بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مشخصات فنی عمومی خاک مسلح با استفاده از تسمه‌های فولادی

مولف:
کامبیز بهنیا

شماره نشر : ک-۹۳۲
چاپ: ۱۴۰۰

سرشناسه	: بهنیا، کامبیز، ۱۳۲۳
عنوان و نام پدیدآور	: مشخصات فنی عمومی خاک مسلح با استفاده از تسمه‌های فولادی/مولف کامبیز بهنیا
مشخصات نشر	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱٤۰۰.
مشخصات ظاهری	: ٤۲ص.: مصور، جدول، نمودار
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: ک -۹۳۲
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۳۲۶-۸
وضعیت فهرستنویسی	: فیپا
یادداشت	: ص.ع. به انگلیسی: Combyse Behnia. General technical specification of reinforced earth.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ٤۰
موضوع	: خاک مسلح
موضوع	: Reinforced soils
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: TA۷۶۰
رده بندی دیویی	: ٦۲٤/۱٦۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۷٦۳۱۲۲۸
وضعیت رکورد	: فیپا

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: مشخصات فنی عمومی خاک مسلح با استفاده از تسمه‌های فولادی
مولف: کامبیز بهنیا
شماره نشر: ک- ۹۳۲
ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
نوبت چاپ: اول
تیراژ: ۲۰جلد
قطع: وزیری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
قیمت: ۸۰۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۳۲۶-۸ **ISBN**: 978-600-113-326-8

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیهٔ حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ تلفن: ٦-۸۸۲۵۵۹٤۲ دورنگار: ۸۸۳۸٤۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

سخن مرکز

استفاده بهینه از منابع و سرمایه¬های موجود، یکی از لازمه¬های توسعه و آبادانی هر کشور است. به منظور تحقق انتخابی فنی و اقتصادی از میان روش¬های اجرایی موجود، ضروری است تا دامنه کاربرد، مشخصات فنی و الزامات مربوط به هر روش، در هر دو مرحله طراحی و اجرا به دقت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. در این میانه نباید از اهمیت و تاثیر پایش و نگهداری ابنیه در مدیریت سرمایه¬ها غافل شد. گسترش ارتباطات و فناوری اطلاعات، دسترسی به مدارک و مستندات فنی بین¬المللی و تجربه¬های جهانی موجود در عرصه طراحی و اجرا را تسهیل نموده و منجر به افزایش دانش فنی در زمینه¬ فن¬آوری¬ها و روش¬های نوین طراحی و اجرا شده است. در همین راستا ضروری است تا تجربه¬های فنی موجود در کشور، به نحوه شایسته مستندسازی شده و در اختیار مهندسین و دانش¬پژوهان قرار گیرد. به این منظور، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در راستای اهداف و ماموریت¬های خود، اقدام به نشر و ترویج روش¬ها و فنون طراحی و اجرا و ارائه ضوابط و دستورالعمل¬های کاربردی می¬نماید. امید است انتشار مجلد پیش رو که عصاره سال¬ها پژوهش و تجربیات اجرایی استاد پیشکسوت دانشکده فنی دانشگاه تهران جناب آقای دکتر کامبیز بهنیا پیرامون مشخصات فنی دیوارهای خاک مسلح با استفاده از تسمه¬های فولادی می¬¬باشد، منجر به تعمیق آگاهی و دانش، پیرامون این روش طراحی و اجرا در کشور شود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱ کلیات	۱
۲ اصول کار	۱
۳ کاربردهای روش خاک مسلح	۲
٤ شیب‌های خاکی مسلح	۸
٥ مشخصات فنی اجرای تشکیل‌دهنده	۹
٥-۱ مصالح خاکریز	۹
٥-۱-۱ ضوابط ژئوتکنیکی	۱۰
٥-۱-۲ ضوابط شیمیایی و الکتروشیمیایی	۱۱
٥-۱-۳ اجرای خاکریز و متراکم کردن آن	۱۱
٥-۱-٤ زهکشی	۱۲
٥-۱-٥ نشست‌های مربوط به خاکریز	۱۳
٥-۱-٦ نشست خاک بستر	۱۳
٥-۱-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح خاکریز	۱٤
٥-۱-۷-۱ تراکم نسبی لایه‌های خاکریز	۱٤
٥-۲ تسمه‌ها (جوشن‌ها)	۱٤
٥-۲-۱ تهیه و انبار کردن تسمه‌ها در کارگاه	۱٦
٥-۲-۲ کنترل کیفی تسمه‌ها	۱۷
٥-۲-۳ دوام تسمه‌ها	۱۷
٥-۳ زبانه‌های تسمه‌گیر	۱۹
٥-٤ پیچ و مهره‌ها	۲۰
٥-٥ بالشتک تکیه‌گاهی و درزگیرها	۲۱
٥-٦ گل میخ	۲۱
٥-۷ قطعات پوسته (نمای خارجی)	۲۲
٥-۷-۱ مشخصات نما با پوسته بتنی معمولی	۲۲
٥-۷-۱-۱ اجرای دیوار با نمای قطعات پیش ساخته بتنی	۲٤
٥-۷-۱-۲ تهیه و انبار کردن قطعات پیش‌ساخته بتنی در کارگاه	۲٦
٥-۷-۱-۳ روش کلی نصب	۲۸
٥-۷-۱-٤ رواداری‌های نصب	۲۸
٥-۷-۱-٥ کنترل کیفی بتن قطعات	۲۸

۵-۷-۱-۶ کنترل کیفی میلگردهای استفاده شده در قطعات ۲۹
۵-۷-۲ مشخصات نما با پوسته بتنی گلدانی ۲۹
۵-۷-۳ مشخصات نما با شبکه مش فولادی ۳۰
۵-۷-۳-۱ تهیه و انبار کردن شبکه مش فولادی ۳۱
۶ نگهداری و تعمیر خاک مسلح ۳۱
پیوست ۳۶
فهرست منابع ۴۰

چکیده:

روش خاک مسلح توسط هانری ویدال[1] مهندس و معمار فرانسوی اختراع و ثبت شد و اولین بناهای آزمایشی در همان سال‌ها (۱۹٦۳ تا ۱۹٦٦) اجرا شد.

روش خاک مسلح به سرعت دنیاگیر شد و کاربری آن به همه جا رفت. از آن جمله روش توسط نگارنده این سطر به ایران آورده شد (اوایل سال‌های ۱۳۵۰) و آن هم به واسطه پژوهش‌های انجام گرفته به عنوان محقق دوره دکتری در آزمایشگاه مرکزی پل و راه پاریس که مسوولیت این پژوهش‌ها را به عهده داشت.

در سال ۱۳٥٤ به پیشنهاد هانری ویدال (که شرکت‌های مشابهی در نقاط مختلف دنیا از جمله ایالات متحده آمریکا، اسپانیا، برزیل، استرالیا تاسیس کرده بود) شرکت «خاک مسلح ایران» به مدیریت عامل نگارنده تاسیس شده و از همان اوان پروژه‌هایی اجرا شد که از آن جمله مهم‌ترین آن رمپ‌های پل پیش‌تنیده حصارک روی آزادراه کرج قزوین بود. در آن ایام به درخواست مدیریت وقت «مرکز تحقیقات مسکن» سلف »مرکز تحقیقات راه و شهرسازی» فعلی دیوار آزمایشی هم در محوطه مرکز ساخته شد که متاسفانه بدون عملیات پژوهشی پیش‌بینی شده به دلایل نامعلوم برچیده شد.

شرکت «خاک مسلح ایران» همکاری‌های مفید و ارزنده‌ای با «وزارت راه و ترابری» آن زمان و شهرداری تهران داشت که نتایج آن در تهران و راه‌های مختلف کشور مشهود است.

در خاتمه لازم به یادآوری است که دفتر فنی امور آب وزارت نیرو در نشریه شماره ۱٦ مورخ بهمن ۱۳۷٤ نسبت به ترجمه، تدوین و انتشار دفتر «طرح و اجرای سازه‌های خاک مسلح اقدام کرده و به گونه‌ای جامع طرح و اجرای بناهای «خاک مسلح» را ارائه کرده است.

کامبیز بهنیا

دانشیار بازنشسته دانشگاه تهران

[1] - Henri Vidal

۱ کلیات

سازه «خاک مسلح» معادل "Reinforced Earth®" یا "Terre armée" که از سال ۱۳۵٤ در ایران ثبت شده است، از دو بخش عمده شامل توده خاک مسلح و نمای خارجی آن تشکیل می‌شود. توده خاک مسلح متشکل از مصالح خاکی مناسب و جوشن‌های فلزی است. نمای خارجی سازه پوسته‌ای بتنی یا شبکه فلزی است که جهت جلوگیری از ریزش موضعی خاک طراحی و ساخته می‌شود. نوع فلز جوشن‌های نواری بر حسب مورد، فولاد آجدار گالوانیزه و گاه همراه با انواع دیگر روکش مانند قیر یا اپوکسی است.

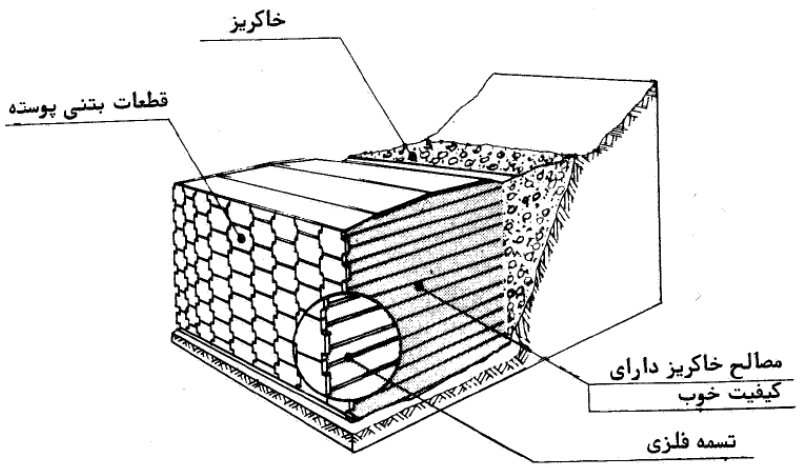
۲ اصول کار

خاک مسلح اساساً از خاک و جوشن‌های فلزی تشکیل می‌شود. در غالب موارد جوشن‌ها که نوارهای فلزی هستند به طور افقی عمود بر سطح نما قرار می‌گیرند و نیروی کشش قابل ملاحظه‌ای را تحمل می‌کنند (شکل ۱).

خاک مسلح نظیر بتن مسلح خواص مکانیکی خاک را در جهتی که این خاک تحت نیروهای کششی قرار می‌گیرد، بهبود می‌بخشد.

عامل اصلی در عملکرد سیستم خاک مسلح اصطکاک بین خاک و جوشن‌هاست. خاک به واسطه اصطکاک، نیروهای وارد را به جوشن‌ها منتقل می‌کند و جوشن‌ها تحت کشش قرار می‌گیرند. به این ترتیب خاک در جهاتی که جوشن‌ها قرار

گرفته‌اند دارای چسبندگی می‌شود که میـزان آن بـا مقاومـت کششـی جوشـن‌هـا و اصطکاک خاک و جوشـن‌هـا مـرتبط اسـت. لـذا خـاک مـورد اسـتفاده بایـد دارای اصطکاک داخلی مناسبی بوده و از نوع مصالح دانه‌ای غیرچسبنده و زهکش انتخاب شود.



شکل ۱- برشی از یک توده خاک مسلح با نمای قطعات بتنی پیش‌ساخته

استفاده از خاک‌های چسبنده ریزدانه یا خاک‌های جاذب آب، منجر بـه ایجـاد فشـار آب حفره‌ای در حین بارگذاری شده و موجب کاهش مقاومت خاک می‌گردد.
در یک بنای خـاک مسـلح لازم اسـت کـه در نمـای خـارجی آن پوسـته‌ای جهـت جلوگیری از ریزش خاک بین جوشن‌ها پیش‌بینـی شـود. بـه ایـن پوسـته مـی‌تـوان شکل‌های گوناگونی داد.

۳ کاربردهای روش خاک مسلح

کاربرد خاک مسلح اصولاً در ابنیه نگهبان اعم از دیوارهای حایل، پایـه‌هـای کنـاری پل‌ها، دیوارهای کناری بندرها و بالاخره هر کجا کـه بنـایی حجـیم و انعطـاف‌پـذیر مورد نظر باشد، است. دلایل این امر که نتیجه مستقیم تکنولوژی خاک مسـلح اسـت به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

- به دلیل انعطاف پذیری ابنیه خاک مسلح، این بناها می‌توانند بدون خسارت، نشست‌های کلی و نامساوی زیادی را تحمل کنند.
- اجرای خاک مسلح عیناً مانند اجرای یک خاکریز است و با همان سرعت انجام می‌شود.
- می‌توان یک بنای خاک مسلح را در صورتی که مقاومت زمین زیر کم باشد، در چند مرحله انجام داد تا زمین زیر به تدریج بارگذاری شود و خطر نشست نامتقارن بنا به وجود نیاید.
- خاک مسلح احتیاج به پی ندارد و فقط کافی است که در زمین‌های سست ریشه آن عمیق‌تر در نظر گرفته شود.
- اجرای خاک مسلح در خشکی و نیز کنار آب و در آب امکان‌پذیر است.
- ابنیه خاک مسلح در برابر زلزله مقاوم‌اند.
- ابنیه خاک مسلح در برابر انفجار مقاومت قابل ملاحظه‌ای دارند.

با توجه به مراتب فوق موارد کاربرد خاک مسلح را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد:

دیوارهای نگهبان (شکل ۲)، پایه‌های کناری پل‌ها (شکل ۳)، دیوارهای حفاظتی بندرها، دیوارهای اطراف شیبراهه‌ها، دیوارهای حفاظتی اطراف مخازن سوخت، دیوارهای بلند معادن، دیوارهای پایدار کننده شیب‌ها، دیوارهای اطراف ساختمان‌ها، زیرسازی راه‌ها و ساختمان‌ها (شکل ٤ و ٥) و سایر کاربردهای ویژه.

جمله مزایای استفاده از روش خاک مسلح عبارت است از:

- سرعت کار

شکل ۲- دیوار خاک مسلح اطراف ساختمان مسکونی

- استفاده از مصالح بسیار ارزان قیمت یعنی خاک
- عدم نیاز به پی (در صورت سست بودن زمین زیر کافی است بنا از ژرفای بیشتری آغاز شود و زمان‌های نشست زمین زیر محاسبه شده و مد نظر قرار گیرند)

شکل ۳- دیوار خاک مسلح- پایه کناری پل‌ها

- عدم نیاز به فضای بیش از محدوده داخل شیبراهه
- زیبایی ظاهری و امکان تامین کیفیت بسیار بالای بتن در قطعات پوسته بـه دلیـل پیش‌ساختگی

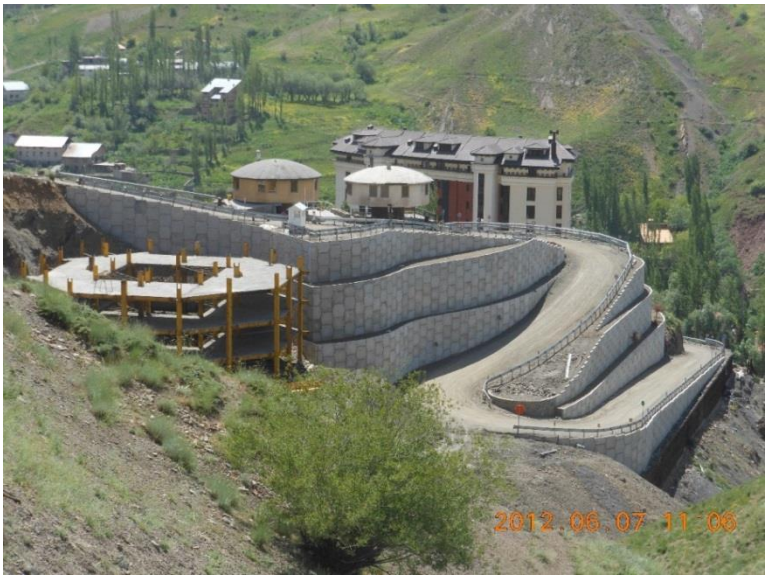
شکل ٤- زیرسازی ساختمان صنعتی

شکل ٥- زیرسازی ساختمان مسکونی

یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از دیوارهای خاک مسلح در مناطق شهری، زیبایی این دیوارها است. با استفاده از قطعات بتنی نما که دارای طرح برجسته و یا نمای کاشی، سنگ و . . . هستند می‌توان نمایی زیبا برای این دیوارها ایجاد کرد که جایگزین مناسبی برای دیوارهای بتنی یا وزنی هستند.

همچنین استفاده از دیوارهای خاک مسلح گلدانی می‌تواند محلی مناسب جهت ایجاد فضای سبز در حاشیه بزرگراه‌ها فراهم کند (شکل ٦). علاوه بر این با استفاده از خاک مسلح، مشکل وجود معارض در شهرها از قبیل وجود لوله‌های آب، گاز و کابل‌های برق را نیز می‌توان حل کرد و به راحتی و بدون جابه‌جایی این معارض، دیوار را اجرا کرد.

شکل ٦- نمای دیوار خاک مسلح- گلدانی و خاک مسلح با نمای سنگی



شکل ۷- دیوار خاک مسلح راه دسترسی به مجتمع مسکونی

شکل ۸- دیوار خاک مسلح- محوطه سازی

به دلیل انعطاف‌پذیری مناسب، احداث این دیوارها در مناطق زلزله‌خیز بسیار توصیه می‌شود. زیرا به هنگام زلزله آسیب قابل توجهی ندیده و با توجه به حساس نبودن این دیوارها نسبت به نشست می‌توانند نشست‌های کلی و نامساوی زیادی را تحمل کنند.

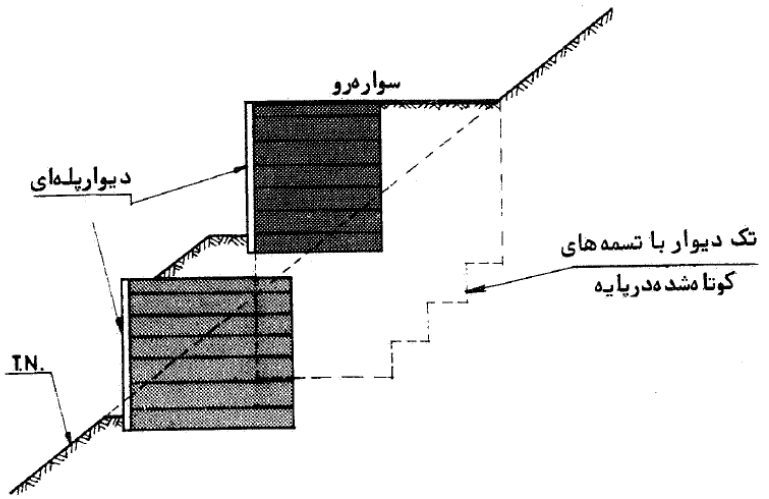
٤ شیب‌های خاکی مسلح

سازه‌های خاک مسلح غالباً در مواردی که شیب زمین نزدیک به حد ناپایداری است کاربرد پیدا می‌کنند. در بسیاری از موارد که حرکت‌های زمین شیب‌دار قابل توجه‌اند، راه حل خاک مسلح یکی از معدود راه حل‌های ممکن است. با وجود این، انتخاب راه حل خاک مسلح باید پاسخگوی خواسته‌های گاه متضاد زیر باشد:

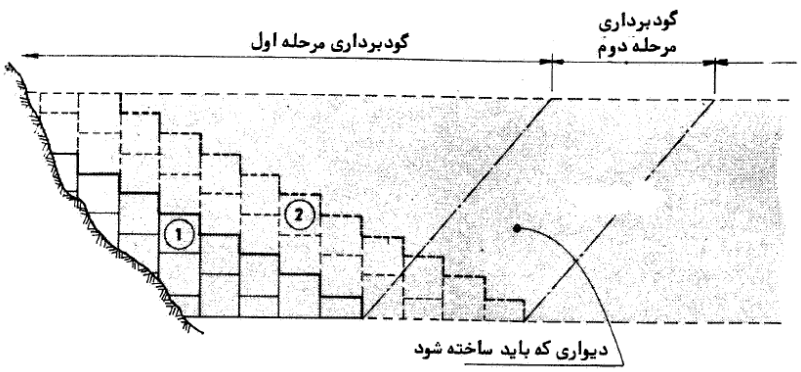
- به حداقل رساندن حجم گودبرداری‌ها و کسب اطمینان از پایداری کوتاه مدت آن‌ها با کاهش ژرفای ریشه دیوار یا با کوتاه شدن طول تسمه‌ها در بخش زیرین دیوار.
- بهبود پایداری خارجی سازه و تلاش در ژرفتر کردن سطوح گسیختگی بالقوه توسط افزایش ریشه دیوار و عرض آن.

ضریب اطمینان در رابطه با پایداری کلی سازه در درازمدت باید تا حد امکان به ضریب اطمینان شیب طبیعی زمین نزدیک باشد، بدین منظور می‌توان راه حل‌های زیر را انتخاب کرد:

- اجرای پله‌ای دیوار (شکل ۹)
- ساخت مرحله‌ای (شکل ۱۰)



شکل ۹- ساخت پله‌ای



شکل ۱۰- ساخت در چند مرحله

۵ مشخصات فنی اجزای تشکیل‌دهنده

۵-۱ مصالح خاکریز

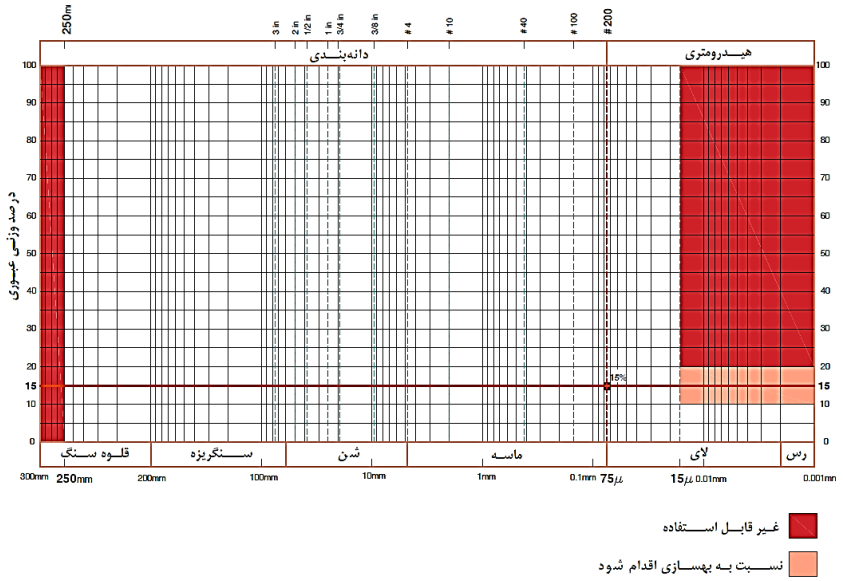
مصرف خاک‌های زراعتی، پسماندهای صنعتی و ضایعات و خاک‌های آوار در خاک مسلح مجاز نیست. مصالح خاکریز باید از دو نقطه نظر ژئوتکنیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گیرد و شرایط زیر را داشته باشد:

۵-۱-۱ ضوابط ژئوتکنیکی

خاک‌های مصرفی باید دارای خصوصیات زیر باشند:

الف- زاویه اصطکاک داخلی مصالح اشباع شده (در شرایط آزمایش سریع) نباید از ۲۵ درجه کمتر باشد.

ب- ابعاد درشت‌ترین دانه‌های تشکیل دهنده مصالح نباید از ۲۵۰ میلی‌متر تجاوز نماید (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- محدوده دانه‌بندی مجاز برای توده خاک مسلح

پ- حداکثر مجاز درصد وزنی دانه‌های ریزتر از ۰٫۰۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۲۰۰) در مصالح خاکریز ۱۵ درصد است. در مورد خاک‌هایی که بیش از ۱۵ درصد دانه‌های ریزتر از الک شماره ۲۰۰ دارند باید نسبت به بهسازی اقدام شود.

ت- در حالت مصالح حساس در مقابل رطوبت، لازم است که میزان رطوبت خاک به ۱۵ درصد محدود شود.

ث- استفاده از مارن و رس و گچ و اصولاً مصالح جذب کننده آب مجاز نیست.

به طور کلی استفاده از مخلوط‌های «خوب دانه‌بندی شده» برای خاکریزی توده خاک مسلح توصیه می‌شود (به منابع مکانیک خاک مراجعه شود).

۵-۱-۲ ضوابط شیمیایی و الکتروشیمیایی

لازم است آزمایش‌های شیمیایی جهت تعیین میزان یون (Cl^-) و یون (SO_4^{--}) بر روی مصالح خاکریز ابنیه خاک مسلح به عمل آید و نتایج با اندازه‌های زیر مطابقت داشته باشد:

الف- میزان حداکثر یون (Cl^-) برای بناهای واقع در خشکی ۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم مصالح و در مورد بناهای داخل آب شیرین ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم است. میزان حداکثر یون (SO_4^{--}) نیز به ترتیب ۱۰۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم می‌باشد.

ب- میزان pH خاک اندازه گرفته شده در مخلوط آب- خاک باید بین ۵ تا ۱۰ باشد.

پ- مصالح خاکریز باید فاقد مواد آلی باشند.

۵-۱-۳ اجرای خاکریز و متراکم کردن آن

نصب جوشن‌ها و خاکریزی، قسمت‌های اصلی خاک مسلح را تشکیل می‌دهد و به این جهت لازم است به طور صحیح اجرا شود. جوشن‌ها را باید عمود به سطح نما و از پهنا به طور افقی روی لایه خاکریز که قبلاً انجام گرفته و متراکم شده قرار داد. این جوشن‌ها را به وسیله پیچ و مهره به قطعات پوسته متصل می‌نمایند. مقدار سفت کردن پیچ‌ها معادل مقدار لازم برای یک اتصال اتکایی است.

ارتفاع هر لایه خاکریزی برابر با نصف فاصله عمودی دو ردیف جوشن است. این فاصله در حالت پوسته بتنی برابر با ۳۷ر۵ سانتی‌متر می‌باشد.

پخش و تسطیح لایه‌ها باید به موازات نمای بنا صورت گیرد تا رانش ناشی از حرکت ماشین‌آلات مستقیماً به ردیف‌های آخر پوسته که خاکریزی در پشت آن‌ها صورت می‌گیرد وارد نشود.

لازم است از عبور کامیون‌ها در فاصله کمتر از ۱٫۵ متری پوسته اجتناب شود تا از جابه‌جا شدن پوسته‌هایی که هنوز پشت آن‌ها کاملاً کوبیده نشده، جلوگیری به عمل آید.

در مورد کاربرد ماشین‌آلات زنجیردار باید مطلقاً از تماس مستقیم زنجیر با جوشن‌ها اجتناب کرد. خودرو باید حتماً روی لایه خاکی که در جلوی خود پخش می‌کند حرکت نماید.

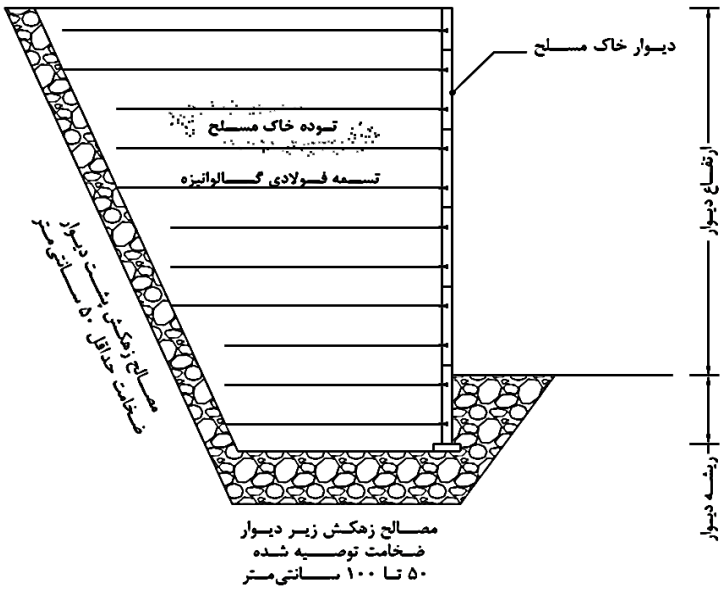
به منظور اجتناب از تغییرمکان قطعات پوسته، غلتک‌های سنگین نباید به هنگام عبور از فاصله یک متری به پوسته نما نزدیک‌تر شوند. متراکم کردن خاک در نزدیکی نما باید به وسیله وسایل سبک لرزنده صورت گیرد. عمل تراکم باید همواره به موازات پوسته و از داخل به طرف پوسته صورت گیرد.

٥-١-٤ زهکشی

توده خاک مسلح نباید از آب اشباع شود و حالت یک سد را به خود بگیرد. نمونه‌ای از نحوه اجرای زهکش در زیر و پشت دیوار خاک مسلح در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

معمولاً مصالح دانه‌ای مصرفی در خاک مسلح باید به عنوان زهکش عمل کند و آب در آن جمع نشود. ولی اگر خاک مصرفی خاصیت زهکشی مناسبی نداشته باشد و احتمال اشباع آن وجود داشته باشد، باید ملاحظات خاصی را برای زهکشی آن به کار برد.

آنچه که معمولاً انجام می‌شود این است که بین توده خاک مسلح و زمین طبیعی یعنی در پشت و زیر دیوار یک لایه ۵۰ سانتی‌متری تا یک متری مصالح درشت‌دانه زهکشی برای تخلیه آب اجرا می‌شود، در هر صورت برای هر پروژه لازم است سیستم زهکشی مناسب طبق نظر مشاور خاک مسلح طراحی شود.



شکل ۱۲- سیستم زهکشی در زیر و پشت دیوار خاک مسلح

۵-۱-۵ نشست‌های مربوط به خاک

به علت وجود تسمه‌ها، سازه‌های خاک مسلح از خاکریز به همان ارتفـاع، بـا همـان مصالح و با تراکم یکسان نشست کمتـری دارد. بـه شـرطی کـه هـیچ‌گونـه جریـان ناگهـانی آب بـر مشخصـات مکـانیکی مصـالح خـاکریز اثـر نگـذارد، مـی‌تـوان از نشست‌های مربوط به یک توده خاک مسلح خوب متراکم شده (که در حـدود چنـد هزارم ارتفاع است) صرف نظر کرد.

۵-۱-٦ نشست خاک بستر

انعطاف‌پذیری بناهای خاک مسلح نسبتاً زیاد است و نشست‌های خاک بستر معمـولاً اثرات مخربی بر روی خاک مسلح ندارد. با این وجود بر اساس هدف نهـایی سـازه (اعم از دیوارهای حائل نگهدارنده، راهسازی، سـکوسـازی و ...) در صـورت لـزوم باید نسبت به بهسازی خاک بستر اقدام گردد.

۵-۱-۷ آزمایش‌های کنترل کیفیت مصالح خاکریز

مصالح قرضه منتخب برای خاک مصرفی در سازه، قبل از شروع عملیات باید مورد آزمایش قرار گیرد تا کیفیت آن به شرح بند ۵-۱ از نظر دانه‌بندی و میزان یون‌های سولفات و کلر قابل حل در آب و pH تعیین شود.

در جریان پیشرفت کار از مصالحی که در سازه خاکریز مسلح استفاده می‌شود برای هر ۱۵۰۰ مترمکعب یک آزمایش دانه‌بندی باید انجام شود. یون‌های کلر و سولفات موجود در خاک نیز باید متناوباً و به تشخیص دستگاه نظارت کنترل شود.

۵-۱-۷-۱ تراکم نسبی لایه‌های خاکریز

به دلیل درشت دانه بودن مصالح مصرفی در خاک مسلح، کنترل کوبیدگی باید بر پایه آزمایش بارگذاری صفحه صورت پذیرد. تجهیزات مورد استفاده در این آزمایش و دستورالعمل اجرای آن بر پایه استانداردهای SNV سوییس (VSS) در پیوست شماره یک آورده شده است.

۵- ۲ تسمه‌ها (جوشن‌ها)

جوشن‌های فلزی باید مشخصات زیر را داشته باشند:

الف- مقاومت کششی مناسب و کافی و گسیختگی از نوع غیرشکننده. حداقل مقاومت کششی (F_y) برابر با ۲۳۵ MPa می‌باشد (فولاد $St-37$).

ب- تغییرشکل‌پذیری (حداقل ۲۶ درصد) تا گسیختگی.

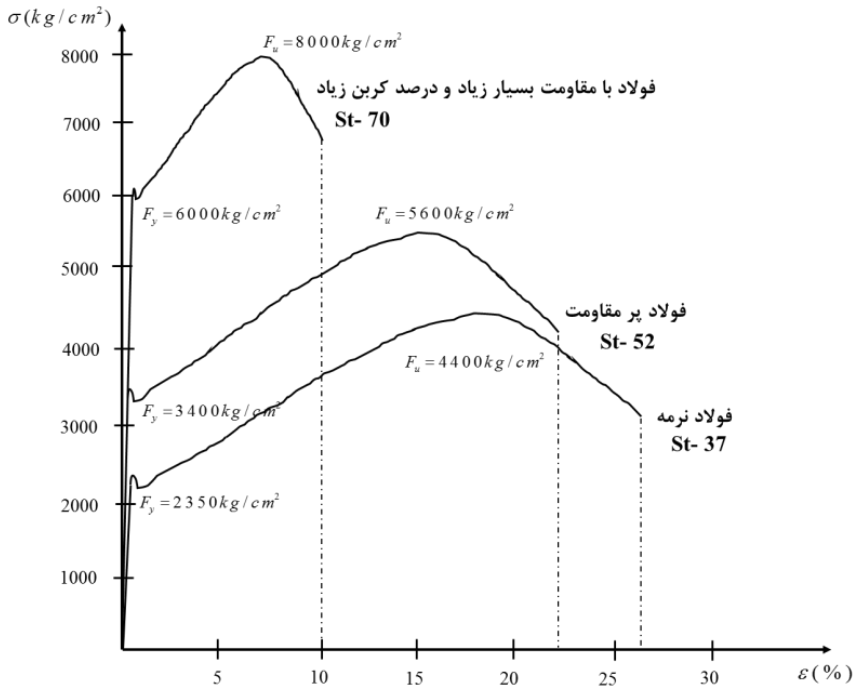
پ- اصطکاک کافی با مصالح خاکریز که بستگی به وضعیت سطح تسمه و وزن خاک روی آن دارد.

ت- انعطاف‌پذیری کافی تا حدی که مانع تغییرشکل‌پذیری مجموعه "خاک مسلح" نباشد.

ث- طول عمر کافی.

در شرایط فعلی مناسب‌ترین فلز که تمامی مشخصات فوق را دارد فولاد است. فولاد مقاومت کافی در برابر حریق، نشت مواد نفتی، تابش آفتاب و ... را دارد،

همچنین این فلز در داخل کشور تولید شده و پروسه تولید بسیار ساده و قابل کنترلی دارد. علاوه بر این، آزمایش‌های کنترل کیفیت جوشن‌های فولادی در ایران قابل انجام است و این فلز در کشور شناخته شده بوده و از سابقه کاربرد بیش از ٤٠ سال در بناهای خاک مسلح برخوردار است.



شکل ۱۳- حد کشسانی و تغییرشکل‌پذیری فولاد

تسمه‌هایی که از فولاد نرمه گالوانیزه ساخته می‌شوند معمولاً دارای مقطعی برابر با ٥٠×٥ میلی‌متر و یا ٦٠×٦ میلی‌متر هستند. سطح آن‌ها آجدار است تا اصطکاک خاک با تسمه‌ها بهتر شود به همین دلیل این تسمه‌ها را تسمه‌های با پیوستگی بالا می‌نامند (شکل ١٤).

برای شرایط محیطی ویژه، سازه‌های دریایی یا در مجاورت دریا از فولاد با پوشش‌های خاص استفاده می‌شود.

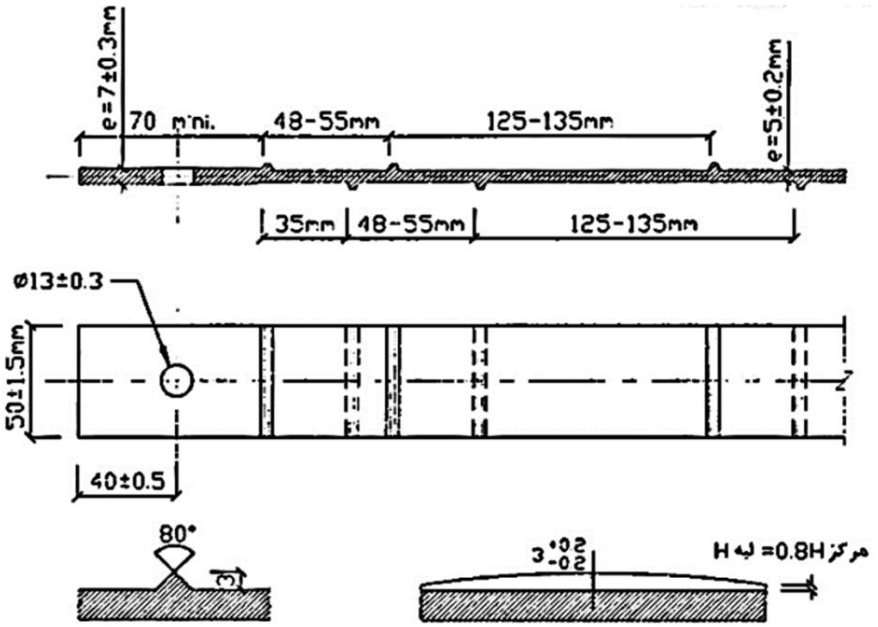
شکل ١٤- تسمه‌های با پیوستگی بالا (آجدار)

مشخصات دقیق جوشن‌ها شامل نوع فولاد، طول و عرض و ضخامت آن تابع نوع و موقعیت بنای مورد نظر است که برای هر طرح در مشخصات فنی خصوصی قید شده و یا توسط مشاور خاک مسلح تعیین می‌گردد.

۵- ۲-۱ تهیه و انبار کردن تسمه‌ها در انبار

تسمه‌های فلزی معمولاً در دسته‌های ۵۰ تایی به کارگاه وارد می‌شوند. تخلیه آن‌ها احتیاج به جرثقیل کوچک دارد. محل انبار تسمه‌ها باید دور از آمد و شد کارگاهی باشد. طول، نوع، ضخامت و عرض تسمه‌ها مطابق با مشخصات فنی خصوصی به شرح زیر است:

- ضخامت اسمی
- مقطع عمومی $e = 5mm \pm 0.2mm$
- تقویت $e = 7mm + 0.3mm$
- عرض اسمی $b = 50mm \pm /1.5mm$
- طول اسمی بر حسب طرح L_{nom}
- رواداری $L = L_{nom} \pm 0.1m$



شکل ۱۵- مشخصات هندسی تسمه‌ها

۵- ۲-۲ کنترل کیفی تسمه‌ها

کنترل‌های کیفی تسمه‌ها شامل کنترل کیفی فولاد به هنگام سفارش (مشخصات مکانیکی و شیمیایی فلز)، کنترل مشخصه‌های هندسی و کنترل ضخامت روکش بر اساس استاندارد $ASTM\ A123$ است. روکش روی حداقل به میزان ۲ر۷ گرم در دسی مترمربع (برابر حدود ۱۰۰ میکرون روی فولاد) است.

۵- ۲-۳ تسمه‌ها

مدت استفاده بنای خاک مسلح بستگی به دوام جوشن‌های کششی در تماس با خاک و آب و تاثیر ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی و بیولوژیکی دارد. در حالت استفاده از جوشن‌های فلزی، این دوام اساساً تابع نوع و شدت پدیده‌های خوردگی و زنگ زدگی فلز است. لذا، اصولاً در طراحی سازه‌های خاک مسلح اضافه ضخامت مناسب به منظور رفع اثر زنگ زدگی و خوردگی در نظر گرفته می‌شود.

زمان استفاده یا عمر مفید حداقل را باید از زمان استفاده احتمالی که به مراتب طولانی‌تر است تمیز داد تا طراحی به لحاظ اقتصادی قابل توجیه باشد. لذا، طراح باید اندازه‌دهی اجزای تشکیل دهنده سازه خاک مسلح را طوری انجام دهد که با عمر مفید سازه که یکی از داده‌های طراحی است مطابقت داشته باشد.

سازه‌های خاک مسلح در این رابطه به سه طبقه تقسیم شده‌اند:

الف- سازه‌های"موقت کوتاه مدت" که دارای مدت زمان بهره‌برداری کمینه ۵ ساله‌اند.

ب- سازه‌های "موقت دراز مدت" که دارای مدت زمان بهره‌برداری کمینه ۳۰ ساله‌اند.

ج- سازه‌های "دائمی" با مدت زمان بهره‌برداری کمینه‌ای که:

- برای ساختمان‌های معمولی (یعنی به طور عمده سازه‌های نگهبان) مدت زمان بهره‌برداری کمینه ۷۰ سال است.
- برای سازه‌های با درجه ایمنی بالا (سازه‌های باربر تکیه‌گاه‌های راه آهن یا سدها)، مدت زمان بهره‌برداری کمینه ۱۰۰ سال می‌باشد.

ضخامت اضافی برای جوشن‌های فلزی بسته به طبقه‌بندی سازه خاک مسلح، گزند باری ساختگاه قرار دادن جوشن‌ها و مصالحی که با آن جوشن‌ها ساخته می‌شوند، در جدول ۱ داده شده است.

جدول ۱- مقادیر مورد نیاز ضخامت اضافی (میلی‌متر)

	۵ سال		۳۰ سال		۷۰ سال		۱۰۰ سال	
مدت زمان بهره‌برداری کمینه	سازه‌های موقت کوتاه مدت		سازه‌های موقت دراز مدت		سازه‌های دائمی			
ماهیت جوشن‌ها / طبقه‌بندی سازه‌ها	A	AZ	A	AZ	A	AZ	A	AZ
برون آبی	0.5	0.0	1.5	0.5	3.0	1.0	4.0	1.5
واقع در آب شیرین	0.5	0.0	2.0	1.0	4.0	1.5	5.0	2.0
ساختگاه‌های آبی	1.0	0.0	3.0		5.0		7.0	
در ساختگاه با گزند باری ویژه	در هر مورد باید توسط بررسی ویژه‌ای تعیین گردد.							

راهنما:

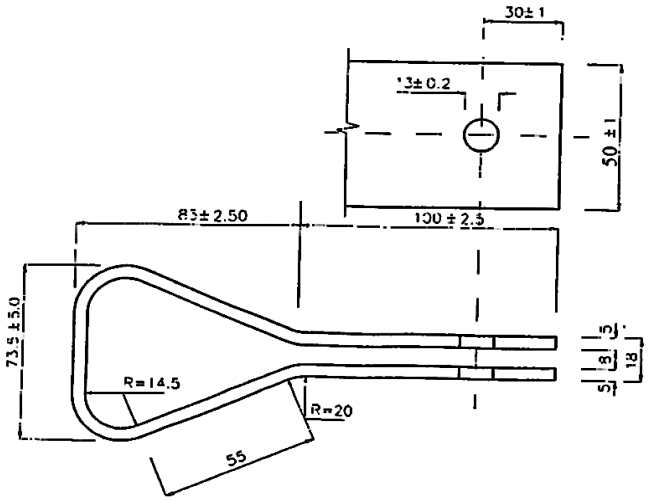
A: فولاد بدون آلیاژ و بدون پوشش

AZ: فولاد گالوانیزه

نکته: این مقادیر را می‌توان بین زمان‌های ۳۰ تا ۷۰ سال و ۷۰ تا ۱۰۰ سال به صورت خطی درون‌یابی کرد و مقادیر بدست آمده را می‌باید به دهم اعشار بزرگتر، گرد کرد.

۵- ۳ زبانه‌های تسمه‌گیر

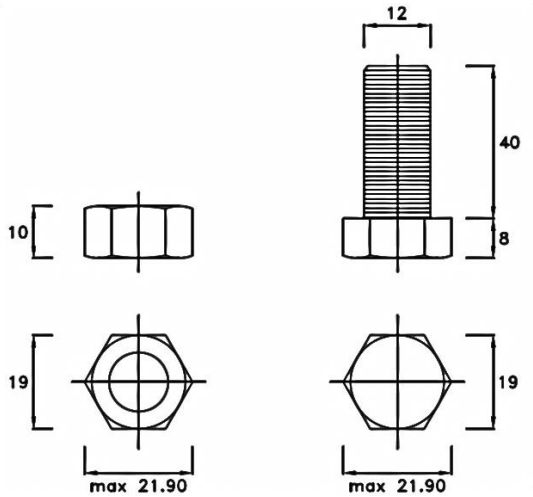
ضخامت اسمی زبانه‌های تسمه‌گیر $5mm \pm 0.15mm$ و عرض اسمی آن $50mm \pm 1mm$ است. مشخصات هندسی زبانه‌ها در شکل ۱۶ آورده شده است.



شکل ١٦- مشخصات هندسی زبانه‌های تسمه‌گیر

٥- ٤ پیچ و مهره‌ها

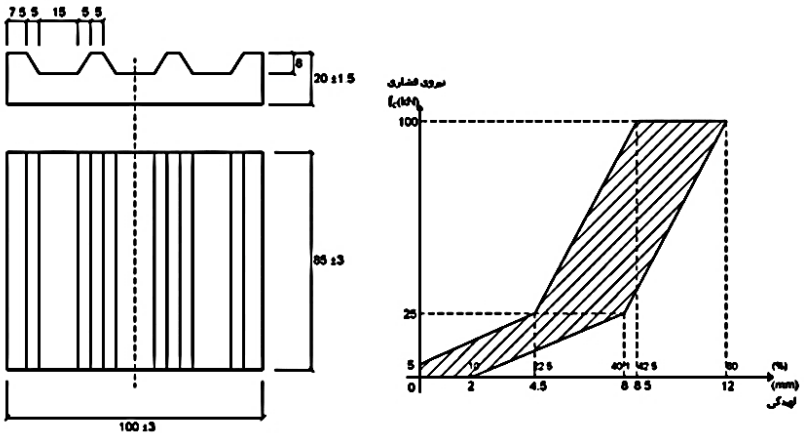
پیچ و مهره مورد استفاده از نوع $GRADE8-8-HM12\times40mm$ می‌باشد. مقاومت گسیختگی حداقل ۸۰۰ مگاپاسکال و حد کشسانی حداقل ٦٤٠ مگاپاسکال بوده و افزایش طول نسبی حداقل ۱۲ درصد می‌باشد. مشخصات هندسی پیچ و مهره مورد استفاده مطابق با شکل ۱۷ است



شکل ۱۷- مشخصات هندسی پیچ و مهره

۵- ۵ بالشتک تکیه‌گاهی و درزگیرها

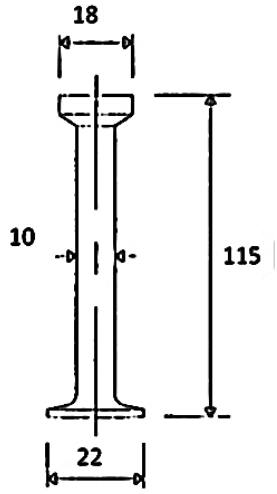
زیر هر قطعه بتنی عادی دو عدد بالشتک قرار داده می‌شود. بالشتک تکیه‌گاهی از جنس لاستیک که مقدار لهیدگی آن تحت بار فشاری مطابق با نمودار شکل ۱۸ است. مشخصات هندسی بالشتک در شکل ۱۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۸- مشخصات هندسی بالشتک

۵- ٦ گل میخ نصب

برای هر قطعه بتنی پیش‌ساخته دو عدد گل‌میخ نصب مورد احتیاج است. گل‌میخ‌ها از فولاد با مقاومت گسیختگی بین ۳٦۰ تا ٤٤۰ و حد کششانی ۲۳۵ مگاپاسکال با افزایش طول نسبی فلز مبنا به میزان حداقل ۲٦ درصد تهیه می‌شوند. مشخصات هندسی گل‌میخ‌های نصب مطابق با شکل ۲۰ است.



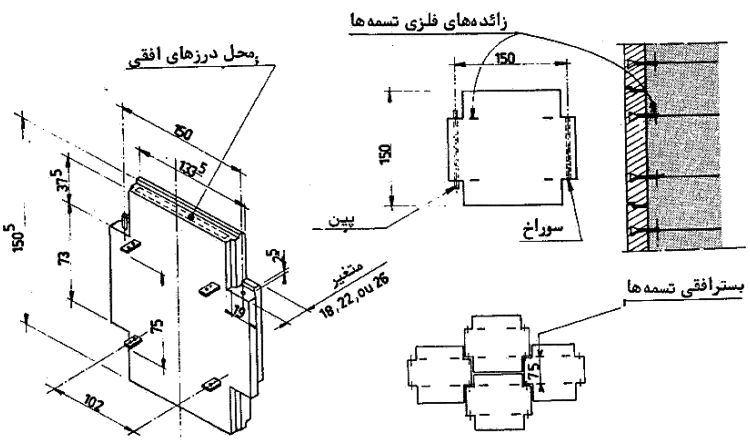
شکل ۱۹- مشخصات هندسی گل میخ نصب (اندازه‌ها بر حسب میلیمتر هستند)

۵- ۷ قطعات پوسته (نمای خارجی)

در بناهای خاک مسلح دو نوع پوسته، بتنی (معمولی یا چلیپایی و گلدانی) و یا مش فولادی به کار برده می‌شود. از پوسته با مش فولادی در مواردی که دستیابی به محل بنای خاک مسلح مشکل و حمل قطعات بتنی غیر عملی باشد استفاده می‌شود.

۵- ۷-۱ مشخصات نما با پوسته بتنی معمولی

قطعه بتنی استاندارد چلیپایی شکل بوده و ابعاد آن ۵ر۱ متر است. ضخامت قطعه بتنی معمولاً ۱۸ سانتی‌متر و وزن آن در حدود یک تن است. قطعه بتنی بر حسب مورد استفاده و ارتفاع بنای خاک مسلح ممکن است مسلح یا غیرمسلح باشد. در هر صورت به منظور تامین امکان جابه‌جایی آن به فاصله ۲٤ ساعت بعد از بتن‌ریزی دو خاموت آجدار به قطر ۱۰ میلی‌متر در آن تعبیه می‌گردد.



شکل ۲۰- مشخصات نمایی متشکل از قطعات بتنی پوسته

زبانه‌های تسمه‌گیر که جوشن‌ها به آن پیچ و مهره می‌شوند و از همان جنس جوشن‌ها می‌باشند در قطعات بتن ریشه گرفته است. تعداد این زبانه‌ها برای قطعات استاندارد حداقل چهار عدد است.

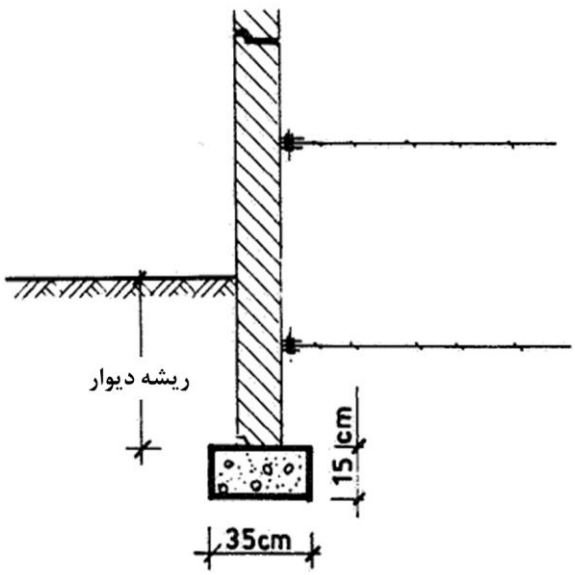
میله‌های عمودی اتصال بین قطعات را تامین می‌کند و امکان تغییرشکل‌پذیری افقی را نیز فراهم می‌نماید. درزگیرهای افقی قابل تراکم از نوع اسفنج معمولی بین قطعات قرار داده می‌شود تا از ورود سنگ‌دانه‌های ریز و خاک بین قطعات جلوگیری کرده و دفع آب را میسر سازد. مشخصات کلی این نما در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

شکل ۲۱- نمای پوسته بتنی معمولی

علاوه بر قطعات استاندارد، قطعات بتنی خاص نیز وجود دارند تا پوسته بتواند شکل هندسی مورد نظر را به خود بگیرد.

- نیم قطعه‌های بتنی پوسته به ارتفاع ۰٫۷۵ متر که در بالا و پایین نما به کار می‌روند.
- قطعات ویژه بتنی پوسته که ارتفاعشان توسط پله‌های ۱۸٫۷۵ سانتی‌متری تغییر میکند تا به خط بالایی پوسته شکل دلخواه بدهند.
- قطعات گوشه که امکان تغییر جهت را به نما می‌دهند.

حداقل مقاومت بتن قطعات پوسته باید ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با نمونه‌های مکعبی ۱۵×۱۵ سانتی‌متر باشد. نمونه‌ای از دیوار خاک مسلح با نمای پوسته بتنی در شکل ۲۲ نشان داده شده است.



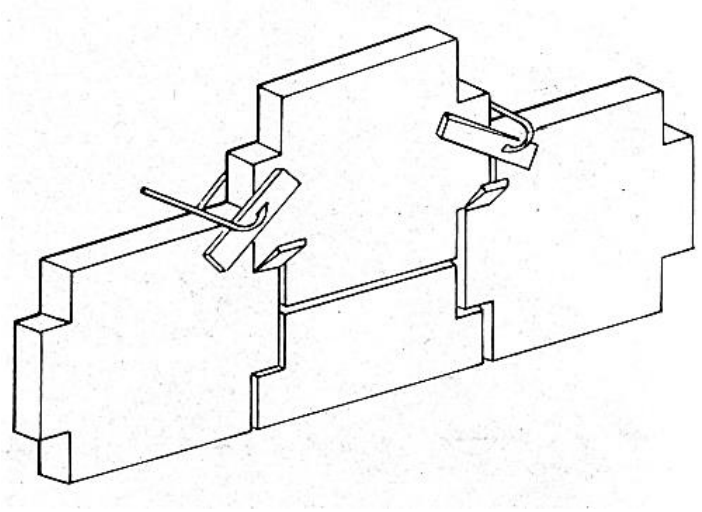
شکل ۲۲- بتن مگر زیر دیوار خاک مسلح

۵-۷-۱-۱- اجرای دیوار با نمای قطعات پیش‌ساخته بتنی

در زیر قطعات بتنی پوسته و به منظور تامین تراز افقی، باید به ارتفاع حدود ۱۵ سانتی‌متر و عرض حداقل ۳۵ سانتی‌متر بتن‌ریزی شود و عیار بتن ۱۵۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب باشد (شکل ۲۳). چنانچه دیوار در مسیرهای قوسی اجرا شود یا شرایط خاص دیگر حاکم باشد عرض بتن مگر حداقل ۵۰ سانتی‌متر انتخاب می‌شود.

ساختمان یک توده خاک مسلح در مراحل پی‌درپی صورت می‌گیرد. هر مرحله شامل کارگذاردن یک ردیف قطعات پوسته و خاکریزی پشت آن و نصب یک ردیف جوشن است. ساختمان دیوار خاک مسلح همواره از طرف داخل یعنی طرف خاکریزی صورت می‌گیرد و بدین سبب هیچ‌گاه نیازی به چوب بست نیست.

ماشین‌آلات لازم برای اجرای خاک مسلح همان وسایلی است که در اجرای عملیات خاکریزی به کار برده می‌شود. تنها یک دستگاه بالابر سبک (۲ تا ۵ تن) برای حرکت دادن و جایگذاری قطعات بتنی پوسته و یک لرزاننده کوچک جهت متراکم کردن بخش واقع در یک متری نما (یا ۱/۵ متری نما) لازم است.

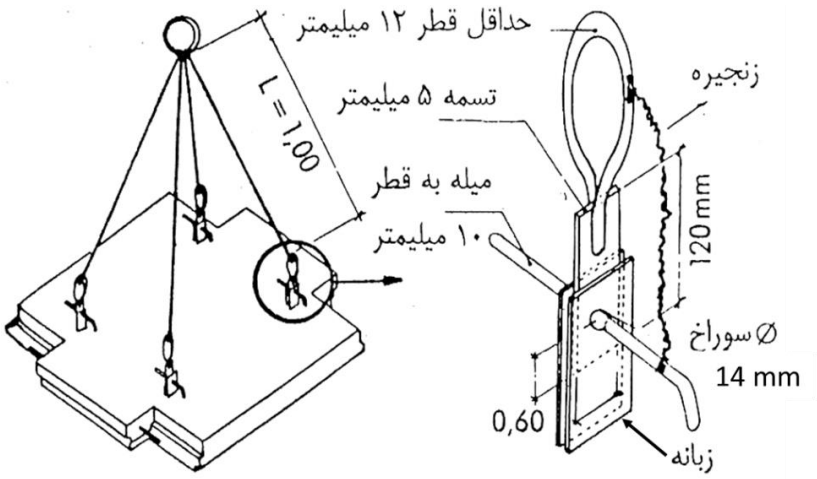


شکل ۲۳- مورد استفاده گیره ها

در دیوارهایی که پوسته آن‌ها بتنی است جلوگیری از پس و پیش قرار گرفتن قطعات پوسته نسبت به قطعات قبلی به وسیله گیره عملی می‌شود (شکل ٢٤).

در مواردی که شرایط فنی و ایمنی ایجاب کند می‌توان دیوارها را به صورت چند مرحله‌ای و یا با فاصله زمانی اجرا کرد.

شرایط و نحوه اجرا تابع نوع و موقعیت بنا است که در مشخصات خصوصی قید شده و یا توسط مشاور خاک مسلح تعیین می‌گردد.



شکل ۲٤- نحوه جابه‌جایی قطعات بتنی

۵-۷-۱-۲- تهیه و انبار کردن قطعات پیش‌ساخته بتنی در کارگاه

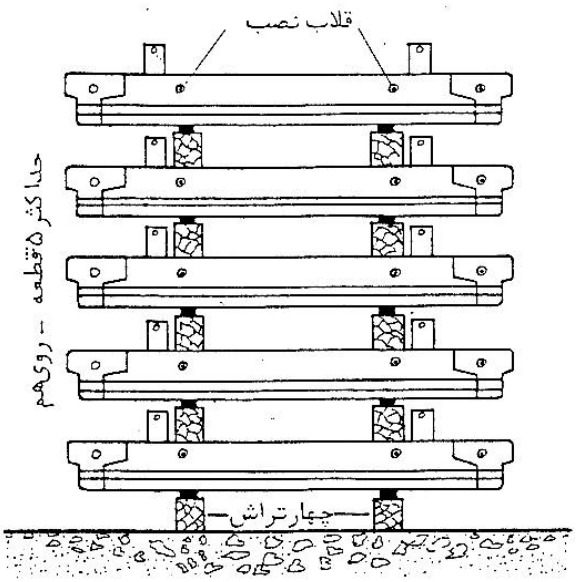
معمولاً این قطعات بر اساس دستورالعمل‌های اجرایی مندرج در مشخصات خصوصی و در کارگاه ساخته می‌شود، و یا اینکه به صورت قطعات پیش‌ساخته و آماده، تحویل کارگاه می‌گردد.

برای انبار کردن این قطعات لازم است محل مناسبی که مساحت کافی داشته و دسترسی به آن آسان باشد در نظر گرفته شود. سطح محل انبار باید افقی و مسطح باشد. گاه لازم است قشر نازکی از ماسه نرم روی این سطح ریخته شود.

قطعات پیش‌ساخته بتنی را باید به صورت خوابیده (زبانه‌ها به طرف بالا) حمل و انبار کرد، تخلیه و بارگیری این قطعات نیز باید به همین صورت انجام گیرد، در این شرایط قطعات از زبانه‌ها آویزان می‌شوند. در صورتی‌که ساخت قطعات در کارگاه انجام شود، لازم است برای جابه‌جایی قطعات یک روزه بتنی، انبار از محل ساخت فاصله چندانی نداشته باشد. در هنگام بلند نمودن قطعات بتنی پیش‌ساخته باید از چهار زبانه درگیر در بتن استفاده شود (مطابق شکل ۲۵).

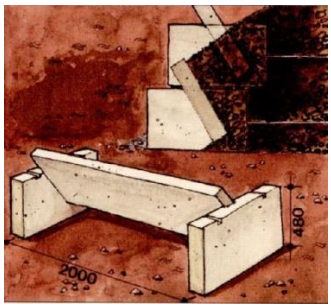
در هنگام حمل در زیر قطعه‌های پایینی باید پالت یا چهارتراش چوبی قرار داد و بین قطعات نیز باید چهارتراش‌های چوبی قرار داد تا زبانه‌ها کج نشوند و سطح بتن

هم خراش پیدا نکند، توجه شود که چهارتراش‌ها باید پاکیزه باشند تا سطح بتن آلوده نگردد، اگر چهارتراش‌ها کاملاً پاکیزه نباشند، لازم است روی آنها بالشتک‌های لاستیکی قرار داده شود.



شکل ۲۵- نحوه انبار کردن قطعات بتنی

تخلیه قطعات پیش‌ساخته بتنی باید قطعه به قطعه و با کمال دقت صورت گیرد. دپوی قطعات را می‌توان تا حداکثر ٤ یا ٥ قطعه بر روی هم انجام داد، به این شرط که بین قطعات بتنی چهارتراش‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌متر قرار داده شود (شکل ٢٦).



شکل ٢٦- نمای پوسته بتنی گلدانی

۵-۷-۱-۳- روش کلی نصب

سرجا نگه‌داشتن و تامین پایداری اولین ردیف قطعات پیش‌ساخته بتنی در هنگام خاکریزی پشت آن‌ها، به وسیله گیره‌های موقتی که در بین قطعات قرار می‌دهند و گوه‌های چوبی به همراه ملات ماسه سیمان به صورت موضعی تامین می‌گردد.

برای این‌که نمای خارجی دیوار قائم باشد لازم است در موقع نصب پوسته‌ها از حرکت آن‌ها نسبت به یکدیگر جلوگیری شود. این کار به کمک گوه‌های چوبی سخت که در درزهای سه ردیف آخری که پشت آن‌ها خاکریزی شده قرار داده می‌شود، صورت می‌گیرد.

در دیوارهایی که پوسته آن‌ها بتنی است جلوگیری از پس و پیش قرار گرفتن قطعات پوسته نسبت به قطعات قبلی به وسیله گیره عمل می‌شود.

۵-۷-۱-٤- رواداری‌های نصب

رواداری‌های زیر در هنگام نصب باید رعایت شود.

الف- هیچ نقطه‌ای از پوسته (قطعات بتنی پیش‌ساخته) نباید بیش از ۲ر۱ درصد ارتفاع دیوار و یا حداکثر ۱۰ سانتی‌متر از موقعیت نظری (امتداد شاقولی) به سمت خارج فاصله داشته باشد.

ب- عیوب موضعی یعنی بیرون‌زدگی یا تو رفتگی قطعات در دیوارهای با امتداد مستقیم نباید هیچ‌جا از ۲/۵ سانتی‌متر تجاوز کند. کنترل این امر با شمشه ٤/۵ متری انجام می‌گیرد.

۵-۷-۱-۵- کنترل کیفی بتن قطعات

کنترل‌های کیفی بتن قطعات شامل کنترل مشخصه‌های هندسی، کنترل یکپارچگی و کامل بودن قطعه بتنی و عدم وجود ترک یا عیب فاحش سطحی می‌باشد. کنترل حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه برای سیمان نوع ۱ یا ٤۲ روزه برای سیمان نوع ۲ ضروری است.

ابعاد بیشینه دانه‌های شن ۲۵ میلیمتر و سیمان مصرفی از نوع سیمان پرتلند نوع ۱ و یا نوع ۲ بوده و نسبت آب به سیمان حداکثر ۵ر۰ می‌باشد. طبق تشخیص مرجع فنی خاک مسلح از مواد افزودنی، روان‌کننده، کاهنده آب، حباب‌زا و ... نیز می‌توان استفاده کرد.

مقاومت مشخصه فشاری ۲۸ روزه بتن (روی نمونه مکعبی ۱۵×۱۵ سانتی‌متر) برابر با ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت مشخصه کششی ۲۸ روزه بتن ۳۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

۵-۷-۱-٦- کنترل کیفی میلگردهای استفاده شده در قطعات

میلگردهای استفاده شده در قطعات بتنی نما می‌بایست میلگرد با چسبندگی بالا از فولاد اصلاح شده، طبقه AIII، دارای حد کشسانی تضمین شده برابر با ٤۰۰ الی ٤۲۰ مگاپاسکال باشند.

۵-۷-۲- مشخصات نما با پوسته بتنی گلدانی

خاک مسلح سبز (گلدانی) یک سیستم پایدارسازی است که نمای آن متشکل از قطعات مایل روباز است که امکان کاشت و پرورش گیاهان را در محل پروژه میسر می‌سازد.

از مزایای ویژه این روش ایجاد نمای بسیار زیبا و سبز است.

در واقع با اجرای این دیوارها یک پروژه عمرانی به صورت زیبا و چشم نوازی با محیط اطراف هارمونی و هماهنگی یافته و نمای شهری را از حالت خشک و صنعتی خارج می کند. امکان اجرای پله ای دیوار زیبایی نمای آن را که پس از کاشت گیاهان حاصل می‌شود دو چندان می کند. در واقع نوآوری جهت ساخت قطعات با نماهای مختلف، اهمیت هنر و زیبایی در تکنولوژی خاک مسلح را نشان می دهد. این نما شامل قطعات مایل به طول ۱ و یا ۲ متر است که به قطعات پایه به طول یک متر و ارتفاع ۵ر۰ متر متصل می‌شوند (شکل ۲۷). ضخامت این قطعات معمولاً ١٤ سانتی‌متر است.

شکل ۲۷- دیوار خاک مسلح گلدانی

۵-۷-۳- مشخصات نما با شبکه مش فولادی

نمای این نوع از دیوارهای خاک مسلح، از شبکه فولادی پیش‌ساخته یا بافت مرحله‌ای شبکه در محل اجرا شامل میلگردهای قائم و افقی تشکیل شده است. جهت جایگذاری زبانه‌های فولادی به منظور اتصال جوشن‌های فلزی، از کمربندهای افقی (میلگردهای افقی با اتصالات مناسب) با توجه به فواصل قائم جوشن‌ها استفاده می‌شود. همچنین از مهارکننده‌های قائم به فاصله مناسب از یکدیگر جهت نگهداری موقت مش فولادی استفاده می‌گردد. میلگردهای استفاده شده در این نما می‌تواند با پوشش‌های مورد نیاز مانند زینک ریچ، گالوانیزه، قیر و ... نیز پوشیده شوند. در هر صورت، مشخصات نما با مش فولادی در هر پروژه بایستی متناسب با نیاز طراحی شود.

از جمله مزایای این گونه دیوارها، سهولت در حمل و نقل و نصب، سرعت بخشیدن به عملیات جایگذاری مش نسبت به پوسته بتنی و دارا بودن صرفه

اقتصادی به لحاظ استفاده از مصالح ارزان و زمان کوتاه‌تر می‌باشد. نمونه‌ای از این نوع نما در شکل ۲۸ نشان داده شده است.

شکل ۲۸- نمای مش فولادی در دیوار خاک مسلح

در برخی از پروژه‌ها به منظور زیباسازی نمای خاک مسلح می‌توان از روش‌های بنایی با سنگ، بتن طرح‌دار درجا، چوب، آلومینیوم یا انواع پانل‌های نماسازی با رعایت ضوابط نمای خاک مسلح استفاده کرد.

۵-۷-۳-۱- تهیه و انبار کردن شبکه مش فولادی

شبکه‌های فولادی پیش‌ساخته به ارتفاع ۲ متر و طول ٦ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند. که بایستی به نحوی جابه‌جا و نگهداری شوند که از آسیب دیدن و تغییرشکل آن‌ها اجتناب شود. در بعضی موارد نیز به منظور افزایش سرعت و سهولت در اجرا از روش بافت در محل استفاده می‌شود.

٦ نگهداری و تعمیر خاک مسلح

هدف از نگهداری بناهای خاک مسلح، کنترل و نگهداری این سازه‌ها در وضعیت بهره‌برداری بر حسب ماهیت کارهای انجام شده می‌باشد، که شامل موارد زیر است:

- مراقبت از سیستم زهکشی شامل پاک کردن و نگهداری شبکه‌ها و آبروهای تخلیه آب‌های زهکشی
- نگهداری از سطح فوقانی خاکریز، بدین ترتیب که عملیات باغبانی صدمه‌ای به تسمه‌های فلزی فوقانی‌ترین لایه نزده و همیشه حداقل ۲۵ سانتی‌متر خاکریز روی تسمه‌ها باشد.
- تعمیر قطعات بتنی پوسته که صدمات جزیی دیده‌اند.
- احداث حفاظ مناسب در جلوی دیوارها به صورتی که مانع از برخورد وسایل نقلیه و ... گردد.
- حذف گیاهانی که درون درزها روییده‌اند.
- بازدید مستمر سازه (بازدید عینی) که در صورت مشاهده حالت غیرمتعارف در رفتار یا در وضعیت سازه، مراتب باید گزارش شده و پیگیری شود.
- کنترل وضعیت تسمه‌ها (از نظر ضخامت روکش و خوردگی) با نمونه‌گیری
  - توصیه می شود که نخستین برداشت حداکثر ۱۰ سال پس از ساخت سازه و سپس هر ۲۰ سال یک بار صورت گیرد، مگر این که حالتی غیرعادی مشاهده گردد. علاوه بر آن، برای تسمه هایی که از آلیاژهای سبک یا فولاد ضد زنگ ساخته شده باشند، مناسب است که یک بررسی اولیه ۵ سال پس از اجرا، جهت کنترل عدم وجود حفره در فلز تسمه انجام گیرد.
  - در جدول (۲) خلاصه‌ای از مشخصات اجزای تشکیل دهنده سیستم خاک مسلح آورده شده است.

جدول ۲- خلاصه‌ای از مشخصات اجزای تشکیل دهنده سیستم خاک مسلح

اجزای تشکیل دهنده	مشخصات	کنترل کیفیت
مصالح خاکریز	- مخلوط خوب دانه‌بندی شده فاقد مواد آلی - حداکثر زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه - حداکثر ابعاد درشت‌ترین دانه ۲۵۰ میلیمتر - حداکثر درصد وزنی عبوری از الک ۲۰۰، ۱۵ درصد - حداکثر میزان یون کلر برای بناهای واقع در خشکی ۲۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم و در بناهای داخل آب شیرین ۱۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم - حداکثر میزان یون سولفات برای بناهای واقع در خشکی ۱۰۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم و در بناهای داخل آب شیرین ۵۰۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم - میزان PH خاک بین ۵ تا ۱۰	- هر ۱۵۰۰ مترمکعب یک آزمایش دانه‌بندی باید انجام شود. - انجام آزمایش تراکم به روش VSS و کنترل مدول تغییرشکل (M_E) بر اساس دستورالعمل ارایه شده - کنترل میزان یون کلر و سولفات و PH خاک
تسمه فولادی گالوانیزه	- ابعاد مقطع ۵۰×۵ و یا ٦۰×٦ میلیمتر - از نوع فولاد st-37 با حداقل مقاومت کششی ۲۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت گسیختگی بین ۳٦۰۰ تا ٤٤۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع - حداقل تغییرشکل‌پذیری ۲٦ درصد - ضخامت روکش روی حداقل ۲ر۷ گرم در دسی‌متر مربع (حدود ۱۰۰ میکرون)	- کنترل کیفی فولاد شامل مشخصات مکانیکی و شیمیایی - کنترل مشخصه‌های هندسی - کنترل ضخامت روکش
بالشتک تکیه‌گاهی	- از جنس لاستیک می‌باشد - ابعاد هر بالشتک ۸۵×۱۰۰ و به ضخامت ۲۰ میلی‌متر می‌باشد	- کنترل مشخصه‌های هندسی - کنترل مقدار لهیدگی تحت بار فشاری متناسب با دستورالعمل ارایه شده

ادامه جدول ۲- خلاصه‌ای از مشخصات اجزای تشکیل دهنده سیستم خاک مسلح

اجزای تشکیل دهنده	مشخصات	کنترل کیفیت
زبانه فولادی	- ضخامت اسمی ۵ر۱± ۵ میلیمتر - عرض اسمی ۱± ۵۰ میلیمتر - از نوع فولاد st-37 با حداقل مقاومت کششی ۲۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت گسیختگی بین ۳۶۰۰ تا ٤٤۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع - حداقل تغییرشکل‌پذیری ۲٦ درصد - ضخامت روکش روی حداقل ۷ر۲ گرم در دسی‌متر مربع (حدود ۱۰۰ میکرون)	- کنترل کیفی فولاد شامل مشخصات مکانیکی و شیمیایی - کنترل مشخصه‌های هندسی - کنترل ضخامت روکش
پیچ و مهره فولادی	- پیچ و مهره از نوع $GRADE8-8-HM12\times40mm$ - حداقل مقاومت گسیختگی ۸۰۰ مگاپاسکال - حداقل حد کشسانی ٦٤۰ مگاپاسکال - حداقل افزایش طول نسبی ۱۲ درصد - ضخامت روکش روی حداقل ۷ر۲ گرم در دسی‌متر مربع (حدود ۱۰۰ میکرون)	- کنترل کیفی فولاد شامل مشخصات مکانیکی و شیمیایی - کنترل مشخصه‌های هندسی - کنترل ضخامت روکش
گل میخ نصب	- از نوع فولاد st-37 با حداقل مقاومت کششی ۲۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت گسیختگی بین ۳٦۰۰ تا ٤٤۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع - حداقل تغییرشکل‌پذیری ۲٦ درصد - گل میخ نصب دارای ابعادی به طول ۵ر۱۱ و ضخامت ۱ سانتی‌متر است	- کنترل کیفی فولاد شامل مشخصات مکانیکی و شیمیایی - کنترل مشخصه‌های هندسی

ادامه جدول ۲- خلاصه‌ای از مشخصات اجزای تشکیل دهنده سیستم خاک مسلح

اجزای تشکیل دهنده	مشخصات	کنترل کیفیت
درزگیر	- از جنس فوم پلی اورتان یا پلی استر یا اسفنج معمولی است - مقطع آن مربع به ابعاد ٤٠ میلیمتر	- کنترل مشخصه‌های هندسی
قطعات بتنی پیش ساخته چلیپایی (معمولی)	- ابعاد ۱٫۵ متر و ضخامت ۱۸ سانتی‌متر - حداقل مقاومت ۲۸ روزه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با نمونه‌های مکعبی ۲۰×۲۰ یا ۱۵×۱۵ سانتی‌متر - ابعاد بیشینه دانه‌های شن ۲۵ میلیمتر و سیمان مصرفی پرتلند نوع ۱ یا ۲ - نسبت آب به سیمان حداکثر ۰٫۵ - میلگردهای مورد استفاده در قطعات از فولاد AIII با حد کشسانی ٤٠٠ الی ٤٢٠ مگاپاسکال است	- کنترل کیفی بتن شامل کنترل مشخصه‌های هندسی، کنترل یکپارچگی و عدم وجود ترک - کنترل حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه - کنترل ابعاد مصالح دانه‌ای و نسبت آب به سیمان
قطعات بتنی پیش ساخته گلدانی	- قطعات مایل به طول ۱ و یا ۲ متر - قطعات پایه به طول ۱ و ارتفاع ۰٫۵ متر - ضخامت قطعات گلدانی ١٤ سانتی‌متر - حداقل مقاومت ۲۸ روزه بتن ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع با نمونه‌های مکعبی ۲۰×۲۰ یا ۱۵×۱۵ سانتی‌متر - ابعاد بیشینه دانه‌های شن ۲۵ میلیمتر و سیمان مصرفی پرتلند نوع ۱ یا ۲ - نسبت آب به سیمان حداکثر ۰٫۵ - میلگردهای مورد استفاده در قطعات از فولاد AIII با حد کشسانی ٤٠٠ الی ٤٢٠ مگاپاسکال است	- کنترل کیفی بتن شامل کنترل مشخصه‌های هندسی، کنترل یکپارچگی و عدم وجود ترک - کنترل حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه - کنترل ابعاد مصالح دانه‌بندی و آب به سیمان

پیوست

دستورالعمل پیشنهادی آزمایش بارگذاری صفحه و تحلیل نتایج

تجهیزات مورد استفاده در آزمایش VSS عبارت است از:

- دستگاه آزمایش VSS شامل صفحه ۷۰۰ سانتی‌متر مربع می‌باشد (به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ضخامت ۲۵ میلی‌متر)
- کامیون سنگین برای عکس‌العمل بار
- ابزار برای آماده کردن سطحی که بار باید بر آن وارد شود
- تجهیزات برای تعیین رطوبت خاکریز

در راهسازی و پروژه‌های خاکی معمولاً از صفحه ۷۰۰ سانتی‌متر مربع استفاده می‌شود. لایه‌هایی که می‌بایستی مورد آزمایش قرار گیرند باید نشان‌دهنده محتویات رطوبت بستری که در حال آزمایش است باشند یعنی نه خیس نه خشک. مساحتی که بار بر روی آن قرار می‌گیرد باید تسطیح و هموار گردد. دستگاه آزمایش در محل آورده می‌شود و پایه‌ای که ابزارهای اندازه‌گیری بر روی آن قرار دارد باید در وضعی قرار گیرد که بار در آن تاثیری نداشته باشد. برای آزمایش نمودن ساختمان کامل بستر (با صفحه ۷۰۰ سانتی‌متر مربع) این نحوه عمل آزمایشی را بایستی به کار برد:

- ابتدا پیش بارگذاری به میزان ۰٫۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع انجام شده و گیج‌های اندازه‌گیری روی صفر تنظیم می‌شوند.
- بارگیری در مراحل ۰٫۵ کیلوگرم در هر سانتی‌متر مربع که از ۰٫۵ کیلوگرم در هر سانتی‌متر مربع شروع می‌شود تا یک بار نهایی به حداقل ۵ کیلوگرم در هر سانتی‌متر مربع و ثبت نمودن نشست‌های مطابق آن.

شکل پیوست۱-۱- آزمایش بارگذاری صفحه به روش VSS

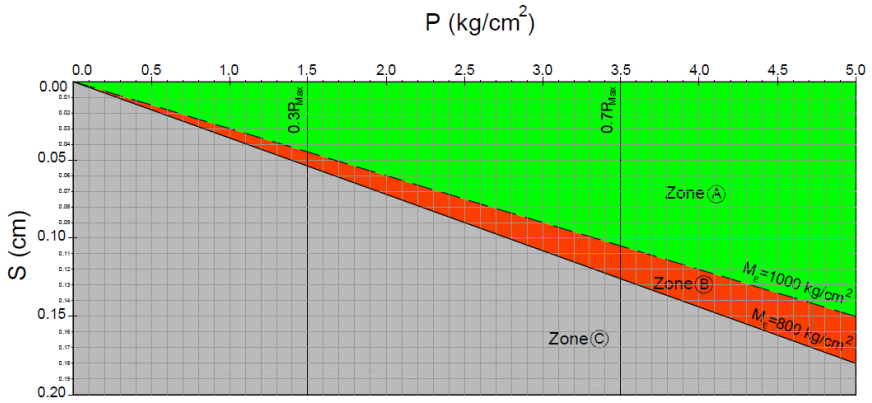
- هنگامی که میزان نشست مزبور کمتر از ۰٫۰۵ میلی‌متر در دو دقیقه می‌شود یک بار جدید افزوده می‌شود.

نتیجه آزمایش در یک نموداری که نشست را به سانتی‌متر در مقابل واحد بار در کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع نشان می‌دهد ترسیم می‌شود (شکل پیوست ۱-۲). این شکل نشان‌دهنده آزمایش با صفحه ۷۰۰ سانتی‌متر مربعی (صفحه به قطر ۳۰ سانتی‌متر) است. خطوط مستقیم که با معادله زیر بیان شده است ترسیم می‌گردد.

$$S = \frac{D}{\mathrm{M}_E} P$$

در معادله مزبور:

S نشست، D قطر صفحه، M_E مدول تغییر شکل (۸۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم در هر سانتی‌مترمربع) و P بار وارده می‌باشد. این خطوط مستقیم نمودار را به مناطق A، B و C تقسیم می‌کنند.



شکل پیوست۱-۲- نمودار تنش- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری صفحه به روش VSS

هرچه از سطح خاکریز به طرف عمق می‌رویم، از یک طرف فشار ناشی از بار به سبب پخش بار کاهش می‌یابد و از طرفی دیگر اگر تغییرشکلی هم روی دهد اثر آن کمتر به سطح می‌رسد. لذا سطوح رویی سخت‌تر و سطوح زیرین منعطف‌تر ساخته می‌شوند. مطابق شکل پیوست ۱-۲ توصیه می‌شود M_E از آزمایش VSS برای لایه‌های بالایی (تا عمق ٦ متر از سطح راه) در ناحیه A از نمودار واقع شود بدین ترتیب که $M_E \geq 1000\ kg/cm^2$ باشد. در لایه‌های زیرین (در اعماق بیشتر از ٦ متر از سطح راه) مقادیر واقع شده در ناحیه B مطلوب می‌باشند ($M_E \geq 800\ kg/cm^2$). مقادیر بدست آمده که کاملاً در ناحیه C قرار گیرند، رضایت بخش نبوده و بایستی با کوبیدن و فشردن اضافی یا به طور دیگری و قبل از این که روسازی به کار برده شود آن را اصلاح نمود.

نتایج آزمایش زمانی قابل قبول است که یکی از سه شرط زیر محقق گردد:

۱- قسمت عمده نقاط حاصل از آزمایش در قسمت B برای عمق بیشتر از ٦ متر و قسمت A برای عمق کمتر از ٦ متر از سطح راه واقع شوند.

۲- نقاط در فاصله ۳ر۰ تا ۷ر۰ حداکثر تنش وارده در قسمت B برای عمق بیشتر از ٦ متر و قسمت A برای عمق کمتر از ٦ متر از سطح راه واقع شوند.

۳- نقطه یا نقاط مربوط به تنش‌های بیشتر از ۷ر۰ حداکثر تنش وارده در قسمت B برای عمق بیشتر از ٦ متر و قسمت A برای عمق کمتر از ٦ متر از سطح راه واقع شوند.

در صورت محقق نبودن هیچ کدام از موارد فوق نتیجه آزمایش مردود است.

مراجع

[۱] خاک مسلح، شرکت خاک مسلح ایران، شهریور ۲۵۳۵

[۲] بهنیا، کامبیز و طباطبایی، امیرمحمد، (۱۳۸٦)، مکانیک خاک جلد دوم مهندسی پی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم

[۳] نشریه شماره ۱٦ استاندارد مهندسی آب، طرح و اجرای سازه‌های خاک مسلح، وزارت نیرو – معاونت امور آب – طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، ۱۳۷٤

[٤] نشریه شماره ۱۰۱، مشخصات فنی عمومی راه (تجدید نظر اول)، معاونت امور فنی – دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی – سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۲، چاپ اول

[5] Vidal H., Reinforced Earth, Ann. I.T.B.T.P. (July-August 1966)

[6] Schlosser F. and Nguyen Thanh Long, Behaviar of Reinforeced Earth in Retaining Structures, Proceedings Vth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, 1972

[8] Behnia C., Study of Reinforced Earth Vaults, LPC Research Report, Paris, March 1973

[9] Reinforced Earth Structures, Recommendation & Rules of the art; French Ministry of Transport, Paris, 1979

[10] Jones, C.J.F.P. , Earth reinforcement and soil structures, Butterworths, London, 1988

[11] Reinforced Earth Company, Development and Worldwide Application of Reinforced Earth, 1991

[12] Reinforced Earth Company, Reinforced Earth Bridge Abutments, 1991

[13] Reinforced Earth Company, Landscaping and Aesthetic Structures with Reinforced Earth, 1991

[14] Reinforced Earth Company, Industrial Applications of Reinforced Earth Structures, 1991

[15] Reinforced Earth Company, Reinforced Earth Structures in Seismic Regions, 1991

[16] TERRE ARMÉE, 50 years of innovation, Terre Armée Internationale, 2015

[17] Les document propriété de Terre Armée Internationale, Confidentiel A.01/16

[18] Les document propriété de Terre Armée Internationale, Confidentiel B.01/04

[19] Terre Armée Magazine , 1978-2018

[۲۰] مدارک فنی – داخلی دفترفنی شرکت خاک مسلح ایران، ۱۳۵٤ تا ۱۳۹۷

Abstract

Reinforced-Earth construction technic was discovered and registered by the French Engineer Henri Vidal. The initial experimental use of this technic in construction took effect in the years 1963 to 66.

The reinforced-earth technic quickly spread and was implemented worldwide, in particular in Iran by the writer of this note (in early years of 1350's) who was research fellow in the French central laboratory of Ponts et Chaussées in Paris where he was in charge of the related studies.

In the year 1354, at the request of Henri Vidal (who had established similar establishments in United States, Brazil, Australia) the reinforced-earth company of Iran, under management by the writer was established and undertook many projects, the most important being the access ramps for the post tensioned Hessarak Bridge, on the Karaj-Ghazvin freeway. At the time, at the request of the management in charge of the central office of housing research and the central office of Road and Urban research, an experimental wall was constructed which unfortunately, was dismantled without the performance of the proposed tests, for unknown reasons.

The reinforced earth company of Iran, under fruitful cooperation with the Ministry of Roads and Transport and the Municipality of Tehran, performed many high visibility projects in Iran.

Lastly, it is reminded that the engineering department in charge of hydraulic works of the Ministry of Power, under its issue number 16 dated Bahman 1374, has undertaken the translation and the release of a manual for the design and construction of reinforced earth constructions.

Cambyse Behnia
Associate Professor of Tehran University (retired)

Road, Housing & Urban Development Research Center

General technical specifications of reinforced earth

Cambyse Behnia

Research Report

BHRC Publication No: B-932

2021