Archive of SID

مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار ۱۳۹۹، جلد سیزدهم، شماره ۱، صفحه ٤٧ تا ٥٩

استفاده از نخاله‌های ساختمانی برای پایدارسازی دیواره گود عمیق

اکبر چشمی [۱]، زهرا سبزی*[۲]، سید رمضان رمضان نژاد [۳]

دریافت مقاله: ۹۸/۰۷/۱۱ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۰/۱٤

چکیده

حجم روز افزون نخاله‌های حاصل از تخریب ساختمانها و بافت‌های فرسوده شهری، مشکلات فراوانی را در شهرهای بزرگ به وجود آورده است. در صورت بازیافت این نخاله‌ها و استفاده از آن‌ها در کاربردهای ساختمانی، علاوه بر صرفه–جویی در هزینه‌های پروژه‌های ساختمانی، در بهبود شرایط محیط زیست نیز به طور قابل توجهی موثر خواهد بود. این نوع نخاله‌ها را می‌توان در بسیاری از پروژه‌ها، خصوصا در پروژه‌های راهسازی، خاکریزی دیوارهای وزنی، محوطه‌سازی و معابر مورد استفاده قرار داد. در این تحقیق یک گود که با استفاده از نخاله پایدارسازی شده، مورد مطالعه قرار گرفته است. گود مذکور در جنوب غرب تهران و در غرب رودخانه کن واقع شده است. جنس مصالح تشکیل دهنده دیواره گود شن و ماسه با مقادیر سیلت و رس بوده که از نظر زمین شناسی در گروه آبرفتهای C تهران طبقه‌بندی می‌شود. در تحقیق حاضر با استفاده از آنالیز برگشتی و با توجه به ابعاد گود، پارامترهای مهندسی مصالح دیواره گود، تعیین شد. به منظور تعیین پارامترهای مهندسی نخاله‌های ساختمانی یک خاکریز آزمایشی از نخاله‌های مذکور به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۵۰۰ ، ۸ و ۰,۵ متر اجرا و با استفاده از غلطک ویبره، متراکم شد. سپس با انجام آزمایشهای دانسیته در محل، بارگذاری صفحه و کاوشگر دینامیکی بر روی خاکریز، پارامترهای مهندسی نخاله‌های ساختمانی تعیین گردید. با انجام مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Geo- Slope تحلیل پایداری گود و خاکریز در شرایط مختلف انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که خاکریز مذکور قادر است پایداری دیواره گود را با توجه به مقادیر مجاز ضریب اطمینان تامین کند. با توجه به مشاهدات و برداشت‌های میدانی از آنجا که تنوع و تغییرات در نخاله‌های ساختمانی زیاد است به منظور کنترل کیفیت و حصول اطمینان از مناسب بودن مصالح و روش اجرا، دستورالعمل اجرایی برای استفاده از این مصالح جهت خاکریزی پیشنهاد گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برخلاف رویه معمول، نخاله‌های ساختمانی، به طور قابل توجهی می‌توانند در کاربردهای مهندسی قابل استفاده باشند.

کلید واژه‌ها: *پایدارسازی، گود عمیق، خاکریزی، نخاله‌های ساختمانی، Geo-Slope*

۱. دانشیار دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران
۲. استادیارگروه مهندسی عمران، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران، zahra.sabzi@kiau.ac.ir
۳. کارشناس ارشد زمین شناسی، مهندسان مشاور هندسه پارس کاوش
* مسئول مکاتبات

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

نخاله‌های ساختمانی به مواد زایدی اتلاق می‌شود که از تعمیر و از نو بنا کردن سازه‌ها از قبیل راه‌ها و یا ساختمان‌ها حاصل می‌شود. در کشورهای در حال توسعه، نخاله‌های ساختمانی بخش بزرگی از زباله شهری را به خود اختصاص می‌دهند که علاوه بر هزینه زیاد برای دفع آن، عواقب نامطلوبی بر محیط زیست دارند. حجم نخاله‌های ساختمانی به حدی است که اکنون این مسئله نه تنها در ایران بلکه در کشورهای پیشرفته یک مشکل اجتماعی و زیست محیطی است (بلوری بزاز و زنجانی، ۱۳۸۹). بازیافت نخاله‌های ساختمانی نه تنها به حفظ منابع طبیعی و محیط زیست کمک می‌کند، بلکه با بکارگیری روشهای علمی، توجیه و سود اقتصادی دارد. از طرف دیگر بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی برای ساخت راه‌ها، تولید بتن، آجر و سایر مصالح ساختمانی، کمبود مصالح طبیعی را در پی دارد.

موضوع بازیافت نخاله در ایران دارای سابقه طولانی نیست و بنابراین دسترسی به آمار دقیق میزان تولید و نیز ترکیب نخاله در سالهای قبل مشکل است. آمارهای ارائه شده از سوی سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران نشان می‌دهد روزانه بیش از ۲۰۰۰ سرویس انواع کامیون نخاله‌های ساختمانی را در مکان‌هایی در اطراف شهر تخلیه می‌کنند و روزانه حدود ۲۰ هزار تن نخاله ایجاد شده که در بهترین حالت حدود ۳ هزار تن از این نخاله ها بازیافت می‌شوند. در مجموع حدود ۱۱ درصد زباله‌ها و نخاله‌های ساختمانی در شهر تهران بازیافت می‌شوند که این عدد در کشورهای پیشرفته به ۹۵ درصد هم می‌رسد (عالی محمدی و مهدوی عادلی، ۲۰۱۶).

با توجه به کمبود مصالح ساختمانی مناسب و نیز هزینه زیاد استحصال و حمل این مصالح، در مورد بهره‌گیری از مصالح بازیافتی در اکثر کشورهای توسعه یافته تحقیقات زیادی صورت پذیرفته و نیز استانداردهای ویژه‌ای برای استفاده از این مصالح تدوین شده است. البته آشکار است که بازیافت نخاله نیز هزینه‌بر بوده و ممکن است در کوتاه مدت توجیه اقتصادی نداشته باشد، اما افزایش روزافزون بهای مصالح اولیه و نیز خسارت‌های غیرقابل جبران زیست محیطی بلندمدت، اهمیت بازیافت نخاله‌های ساختمانی را افزایش می‌دهد (Robinson et al, 2000). استفاده مجدد از نخاله در چند دهه گذشته در برخی از کشورها مورد مطالعه قرار گرفته و روش-هایی برای استفاده موفقیت‌آمیز از این مصالح در پروژه‌های مختلف پیشنهاد شده است (Melbouci, 2009; Arulrajah et al., 2013; Jamshidi et al., 2016; Wang et al., 2012; Fakhri and Farshad 2016; Wang et al., 2016; Lai et al., 2016 a, b; Bastos et al., 2016; Maghool, 2016). یکی از بهترین مکانهای استفاده از نخاله‌های بازیافتی، لایه‌های روسازی راه است و این موضوع توسط محققین زیادی در کشورهای مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (Ekanayake and Ofori, 2004; Sobhan and Krizek, 1999; Park, 2003 ; Chi and Chan., 2006 ; Xuan et al., 2015).

علاوه بر آن محققین زیادی بر ارزیابی امکان استفاده از مصالح بازیافتی به عنوان لایه‌های راه تاکید کرده اند (Pasand´ın and P´erez, 2014; Zhu et al., 2012; G´omez-Meijide and P´erez, 2014; G´omez et al., 2016; Lai et al., 2015; Lai et al., 2016; Youyun et al., 2017).

بلوری بزاز و زنجانی (۱۳۸۹) امکان بازیافت نخاله‌های ساختمانی و بکاربردن آنها به طور مستقیم و یا پس از بهسازی و تثبیت، در لایه‌های روسازی راه و یا زیراساس را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند این مصالح در زیر اساس راه‌های درجه دو قابل استفاده هستند.

یکی دیگر از کاربردهای مهم مصالح بازیافتی در تهیه و تولید بتن است. در کشورهای اروپایی اکثر حجم بتن را نخاله‌ها تشکیل می‌دهد. در مورد امکان استفاده از مواد بازیافتی در بتن، پژوهشهای زیادی انجام شده و معیارهایی نیز برای استفاده از نخاله در بتن ارایه شده است (Samanth and Prakhar, 2016 ;Kumutha and Vijai, 2010; Favaretto et al., 2017).

همچنین محققین زیادی استفاده از خرده آجر بازیافتی برای تهیه آجر و بلوکهای بتنی، را گزارش کرده اند (Poon et al., 2002; Akash et al., 2007; Arulrajah et al., 2013;

www.SID.ir

Archive of SID

(Cristelo et al., 2016). در این راستا برخی مراکز پژوهشی نظیر انستیتو بتن آمریکا (ACI, 2002) دستورالعملهایی برای روش تخریب بتن، بازیافت استفاده از آن در بتن جدید ارایه کرده‌اند. استفاده از نخاله‌های ساختمانی در ساخت سازه‌های خاص نیز گزارش شده است. آجر استفاده شده در سازه والتروتردام هلند (Walter Rotterdom) از ۱۵ تن نخاله که از سراسر کشور جمع‌آوری شده، ساخته شده است (Omotayo et al., 2017). خانه‌های زباله در محوطه دانشگاه برایتون (Brighton) در انگلستان نمونه‌ای دیگر از سازه‌های ساخته شده از نخاله‌ها می‌باشد (Singh and Singh 2019).

همانطور که بیان شد نخاله‌ها در کشورهای مختلف و در بسیاری از پروژه‌های مهندسی کاربرد دارند. در این راستا، در تحقیق حاضر امکان‌پذیری استفاده از نخاله‌های ساختمانی به منظور پایدارسازی گودی با ابعاد قابل توجه در جنوب غرب شهر تهران مطالعه و با استفاده از این مصالح پایدارسازی بخشی از آن انجام شده است. در این تحقیق با هدف معرفی نمونه‌ای از کاربرد مهندسی نخاله‌های بازیافتی، پس از معرفی پروژه، هدف، مزایا و مشکلات استفاده از نخاله در پایدارسازی گود بررسی و نتایج حاصل از طراحی و اجرای این پروژه در قالب دستورالعملی برای کارهای مشابه ارائه شده است.

۲. ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی محل مورد مطالعه

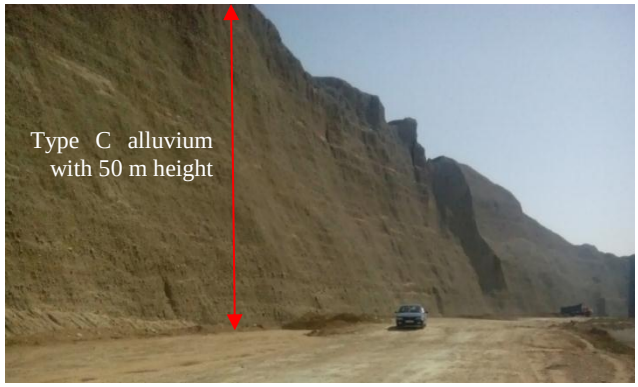
محل مورد مطالعه، معدن شن و ماسه‌ای در جنوب غربی شهر تهران بوده که به دلیل بهره‌برداری‌های صورت گرفته از آن، بصورت گود عمیقی درآمده است. در شکل ۱ نمایی از دیواره گود نشان داده شده است. عمق گود مورد مطالعه ۵۰ متر می‌باشد. در مجاورت این گود در حال حاضر بنای خاصی وجود نداشته و رودخانه کن به فاصله متغیر ۳۰ تا حدود ۱۰۰ متر از لبه شرقی گود در جریان است. بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای گستره شهر تهران توسط فاخر و همکاران (۱۳۸۷) در محل گود، آبرفت‌های C تهران قرار گرفته‌اند. این آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای شامل قلوه‌سنگ، ریگ، شن و ماسه بوده که توسط مصالح رسی به هم پیوسته‌اند. سرعت موج برشی در محدوده گود مورد مطالعه حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر بر ثانیه و ضخامت آبرفت در محدوده گود حاضر حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر برآورد گردیده است (کامران‌زاد و همکاران ۱۳۹۳). بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که جنس مصالح در دیوار گود یکسان است. لذا برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی مصالح دیواره گود از تحلیل برگشتی و برای پارامتر سختی خاک، از آزمایش بارگذاری صفحه در داخل گالریهای افقی حفر شده در مصالح مذکور استفاده شده است. تحلیل برگشتی بر این مبنا که ترانشه‌های فعلی دارای حداقل ضریب اطمینان پایداری برابر یک هستند و براساس بحرانی‌ترین شیب موجود در پروژه انجام شد. لازم به ذکر است که تحلیل برگشتی انجام شده با ضریب اطمینان ۱ درحقیقت معرف حالت آستانه گسیختگی است. این در حالی است که شواهدی مبنی بر تغییرشکل، ترک و یا گسیختگی در دیواره ترانشه‌ها رویت نشده است. بنابراین پارامترهای تحلیل برگشتی در شرایط فعلی معرف حد پایین (Lower bound) پارامترهای خاک بوده و نسبت به واقعیت محافظه‌کارانه می‌باشد. بر این اساس پارامترهای مقاومت برشی به شرح جدول ۱ تعیین گردید. بر اساس نتایج ٤ آزمایش بارگذاری صفحه‌ای مدول الاستیسیته مصالح دیوار گود بین ٤۰ تا ٦۰ مگاپاسکال پیشنهاد شد.

جدول۱. مشخصات ژئوتکنیکی خاک دیواره گود

ν	**E (MPa)**	φ' (deg)	**C' (kPa)**	γ_{sat} (g/cm^3)
0.35	60-40	35	75	1.9

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. دیواره شرقی گود حین عملیات پایدارسازی

۳. انتخاب روش پایدارسازی

گزینه‌های مختلفی جهت پایدارسازی دیواره گود نظیر انواع دیوارهای وزنی و نیمه وزنی، دیوارهای طره‌ای و پشت بنددار، دیوارهای خاک مسلح، میخکوبی، مهار، سپر، دیوار برلنی و خاکریزی و برم مطالعه شده است. با توجه به شرایط پروژه و طرح احداث فضای سبز روی شیب، گزینه‌ای برای پایدارسازی باید انتخاب شود که ضمن عدم نیاز به تجهیزات خاص و مصالح متنوع با توجه به پتانسیل‌های موجود در محل طرح با حداقل هزینه انجام شود. بر این اساس روش پایدارسازی با استفاده از خاکریز و ایجاد برم در اولویت قرار گرفت. این روش از نظر اجرایی ساده بوده و نیاز به تجهیزات پیچیده و نیروی کار حرفه‌ای ندارد. مشکل مهم این روش نیاز به مقدار زیاد مصالح خاکی جهت ساخت برم است. با توجه به موقعیت پروژه حاضر و گستردگی گودبرداری و تخریب‌ها در سطح شهر تهران، تامین نخاله ساختمانی برای ساخت برم بعنوان یک گزینه در دسترس، آسان و با هزینه پایین و سرعت بالا اقتصادی است. در ادامه به تحلیل پایداری صورت گرفته با در نظر گرفته نخاله‌های ساختمانی برای ساخت برم پرداخته می‌شود.

٤. تحلیل پایداری گود

امکان استفاده از نخاله‌های ساختمانی برای پایدارسازی گود، ضمن تطبیق با اهداف پروژه از نظر اقتصادی و سرعت توجیه داشته است. بر این اساس در این بخش به بررسی فنی و تحلیل پایداری دیواره گود با استفاده از این مصالح پرداخته شده است.

٤- ١. پارامترهای مهندسی نخاله های ساختمانی

برای انتخاب پارامترهای مهندسی نخاله‌های ساختمانی قبل از اجرای خاکریز اصلی، یک خاکریز آزمایشی (به عرض ۸ متر و طول ۵۰۰ متر با ارتفاع خاکریزی ۵۰ سانتیمتر) اجرا و مصالح با عبور غلطک متراکم شد. بر روی مصالح متراکم شده آزمایشهای برجا انجام شد. دانسیته مصالح ریخته شده با آزمایش دانسیته در محل (In-situ Density) تعیین شد. روش آزمایش و ابعاد گودال متناسب با اندازه دانه‌ها و مطابق استاندارد ASTM D1556 و D1556M در نظر گرفته شد. به ازای هر ۵۰ متر طول خاکریز حداقل یک آزمایش دانسیته در محل انجام شد. شکل ۲ تصویری از یکی از آزمایش‌های دانسیته در محل انجام شده را نشان می‌دهد. نتایج تعدادی از آزمایش‌های انجام شده در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج آزمایشها، دانسیته خاک ۱/۸ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد. قابل ذکر است آزمایش تراکم اصلاح شده در آزمایشگاه بر روی نخاله‌ها انجام شده و وزن مخصوص خشک حداکثر خاک برابر ۱/۹۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و درصد رطوبت بهینه ۱۳ درصد تعیین شد.

برای تعیین مدول الاستیسته مصالح خاکریز از آزمایش بارگذاری صفحه (Plate Load Test) استفاده شد. ابعاد صفحه بارگذاری متناسب با اندازه دانه‌ها مطابق استاندارد ASTM

www.SID.ir

Archive of SID

D1194 است. در طول ۵۰۰ متر خاکریز آزمایشی سه آزمایش بارگذرای صفحه انجام شد. در شکل ۳ تصویری از آزمایش بارگذاری صفحه در محل نشان داده شده است. در جدول ۳ نتایج آزمایش بارگذاری صفحه‌ای نشان داده شده است.

شکل ۲. انجام آزمایش دانسیته درمحل بر روی خاکریز آزمایشی اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی

جدول۲. نتایج آزمایشهای دانسیته در محل انجام شده بر روی خاکریز اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی

Test no.	1	2	3	4	5
Moisture (%)	15.1	14.6	15.7	13.6	14.3
γd (g/cm3)	1.8	1.73	1.76	1.78	1.77
Relative density (%)	90	87	88	89	89

شکل ۳. انجام آزمایش بارگذاری صفحه ای بر روی خاکریز آزمایشی اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی

جدول۳. نتایج آزمایش بارگذاری صفحه‌ای انجام شده بر روی خاکریز آزمایشی اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی

Test No.	1	2	3
E (MPa)	68	73	78

آزمایش کاوشگر دینامیکی مطابق استاندارد DIN 4094 و BS 5930 و استاندارد ISO 22476-2 انجام شد. کاوشگر دینامیکی استفاده شده از نوع سبک بوده و بازای هر ۱۰۰ متر طول خاکریز در یک شبکه مثلثی شکل (حداقل سه آزمایش صحیح) انجام گردید. شکل ٤ تصویری از انجام آزمایش کاوشگر دینامیکی در محل خاکریز آزمایشی را نشان می‌دهد. در شکل ۵ یک نمونه از نتایج آزمایش کاوشگر دینامیکی که شامل ضربه – فرورفت می‌باشد، ارائه شده است. از آنجا که مکانیزم آزمایش کاوشگر دینامیکی مشابه آزمایش نفوذ استاندارد ضربه و فرورفت می‌باشد، لذا در ادبیات فنی همبستگی‌هایی بین نتایج این دو آزمایش پیشنهاد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه ۱ که توسط دی آماتو و همکاران پیشنهاد شده یکی از این همبستگی‌ها رانشان می‌دهد (D'Amato et al., 2013).

$$N_{SPT} = CF \cdot N_{DP} \quad (۱)$$

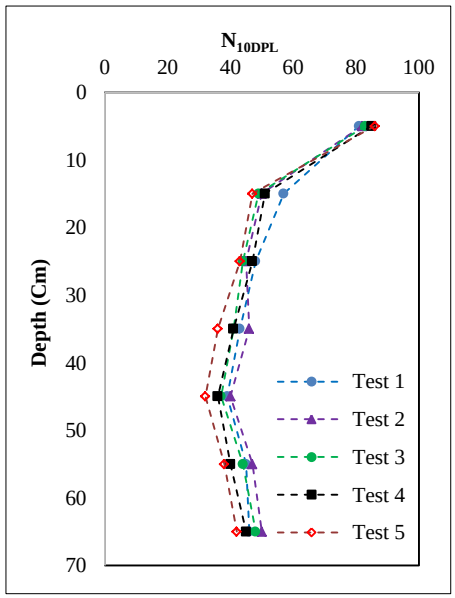
$$CF = \frac{Q_{DP}}{Q_{SPT}} = \frac{(M_{DP}H_{DP})/(A_{DP}\delta_{DP})}{(M_{SPT}H_{SPT})/(A_{SPT}\delta_{SPT})} \quad (۲)$$

در رابطه ۲، M_{DP-SPT} وزن چکش به کیلوگرم، H_{DP-SPT} ارتفاع سقوط چکش به سانتیمتر، A_{DP-SPT} سطح مقطع مخروط به سانتیمتر مربع، δ_{DP-SPT} عمق نفوذ مخروط به سانتیمتر می‌باشد. با توجه به نوع کاوشگر دینامیکی استفاده شده (کاوشگر سبک) امکان تبدیل نتایج به آزمایش نفوذ استاندارد و تخمین پارامترهای مقاومت برشی مصالح با نتایج آزمایش نفوذ استاندارد وجود دارد. بر این اساس مصالح خاکریزی شده در محدوده خاکهای با تراکم متوسط قرار گرفته و پارامترهای مقاومت برشی آنها به شرح جدول ٤ پیشنهاد گردید.

جدول ٤. مشخصات ژئوتکنیکی در نظر گرفته شده برای نخاله‌های ساختمانی

φ'(deg)	C' (kPa)	γ_d (g/cm^3)
34	7.5	1.8

شکل ٤. انجام آزمایش کاوشگر دینامیکی بر روی خاکریز آزمایشی اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی



شکل ۵. تغییرات عدد نفوذ در آزمایش کاوشگر دینامیکی در برابر برای ۵ آزمایش انجام شده روی خاکریز اجرا شده با نخاله‌های ساختمانی

www.SID.ir

Archive of SID

٤-۲. مدلسازی و تحلیل پایداری

نرم‌افزارهای متعددی جهت تحلیل تعادل حدی ارائه شده‌اند که قادر هستند ضریب اطمینان کلی در برابر پایداری شیب یا گودبرداری را محاسبه نمایند. در این تحقیق به منظور تحلیل تعادل حدی از نرم‌افزار Geo-Slope استفاده شده است. در این نرم‌افزار می‌توان با روش‌های مختلف تعادل حدی پایداری شیروانی‌ها را در حالت‌های مختلف بررسی نمود. همچنین می‌توان المان‌های پایدار ساز نظیر شمع‌ها و انکرها را در مدل وارد نموده، نیروهای ایجاده شده در این المان‌ها را مورد بررسی قرار داد. در این نرم افزار جهت کنترل و یافتن محتمل‌ترین گوه گسیختگی، حالت بهینه‌یابی انتخاب شده است. در این حالت، بر روی خط گسیختگی در محتمل‌ترین گوه گسیختگی که به صورت قطاعی از دایره می‌باشد، نقاطی در نظر گرفته می‌شود و با جابجایی این نقاط، شکل گوه به بحرانی‌ترین حالت تغییر داده می‌شود. بنابراین، شکل خط گسیختگی از حالت دایره‌ای خارج شده و حتی گسیختگی لغزشی را هم در بر خواهد گرفت. به منظور آزمودن تمامی سطوح لغزش ممکن، بطور توأم از گزینه انتخاب نقاط ورود و خروج، انتخاب خودکار و همچنین انتخاب مرکز و شعاع لغزش گوه بحرانی استفاده شده است تا تمامی سطوح لغزشی که از سطح به پای ترانشه و حتی به درون آن می‌رسند مورد بررسی قرار گیرند. در نهایت سطح گسیختگی با ضریب اطمینان حداقل محاسباتی به عنوان ضریب اطمینان ترانشه در نظر گرفته و با مقادیر مجاز مقایسه شده است.

با استفاده از نرم‌افزار Geo-Slope همانطور که در شکل ٦ نشان داده شده است. جهت طراحی، مقطع بحرانی با ارتفاع ۵۰ متر و شیب ۱ افقی به ۲/۸ قائم، جهت انجام تحلیل پایداری انتخاب شد. ضریب اطمینان مجاز پایداری در هر یک از حالات بهره‌برداری و شرایط فوق‌العاده کنترل شد. این مقدار در طول دوران بهره‌برداری برابر ۱,۵، در زلزله سطح I برابر ۱,۲ و در زلزله سطح II برابر ۱ در نظر گرفته شد. در شرایط وقوع ترک کششی و پرشدگی ترک با آب، با توجه به اینکه می‌توان آن را یک شرایط موقت و گذرا فرض کرد، ضریب اطمینان مجاز برابر ۱ فرض شد. مقادیر ضریب زلزله برای زلزله سطح ۱ برابر ۰,۰۸ و برای زلزله سطح ۲ برابر ۰,۱۷۵ درنظر گرفته شد. در مدلسازی فرض شد که از پای دیوار موجود تا فاصله ۱۰ متر امکان کوبش به وسیله ویبره به جهت ایمنی دیواره گود وجود ندارد. در جلوی این بخش، قسمتی از خاکریز با استفاده از مصالح مخلوط متراکم و پر شده است. بقیه مقطع دیوار با استفاده از نخاله خاکریزی شده و در مدلسازی مقطع نیز مشخص شده است. بارگذاری به منظور در نظر گرفتن تاثیر مجاورات فعلی و طرح توسعه آتی در پایداری گود، سرباری معادل ۱۰ کیلونیوتن بر متر مربع در محاسبات فرض شده است. در طراحی مقطع یک برم به طول ۸ متر برای مسائل اجرایی در بالای شیب خاکریزی و یک برم به طول ٤,۵ متر در میانه ارتفاع شیب خاکریزی پایدار در نظر گرفته شده است. مدل رفتاری خاک مدل موهر-کولمب انتخاب شده است.

در روش تعادل حدی بسته به فرضیات انجام یافته در مورد پارامترهای مجهول و این که کدام معادله تعادل (نیرو، لنگر یا هر دو) برقرار باشد، روش‌های حل مختلفی ایجاد شده است. روشی که برای تحلیل در آنالیزهای انجام شده در این پروژه انتخاب شده است روش مرگشترن و پرایز (Morgenstern and Price) می‌باشد زیرا در این روش سطح گسیختگی را به هر شکلی می‌توان فرض کرد و تعادل هر دو معادله لنگر و نیروهای افقی در این روش برقرار است.

مقطع مدلسازی شده در شرایط مختلف تحلیل شده و ضرایب اطمینان برای هر تحلیل بدست آمد. گوه بحرانی گسیختگی و ضریب اطمینان بدست آمده در شرایط بهره-برداری (حالت معمول استاتیکی برای ترانشه و خاکریز و حالت وقوع ترک کششی و پرشدگی ترک با آب برای ترانشه) و زلزله (حالت شبه استاتیکی برای ترانشه و خاکریز)، به ترتیب در شکل ۷ نشان داده شده و عدد ضریب اطمینان ترانشه در بالای هر شکل ارائه شده است.

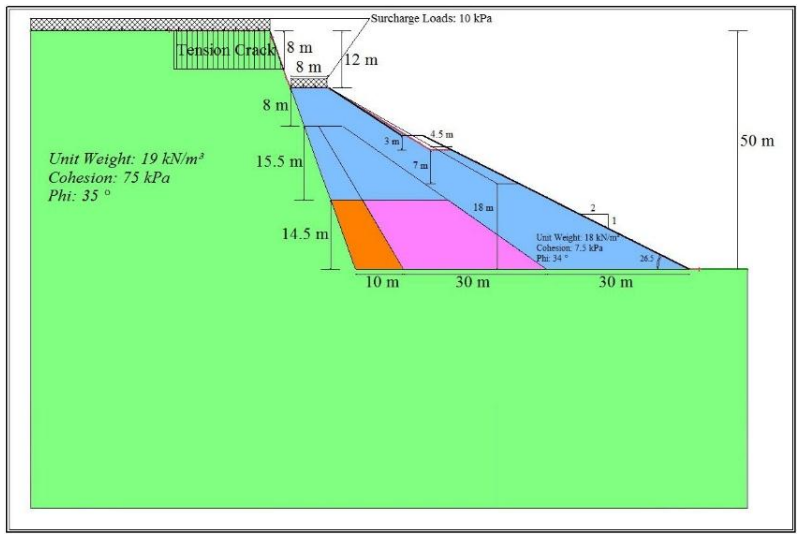
با توجه به وضعیت کنونی ترانشه‌ها، عملا در طول سالیان گذشته هر تغییرشکلی ناشی از خاکبرداری صورت پذیرفته

www.SID.ir

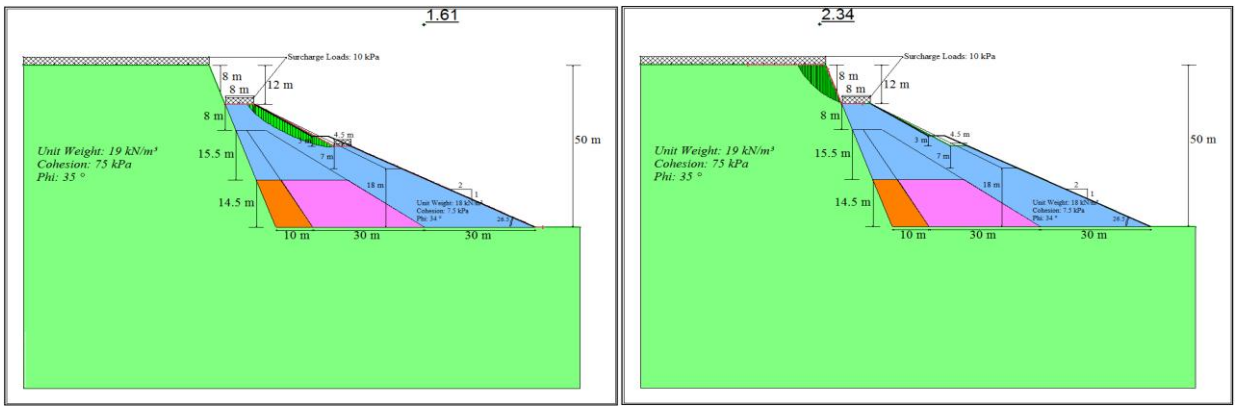
Archive of SID

است. با بررسی وضعیت بالادست شیب می‌توان گفت که میزان این تغییرشکل‌ها در اغلب بخش‌ها ناچیز بوده و نگران کننده نیست. از طرف دیگر با افزایش پایداری ترانشه‌ها با استفاده از خاکریزی در جلوی آن، از تغییرشکل‌های آتی که ممکن است به دلایلی نظیر هوازدگی و یا افزایش سربارها رخ دهد، نیز جلوگیری خواهد شد. لذا در طرح فعلی و با توجه به وضعیت موجود ترانشه‌ها، کنترل تغییرمکان به عنوان یک عامل کنترلی در طراحی در نظر گرفته نمی‌شود.

نتایج تحلیل‌ها و مقایسه با مقادیر ضریب اطمینان مجاز نشان می‌دهد که استفاده از نخاله به عنوان مصالح خاکریز در تمامی شرایط فوق‌الذکر به خوبی پایداری خاکریز و دیواره را تامین می‌کند.



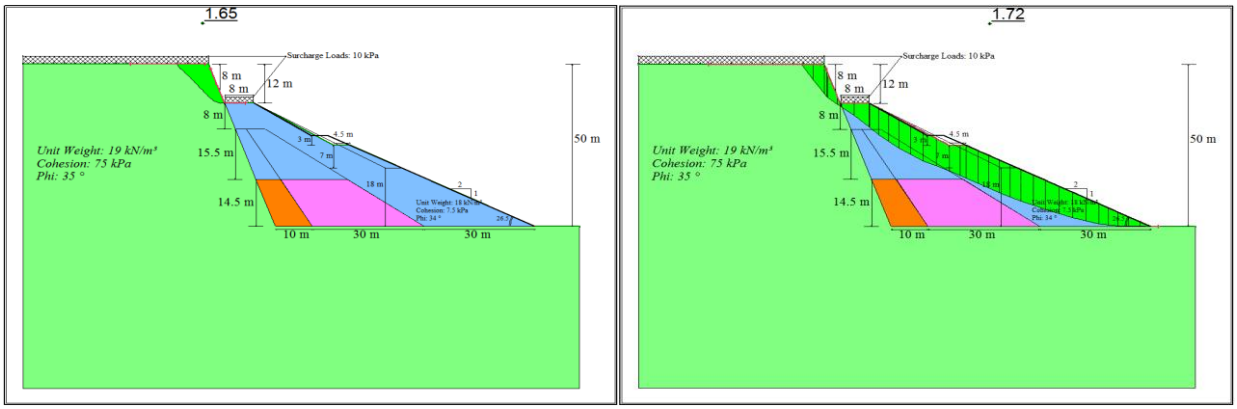
شکل ٦. مدلسازی دیواره گود جهت کنترل پایداری



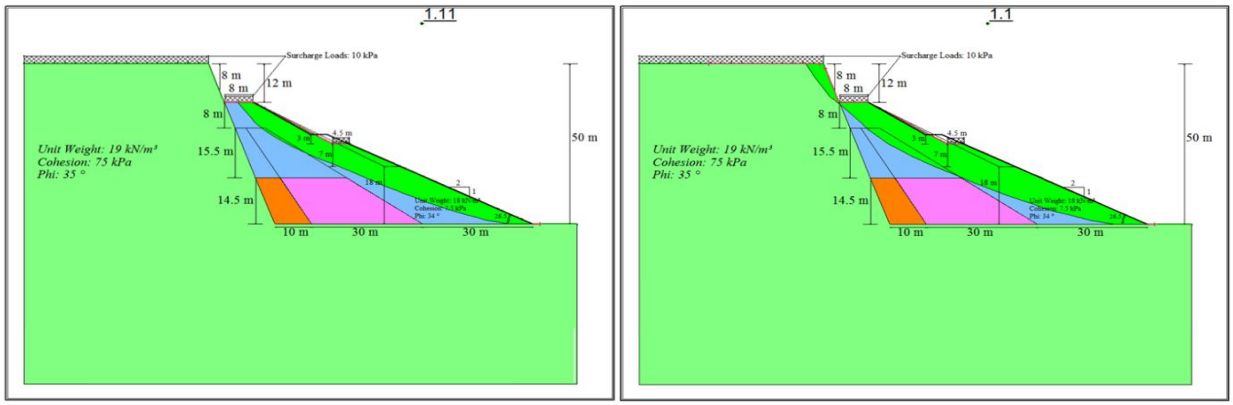
(الف) (ب)

www.SID.ir

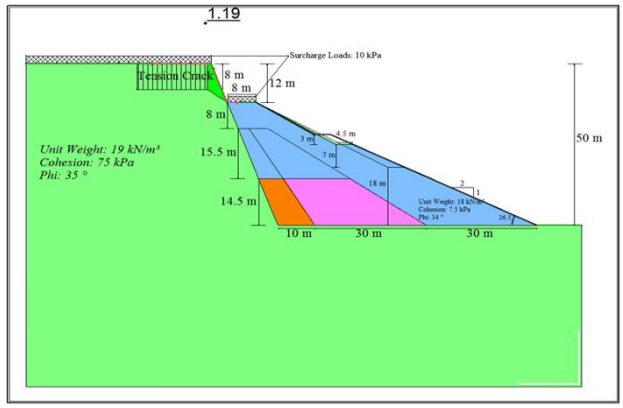
Archive of SID



(د) (ج)



(و) (ه)



(ز)

شکل ۷. الف)کنترل پایداری استاتیکی قسمت بالایی ترانشه، ب) کنترل پایداری استاتیکی خاکریز، ج) کنترل پایداری استاتیکی مجموعه ترانشه و خاکریز، د) کنترل پایداری شبه استاتیکی ترانشه در شرایط زلزله با ضریب ۰/۲۳، ه) کنترل پایداری شبه استاتیکی ترانشه در شرایط زلزله با ضریب ۰/۱۷۵، و) کنترل پایداری شبه استاتیکی مجموعه ترانشه و خاکریز در شرایط زلزله با ضریب ۰/۲۳، ز) کنترل پایداری استاتیکی ترانشه در شرایط وقوع ترک کششی و پر شدگی ترک با آب

www.SID.ir

Archive of SID

۵- پیشنهاد دستورالعمل اجرایی

تحلیل‌های انجام شده در بخشهای قبل بخوبی نشان می-دهد که امکان استفاده از نخاله‌های ساختمانی برای احداث برم و خاکریز و پایداری سازی گود عمیق وجود دارد. بدلیل تنوع و عدم یکپارچگی این مصالح و با توجه به مشاهدات و تجربیات صورت گرفته در حین استفاده از این مصالح برای پایدارسازی بخشی از خاکریز مطالعه شده و همچنین پارامترهای مهندسی در نظر گرفته شده برای این مصالح، دستورالعمل اجرایی برای استفاده از این مصالح برای خاکریز به شرح زیر نتیجه‌گیری شد:

- مصالح زوال‌پذیر همچون چوب، پلاستیک، پارچه و هر ماده‌ای که به‌مرور زمان فاسد شده و از بین برود، نباید در ترکیب نخاله‌ها باشد. چون زایل شدن آنها باعث ایجاد فضاهای خالی در بین مصالح شده و منجر به نشست‌های غیریکنواخت در طولانی مدت می‌گردد. ضمن اینکه با افزایش فضاهای خالی بین مصالح پارامترهای مقاومت برشی آنها تغییر می‌یابد. بدین جهت لازم است قبل از بارگیری و ارسال مصالح به محل پروژه و نیز در هنگام تخلیه و یا در مرحله پخش، مصالح زوال پذیر جمع‌آوری و از محل خاکریز دور گردند (شکل ۸- الف).
- با توجه به اینکه ممکن است محل تامین مصالح منتقل شده تغییر یابد، لازم است مصالح در آزمایشگاه تحت آزمایش تراکم قرار گرفته و دانسیته حداکثر و درصد رطوبت بهینه آنها تعیین گردد. این فرایند باید بصورت دوره‌ای تکرار شود.
- مصالح به گونه‌ای پخش شود که ضخامت آنها بیشتر از ۵۰ سانتیمتر نباشد. بدین منظور بعد از تخلیه، مصالح ریخته شده بوسیله بولدوزر و لودر پخش شده و توسط گریدر پخش شود.
- مقدار ریزدانه موجود در مصالح بیشتر از ۱۵ درصد کل مصالح نباشد. قبل یا بعد از پخش مصالح قطعات با ابعاد بزرگتر از ۳۰ سانتیمتر (که در جریان پخش و تسطیح ایجاد اشکال می‌نمایند) بصورت چشمی شناسایی و از لایه‌ها خارج شود. در صورت وجود ابزار و امکانات برای خرد کردن قطعات بزرگ پس از خرد شدن و تبدیل آنها به قطعات کوچکتر از ۳۰ سانتیمتر، امکان استفاده از آنها وجود خواهد داشت.
- بعد از پخش مصالح، آبپاشی برای رسیدن به رطوبت بهینه انجام گردد. بعد از آبپاشی، تراکم سطحی با استفاده از غلطک ویبره انجام شود. تعداد دفعات رفت و برگشت بر اساس نوع غلطک تعیین شود (شکل ۲- ب). بدیهی است در صورت کاهش انرژی تراکم لازم است ضخامت مصالح خاکریزی کاهش یابد (تعیین نوع غلطک و تعداد دفعات عبور غلطک در این پروژه با توجه به خاکریز آزمایشی نتیجه‌گیری شده است).
- کلیه مراحل فوق در روز انجام شود و هیچگونه عملیات پخش و کوبش مصالح در شب انجام نگردد. فرایند تفکیک مصالح فناپذیر در شب امکانپذیر نیست.
- برای جلوگیری از خطر آب‌شستگی و فرسایش، سطح بیرونی خاکریز با لایه‌ای درشت دانه حفاظت گردد.
- ضخامت لایه‌های خاک ریخته شده با استفاده از دوربین نقشه برداری، مشابه شکل ۹ کنترل گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

(ب) (الف)

شکل ۸. الف) نخاله ساختمانی مورد استفاده در ساخت خاکریز که مواد فناپذیر از آن جدا شدند، ب) کوبش نخاله‌های ساختمانی ریخته شده با استفاده از غلطک

(ب) (الف)

شکل ۹. الف و ب) ترازیابی و تعیین کد ارتفاعی به منظور کنترل ضخامت خاکریزی

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکانپذیری استفاده از نخاله‌های ساختمانی برای ایجاد خاکریز و برم جهت پایدارسازی گود عمیق در جنوب غرب تهران و در مجاورت رودخانه کن بررسی گردید. مصالح تشکیل دهنده دیواره گود آبرفتهای C تهران بوده که پارامترهای مهندسی آن با روش تحلیل برگشتی شامل وزن مخصوص مرطوب، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی به ترتیب برابر $1.9\ gr/cm^3$، $75kPa$، $35°$ تعیین شد. برای تعیین پارامترهای مهندسی نخاله‌های ساختمانی اقدام به احداث یک خاکریز آزمایشی گردید و با انجام آزمایشهای برجا (دانسیته در محل، بارگذای صفحه و کاوشگر دینامیکی) پارامترهای مهندسی نخاله‌های ساختمانی بعد از تراکم، شامل وزن مخصوص مرطوب، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی به ترتیب برابر $1.8\ gr/cm^3$، $34°$ ، $7.5kPa$ تعیین شد. مقطع مدلسازی شده در شرایط مختلف تحلیل شده و ضرایب اطمینان برای هر تحلیل بدست آمد. گوه بحرانی گسیختگی و ضریب اطمینان بدست آمده در شرایط بهره‌برداری (حالت معمول استاتیکی برای ترانشه و خاکریز و حالت وقوع ترک کششی و پرشدگی ترک با آب برای ترانشه) و زلزله (حالت شبه استاتیکی برای ترانشه و خاکریز)، بررسی گردید و مشخص گردید که خاکریز ایجاد شده با قاعده ۷۰ متری و شیب ۲۶/۵ درجه قادر است در شرایط مختلف پایداری گود تامین کند. بر اساس تحقیق حاضر امکانپذیری استفاده از نخاله های ساختمانی برای احداث خاکریز به منظور پایدارسازی گود مورد تایید قرار گرفت مشروط به اینکه در حین اجرا، مصالح زوال‌پذیر از داخل نخاله های ساختمانی خارج شده و مقدار ریزدانه در آن به ۱۵ درصد محدود شود. قطعات بزرگتر از ۳۰ سانتیمتر جدا و یا خرد شود و ضمن آب پاشی و تراکم با غلطک ویبره آزمایشهای کنترل کیفیت در لایه های خاکریز بطور مرتب انجام گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

بلوری بزاز، جعفر ، زنجانی محمدمهدی ،بررسی مقاومت مصالح حاصل از بازیافت نخاله‌های ساختمانی جهت استفاده در لایه های روسازی، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۹، ص ۱۱۹ تا ۲۰۳.

چشمی، اکبر؛ فاخر، علی و خامه چیان ماشاءالله، ۱۳۸۷، زمین شناسی آبرفت های تهران و ارزیابی طبقه بندی ریبن جهت مطالعات زمین شناسی مهندسی مجله علوم دانشگاه تهران دوره ۳٤ , شماره ۲ (بخش زمین شناسی)؛ از صفحه ۱ تا صفحه ۱۵.

عالی محمدی علی، مهدوی عادلی مهدی ، ۲۰۱٦، بررسی روش های بازیافت پسماندهای ساختمانی از نخاله ها، در ساخت و ساز مجدد در شهرستان مسجدسلیمان، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نو در مهندسی عمران،معماری و شهرسازی، خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد.

کامران زاد فرناز ، معماریان حسین ، زارع، مهدی ۱۳۹۳، تخمین ضخامت آبرفت در جنوب غرب تهران به وسیله سرعت امواج برشی، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

ACI Committee Report "Removal and reuse of hardened concrete" (2002) reported by ACI Committee 555, ACI Materials Journal.

Akash, R., Kumar, N. J. and Sudhir, M. (2007) "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete", Resources Conservation and Recycling", 50, 71-81, Elsevier Ltd.

Arulrajah, A., Jegatheesan, P., Disfani, M., Bo, M. (2013). Geotechnical and Geo-environmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. Journal of Materials in Civil Engineering. 25. 1077 - 1088. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000652.

Bastos, L. A. D. C. Silva, G. C. Mendes, J. C., Peixoto, R. A. F. (2016) "Using iron ore tailings from tailing dams as road material," Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 28, no. 10, p. 04016102.

Chi S. P., Chan, D. (2006) "Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base," Construction and Building Materials, vol. 20, no. 8, pp. 578– 585.

Cristelo, N. Vieira, C.S. Lopes, M. (2016) "Geotechnical and geoenvironmental assessment of recycled construction and demolition waste in road embankment", Procedia Eng. 143 pp51–58.

D'Amato Avanzi, G., Galanti, Y., Giannecchini, R., Lo Presti, D., Puccinelli, A. (2013) Estimation of soil properties of shalloe ladslie source areas by dynamic penetration tests: first outcomes from Northern Tuscany (Italy). Bull. Eng. Geol. Environ. 72:609-624.

Ekanayake L. L., Ofori, G. (2004) "Building waste assessment score: design-based tool," Building and Environment, vol. 39, no. 7, pp. 851–861.

Fakher, A., Cheshomi, A., and Khamechian M. (2007). "The addition of geotechnical properties to a geological classification of coarse grain alluvium in a pediment zone". Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. V. 40, pp. 163-174.

Fakhri M. and Farshad, S. K. (2016) "The effect of waste rubber particles and silica fume on the mechanical properties of roller compacted concrete pavement," Journal of Cleaner Production, vol. 129, pp. 521–530.

Favaretto, P., Hidalgo, G., Sampaio, C., Silva, R. & Lermen, R. (2017). "Characterization and Use of Construction and Demolition Waste from South of Brazil in the Production of Foamed Concrete Blocks". Applied Sciences, 7, 1090, http://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1090

G´omez-Meijide B., P´erez, I. (2014) "Effects of the use of construction and demolition waste aggregates in cold asphalt mixtures," Construction and Building Materials, vol. 51, no. 51, pp. 267–277.

G´omez-Meijide, B. P´erez, I., A. R. Pasand´ın, (2016) "Recycled construction and demolition waste in cold asphalt mixtures: evolutionary properties," Journal of Cleaner Production, vol. 112, pp. 588–598.

Jamshidi, A. Kurumisawa, K. Nawa, T. and Igarashi, T. (2016) "Performance of pavements incorporating waste glass: the current state of the art," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 64, pp. 211–236.

Kumutha R., Vijai K., (2010) "Strength of Concrete Incorporating Aggregates Recycled from Demolition Waste", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 5, NO. 5 pp 64-71.

Lai, J. X. Liu, H. Q. Qiu, J. L., Chen, J. (2016a) "Settlement analysis of saturated tailings dam treated by CFG pile composite foundation," Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2016, Article ID 7383762, 10 pages.

www.SID.ir

Archive of SID

Lai, J. X. Mao, S. Qiu J. L., (2016b) "Investigation progresses and applications of fractional derivative model in geotechnical engineering," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2016, Article ID 9183296, 15 pages.

Lai, J. X. Qiu, J. L. Fan H. B. (2016c) "Fiber bragg grating sensors-based in-situ monitoring and safety assessment of loess tunnel," Journal of Sensors, vol. 2016, Article ID 8658290, 10 pages.

Lai, J. X. Fan, H. B. Chen, J. X. Qiu, J., Wang, K. (2015) "Blasting vibration monitoring of undercrossing railway tunnel using wireless sensor network," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2015, Article ID 703980, 7 pages.

Maghool, F. Arulrajah, A. Horpibulsuk, S., Du, Y. J. (2016) "Laboratory evaluation of ladle furnace slag in unbound pavement-base/subbase applications," Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 29, no. 2, p. 04016197.

Melbouci, B. (2009), "Compaction and shearing behaviour study of recycled aggregates," Construction and Building Materials, vol. 23, no. 8, pp. 2723–2730.

Omotayo, Oluwafemi O., Akingbonmire, Samuel L. and Ikumapayi Catherine M., (2017) "Sustainable Application of Construction and Demolition Waste": A Review, Annual Conference of the School of Engineering & Engineering Technology (SEET), The Federal University of Technology, Akure, Nigeria.

Park, T. (2003) "Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement," Journal of Transportation Engineering, vol. 129, no. 5, pp. 558–563.

Pasand´ın A. R., P´erez, I. (2014) "Mechanical properties of hotmix asphalt made with recycled concrete aggregates coated with bitumen emulsion," Construction and Building Materials, vol. 55, pp. 350–358.

Poon, C. S., Kou, S. C., Lam, L. (2002) "Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks", Construction and Building Materials, 16, pp. 281-289.

Robinson, G. R., Menzie, W. D and Hyun, H. (2000) "Recycling of construction debris as aggregate in the Mid-Atlantic Region, USA", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 42, pp 275-294.

Samanth. S. Prakhar A., (2016) "Study of Strength Properties of Concrete with Construction Debris as Aggregates", International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering, (IJERMCE), Vol 1, Issue 5.

Singh H., Singh Y. (2019) Applications of Recycled and Waste Materials in Infrastructure Projects. In: Singh H., Garg P., Kaur I. (eds) Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Waste Management through Design. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 21. Springer, Cham

Sobhan K., Krizek, R. J. (1999) "Fatigue behavior of 7berreinforced recycled aggregate base course," Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 124–130.

Wang, H. N. You, Z. P. Mills-Beale, J. and Hao, P. (2012) "Laboratory evaluation on high temperature viscosity and low temperature stiffness of asphalt binder with high percent scrap tire rubber," Construction and Building Materials, vol. 26, no. 1, pp. 583– 590.

Wang, H. N. Zhang, R. Chen, Y. You, Z., Fang, J. (2016) "Study on microstructure of rubberized recycled hot mix asphalt based X-ray CT technology," Construction and Building Materials, vol. 121, pp. 177–184.

Xuan, D. X. Molenaar, A. A. A., Houben, L. J. M. (2015) "Evaluation of cement treatment of reclaimed construction and demolition waste as road bases," Journal of Cleaner Production, vol. 100, pp. 77–83.

Youyun L., Zhou, H. Linjian S., Hou, H., Dang, L. (2017) "Investigation into the Application of Construction and Demolition Waste in Urban Roads," Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2017, Article ID 9510212, 12 pages, https://doi.org/10.1155/2017/9510212.

Zhu, J. Wu, S. Zhong, J. Wang, D. (2012) "Investigation of asphalt mixture containing demolition waste obtained from earthquake-damaged buildings," Construction and Building Materials, vol. 29, no. 4, pp. 466–475.

www.SID.ir