



بررسی اثر آتش سوزی تانکرهای حمل سوخت بر روی دیوارهای حائل خاک مسلح ژئوسنتتیک (GRS)

اکبریاری وند^۱کامبیزبهنیا^۲سعید بختیاری^۳عباس قلندر زاده^۴

چکیده

در این تحقیق با ساخت ۶ مدل آزمایشگاهی خاک مسلح و ارزیابی مقاومت آنها در برابر آتش سوزی هیدروکربنی، رفتار سازه‌های خاک مسلح ژئوسنتتیک در هنگام آتش سوزی مورد مطالعه قرار گرفت. برای تعیین واکنش ژئوگریدها در برابر آتش نیز یک سری آزمایش افروزش در برابر شعله کوچک برای دو نوع ژئوگرید پلی استر و پلی اتیلن سنگین انجام شد. نتایج آزمایش‌های افروزش در برابر شعله کوچک نشان داد، ژئوگریدهای پلی استر و پلی اتیلن سنگین پتانسیل اشتعال بالایی در هنگام آتش سوزی دارند. نتایج این تحقیق نشان داد، دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی شبکه جوش شده سیمی به شدت در برابر آتش سوزی آسیب پذیر هستند و بدلیل از بین رفتن ژئوگریدها در نما در اثر آتش سوزی، خطر تخریب آنها به صورت پیش رونده وجود دارد. در دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی با نمای بلوکی عمق تحت تاثیر آتش سوزی درون خاکریز زیر ۵۰ سانتیمتر بوده و دمای بیشینه ۱۷۷ درجه سلسیوس پشت بلوک‌های بتنی با ضخامت ۱۵ سانتیمتر ثبت شد. در این نوع سازه‌ها با کاهش مقاومت کششی ژئوگریدها و افزایش تغییر شکل آنها در اثر افزایش دمای درون خاکریز در هنگام آتش سوزی، خطر جدایش بلوک‌های نما دور از انتظار نیست.

کلیدواژگان: ژئوسنتتیک، ژئوگرید، خاک مسلح، آتش سوزی، دمای بالا

مقدمه

خاک مسلح روش نسبتاً جدیدی است که در حدود سالهای اول دهه ۱۹۶۰ توسط هانری ویدال مهندس فرانسوی ابداع شد. اولین دیوار در سال ۱۹۶۵ اجرا شد، لیکن استفاده قابل ملاحظه از این روش در طرح‌ها از سال‌های ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹ و به هنگام اجرای آزادراه کوهستانی در جنوب فرانسه آغاز گردید [۱]. از آن تاریخ به بعد روش خاک مسلح به تحولات قابل ملاحظه‌ای دست یافت و کاربرد آن در ساختمان ابنیه نهبان و پایه‌های پل

۱- دانشجوی دکتری خاک و بی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، akbaryarivand@ut.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، info@khakemosalah.ir

۳- دانشیار، معاونت آموزشی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، bhrc.ac.ir

۴- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، aghaland@ut.ac.ir



جنبه عمومی به خود گرفت. به دلیل عملکرد مهندسی خوب، دیوارهای خاک مسلح زیادی در سراسر جهان ساخته شده است. در مقایسه با دیوارهای وزنی مرسوم، دیوارهای خاک مسلح دارای خصوصیات مهندسی بهتر با وزن مرده کمتر، شکل زیباتر و ساخت مناسب‌تری هستند. با توجه به استفاده روزافزون از مواد پلیمری در تمامی مصنوعات ساخت بشر، علاوه بر مسلح کننده‌های فلزی که از سال‌ها پیش در سازه‌های خاک مسلح استفاده می‌شود، امروزه از مصالح ژئوسنتتیکی به صورت گسترده در تسلیح خاک استفاده می‌گردد. در کنار مزیت‌های فراوان مصالح ژئوسنتتیکی، این مصالح عیب‌هایی نیز دارند. از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر روی مصالح ژئوسنتتیکی که در اکثر از مواد پلیمری ساخته می‌شوند، حرارت و اشعه فرابنفش است [۲]. با توجه به تحقیقاتی که در مورد تاثیر افزایش دما بر روی رفتار ژئوسنتتیکها انجام شده است، می‌توان تاثیر افزایش دما بر روی خواص ژئوسنتتیکها را به صورت زیر خلاصه نمود:

- خواص خزشی پلیمرها که علاوه بر بارهای اعمالی به نوع پلیمر و دمای بهره‌برداری بستگی دارد، در حرارت بالا به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد [۳].
- مقاومت کششی ژئوگریدها و ژئوتکستایل‌ها با دما کاهش یافته و کرنش گسیختگی آنها افزایش می‌یابد. بر اساس تحقیقات انجام شده نرخ کاهش مقاومت کششی ژئوگریدهای پلی استروپلی اتیلن سنگین در دماهای بالا به ترتیب، حدود $4/5 -$ و $26/7 -$ درصد بر درجه سلسیوس است [۴، ۵، ۶].
- پدیده‌های زوال^۵ و کهولت^۶ ژئوسنتتیکها با افزایش دما شدت می‌یابند [۷، ۸، ۹].
- مدول الاستیسیته ژئوسنتتیکها با افزایش دما کاهش می‌یابد [۵].
- سختی سطحی پلیمرها با افزایش دما کاهش می‌یابد [۱۰].

با توجه به اینکه رفتار مکانیکی مصالح پلیمری تحت اثر دما تغییر می‌کند، پیش بینی می‌شود افزایش دما بر روی عملکرد دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی تاثیر داشته باشد. با توجه به این واقعیت، تحقیقاتی برای بررسی اثر توزیع دما درون خاکریزهای خاک مسلح ناشی از تغییرات دمای جوی بر روی رفتار دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی انجام شده است.

جایلوکس^۷ و سگرتستین^۸ (۱۹۸۸) با بررسی يك دیوار خاک مسلح در یک دوره زمانی ۹ ماهه نشان دادند تغییرات دوره‌ای دمای خاک ناشی از تغییرات جوی تا عمق ۲ متری زیاد بوده و بدلیل پدیده‌های همرفتی و تشعشع، بیشترین تغییرات دمایی در عمق $0/5$ متری پشت نمای دیوار وجود دارد [۱۰]. فارار^۹ و مورای^{۱۰} (۱۹۸۸) با هدف بررسی توزیع دما در خاکریز دیوارهای خاک مسلح، يك دیوار خاک مسلح را در یک آزاد راه در انگلیس، به مدت ۷

5- Degradition

6- Aging

7- Jailloux

8- Segrestin

9- Farrar

10- Murray



سال مورد مطالعه قرار دادند. مطالعات آنها نشان داد که در یک سازه دیوار خاک مسلح، تغییرات دمایی تا عمق ۴ متری وجود دارد و پس از این عمق، دمای متوسط درون خاکریز تقریباً ثابت می‌ماند. بر اساس نتایج آنها دمای خاکریز در فاصله حدود ۳۰ سانتیمتری از سطح جدار بیرونی تحت تأثیر دمای روزانه می‌باشد [۱۱]. کاسوزی و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۵)، در تحقیقی به بررسی توزیع دما در خاکریزهای به صورت مکانیکی پایدار شده ناشی از تغییرات دمای جوی پرداختند [۶]. نتایج آنها نشان داد که متوسط دمای خاکریز، بسیار بالاتر از دمای آزمون استاندارد ۲۰ درجه سلسیوس است که برای تعیین مقاومت کششی ژئوگریدها مطابق با انجمن استاندارد آزمایشهای آمریکا شماره ۶۶۳۷^{۱۲} مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۲]. تحقیقات بسیار کمی وجود دارد که در آنها به بررسی اثر دماهای بالای ناشی از آتش سوزی بر روی رفتار دیوارهای خاک مسلح پرداخته شده باشد. در دسامبر ۱۹۸۲، انفجار و آتش سوزی یک تانک ذخیره سوخت به ظرفیت ۳۵۰۰ مترمکعب در نیروگاه حرارتی تاکوا^{۱۳} در کاراکاس ونزوئلا، باعث آتش سوزی تانک مجاور آن شد که یک دیوار خاک مسلح با تسمه‌های فلزی به ارتفاع ۱۱ متر و طول ۱۳۰ متر در اطراف آن ساخته شده بود. آتش سوزی به مدت ۴ روز ادامه پیدا کرد و دما به حدود ۱۱۰۰ درجه سلسیوس رسید. پس از آتش سوزی محققان دریافتند که دیوار خاک مسلح در بعضی از نواحی دچار خرابی‌هایی گشته و پانل‌های بتنی در وجه رو به آتش سوزی، تمامی مقاومتشان را از دست داده‌اند ولی در کل پایداری دیوار حفظ شده است. این حادثه عملکرد مناسب دیوارهای خاک مسلح با تسمه‌های فلزی را در هنگام آتش سوزی نشان داد [۱۴]. از معدود تحقیقاتی که در خصوص اثر آتش سوزی بر روی دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی انجام شده است، تحقیقی است که اوستین^{۱۴} (۱۹۹۷) در مورد اثر آتش سوزی بر روی دیوارهای ژئوگریدی با بلوک‌های نما و با استفاده از دو نوع بلوک الف؛ بلوک‌های استاندارد و ب؛ بلوک استاندارد با حفره اتصال ژئوگرید به متصل کننده‌ها بعلاوه دیوار آجری نما انجام شده است. در این آزمایش از منحنی آتش بی اس ۴۷۶^{۱۵} با تداوم ۳۰ دقیقه استفاده شد. نتایج نشان داد در حالیکه بیشینه دمای نما پس از ۳۰ دقیقه ۸۷۱ درجه سلسیوس بود، حداکثر درجه حرارت ثبت شده در محل اتصال در فضای خالی اتصال پشت دیوار بلوکی ۶۶ درجه سلسیوس و دمای پشت پانل آجری نما تنها ۱۷ درجه سلسیوس است. بر اساس این تحقیق، در سیستم دیوار مسلح با بلوک‌های نما، در معرض قرار گرفتن نما با دمای بالا برای مدت کوتاهی از زمان اثر قابل توجهی در مقاومت کوتاه مدت اتصالات ژئوگرید به بلوک‌های نما ندارد [۱۵]. تجربیات واقعی نشان داده است، عملکرد دیوارهای خاک مسلح با جوشن‌های فلزی تا دماهای ۱۱۰۰ درجه سلسیوس مناسب بوده است. سوالی که اینجا مطرح می‌شود این است، آیا می‌توان انتظار داشت دیوارهای خاک مسلح که در آنها از ژئوسنتتیک‌ها به عنوان تقویت کننده استفاده شده است، عملکردی مشابه داشته باشند و پایداری کلی و یا موضعی آنها در هنگام آتش سوزی حفظ شود؟

11- Kasozi et al

12- ASTM D6637

13- Tacoa

14- Austin

15- BS 476



تحقیق ارائه شده در این مقاله، بخشی از کارهای مشترک انجام گرفته توسط دانشگاه تهران و مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن در مورد بررسی اثر آتش سوزی بر روی پایداری و عملکرد دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی به خصوص کوله‌های پل خاک مسلح است که تاکنون به صورت جامع به آن توجه نشده است. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی اثرات آتش سوزی بر روی رفتار دیوارهای خاک مسلح ژئوسنتتیکی (با نگاه ویژه به کوله پل‌ها) پرداخته شده است. کارهای آزمایشگاهی انجام شده، شامل ۶ آزمایش المانی مقاومت در برابر آتش بر اساس منحنی استاندارد آتش هیدروکربنی استاندارد اروپا شماره ۲۱۶ [۱۶] و آزمایش‌های قابلیت آفرز در برابر شعله برای ژئوگریدهای پلی استرو پلی اتیلن سنگین برای تعیین پتانسیل اشتعال پذیری آنها در آتش سوزی است. هدف اصلی از انجام این آزمایش‌ها، پیش‌بینی میزان نفوذ حرارت به درون جسم دیوار خاک مسلح ژئوگریدی در هنگام آتش سوزی در دو حالت کلی الف: با نمای شبکه جوش شده سیمی و ب: با بلوک‌های بتنی نما و ارزیابی خطر آتش سوزی برای این نوع سازه‌ها است. نتایج این تحقیق می‌تواند به پیش‌بینی اثر آتش سوزی بر روی رفتار و عملکرد سازه‌های خاک مسلح در مواجهه با آتش سوزی‌های بزرگ کمک کند.

مواد و مصالح

در آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش، از یک نوع ماسه سیلیسی متوسط تا زیراستفاده شد. این ماسه ترکیبی از ذرات گرد گوشه و ذرات نسبتاً گرد گوشه بود. بیشینه دانسیته خشک آن ۱۸/۱۴ کیلونیوتن بر مترمکعب بدست آمد. با توجه به ضریب یکنواختی^{۱۷} و ضریب دانه بندی^{۱۸} (به ترتیب ۱۱/۳۱ و ۰/۶)، این ماسه بر اساس سیستم طبقه بندی یونیفاید^{۱۹} [۱۷] در رده ماسه‌های بدانه بندی شده قرار گرفت. ژئوگریدهای استفاده شده در این تحقیق، ژئوگرید پلی استر با پوشش پی وی سی با مقاومت کششی نهایی ۴۰ کیلونیوتن بر متر، یک نوع ژئوگرید پلی اتیلن سنگین تک سویه با مقاومت کششی نهایی ۴۵ کیلونیوتن بر متر و یک نوع ژئوگرید پلی اتیلن سنگین بدون جهت با بازشوهای شش ضلعی (لانه زنبوری) با مقاومت کششی نهایی ۹ کیلونیوتن بر متر بودند. در آزمایش‌های المانی مقاومت در برابر آتش، در بخش نما از بلوک‌های بتنی غیر مسلح مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتیمتر از جنس مصالح دانه‌ای سیلیسی با مقاومت فشاری استوانه‌ای حدود ۲۸ مگاپاسکال (بر اساس توصیه اداره فدرال بزرگراه‌های آمریکا^{۲۰} [۱۸]) استفاده شد.

روش تحقیق

کارهای تجربی انجام گرفته در این تحقیق شامل دو بخش بودند؛ آزمایش آفرز شعله برای ژئوگریدها و

16- EUROCODE 2

17- Cu

18- Cc

19- Unified Soil Classification System

20- FHWA



آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش برای المان خاک مسلح که در زیر به شرح روش انجام این آزمایش‌های پرداخته شده است.

آزمایش افروزش شعله

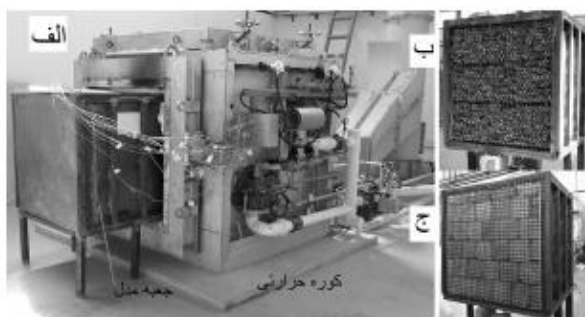
برای بررسی اثر مستقیم شعله‌های آتش بر روی افروزش ژئوگریدهای پلی استرو پلی اتیلن سنگین، آزمون قابلیت افروزش با منبع تک شعله، طبق استاندارد ملی ایران شماره ۴-۷۲۷۱ [۱۹] و طبقه بندی مصالح از نظر واکنش در برابر آتش نیز بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۹۹ [۲۰] انجام شد. در این استاندارد مصالح در رده‌های (A1, A2) تا F رده بندی می‌شوند و بدترین حالت، رده F بوده که مربوط به فرآورده‌هایی است که به علت شدت افروزش آنها، هیچگونه عملکرد واکنش در برابر آتش برای آنها تعیین نمی‌شود و در هیچکدام از رده‌های دیگر قرار نمی‌گیرند. رده پایین تر، رده E بوده و مطابق تعریف، فرآورده‌هایی که می‌توانند بدون پیشروی اساسی شعله برای یک مدت کوتاه هجوم شعله را تحمل کنند در این رده قرار می‌گیرند. در این آزمایش، نمونه مورد نظر با ابعاد ۲۵۰ میلی‌متر در طول و ۹۰ میلی‌متر در عرض بریده شده و سپس در یک در قاب فلزی مخصوص قرار داده می‌شود. پس از قرار دادن آن در اتاقک آزمایش مخصوص، تحت تاثیر یک منبع شعله کوچک در وضعیت عمودی ارزیابی و طبقه بندی می‌شود.

آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش

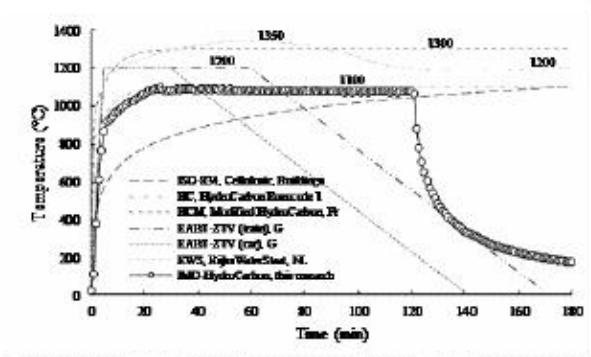
برای بررسی اثر آتش سوزی بر روی دیوارهای خاک مسلح و همچنین تعیین میزان افزایش دما درون دیوار خاک مسلح در هنگام آتش سوزی، یکسری آزمایش مقاومت در برابر آتش با استفاده از کوره حرارتی (با سوخت گاز طبیعی) با قابلیت اعمال منحنی‌های استاندارد آتش پایه گذاری شد. المان خاک مسلح درون یک باکس فلزی ساخته شد. ابعاد خالص المان خاک مسلح برابر با ۸۲/۵ در ۸۲/۵ سانتیمتر و عرض ۵۰ سانتیمتر بدست آمد. در آزمایش‌ها دو نوع پیکربندی المان خاک مسلح، الف: با نمای شبکه جوش شده سیمی و با برگرداندن ژئوگریدها روی لایه خاکریزی و ب: با نمای بلوک بتنی مورد بررسی قرار گرفت. خاک ماسه‌ای در لایه‌های ۵ سانتیمتری ریخته شده و با استفاده از یک وزنه ۴/۵ کیلوگرمی کوبیده می‌شد. دانسیته نسبی خاکریز حدود ۸۰ درصد بود. در هنگام خاکریزی لایه‌ها، ترموکوپل‌های ثبت دما از نوع k در موقعیت‌های در نظر گرفته شده در دو ردیف بالا و پایین درون خاکریز ماسه‌ای نصب شدند. در شکل ۱ نحوه قرارگیری المان خاک مسلح در مقابل کوره حرارتی نشان داده شده است. با توجه به اینکه بیشترین خطر آتش سوزی در مجاورت دیوارهای خاک مسلح و کوله‌های پل، آتش سوزی تانکرهای حمل مواد سوختی است، در آزمایش‌های از منحنی استاندارد آتش هیدروکربنی^{۲۱} استفاده شد. در شکل ۲ انواع منحنی استاندارد آتش بر اساس مرجع شماره [۲۱] که در تحقیقات بررسی اثرات آتش سوزی بر روی سازه‌های مختلف استفاده می‌شوند به همراه منحنی آتش استفاده شده در این



تحقیق نشان داده شده است. در این منحنی آتش، دما پس از ۳۰ دقیقه به حدود ۱۱۰۰ درجه سلسیوس رسیده و سپس تا خاموش کردن کوره در این دما ثابت می‌ماند. پس از گذشت زمان ۱۲۰ دقیقه (فاز داغ آتش) مشعل‌های کوره خاموش و فن‌های کوره برای سرد کردن آن روشن می‌شدند.



شکل ۱: الف- محل قرارگیری جعبه مدل در کوره حرارتی، ب- المان خاک مسلح تکمیل شده، به صورت بانمای شبکه جوش شده سیمی، ج- المان خاک مسلح تکمیل شده، با بلوک‌های بتنی نما



شکل ۲: انواع منحنی‌های استاندارد آتش بر اساس استانداردهای مختلف [۲۳].

نتایج و بحث

آزمایش افروزش شعله

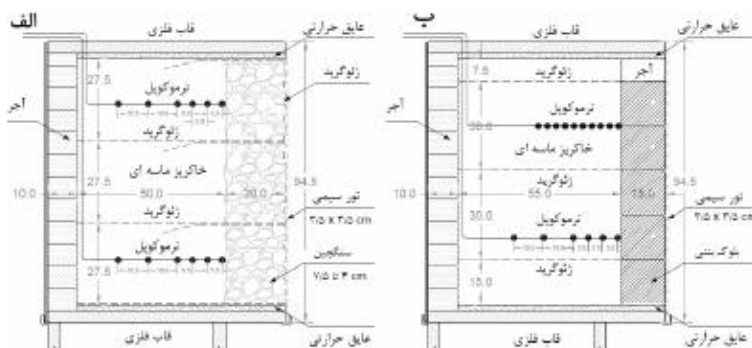
در این بخش از تحقیق، در مجموع تعداد ۲۰ آزمایش افروزش شعله انجام شد. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۹۹ [۲۲] از نظر واکنش در برابر آتش ژئوگرید پلی استر در طبقه F (بدترین نوع عملکرد در برابر آتش) قرار می‌گیرد ولی ژئوگرید پلی اتیلن سنگین شرایط قرارگیری در طبقه E که شدت افروزش کمتری را نشان می‌دهد، احراز نمود. این بدین معنی است که شدت افروزش این ژئوگریدها موقعی که در معرض آتش قرار بگیرند بسیار شدید بوده و در هنگام آتش سوزی سریع‌آز بین می‌روند. در شکل ۳ پاسخ این دو نوع ژئوگرید در آزمایش افروزش شعله ۲۰ ثانیه، نشان داده شده است.



شکل ۳: نحوه سوختن ژئوگریدهای پلی استر و پلی اتیلن سنگین در آزمایش آفرورش
شعله ۲۰ ثانیه بر اساس استاندارد ملی ایران ۴-۲۰۱۷۲۷۱ [۲۰]

آزمایش های مقاومت در برابر آتش

در این آزمایش ها از دو نوع پیکربندی استفاده شد. هر چند تنوع روش های اجرا در سازه های خاک مسلح بسیار زیاد است، اما دو نوع پیکربندی مد نظر قرار گرفته می تواند نماینده دو نوع اصلی از این سازه ها یعنی، خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی و خاک مسلح ژئوگریدی با نمای بلوک های بتنی باشد که در زیر شرح داده شده اند. در شکل زیر جزئیات مدل های استفاده شده نشان داده شده است.



شکل ۴: الف- دتایل مدل خاکریز مسلح به صورت با نمای شبکه جوش شده سیمی،
ب- دتایل مدل خاک مسلح ژئوگریدی با بلوک های بتنی نما

الف: مدل خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی ۲۲

برای بررسی اثر آتش سوزی بر روی المان خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی تعداد سه



آزمایش در نظر گرفته شد. نتایج این بخش از آزمایش‌ها را می‌توان به دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی با نمای دورپیچ ۲۳ نیز تعمیم داد. در آزمایش اول (الف-۱)، در بخش سنگچین المان از قلوه سنگ‌هایی با قطر بین ۴ تا ۷/۵ سانتیمتر بین خاکریز مسلح و بخش سنگچین استفاده شد. ضخامت این بخش ۲۰ سانتیمتر بود. برای جلوگیری از ریزش مصالح دانه‌ای خاکریز، قلوه سنگ‌های مجاور خاکریز به صورت دستچین قرار داده شدند. در آزمایش‌های دوم و سوم (به ترتیب، الف-۲ و الف-۳) در این بخش با همان ضخامت ۲۰ سانتیمتر، از مخلوط شن و قلوه سنگ استفاده شد به صورتیکه دانه‌های شن فضاهای خالی بین قلوه‌ها را پر می‌کرد. با توجه به این واقعیت که در خاکریزهای خاک مسلح وجود ژئوستتیک‌ها به دلیل ضخامت کم، تاثیری در تغییرات دمایی درون خاکریز ندارند [۱۳] ژئوگریدهای بکار رفته در این دو آزمایش برای بحث تکرارپذیری و مشاهده تغییرات فیزیکی ژئوگریدها، مختلف انتخاب شدند. در آزمایش الف-۳ برخلاف دو آزمایش قبلی از ژئوگرید پلی اتیلن سنگین (با شبکه لانه زنبوری) استفاده شد. در خلال خاکریزی، تعداد ۱۲ ترموکوپل در دو ردیف، درون خاکریز ماسه‌ای جایگذاری شدند؛ ردیف اول (پایین) در ارتفاع ۱۵ سانتیمتر و ردیف دوم در ارتفاع ۶۸ سانتیمتر از کف خاکریز. فواصل ترموکوپل‌ها (d) از پشت بخش سنگچین به ترتیب، ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سانتیمتر در هر دو ردیف بود. در جدول ۳ خلاصه اطلاعات این سه آزمایش و در شکل ۶ جزئیات المان به همراه جزئیات داده شده در استاندارد اداره فدرال بزرگراه‌های آمریکا برای این سیستم، ارائه شده است.

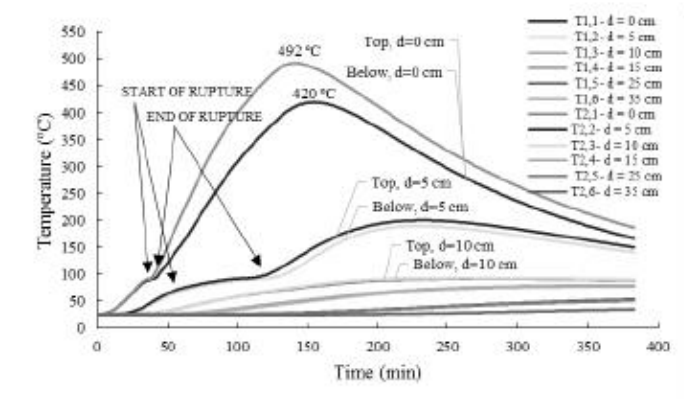
جدول ۳: مشخصات آزمایشهای مقاومت در برابر آتش، المان خاک مسلح با نمای شبکه جوش شده سیمی

آزمایش	فاصله بین ژئوگریدها (سانتیمتر)	نوع ژئوگرید بکار رفته در آزمایش	عرض بخش قلوه سنگی (سانتیمتر)	تعداد ترموکوپل‌ها
الف-۱	۲۷/۵	پلی استر	۲۰ (قلوه سنگ)	۱۲ (۶ تا بالا، ۶ تا پایین)
الف-۲	۲۷/۵	پلی استر	۲۰ (قلوه سنگ با شن)	۱۲ (۶ تا بالا، ۶ تا پایین)
الف-۳	۲۷/۵	پلی اتیلن سنگین	۲۰ (قلوه سنگ با شن)	۱۲ (۶ تا بالا، ۶ تا پایین)

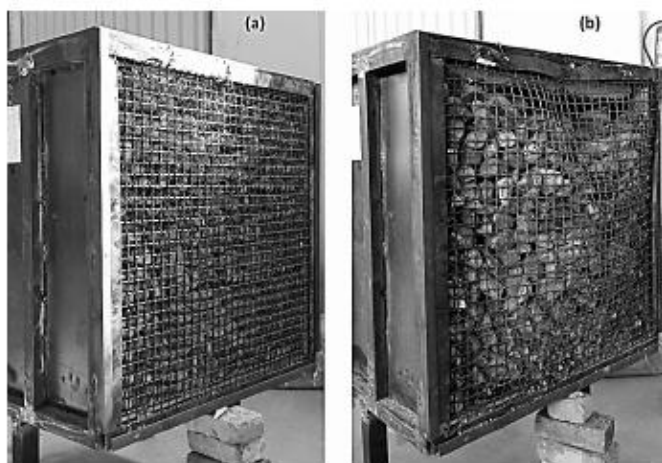
در شکل ۵ تغییرات دما در فواصل مختلف پشت بخش سنگچین در اثر اعمال منحنی آتش هیدروکربنی به جلوی المان خاک مسلح در آزمایش اول نشان داده شده است. در تمامی آزمایش‌های این بخش، ما شاهد تغییر شکل و فروریزش بخش جلویی المان پس از خارج کردن نمونه از روبروی کوره بودیم. برای نمونه تغییرات ایجاد شده المان خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی در آزمایش الف-۱ قبل و بعد از آزمایش در شکل ۶ نشان داده شده است. بیشترین تغییر شکل افقی در محدوده دو سوم ارتفاع المان، بین ۸ تا ۱۲ سانتیمتر و نشست خاکریز و بخش سنگچین در بالای المان بین ۱۳ تا ۱۶ سانتیمتر در ارتفاع و در حدود ۱۱ تا ۱۸ سانتیمتر در عمق بود. در این آزمایش‌های مشاهده شد که ژئوگریدهای پلی استر و پلی اتیلن سنگین علاوه بر وجه المان که مستقیماً در برابر آتش بود تا مرز بین ماسه و سنگچین کاملاً سوخته و از بین رفته بودند. در شکل



۹ برای نمونه این پدیده نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش های مقاومت در برابر آتش المان خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی ضعف ژئوگریدهای پلی استر و پلی اتیلن سنگین در برابر آتش سوزی مستقیم که آزمایش افروزش در برابر شعله کوچک نشان داده بود را تایید کرد. در آزمایش های الف-۱ و الف-۲، مشاهده المان (از طریق دریچه مشاهده لحظه ای پشت کوره) نشان داد که ژئوگرید پلی استر موجود در وجه جلویی هیچگونه مقاومتی در برابر شعله های آتش نداشته و طی ۵ دقیقه از شروع آزمایش که دمای کوره به حدود ۸۷۰ درجه سلسیوس رسید، به صورت کامل سوخته و ناپدید شد. در آزمایش الف-۳، سوختن ژئوگرید پلی اتیلن سنگین جلوی المان در زمان طولانی تری و در حدود ۱۳ دقیقه اتفاق افتاد. با توجه به شکل ۵، بیشینه دمای ثبت شده در آزمایش الف-۱ توسط ترموکوپل ردیف بالا ($T_{top, d=0 \text{ cm}}$) ۴۹۲ درجه سلسیوس بود که نسبت به بیشینه دمای ثبت شده ۴۲۰ درجه سلسیوس در ترموکوپل مشابه ردیف پایین ($T_{bottom, d=0 \text{ cm}}$) ۷۲ درجه سلسیوس اختلاف را نشان می دهد. این تفاوت برای ترموکوپل های نصب شده در فاصله ۵ سانتیمتری کمتر شده و به مقدار ۱۱ درجه سلسیوس و برای ترموکوپل های نصب شده در فاصله ۱۰ سانتیمتری ۲ درجه سلسیوس است. برای ترموکوپل های دورتر، این اختلاف بسیار ناچیز بود. این پدیده در آزمایش الف-۲ نیز مشاهده شد.



شکل ۵: دماهای ثبت شده درون خاکریز در فواصل مختلف پشت نمای قلوه سنگی به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، (آزمایش الف-۱) (d فاصله از پشت بلوک های بتنی است)



شکل ۶: تغییرشکل ایجاد شده و فروریختن بخش جلوی المان خاک مسلح با نمای شبکه جوش شده سیمی در اثر آتش، (a): قبل از آزمایش، (b): بعد از آزمایش، آزمایش الف-۱

در آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش المان خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی بیشترین تغییرشکل جانبی در محدوده دو سوم ارتفاع رخ داد که تقریباً نزدیک محل نصب ترموکوپل‌های ردیف بالا بود. دلیل اختلاف دما در دوردیف ترموکوپل مربوط با شروع ناپایداری در المان خاک مسلح و ریزش بخش جلوی آن است که بدلیل از بین رفتن ژئوگرید و نرم شدن توری فلزی در اثر حرارت بالاتر اتفاق افتاده است. استفاده از شن برای پر کردن فضاهای خالی بخش قلوه سنگی در دو آزمایش الف-۲ و الف-۳ نشان داد که این ترکیب تا حد زیادی از نفوذ حرارت به درون المان جلوگیری می‌کند و شکل تغییرات دمایی درون خاکریز نیز بسیار آرام صورت می‌گیرد. بیشینه دمای ثبت شده در آزمایش الف-۲ برابر با ۲۴۳ درجه سلسیوس بود که نسبت به آزمایش الف-۱، بسیار کمتر و کاهشی برابر با ۴۲ درصد را نشان داد. از طرفی در آزمایش الف-۱، بیشینه دمای ثبت شده در زمان حدود ۱۵۰ دقیقه رخ داد (۳۰ دقیقه پس از خاموش کردن کوره) در حالیکه در این آزمایش، بیشینه دمای ثبت شده در زمان حدود ۲۲۵ دقیقه اتفاق افتاد (۱۰۵ دقیقه پس از خاموش کردن کوره). این بدین معنی است که منافذ بازتر، در هنگام آتش سوزی، افزایش دمای بالاتر در زمان کمتر را به همراه دارد و از طرفی پس از خاموش شدن آتش، باعث کاهش سریعتر دمای خاکریز می‌شود.

ب: خاک مسلح ژئوگریدی با بلوک‌های بتنی نما^{۲۴}

برای بررسی اثرات آتش سوزی بر روی دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی با بلوک‌های بتنی نما، ۳ آزمایش انجام شد. دو آزمایش ب-۱ و ب-۲ برای صحت سنجی و تکرارپذیری، کاملاً مشابه انجام شدند (بجز در مقاومت کششی ژئوگریدهای پلی استر). فاصله درزهای قائم بین بلوک‌ها در این آزمایش‌ها حدود ۱۰ میلی‌متر بود. ژئوگریدها پهن شده در نمای المان بین بلوک‌ها قرار داده می‌شد. با توجه به ضخامت ژئوگریدها، درز افقی بین بلوک‌ها



بین ۱ تا ۲ میلیمتر ایجاد می‌شد. ردیف بالایی ترموکوپل‌ها، در راستای درز افقی در مجاورت ژئوگرید قرار داده شده تا تاثیر وجود درزها در نفوذ جریان گرمایی بدرون خاکریز ماسه‌ای را نشان دهند. تعداد ترموکوپل‌های نصب شده درون خاکریز ۱۶ عدد و فاصله آنها از پشت نما در ردیف پایینی به ترتیب ۵۰، ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵ و در ردیف بالایی ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰ سانتیمتر بود. در جدول ۳ خلاصه اطلاعات این سه آزمایش و در شکل ۱۰ جزئیات المان برای این سیستم ارائه شده است.

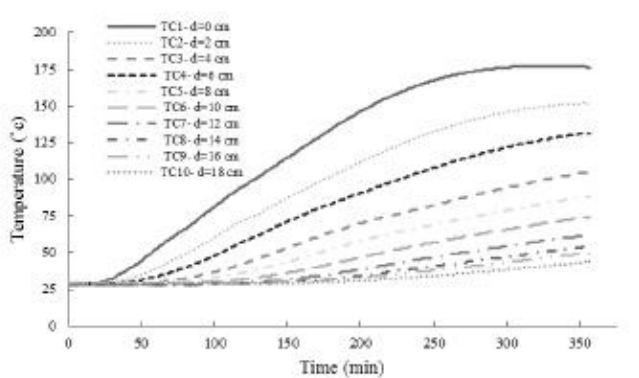
جدول ۳: مشخصات آزمایشهای مقاومت در برابر آتش، المان خاک مسلح با بلوک‌های بتنی نما

آزمایش	فاصله بین ژئوگریدها (سانتیمتر)	نوع ژئوگرید بکار رفته در آزمایش	فاصله بین بلوک‌ها در درزهای افقی (میلیمتر)	تعداد ترموکوپل‌ها
ب-۱	۳۰	پلی‌استر	۱	۱۶ (۱۰ تا بالا، ۶ تا پایین)
ب-۲	۳۰	پلی‌استر	۱	۱۶ (۱۰ تا بالا، ۶ تا پایین)
ب-۳	۳۰	پلی‌اتیلن سنگین	۲	۱۶ (۱۰ تا بالا، ۶ تا پایین)

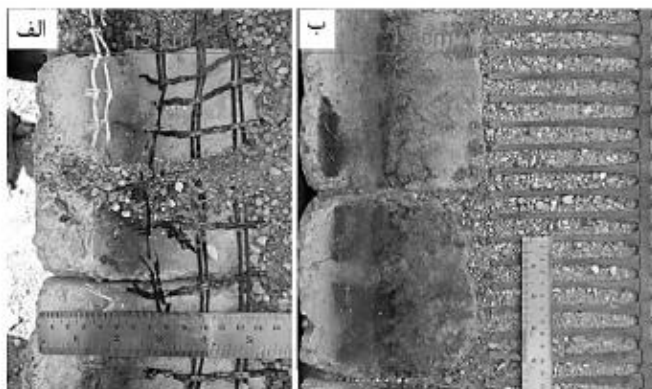
نتایج دماهای ثبت شده درون خاکریز در آزمایشهای مقاومت در برابر آتش المان خاک مسلح ژئوگریدی با بلوک‌های بتنی، تغییرات آرام دمای خاکریز را در اثر آتش نشان می‌دهند. نتایج سه آزمایش انجام شده برای این سیستم بسیار شبیه بوده و اختلاف کمی بین آنها وجود داشت. در ادامه نتایج دو آزمایش ب-۱ و ب-۲ مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۷، نتایج دماهای ثبت شده در آزمایش‌های ب-۱ در فواصل مختلف پشت بلوک‌های نما ارائه شده است. با توجه به شکل ۷، بیشینه دمای ثبت شده در مجاورت ژئوگریدها در آزمایش ب-۱، ۱۷۷٫۰۱ درجه سلسیوس بود که در حدود ۲۰۵ دقیقه پس از خاموش کردن کوره رخ داد. این نتیجه نشان می‌دهد که پس دادن انرژی گرمایی جذب شده توسط بتن نما و خاکریز ماسه‌ای تا مدت‌ها حتی پس از خاموش کردن آتش ادامه داشته و باعث بالا رفتن دما درون خاکریز می‌شود. به نظر نویسندگان، این اثر در تحقیق آوستین^{۲۵} (۱۹۹۷) که در مقدمه به آن اشاره شد، در نظر گرفته نشده است. در تحقیق ایشان، نتیجه دماهای ثبت شده در محل اتصال ژئوگریدها به بلوک‌های نما و همچنین پشت دیواره نما، بلافاصله پس از خاموش کردن کوره (در زمان ۳۰ دقیقه) گزارش شده است. همانطور که گفته شد، اثر وجود ماسه در جذب و انتقال انرژی جذب شده در خلال آتش‌سوزی بسیار مهم است. در پیکربندی‌های مورد تحقیق ایشان از خاکریز استفاده نشده است و لذا پس از خاموش کردن آتش در نما، دیواره پشت نما قاندا تا سریع سرد شده و این اثر منفی بر نتایج خواهد گذاشت. در آزمایش ب-۲، بیشینه دمای ثبت شده ۱۶۶ درجه سلسیوس بود که اختلاف کمی را با آزمایش اول (۱۱ درجه سلسیوس) نشان داد. در این آزمایش نیز، بیشینه دمای رخ داده پشت بلوک‌های بتنی نما در حدود ۱۸۰ دقیقه بعد از خاموش کردن کوره رخ داد. در آزمایش‌های ب-۱ و ب-۲، بیشینه دمای ثبت شده پشت بلوک‌های بتنی (ردیف اول ترموکوپل‌ها) برابر با ۱۵۵ و ۱۳۱ درجه سلسیوس بود که نسبت به بیشینه



دمای ثبت شده در ردیف دوم ترموکوپل‌ها که در مجاورت ژئوگریدها (درز افقی بین بلوک‌های نما) نصب شده بودند به ترتیب ۲۲ و ۳۵ درجه اختلاف دارند. این اختلاف نشان دهنده تاثیر وجود درزها در انتقال گرما است. در این دو آزمایش دیده شد که دمای ثبت شده در فاصله ۳۵ سانتیمتری از پشت بلوک‌ها پس از گذشت حدود ۳۵۰ دقیقه از شروع آزمایش به صورت بسیار جزئی در حال افزایش است. با توجه به مشخصات بکار برده شده در این تحقیق، می‌توان پیش بینی کرد که در یک آتش سوزی هیدروکربنی بزرگ، عمق تحت تاثیر آتش سوزی درون خاکریز مسلح (پشت بلوک‌های نما) زیر ۵۰ سانتیمتر خواهد بود. در شکل ۸ سوختگی ژئوگریدهای قرار داده شده بین بلوک‌ها پس از اتمام آزمایش و خالی کردن باکس نشان داده شده است. میزان از بین رفتن ژئوگرید پلی اتیلن سنگین بیشتر از ژئوگرید پلی استر مشاهده شد، هر چند ژئوگرید پلی استر از نظر فیزیکی ترد و شکننده شده و انعطاف خود را از دست داده بود.



شکل ۷: دماهای ثبت شده درون خاکریز در فواصل مختلف، پشت بلوک‌های بتنی نما، آزمایش ب-۱، (d فاصله از پشت بلوک‌های بتنی است)



شکل ۸: سوختن ژئوگریدهای در اثر آتش سوزی: الف- ژئوگرید پلی استر آزمایش ب-۲
ب- ژئوگرید پلی اتیلن سنگین آزمایش ب-۳



نتیجه گیری

بررسی اثر آتش سوزی بر روی رفتار و عملکرد سازه‌های خاک مسلح بدلیل تنوع در روشهای ساخت، نوع مصالح خاکریز، نوع نما، نوع آتش سوزی و زمان تداوم آن و مسایل دیگر مثل دمای اولیه خاکریز و دمای محیط پیچیده است. در این تحقیق با ساخت ۶ مدل آزمایشگاهی به بررسی اثرات ناشی از آتش سوزی بر روی دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی پرداخته شد. مهمترین هدف این تحقیق، پیش بینی میزان افزایش دما در اثر آتش سوزی در مجموعه دیوار خاک مسلح ژئوگریدی در دو حالت، اول؛ با نمای شبکه جوش شده سیمی و دوم؛ با نمای بلوک بتنی بود. با توجه به اینکه بیشترین خطر آتش سوزی در مجاورت دیوارهای خاک مسلح و کوله‌های پل آتش سوزی تانکرهای حمل مواد سوختی است، در این آزمایشها از منحنی استاندارد آتش هیدروکربنی استفاده شد. قبل از انجام آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش، آزمایش افروزش در برابر شعله کوچک برای دو نوع ژئوگرید پلی استرو و پلی اتیلن سنگین انجام شد و سپس براساس استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۹۹، از نظر واکنش در برابر آتش مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

بر اساس نتایج افروزش در برابر شعله کوچک، از نظر واکنش در برابر آتش، ژئوگرید پلی استر در طبقه F (بدترین نوع عملکرد در برابر آتش) قرار گرفت ولی ژئوگرید پلی اتیلن سنگین شرایط فرارگیری در طبقه E که شدت افروزش کمتری نشان می‌دهد را احراز نمود.

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش، دیوارهای خاک مسلح ژئوگریدی با نمای شبکه جوش شده سیمی و دورپیچ در برابر آتش سوزی‌های بزرگ آسیب پذیر بوده و در صورت وقوع آتش سوزی پس از سوختن ژئوگریدها در وجه مقابل آتش، به صورت پیش رونده تخریب خواهند شد.

در آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش المان خاک مسلح با بلوک‌های نما، بیشینه دمای ثبت شده پشت بلوک‌های بتنی ۱۵ سانتیمتری ۱۷۷ درجه سلسیوس بود. براساس این مطالعه، پیش بینی می‌شود عمق تحت تاثیر آتش سوزی درون خاکریز مسلح (پشت بلوک‌های نما) در یک آتش سوزی هیدروکربنی بزرگ زیر ۵۰ سانتیمتر خواهد بود.

نتایج آزمایش‌های مقاومت در برابر آتش نشان داد که حتی پس از خاموش شدن آتش تا مدت‌ها روند افزایش دما در خاکریز وجود دارد. با توجه به کاهش مقاومت کششی ژئوگریدها و افزایش کرنش گسیختگی آنها در دماهای بالا (بخصوص ژئوگرید پلی اتیلن سنگین)، این اثر می‌تواند پایداری دیوار خاک مسلح را در یک آتش سوزی بزرگ تحت تاثیر قرار دهد.

با توجه به نتایج این تحقیق، آتش سوزی را باید به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار بر رفتار سازه‌های خاک مسلح ژئوسنتتیکی بخصوص کوله‌های پلها تعریف کرد که تا بحال مورد توجه واقع نشده است.



تشکر و قدردانی

مولفان از مسئولین محترم مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ایران برای حمایت از این تحقیق و همچنین شرکت‌های ژئو شبکه پارسیان و ایران بنا آریان برای تهیه مصالح ژئوگرید که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت، تشکر می‌نمایند.

مراجع

- [1] Koerner, R. M., *Designing With Geosynthetics*, 5th Edition, Pearson Prentice Hall, and Upper Saddle River, N.J. (2005)
- [2] Hsuan, Y.G., Koerner, G.R., Koerner, R.M., "Field measurements of oxygen, temperature and moisture behind segmental retaining walls", Seventh International Geosynthetic Conference, Nice, France, 2002, pp. 1431-1434.
- [3] Jorge G. Zornberg, M.ASCE1, Brett R. Byler, Justin W. Knudsen. Creep of Geotextiles Using Time-Temperature Superposition Methods, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, (ASCE), 1090-0241/130, Vol. 11, 2004, pp.1158-1168.
- [4] Chiwan Hsieh, Yen-Chen Tseng. Tensile Creep Behavior of a PVC Coated Polyester Geogrid at Different Temperatures, *Journal of GeoEngineering*, Vol. 3, No. 3, 2008, pp. 113-119.
- [5] Kongkitkul, W., Tabsombut, W., Jaturapitakkul, C. & Tatsuoka, F. Effects of temperature on the rupture strength and elastic stiffness of geogrids, *Geosynthetics International*, 19, No. 2, 2012, 106-123.
- [6] Kasozi, Andrew M., Raj V. Siddharthan, and Rajib Mahamud. Temperature Distribution in Mechanically Stabilized Earth Wall Soil Backfills for Design Under Elevated Temperature Conditions, *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 2015, 7.2: 021004.
- [7] Mengjia Li, Y. Grace Hsuan., Temperature and pressure effects on the degradation of polypropylene tape yarns depletion of antioxidants, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol.22, 2004, pp. 511-530.
- [8] Rowe, R.K., Rimal, S., Sangam, H., Ageing of HDPE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 27, 2009, pp. 137-151.
- [9] Budiman, J., Effects of temperature on physical behavior of geomembrane, *Proceedings of the Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes, and Related Products*. International Geosynthetics Society, Easley, SC, USA, 1994, pp. 1093-1096.
- [10] P. Segrestin & J-M. Jailloux., Temperature in Soils and its Effect on the Ageing of Synthetic Material, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 7, 1988, pp. 51- 69.
- [11] R. T. Murray & D. M. Farrar., Temperature Distributions in Reinforced soil retaining wall, *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol.7, 1988, pp.33-50.
- [12] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method, Designation D6637, ASTM International, West Conshohoken, PA. (2010)
- [13] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), LRFD Bridge design Specifications, 4th ed., Sec. 11, AASHTO, Washington, DC, 2011, pp. 11-



1-11-99.

- [14] Reinforced Earth, Protective Structures for Industrial and Military Applications, Technical reports, The Reinforced Earth Company, (2013)
- [15] Austin, R. A., The Effect of Installation Activities and Fire Exposure on Geogrid Performance, Geotextiles and Geomembranes, vol.15, 1997, pp.367-376.
- [16] ENV. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire, 1991-1-2, The European Union Per Regulation, (2002)
- [17] American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), Designation D2487 - 11, ASTM International, West Conshohoken, PA. (2011)
- [18] FHWA. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and nstruction Guidelines, Federal Highway Administration (FHWA), NHI Course No. 132042, authored by Elias, V., Christopher, B. R. and Berg. R. R., Washington, DC, USA. (2001)
- [19] ISIRI, Reaction to fire tests for building products-Test method, Part 4: Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame (Single - flame source test), No. 7274-4.
- [20] ISIRI, Reaction to fire for building products -classification, No. 8299.
- [21] www.prom-at-tunnel.com