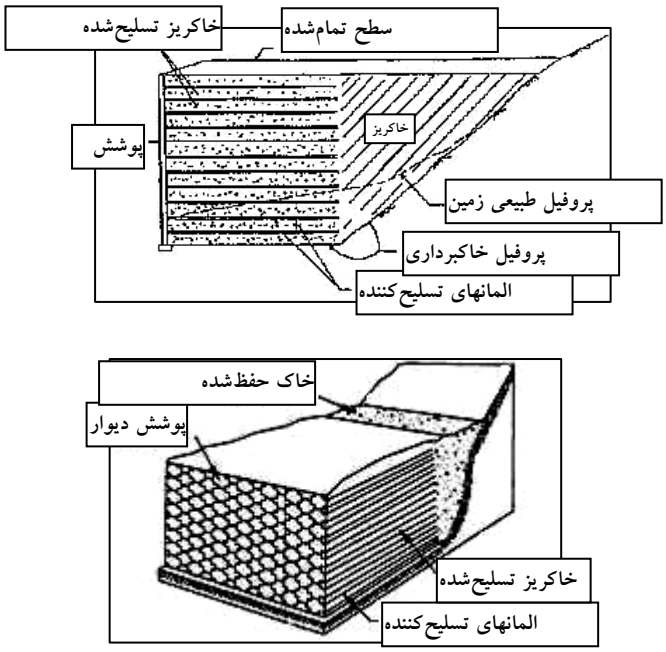
- جلوگیری از حرکت و ریزش توده‌های خاک و سنگ در مسیر راه و همچنین در مجاورت مناطق خاکبرداری شده.
- تامین مقاومت کافی در نقاط مورد نیاز برای مقابله با فشار جانبی خاک.
- پایدار نمودن شیب‌ها و شیروانی‌های طبیعی و مصنوعی و همچنین دیوار مسیرهای زیر زمینی.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۳/۲۸- تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۰/۰۵

از نقطه نظر سازه‌ای دیوارهای حائل به دو دسته، مسلح و غیرمسلح تقسیم می‌شوند. در دیوارهای حائل غیرمسلح، کل سازه از مصالحی نظیر سنگ، قطعات سفال، آجر و یا بتن ساخته می‌شوند، اما در دیوارهای حائل، خاک مسلح یا بتن مسلح برای بهبود خواص مهندسی بتن یا خاک از مصالح تسلیح‌کننده بهره گرفته می‌شود. دیوار خاک مسلح توده‌ای خاکی است که با اجزای کششی نظیر مهار، تسمه فولادی، ژئوگرید و یا ژئوتکستایل، تسلیح شده و توسط پوشش‌هایی خاص حفاظت می‌شود. دیوارهای خاک مسلح را بر اساس شکل هندسی، جنس و قابلیت شکل‌پذیری المان مسلح‌کننده، نوع پوشش و نوع اتصالات تقسیم‌بندی می‌کنند. اجزای یک دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک مطابق با شکل ۱ عبارت است از:

- **خاک:** شامل خاکریز تسلیح شده، خاک حفظ شده و خاک بستر زیر پی.
- **المان‌های تسلیح‌کننده:** شامل شبکه ژئوگرید ویا لایه ژئوتکستایل.
- **پوشش دیوار:** از انواع نماهای متنوع، زیبا و مستحکم می‌توان استفاده کرد.
- **اتصالات بین المان‌های تسلیح‌کننده و پوشش دیوار:** مکانیزم‌های تأمین‌کننده مقاومت اتصال شامل، مکانیزم اصطکاکی و یا قفل‌وبست قطعات پوشش و اصطکاک ژئوسنتتیک با مصالح پرکننده و قطعات فلزی هستند.

طی سه دهه اخیر، تولید و بکارگیری مصالح پلیمری به عنوان مصالحی نوین در مهندسی عمران، رشد چشمگیری داشته است. با تولید ژئوسنتتیک‌ها ساخت دیوارهای حائل متحول شد و گرایش نسبت به بکارگیری آنها افزایش یافت، چون با استفاده از این محصولات می‌توان خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک را طبق شرایط پروژه تغییر داده و نیازهای طرح را بهتر برآورده کرد. ژئوسنتتیک‌ها علاوه بر تثبیت و تسلیح خاک، دارای کارکردهای دیگری مانند جداسازی، حفاظت و زهکشی نیز هستند که آنها را از دیگر مصالح متداول تسلیح‌کننده متمایز می‌کند. طبق آمار دهه ۹۰ میلادی، نرخ رشد استفاده از ژئوسنتتیک در آمریکا تا سال ۲۰۰۰ میلادی سالانه حدود ۱۵-۱۰٪ بوده است. تحقیقات اخیر نیز نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۱۰ میلادی میزان تقاضای این محصولات، سالانه حدود ۵٪ رشد خواهد داشت [۱]



شکل ۱. برش و نمایی از اجزای تشکیل‌دهنده دیوار خاک مسلح

۲. ارزیابی فنی و تحلیل اعتمادپذیری دیوارهای حائل

۲-۱ ارزیابی فنی

دیوارهای حائل وزنی و نیمه‌وزنی به علت سختی قابل‌ملاحظه خود، در گروه دیوارهای صلب قرار می‌گیرند. در این دیوارها عامل اصلی حفظ پایداری در برابر لغزش و واژگونی، وزن نسبتاً زیاد و مقاومت اینرسی ناشی از آن است. در طراحی این دیوارها از ایجاد تنش‌های کششی در اجزای دیوار، بخصوص پاشنه دیوار جلوگیری می‌شود. صلبیت نسبتاً زیاد این دیوارها کاربرد و احداث آنها با ارتفاع بلند را محدود کرده است، به طوری که اجرای آنها در مناطق با بستر ضعیف یا با خاک ناهمگن، موجب شکست و ترک‌خوردگی‌های شدیدشده و بهسازی بستر یا بکارگیری شالوده‌های عمیق نیز، هزینه‌ها را بسیار افزایش خواهد داد.

گروه دیگری از دیوارهای حائل را دیوارهای بتن مسلح و خاک مسلح تشکیل می‌دهند که پایداری خود را از مقاومت کششی عامل تسلیح‌کننده خود تأمین می‌کنند. در این دیوارها با تراکم مناسب لایه‌های خاکریز پشت این دیوارها می‌توان استحکام خاکریز را افزایش داده و دیوار بلندتری ساخت.

قابلیت‌های ژئوسنتتیک، ساخت دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی را بیشتر مورد توجه قرار داده است. چون دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک در مقایسه با دیوارهای حائل وزنی یا بتنی، از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است و توانایی جذب انرژی زلزله و تحمل تغییرشکل‌های نسبتاً زیادی را نیز دارد. به همین دلیل استفاده از آن روی بستر ضعیف، در مناطق زلزله‌خیز و همچنین در خاکریزهای با ارتفاع زیاد، مناسب‌تر و مقرون به صرفه‌تر است. هرچند دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک در بین انواع دیوارهای حائل دارای قابلیت‌های منحصر به فردی است، اما بحث قابلیت اعتمادپذیری و حساسیت آنها در برابر تغییرات پارامترهای طراحی موضوع مهمی است که لازمست به آنها نیز پرداخته شود.

۲-۲ تحلیل اعتمادپذیری

عموماً در تحلیل دیوارهای خاک مسلح به روش تعادل حدی، برای جبران عدم قطعیت‌های موجود، از ضرایب اطمینان استفاده می‌شود. این عدم قطعیت‌ها شامل این موارد می‌شوند: اطلاعات بارگذاری، خواص مصالح، تکنیک‌های آزمایش و روند تحلیل. ضرایب اطمینان معمولاً به صورت تجربی انتخاب می‌شوند، یعنی انتخاب براساس تجربیات گذشته یا حالات مشابه صورت می‌گیرد. با وجود این، بین احتمال شکست دیوار و ضرایب اطمینان محاسبه‌شده، رابطه‌ای قراردادی وجود ندارد [۲،۳]. با توجه به ماهیت تجربه‌گرایانه ضرایب اطمینان، هنگامی که نامعینی‌ها بیشتر از پیش‌بینی‌ها است ممکن است سازه ناپایدار شود و یا برعکس هنگامی که نامعینی‌ها کمتر از پیش‌بینی‌ها شود، ممکن است طراحی محافظه‌کارانه تلقی شود. به همین منظور در این بخش، به تعیین اثرات احتمالی تغییر پارامترهای طراحی بر پایداری داخلی دیوار خاک مسلح پرداخته شد، تا بر اساس تحلیلی احتمالاتی، حساسیت آنها نسبت به تغییر پارامترها ارزیابی شود [۳،۲].

ضرورت استفاده از روش‌های تحلیل احتمالاتی و تئوری اعتمادپذیری برای تحلیل مسائل ژئوتکنیکی نظیر بررسی پایداری داخلی دیوارهای خاک مسلح از دو جنبه قابل بررسی است [٤]:

- وارد کردن داده‌های طراحی بدون درنظر گرفتن احتمال خطا در اندازه‌گیری‌ها، انتخاب‌ها و محاسبات و یا تغییر پارامترها به دلیل محیط غیرهمگن خاک، ممکن است نتایج نامطمئنی را ارائه کند.
- روش‌های تحلیلی به تنهایی قادر نیستند اعتمادپذیری مربوط به پایداری کلی دیوار را با ضرایب اطمینان بیان کنند [۵].

با توجه به نکات بالا، می‌توان عدم قطعیت‌های موجود در روش تحلیلی طراحی را با استفاده از روش‌های تحلیل احتمالاتی و اعتمادپذیری جبران کرد. تحلیل اعتمادپذیری ٤ گام اصلی دارد: ۱- مدل‌کردن دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی، ۲- تحلیل پایداری، ۳- تحلیل احتمالاتی گسیختگی دیوار خاک مسلح، ٤- مطالعه پارامتریک.

این روند در ادامه تشریح شده است.

الف- مدل‌کردن دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی: برای مدل‌کردن دیوار خاک مسلح، دامنه تغییرات پارامترهای طراحی آن تعیین می‌شود. در جدول ۱ دامنه تغییرات پارامترهای طراحی مربوط به جاده ویژه گلستان بیان شده است. البته خاک بستر دیوار این مدل، سخت فرض شده تا گسیختگی در آن اتفاق نیافتد. همچنین صلبیت پوشش دیوار نیز در محاسبات پیش بینی نشده، چون با در نظر گرفتن صلبیت، تغییرشکل‌های دیوار کاهش یافته و پایداری دیوار افزایش می‌یابد. بنابراین این روش برای دیوارهای خاک مسلح با پوشش انعطاف‌پذیر، مانند پوشش برگشتی ژئوسنتتیک مناسب‌تر است.

جدول ۱. دامنه تغییرات پارامترهای مدل

پارامتر	دامنه تغییرات
متوسط زاویه اصطکاک داخلی خاک*، μ_{ϕ}	۲۵-٤۲ درجه
متوسط وزن مخصوص خاکریز، μ_{γ}	۱۵-۲۲ کیلونیوتن‌برمترمکعب
متوسط مقاومت کششی ژئوسنتتیک، μ_{T}	۱٦-۲٤ کیلونیوتن‌برمتر
متوسط نسبت طول ژئوسنتتیک به ارتفاع دیوار، $\mu_{L/H}$	۰/۵-۱
متوسط فاصله قائم لایه‌های ژئوسنتتیک، μ_{V_s}	۰/۳-۱/۲ متر

*: **خاک تسلیح شده با خاک حفظ شده یکسان فرض شده است.**

ب- تحلیل پایداری دیوار خاک مسلح ژئوسنتتیکی: در روش طراحی تحلیلی، پایداری داخلی و خارجی دیوار تحلیل می‌شود. هدف از تحلیل پایداری داخلی، تعیین نیروهای کششی وارد بر ژئوسنتتیک است، سپس مقاومت آنها در برابر گسیختگی یا

بیرون‌کشیدگی کنترل می‌شود [٦]. برای تحلیل پایداری مدل دیوار خاک مسلح مورد مطالعه از نرم‌افزار Geo-Slope/w استفاده شده است. این نرم‌افزار مطابق روش ساده‌شده بیشاب عمل کرده و نیروی داخلی ژئوسنتتیک را برابر با کمینه دو مقدار مربوط به نیروی اصطکاکی در سطح مشترک خاک – ژئوسنتتیک، طبق رابطه ١ و مقاومت کششی مجاز ژئوسنتتیک فرض می‌کند.

$$F_{\text{int}} = 2\sigma_v^{'}.L_e.\tan(\delta) \qquad (١)$$

F_{int}: نیروی داخلی لایه ژئوسنتتیک،

$\sigma_v^{'}$: تنش مؤثر قائم،

L_e: طول مؤثر ژئوسنتتیک در پشت سطح لغزش،

δ: زاویه اصطکام داخلی.

ج- تحلیل احتمالاتی گسیختگی دیوار خاک مسلح

ژئوسنتتیکی: برای تحلیل احتمالاتی از پارامترهای ورودی مشخص‌شده برای محاسبه پایداری داخلی دیوار به‌عنوان متغیرهای تصادفی استفاده می‌شود. این پارامترها همان نامعینی‌های مربوط به مشخصات خاک، مشخصات ژئوسنتتیک و بارگذاری‌ها را توصیف می‌کنند. پس از تحلیل پایداری، احتمال شکست P_f که همان احتمال کاهش ضریب اطمینان به کمتر از ١ است، با استفاده از رابطه ٢ محاسبه می‌شود.

$$P_f = P(FS < 1) = N_f / N_r \qquad (٢)$$

N_f: تعداد وقوع گسیختگی در کل رخدادها،

N_r: تعداد کل رخدادها.

د- مطالعه پارامتریک: مطالعه پارامتریک احتمال شکست نیز به این صورت انجام می‌شود که ابتدا مشخصات اولیه مدل تعیین شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار یاد شده، مدل تحلیل و ضریب اطمینان مربوط به آن پارامتر محاسبه می‌شود. این روند تا زمانی که تعداد تحلیل‌ها با تعداد رخدادها (گام‌های تغییرات پارامتر) برابر شود، تکرار می‌شود و احتمال مربوط به آن در مقابل مقدار پارامتر رسم می‌شود [٦]. البته در طول محاسبات یک پارامتر، دیگر پارامترهای طراحی تغییر نمی‌کنند و ثابت هستند. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های اعتمادپذیری مربوط به مدل مورد مطالعه، در بخش ٤-٢ بیان شده است.

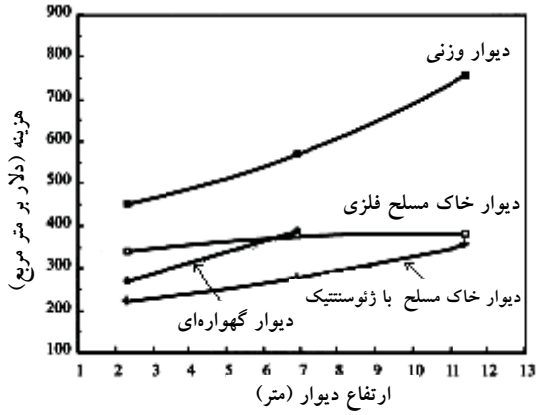
٣. ارزیابی اقتصادی انواع دیوارهای حائل مسلح و غیرمسلح

ارزیابی اقتصادی، یکی از کارآمدترین ابزارهای تصمیم‌گیری برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه است. اولین برآورد برای ساخت دیوارهای حائل به زمانی برمی‌گردد که بکارگیری دیوارهای حائل بتن مسلح در مراحل ابتدایی خود بود. در آن مطالعه، ارتفاع دیوار به ٣ گروه بلند (بیش از ٩ متر)، متوسط (بین ٤/٥ تا ٩ متر) و کوتاه (کمتر از ٤/٥ متر) تقسیم می‌شد. بعدها مطالعات گسترده‌تری صورت گرفت و دیوار حائل خاک مسلح ژئوسنتتیکی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی‌ها در جدول ٢ آمده است [٧].

جدول٢ . هزینه‌های ساخت دیوارهای حائل با ارتفاع‌های مختلف (دلار آمریکا بر مترمربع نما) [٧]

نوع دیوار	ارتفاع نسبی	Lee	VSL Corp.	Yako and Christopher	Koerner
وزنی	بلند	٣٠٠	٥٧٠	٥٧٠	٧٦٠
	متوسط	١٩٠	٣٤٤	٣٤٤	٥٧٣
	کوتاه	١٩٠	٣٤٤	٣٤٤	٤٥٥
گهواره‌ای	بلند	٢٤٥	٣٧٧	٣٧٧	–
	متوسط	٢٣٠	٢٨٠	٢٨٠	٣٩٠
	کوتاه	٢٢٥	١٨٣	١٨٣	٢٧٢
مسلح‌فلزی	بلند	١٤٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٨٥
	متوسط	١٠٠	٢٨٠	٢٨٠	٣٨١
	کوتاه	٧٠	١٧٢	١٧٢	٣٤١
مسلح‌ژئوسنتتیکی	بلند	–	–	٢٥٠	٣٥٧
	متوسط	–	–	١٨٠	٢٧٩
	کوتاه	–	–	١٣٠	٢٢٣

جدول ۲ گویای آن است که طبق نتایج تحقیقات Koerner et al.، هزینه ساخت دیوارهای خاک مسلح با ژئوسنتتیک ارزان‌ترین نوع دیوار حائل است. با رسم نمودار مربوط به هزینه‌ها در شکل ۲، این اختلاف آشکارتر می‌شود.



شکل ۲. مقادیر میانگین هزینه انواع مختلف دیوارهای حائل [۷]

نظر به این که فرضیات اولیه طراحی‌ها تابع شرایط محلی و خصوصیات محیطی هستند، مقادیر طراحی آنها نیز متفاوت خواهند بود که در نتیجه بر برآوردها اثر گذاشته و قیمت تمام‌شده احداث را در پروژه‌های مختلف دچار تغییر خواهد کرد. بنابراین در هر پروژه تعیین هزینه‌های اجرایی مربوط به دیوارهای حائل و ارزیابی اقتصادی آنها ضروری است. در این راستا مؤلفین این مقاله ابتدا فرضیات مربوط به طراحی هر یک از دیوارها را با توجه به شرایط محلی تعیین کرده و پس از طراحی، با استفاده از فهرست بهای واحد رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن سال ۱۳۸۵، برآورد آنها را بر حسب هزینه‌های متر طول و مترمربع نمای دیوار تعیین کردند.

فرضیات اولیه طراحی انواع دیوارهای حائل به شرح زیر است:

- **انواع دیوار حائل:** وزنی سنگی، وزنی بتنی، بتنی طره‌ای، خاک مسلح با ژئوگرید.
- **مشخصات هندسی دیوارها:** دیوار با ارتفاع‌های ۲، ٦ و ۱۰ متر. سایر مشخصات طبق الگوهای طراحی متعارف.
- **مشخصات خاک‌های بکار رفته:**

۱- خاک پی:

$\gamma_b' = 8.19\,KN/m^3$, $\gamma_{sat} = 18\,KN/m^3$, $C \approx 0$, $\varphi_b = 28^\circ$

۲- خاک حفاظت‌شده:

$\gamma_r' = 8.19\,KN/m^3$, $\gamma_{sat} = 18\,KN/m^3$, $C \approx 0$, $\varphi_r = 30^\circ$

۳- خاکریز تسلیح‌شده:

$\gamma_f' = 8.19\,KN/m^3$, $\gamma_{sat} = 18\,KN/m^3$, $C = 0$, $\varphi_f = 30^\circ$

- **المان پوششی دیوار:** در دیوارهای حائل وزنی و طره‌ای، المان پوششی همان مصالح سازنده دیوار است، و در دیوارهای حائل خاک مسلح، المان پوششی دیوار از نوع ژئوبلوک MBW مطابق شکل ۳ فرض شده است.

شکل ۳: المان پوششی ژئوبلوک MBW

- **مشخصات مصالح مصرفی:**

۱. مصالح دیوار وزنی سنگی: سنگ لاشه به‌عنوان مصالح مصرفی و سنگ بادبر در نما.

مصالح دیوار وزنی بتنی: بتن با مقاومت مکعبی ۲۸ روزه برابر $f_c' = 200\ kg/cm^2$ و عیار $250\ kg/m^3$.

مصالح دیوار طره‌ای: بتن با مقاومت مکعبی ۲۸ روزه $f_c' = 300$ و عیار ۳۵۰، بتن مگر با عیار ۱۵۰، میلگرد نوع AIII نمره ۱۲ تا ۱۸ با $f_y' = 4200$ و حداقل پوشش میلگردهای قائم ۵ سانتیمتر و برای میلگردهای افقی ۷/۵ سانتیمتر.

- **فواصل حمل:** عملیات خاکی ۱۰ کیلومتر، سیمان ۱۵۰ کیلومتر، آهن‌آلات ۱۵۰ کیلومتر، بتن با تراک میکسر ۱۵ کیلومتر و مصالح سنگی بتن ۵ کیلومتر.

۳-۱ برآورد هزینه ساخت دیوار حائل وزنی، بتن مسلح طره‌ای و خاک مسلح با ژئوگرید

دیوارهای حائل وزنی بر اساس نوع مصالح به دو نوع سنگی و بتنی تقسیم می‌شوند. در ایران به علت وجود سنگ‌کار ماهر با دستمزد مناسب، ساخت دیوار حائل با مصالح سنگی بسیار معمول است. معمولاً ارتفاع این نوع دیوارها به علت مسائل فنی بخصوص پایداری در مقابل نیروی زلزله کوتاه بوده و به ارتفاع‌های ٤ تا ٥ متر محدود می‌شوند. در جدول ٣ برآورد ساخت دیوار حائل وزنی سنگی طبق فهرست بهای رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن سال ١٣٨٥ ارائه شده است [٨].

طراحی دیوار حائل بتن مسلح دو مرحله دارد، در مرحله اول بعد از معلوم شدن فشار جانبی خاک، پایداری کل سازه شامل کنترل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری خاک زیر شالوده تعیین می‌شود و در مرحله دوم، اجزای دیوار شامل ضخامت دیوارها و سطح مقطع میلگرد مصرفی تعیین می‌شود. طبق طراحی‌های متعارف، برآورد هزینه احداث دیوار حائل طره‌ای در جدول ٤ آمده است.

بررسی جدول ٤ نشان می‌دهد که حدود٩٠٪ هزینه احداث دیوار حائل وزنی سنگی به عملیات بنایی با سنگ و کمتر از ١٠٪ نیز به عملیات خاکی مربوط می‌شود. این موضوع نشانگر آن است که با تغییر حجم دیوار، هزینه احداث آن به مقدار زیادی تغییر می‌کند، اما تغییر نوع خاک تأثیر زیادی روی هزینه نهایی احداث آن ندارد. طبق جداول ٤ و ٥، این نسبت‌ها برای دیوار حائل وزنی بتنی و بتن مسلح طره‌ای نیز یکسان است و اختلاف موجود صرفاً در نوع مصالح بکار رفته و مخارج اجراست.

در دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی، با توجه به این که بهای این مصالح متغیر است، برآورد دقیق هزینه احداث این دیوارها به مرور زمان، اندکی تغییر خواهد کرد. طبق شرایط موجود، هزینه احداث دیوار خاک مسلح ژئوگریدی در جدول ٥ ارائه شده است. در ساخت یک دیوار خاک مسلح علاوه بر هزینه‌های اصلی بایستی هزینه‌های مربوط به نصب سیستم زهکشی و ابزار دقیق نیز به هزینه کل اضافه شود. با بررسی هزینه‌ها، این نتایج مشخص می‌شوند: در حدود ٧٠٪ هزینه‌های احداث دیوار مسلح با ژئوسنتتیک مربوط به تهیه و نصب ژئوگرید و ژئوبلوک نما می‌شود؛ در حدود ٣٠-٢٥٪ هزینه احداث این دیوارها به هزینه‌های عملیات خاکی مربوط می‌شود؛ با توجه به افزایش سهم هزینه‌های عملیات خاکی نسبت به دیگر دیوارها، موضوع عملیات خاکی اهمیت پیدا می‌کند؛ با افزایش ارتفاع دیوار، هزینه تهیه و نصب ژئوگرید نسبت به ژئوبلوک بیشتر می‌شود؛ و همچنین به دلیل وارداتی بودن این محصولات، هزینه‌های تهیه و نصب آن بخش اعظمی از هزینه کل را تشکیل می‌دهد و نتایج طراحی نقش به سزایی ایفا می‌کنند.

جدول ٣. برآورد هزینه ساخت دیوار حائل سنگی و بتنی وزنی با ارتفاع‌های ٢ و ٦ متر

شماره فصل	عنوان فصل	دیوار حائل سنگی		دیوار حائل وزنی بتنی	
		هزینه با ارتفاع ٢ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ٦ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ٢ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ٦ متر (ریال)
٢	عملیات خاکی با دست	٧٨١٤	٢٧٧٥٦	٧٨١٤	٢٧٧٥٦
٣	عملیات خاکی با ماشین	١٣٤١٠	١٠٠٧٦٤	١٣٤١٠	١٠٠٧٦٤
٦	عملیات بنایی با سنگ	٣٦٥٦٣٠	٢٥١٥٠٨٠	٣٠٠٦٠	٩٠١٨٠
٧	اندود و بندکشی	٥٦٩٨	٤٦٢٠٠	–	–
٨	قالب بندی و چوب بست	–	–	٢٧٨٧٢٨	٢٧٧٥٦
١٢	بتن درجا	–	–	٢٧٤٢٥٨	١٠٠٧٦٤
٢٠	حمل و نقل	١١٦٠٠	٣٤٨٠٠	١٩٠٦٩	٩٠١٨٠
جمع کل هزینه‌ها (برحسب متر طول)		٤٠٤١٥٢	٢٧٢٤٦٠٠	٦٢٣٣٣٩	٤٢٥٥٧٢٩
جمع کل هزینه‌ها (برحسب مترمربع نما)		٢٠٢٠٧٦	٤٥٤١٠٠	٣١١٦٧٠	٧٠٩٢٨٨

جدول ٤. برآورد هزینه ساخت دیوار حائل طره‌ای با ارتفاع‌های ٢، ٦ و ١٠ متر

شماره فصل	عنوان فصل	هزینه با ارتفاع ٢ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ٦ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ١٠ متر (ریال)
٢	عملیات خاکی با دست	٧٧١٠	٤١٨٢٩	٤٢٤٠٥
٣	عملیات خاکی با ماشین	١٣٤١٠	١٥١٣٥٠	١٩٨٤٨٠
٦	عملیات بنایی با سنگ	٢٥٠٥٠	٩٢٦٨٥	١٣٧٧٧٥
٨	قالب بندی و چوب بست	٣٠٥٠٤٦	١٥٠٥٨٧٨	٢٦٧١٥٨٠
٩	کارهای فولادی با میلگرد	٢١١٩٧٠	١٣٦٢٠٢٠	٣٦٥٣١٠٠
١٢	بتن درجا	٢٥٤٨٩١	١٣٨٨٦٩	٣٣٤٢٢٣٥
٢٠	حمل و نقل	١٢٧١٣	٥٠٨٥٠	١١٤٤١٣
جمع کل هزینه‌ها (برحسب متر طول)		٨٣٠٧٩٠	٤٥٩٣٤٨١	١٠١٥٩٩٨٨
جمع کل هزینه‌ها (برحسب مترمربع نما)		٤١٥٣٩٥	٧٦٥٥٨٠	١٠١٥٩٩٩

جدول ٥. برآورد هزینه ساخت دیوار حائل مسلح با ژئوگرید و پوشش ژئوبلوک با ارتفاع‌های ٢، ٦ و ١٠ متر

شماره فصل	عنوان فصل	هزینه با ارتفاع ٢ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ٦ متر (ریال)	هزینه با ارتفاع ١٠ متر (ریال)
٢	عملیات خاکی با دست	٤٥٧٦١	٤٠٢١٣٠	١٠٩٥١٢٣
٣	عملیات خاکی با ماشین	٥٩٣٣٤	٥٠٤٥٢٠	١٣٦٥٥٨٩
١٢	بتن درجا	١٥٦٥٠	٣٩١٢٥	٧٠٤٢٥
١٣	بتن پیش‌ساخته	٢٠١٣٢٠	٦٠٣٩٦٠	٥٣٥٠
٢٠	حمل و نقل	١١٢٤	٣٨٣٥	١١٤٤١٣
متفرقه	تهیه و نصب ژئوگرید و لوله پی‌وی‌سی	٢٠٩٩٠٠	١٨٥٦٩٠٠	٥٤٥٦٩٠٠
جمع کل هزینه‌ها (برحسب متر طول)		٥٣٣٠٨٩	٣٤١٠٤٧٠	٨٩٩٩٩٨٧
جمع کل هزینه‌ها (برحسب مترمربع نما)		٢٦٦٥٤٥	٥٦٨٤١٢	٩٠٠٠٠٠

٣-٢ مقایسه هزینه‌های ساخت انواع دیوارهای حائل

با توجه به مفروضات ذکر شده و نتایج به دست آمده در بخشهای قبلی، نمودار مقایسه‌ای مربوط به هزینه احداث چهار نوع دیوار در ارتفاعات مختلف در شکل ٤ ارائه شده است. عمده نکاتی که در مورد این نمودار می‌توان بیان کرد، عبارتند از:

١- با وجود این که هزینه ساخت دیوار حائل وزنی سنگی تا ارتفاع ٦ متر بررسی شده است، اما اجرای این گونه دیوارها فقط تا ارتفاع ٤ متر توصیه شده و توجیه اقتصادی دارد.

٢- شرایطی که در بند قبلی اشاره شد در مورد ارتفاع ساخت دیوارهای حائل وزنی بتنی نیز صادق است، همچنین حجم بالای بتن‌ریزی علاوه بر معضلات اجرایی، توجیه اقتصادی نیز ندارد.

٣- هزینه ساخت دیوارهای حائل طره‌ای تا ارتفاع ١٠ متر از توجیه اقتصادی برخوردار نیست.

٤- احداث دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی با پوشش ژئوبلوک با ارتفاع ١٠-٦ متر در مقایسه با انواع مختلف دیوارهای حائل

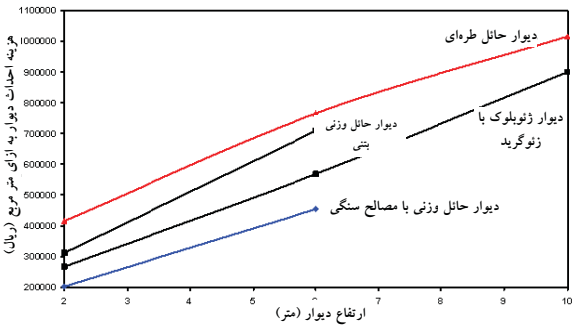
وزنی بتنی و طره‌ای هزینه کمتری دارد، اما برای ارتفاع کمتر از ٦ متر دیوار حائل سنگی ارزان‌تر است.

٥- در این تحقیق به پراکندگی مقادیر داده‌ها اشاره نشده و فرض شده است که در نمودارها مقادیر متوسط آورده شده‌اند.

٦- با انجام تحقیقات و پژوهش‌های فراوان روی راهکارهای جدید برای استفاده بهینه از ژئوسنتتیک‌ها، احتمال کاهش سهم ٧٠٪ مربوط به هزینه تهیه و نصب ژئوگرید و ژئوبلوک نما وجود دارد و می‌توان این سهم را کاهش داد.

٧- با توسعه این علم و گسترش کاربرد این محصولات در کشور، احتمال ایجاد کارخانه‌های تولید آنها وجود دارد و هزینه‌های احداث دیوارهای خاک مسلح با ژئوسنتتیک در آینده کاهش خواهد یافت.

٨- با بررسی بیشتر نمودار به دست آمده، می‌توان به عوامل تاثیرگذار بر ارزیابی اقتصادی هزینه‌های احداث دیوارهای خاک مسلح پی برد. در این جا به بعضی از این عوامل اشاره می‌کنیم: مقدار حجم عملیات خاکی و در دسترس بودن مصالح خاکریز؛ در دسترس بودن مصالح ژئوسنتتیکی و مسأله تغییرات قیمت آن در کوتاه مدت به دلیل واردات آنها؛ نوع المان پوششی مورد استفاده در دیوار؛ حضور نیروی انسانی متخصص در طراحی، نظارت و اجرا؛ مقدار مقاومت سیستم فوق در مقابل نیروی زلزله؛ بیشتر بودن دوام و طول عمر این سیستم تسلیح؛ طول ارتفاع دیوار.



شکل ٤. ارزیابی اقتصادی انواع دیوارهای حایل

٤. مطالعه موردی اجرای دیوار خاک مسلح با ژئوگرید در جاده ویژه گلستان

طبق آنچه در شکل ٥ مشاهده می‌شود، جاده ویژه گلستان از حاشیه رودخانه‌ای عبور می‌کند که به بدنه راه آسیب می‌رساند. در نتیجه برای جلوگیری از تخریب بدنه راه، احداث دیوار حائل ضرورت پیدا کرد. براساس مشاهدات میدانی و بازدید منطقه‌ای که صورت گرفت، دیوار حائل خاک مسلح ژئوگریدی طراحی شد و سپس بر اساس عوامل مؤثر محیطی حاکم بر منطقه، در مورد احداث این نوع دیوار امکان‌سنجی شد. در ادامه، روش طراحی و اطلاعات بکار رفته در آن و نتیجه امکان‌سنجی بیان شده است.

شکل ٥. نماهایی از محل احداث دیوار حائل خاک مسلح با ژئوگرید در جاده ویژه گلستان

٤-١ طراحی دیوار حائل خاک مسلح

رفتار یک دیوار خاک مسلح را می‌توان از دو دیدگاه بررسی کرد. دیدگاه اول به بررسی پایداری داخلی و خارجی سازه خاک مسلح و دیدگاه دوم به بررسی رفتار مکانیکی و عملکرد سازه‌ای خاک مسلح می‌پردازد. در دیدگاه اول برای تعیین شرایط گسیختگی و ضریب اطمینان پایداری دیوار خاک مسلح از روش‌های تحلیلی استفاده می‌شود. در دیدگاه دوم نیز برای تعیین میزان جابجایی‌ها، تغییر شکل‌ها و تنش‌های داخلی اجزای دیوار خاک مسلح از روش‌های عددی بهره گرفته می‌شود.

در روش تحلیلی برای جبران کمبود و عدم‌قطعیت در فرضیات، داده‌ها و روند تحلیل، از ضریب اطمینان کمک گرفته می‌شود. در نتیجه، حاشیه ایمنی سازه حفظ شده و از کم‌بودن تغییرشکل‌ها

حین بهره‌برداری اطمینان حاصل می‌شود. اما برای ارائه اطلاعات در مورد نحوه گسترش خرابی در دیوارهای خاک مسلح لازمست از روش‌های عددی بهره گرفته شود.

در این مطالعه برای طراحی دیوار خاک مسلح با ژئوسنتتیک از روش تحلیلی تعادل حدی استفاده شده است. مراحل طراحی از این قرار است [۹]: تعیین مشخصات هندسی؛ هدف از طراحی و بارگذاری خارجی وارد بر دیوار؛ تعیین مشخصات مکانیکی و فیزیکی خاک؛ انتخاب ضرائب اطمینان طراحی و ضوابط اجرایی؛ تعیین مشخصات و ابعاد اولیه المان‌های تسلیح؛ محاسبه ضریب فشار جانبی خاک به منظور بررسی پایداری خارجی و داخلی؛ بررسی و کنترل پایداری خارجی دیوار؛ بررسی و کنترل پایداری داخلی دیوار؛ تهیه نقشه‌های اجرایی و مشخصات پروژه.

برای تعیین مشخصات هندسی دیوار و مشخصات مکانیکی و فیزیکی خاک لازم بود تا از منطقه بازدیدی صورت گرفته و بر اساس آن داده‌های اولیه جهت طراحی جمع‌آوری می‌شد، که این کار با هماهنگی معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری پژوهشکده حمل‌ونقل صورت گرفت و نتایج آن به شرح زیر است:

- ارتفاع دیوار ۶ متر، طول و عرض قطعه دیوار ۸ متر.
- سربار خطی معادل ناشی از وزن قشرهای بدنه راه و بار ترافیکی q، معادل ۱۲ کیلونیوتن بر مترمربع.
- مشخصات خاک تسلیح‌شده:

$$\gamma'_f = 8.19\,KN/m^3 \;,\; \gamma_{sat} = 18\,KN/m^3 \;,\; C = 0 \;,\; \varphi_f = 30^\circ$$

- مشخصات خاک حفاظت‌شده:

$$\gamma'_r = 8.19\,KN/m^3 \;,\; \gamma_{sat} = 18\,KN/m^3 \;,\; C \approx 0 \;,\; \varphi_r = 30^\circ$$

- مشخصات خاک بستر:

$$\gamma'_b = 8.19\,KN/m^3 \;,\; \gamma_{sat} = 18\,KN/m^3 \;,\; C \approx 0 \;,\; \varphi_b = 28^\circ$$

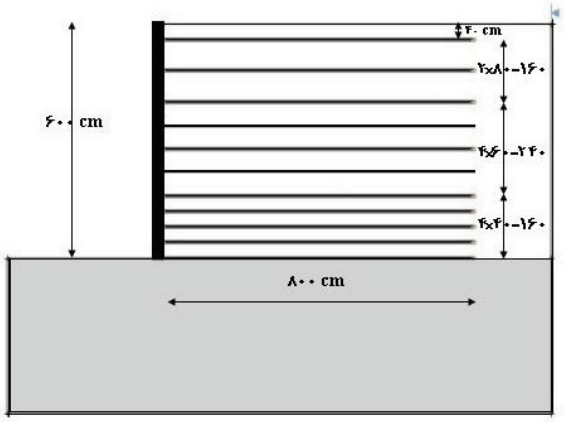
- بعلت امکان طغیان رودخانه، دیوار در بحرانی‌ترین شرایط یعنی حالت غرقاب طراحی شده است.
- شتاب مبنای زلزله برای طراحی معادل ۰/۳ شتاب ثقل در نظر گرفته شده است.
- مشخصات ژئوگرید: مقاومت کششی نهایی ۶۰ کیلونیوتن بر متر، مقاومت کششی مجاز ۱۶ کیلونیوتن بر متر.

با استفاده از فرضیات بالا و طبق روش تحلیل تعادل حدی، نتایج زیر از کنترل پایداری خارجی دیوار حائل خاک مسلح با ژئوگرید به دست آمدند:

- کنترل لغزش دیوار: $F.S_{Sliding} = 2 > 1.125$
- کنترل خروج از محوریت: $e = 0.69 < 2.15\,\text{m}$
- کنترل فشار وارد بر پی از طریق تعیین ظرفیت باربری مجاز خاک پی: $F.S_{B.C} = 2.56 > 2.5$
- کنترل واژگونی دیوار: $F.S_{Overturning} = 5.24 > 1.125$
- کنترل لغزش در اولین لایه ژئوگرید واقع در تراز پایه دیوار:

$$F.S_{Sliding} = 2.45 > 1.125$$

پس از کنترل پایداری خارجی، پایداری داخلی دیوار تحت شرایط استاتیکی بررسی و بر اساس آن تعداد و فواصل لایه‌بندی ژئوگریدها تعیین شدند. آنگاه پایداری داخلی دیوار تحت شرایط لرزه‌ای کنترل شده است. پس از انجام این مراحل، فاصله و اندازه هر لایه ژئوگرید تعیین شد، که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده شده و در جدول ۶ ارائه شده است.



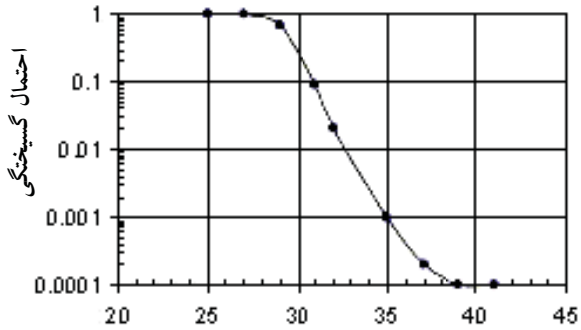
شکل ۶. طرح نهایی دیوار حائل خاک مسلح با ژئوگرید و پوشش MBW در جاده ویژه گلستان

جدول ۶. مشخصات لایه‌بندی ژئوگریدها در مطالعه موردی جاده ویژه گلستان

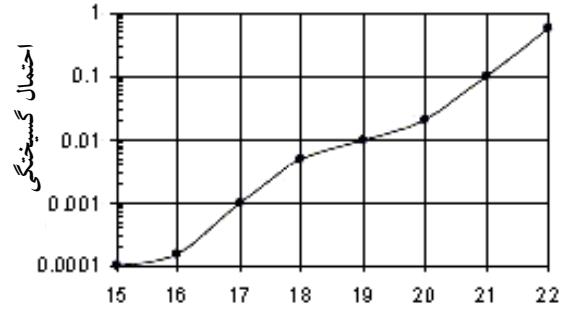
شماره لایه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Z (m)	۰/۴	۱/۲۰	۲	۲/۶۰	۳/۲۰	۳/۸۰	۴/۴۰	۴/۸۰	۵/۲۰	۵/۶۰	۶
$L_{total}(m)$	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸

٤-٢ تحلیل اعتمادپذیری اجرای دیوار خاک مسلح

طبق روندی که در بخش ۲-۲ تشریح شد، برای دیوار خاک مسلح مورد مطالعه در این مقاله حساسیت احتمال گسیختگی در مقابل پارامترهای مختلف محاسبه و به صورت نمودارهای شکل‌های ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده‌اند.



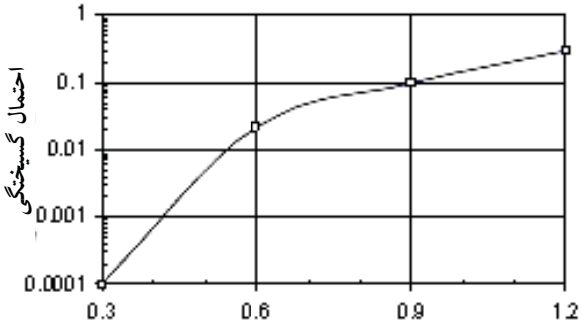
شکل ۷. احتمال گسیختگی در مقابل متوسط زاویه اصطکاک داخلی



شکل ۸. نمودار حساسیت احتمال گسیختگی به متوسط وزن مخصوص خاکریز

شکل ۹. احتمال گسیختگی در مقابل متوسط مقاومت کششی ژئوسنتتیک

شکل ۱۰. احتمال گسیختگی در مقابل متوسط نسبت طول ژئوسنتتیک به ارتفاع دیوار



شکل ۱۱. احتمال گسیختگی در مقابل متوسط فاصله قائم لایه‌های ژئوسنتتیک

با توجه به نمودارهای ترسیم شده، وضعیت اعتمادپذیری دیوار مورد مطالعه ارزیابی شد. احتمال گسیختگی مربوط به هر یک از پارامترهای طراحی هندسی، خاک و ژئوسنتتیک از این قرار است:

- طبق شکل ۷، برای $\varphi_f = 30^\circ$، مقدار احتمال گسیختگی P_f برابر ۲۵٪ است.
- طبق شکل ۸، برای $\gamma_{sat} = 18\,KN/m^3$، مقدار احتمال گسیختگی P_f برابر ۰/۵٪ است.
- طبق شکل ۹، برای مقاومت کششی ٦۰ کیلونیوتن بر متر، مقدار احتمال گسیختگی P_f کمتر از ۰/۰۱٪ است.
- طبق شکل ۱۰، برای نسبت طول ژئوسنتتیک به ارتفاع دیوار ۰/۷۵، مقدار احتمال گسیختگی P_f برابر ۰/۱۵٪ است.
- طبق شکل ۱۱، برای فاصله قائم ۰/۸متر، P_f برابر ۷٪؛ برای ۰/٦متر، P_f برابر ۲٪ و برای ۰/٤متر، P_f برابر ۰/۰۵٪است.

این نتایج نشانگر آن است که دیوار مورد مطالعه از قابلیت اعتمادپذیری بالایی برخوردار است و پایداری قابل‌قبولی دارد.

٤-٣ بررسی نقش اثرات محیطی بر کارآیی دیوار خاک مسلح جاده ویژه گلستان

هرچند پلیمرهای بکار رفته در ژئوسنتتیک‌ها از نظر دوام، طول عمر بالایی دارند، اما این مصالح در برابر برخی عوامل محیطی شدیداً آسیب‌پذیر هستند. از جمله عوامل تخریب‌کننده این مصالح شامل این موارد می‌شوند: صدمات نصب، نور خورشید، دماهای بسیار بالا یا پایین، اکسیداسیون، هیدرولیز، مواد شیمیایی، رادیواکتیو، تخریب بیولوژیک.

عوامل طبیعی متعددی نیز وجود دارند که بر کارآیی این گونه سیستمها تأثیرگذارند، اما آن چه که به طور خاص در این مطالعه مهم است، تأثیر برخورد جریان سیلابی با بدنه دیواره و احتمال تخریب پوشش و همچنین آبشستگی بدنه آن است. دیوارهای خاک مسلح با پوشش‌های متداول از نوع بلوکهای بتنی غیرمسلح، قابلیت تحمل نیروهای ناشی از ضربات سنگین وارده از طرف سنگهای بزرگ شناور هنگام طغیان رودخانه را ندارند و هنگام جریان سیلاب به دلیل شکستگی قطعات نما، امکان فرسایش سریع خاک، ایجاد شرایط لغزش موضعی و به دنبال آن گسیختگی کلی در دیوار وجود دارد. بنابراین در چنین شرایطی لازمست از پوشش‌های خاص و مقاوم که سازگاری کافی با شرایط سخت محیطی را دارند، استفاده شود.

٥. نتیجه‌گیری

دیوارهای خاک مسلح با ژئوسنتتیک ویژگی‌های منحصربه فردی دارند، از جمله این که در عین داشتن استحکام کافی، همچنان انعطاف‌پذیری خود را حفظ می‌کنند، در نتیجه برای مناطق زلزله‌خیز یا ضعیف بستر، مناسب‌ترند. همچنین این دیوارها نسبت به تغییرات نشست حساسیت کمتری داشته و قابلیت اعتمادپذیری قابل‌قبول‌تری نیز دارند. از دیگر مزیت‌های این دیوارها این که، گزینه‌های متعددی برای نوع پوشش دیوار آنها وجود دارد، مانند: پوسته‌های بلوکی منظم، پوشش برگشتی ژئوسنتتیک، پانل‌های بتنی پیش‌ساخته، پانل‌های بتنی یکپارچه، نمای چوبی، گابیون و دیگر نماها مانند سنگی یا پوشش گیاهی.

دیوار خاک مسلح از نظر ارزیابی‌های فنی با محدودیت‌های کمتری مواجه است. در ارزیابی‌های اقتصادی مختلفی که روی این گونه دیوارها صورت گرفته، غالباً به کم‌هزینه بودن احداث دیوار خاک مسلح اشاره می‌شود و آنرا از ارزان‌ترین روش‌های ساخت دیوار حائل می‌دانند. اما شرایط خاص اقلیمی و محیطی هر پروژه، طراحان را ملزم می‌کند تا در تصمیم‌گیری‌های خود، نتایج ارزیابی‌های فنی و اقتصادی همان منطقه را در نظر بگیرند، تا به این ترتیب پروژه مورد نظر علاوه بر داشتن اعتمادپذیری مناسب، از نظر اقتصادی نیز باصرفه محسوب شود. طبق نتایجی که در این تحقیق به دست آمد، استفاده از سیستم خاک مسلح با ژئوسنتتیک برای دیوارهای کوتاه در مقابل دیوار حائل وزنی سنگی صرفه اقتصادی قابل ملاحظه‌ای ندارد. در دیوارهای بلند نیز طرح، زمانی صرفه اقتصادی دارد که شرایط بند ٨ در بخش ٣-٢ به شکلی مناسب تأمین شده باشند. اما طبق آن چه شکل ٤ در مورد ارزیابی اقتصادی انواع دیوارهای حایل نشان می‌دهد، در مجموع این سیستم از نظر اقتصادی باصرفه است. اگرچه این نتایج حاصل فرضیات طراحی خاص است، اما بجز عوامل محیطی و طبیعی، تغییر دیگر پارامترهای طراحی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر هزینه تمام شده نخواهد گذاشت. این به آن معناست که می‌توان نتایج را برای طرح‌های مشابه نیز در نظر گرفت.

ژئوسنتتیک‌ها در برابر برخی عوامل محیطی و طبیعی آسیب‌پذیرند و این عوامل بر کارآیی دیوارهای خاک مسلح نیز شدیداً اثر می‌گذارند. در برخی شرایط، تأثیر این عوامل به قدری است که ممکن است بکارگیری آنها در یک پروژه را غیرقابل توجیه کند.

٦. مراجع

1- Freedonia Industry Study (2007) "Geosynthetics", www.marketresearch.com.

2- Duncan, J.M. (2000) "Factors of safety and reliability in geotechnical engineering", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 126(4), pp. 307–316.

3- Duncan, J.M. (2001) "Closure to discussions on "Factors of safety and reliability in geotechnical engineering", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(8), pp. 717–721.

4- Sabatini, P.J., Griffin, L.M., Bonaparte, R. [et.al] (2002) "Reliability of state of practice for selection of shear strength parameters for waste containment system stability analyses", Journal

of Geotextiles and Geomembrane (20), pp. 241-262.

5- Yuan, J.X., Yang, Y., Tham, L.G. [et.al] (2003) "New approach to limit equilibrium and reliability analysis of soil nailed walls", Int. J. Geomech., Vol. 3, No. 2, pp. 145-151.

6- Chalermyanont, T. and Benson, C.H. (2004) "Reliability-based design for internal stability of mechanically stabilized earth walls", J. Geotechnical and Geoenvironmental. Eng., ASCE, 130(2), pp. 163-173.

7- Koerner, M.R., Soong, T. (2001) "Geosynthetic reinforced segmental retaining walls", Journal of Geotextiles and Geomembrane, (19), pp. 359-386.

۸- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۵) "فهرست بهای واحد رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن، رسته راه‌وترابری"، معاونت امورفنی،دفترامورفنی و تدوین معیارها.

9- FHWA-NHI-00-043 (2001) "Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design & construction guidelines", National Highway Institute Office of Bridge Technology.

Applicability Study of Geosynthetic Reinforced Soil Walls: A Case Study in Golestan Special Road

Gh. Shafabakhsh, Assistant Professor, Department of Engineering,
Semnan University, Semnan, Iran
Haddad, Assistant Professor, Departent of Enginering,
Semnan University, Semnna, Iran.
M. Akbari, MSc., Department of Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
Z. Gavashiri, Transportation Research Institute, Tehran, Iran
E-mail: ghshafabakhsh@semnan.ac.ir

ABSTRACT

Retaining wall is one of the structures that have being used extensively in road and railway networks. Over time, the classical gravity walls transitioned into cantilever reinforced concrete types. A paradigm shift occurred in the 1960s with the advent of Mechanically Stabilized Earth (MSE) masses, i.e., reinforced layers of soil allowing for modular construction. The reinforcement was initially steel straps, and subsequently welded wire mesh provided an alternative. By the 1980's the MSE technology used polymeric reinforcement like geotextiles, geogrids and other polymer straps. As geosynthetics have many advantages (certainly reinforcement and drainage), nowadays designing and implementing of such retaining walls grows rapidly up and more attended.

Applicability Study of Geosynthetic Reinforced Soil Walls gives an opportunity to evaluate technical and economical issues of these walls, analyze reliability of their internal stability and investigate environmental effects on their structures. This paper (based largely on Golestan special road study) will present a comparison of technical notes of different types of retaining walls, and then follow with their reliability analysis about internal stability of geosynthetic reinforced soil walls. It will then present economical analysis and compare cost data of building different retaining wall such as gravity walls (masonry block and concrete), cantilever reinforced concrete and geosynthetic reinforced soil walls. Finally it will study applicability of implementing this process for Golestan special road. This process and some results of this research will be given as follows.

Comparird to gravity or reinforced concrete, geosynthetic reinforced soil walls are more flexible, and have the ability to absorb the earthquake forces much better. They can support more displacements than other wall types, so usage of them on soft soils, in areas with high possibility of earthquake and also for high height embankments are suitable and have cost effectiveness.

In other part of this research, authors take economical analysis to compare results as which type of wall and in which height has alternative benefit. After examining site plan of study case base and detecting designing parameters, the denoted retaining walls were designed, then the total cost of their construction were computed and the results were illustrated in a chart. Comparison of illustrated cost data shows that cantilever reinforced concrete walls are by far the most expensive, with gravity walls (masonry block and concrete) significantly less expensive. Note that gravity walls are rarely over 6 meters in height. This limitation first comes from their high mass weight and earthquake considerations. In the other hand, supporting materials would be difficult. It is also obvious that in height between 6-10 meters, geosynthetic reinforced soil walls are the least expensive of all wall categories. Nonetheless in height less than 6-m geosynthetic reinforced soil walls have better reaction to variation of displacement and take less affect under lateral forces such as earthquake loading. By

comparing economic surveys, it becomes appeared that geosynthetic's prices have a significant effect on the total cost. So if our manufactures produce these materials in the country, total cost of geosynthetic reinforced soil walls will be decreased.
Last step of applicability study is considering the impact of environmental and natural issues on walls serviceability. Some of the degradation properties include sunlight (ultraviolet radiation), temperature, oxidation and hydrolysis, chemical, radioactive and biological degradation. There are several environmental issues that affect such walls, but in this certain area, floods make critical situation for wall's structure. Floods moved huge stones to wall face and soil layers may be scoured. As results of this paper reflect, geosynthetic reinforced soil walls, although, have economical benefits and its reliability is acceptable, their sensitivity to environmental issues caused not to take them as alternative to avoid golestan special road oppose concerns.

Keywords: Geosynthetic walls, reinforced soil, geotextiles, geogrids