

# بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

علیرضا نوری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

فریدون مقدس نژاد (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

علی خدایی، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

E-mail: moghadas@aut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۱

## چکیده

یکی از راههای تعمیر روسازیهای ترک خورده به کارگیری روکش بر روی این گونه روسازیهایی می باشد که در این صورت روکش فوقانی مستعد بروز ترکها به شکل روسازی پیشین است. یکی از مهمترین روشهای پیشگیری از ترک خوردگی فوق که به ترک خوردگی انعکاسی موسوم است به کارگیری ژئوستنتیک هاست. میزان گیرداری ژئوستنتیکها در بین لایه های آسفالتی در شرایطی که ژئوستنتیک از عملکرد مسلح نمودن (Reinforcement) استفاده می نماید، اهمیت قابل توجهی دارد. همچنین میزان گیرداری ژئوستنتیک می تواند میزان مقاومت برشی بین لایه های آسفالتی را تحت تاثیر خود قرار دهد و نهایتاً منجر به خرابیهای گردد. به منظور شناخت میزان گیرداری ژئوستنتیکها در خاک آزمایش pull out یا بیرون کشش ژئوستنتیک آزمایش مرسوم قلمداد می شود. با این وجود از این آزمایش در شناخت میزان گیرداری ژئوستنتیک در بین لایه های آسفالتی استفاده چندانی نشده است. در این تحقیق دستگاه آزمایش بیرون کشش (Pull out) ژئوستنتیک که در دانشگاه صنعتی امیرکبیر توسعه داده شده است، به منظور ارزیابی میزان گیرداری ژئوکامپوزیت با اندازه شبکه های متفاوت در آسفالت به کار برده شد و تاثیر سه پارامتر موثر بر مقاومت بیرون کشش بر اساس طراحی آزمایش فول فاکتوریل بررسی و مقایسه گردید. نتایج بیانگر آن است که مهم ترین پارامتر موثر بر گیرداری ژئوکامپوزیت دما می باشد که به میزان دو برابر بیش از مقدار تک کت در میزان مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت موثر بوده است. همچنین سائز شبکه ژئوکامپوزیت اثر چندانی در مقاومت تحت بارگذاری یکنواخت از خود نشان نداده است. علاوه بر این با تحلیل تداخل های پارامترها مشخص شد که بیشترین تداخل میان پارامترها مربوط به تداخل میان دما و میزان تک کت به کار رفته بین دو لایه است. نهایتاً بر اساس محاسبات انجام گرفته مدلی رگرسیونی و ساده بر اساس پارامترهای موثر توسعه داده شد.

واژه های کلیدی: آزمایش بیرون کشش، ژئوکامپوزیت، آسفالت، عوامل موثر، طراحی فاکتوریل

## ۱. مقدمه

خرابیهای ناشی از ضعف مقاومت برشی در روسازی آسفالتی در برخی از موارد به دلیل تنش برشی ناشی از ایجاد برش مستقیم توسط خودروهای عبوری در روسازی است که در محل‌های ترمز گیری، شتاب گیری و همچنین محل‌هایی که خودروها در اثر گردش خود نیروی برشی به روسازی وارد می‌آورند این امر بیشتر مشهود است. در سایر حالتها، تنش برشی ناشی از مولفه ای از وزن چرخ عبوری خودرو است که این تنش برشی با تنش خمشی همراه شده و هر دو مد خمش و برش توأم موجب خرابی روسازی می‌گردند [Raab, 2004].

مرور تحقیقات پیشین، بیانگر آن است که تعدادی از محققین این پدیده را در میان لایه‌های آسفالتی بررسی کرده اند اما تحقیقات چندانی در مورد اثر قرار گیری ژئوستتیک‌ها بر کاهش اتصال میان لایه‌ها انجام نگرفته است [Villani, 2010] [Bonin, 2007]. شمار معدود محققینی که بر روی اثر ژئوستتیک‌ها بر کاهش اتصال بین لایه‌ها تحقیق نموده اند مشاهده کرده‌اند که با قرارگیری ژئوستتیک‌ها بین لایه‌های آسفالتی چسبندگی بین این لایه‌ها کاهش می‌یابد. کانستراری و همکارانش در سال ۲۰۰۶ [Canestrari, 2006] کاهش برش بین لایه‌های روسازی در اثر استفاده از ژئوستتیک‌ها را تایید نموده‌اند.

در سال ۲۰۱۰ Zamora-Barraza و همکارانش آزمایشی را جهت ارزیابی میزان مقاومت برشی بین لایه‌های روسازی طراحی نمودند که در آن امکان قرارگیری ژئوستتیک در میان دو لایه آسفالتی و آزمایش برش بر روی آن فراهم بود و توسط آن ارزیابی‌هایی را بر روی مقاومت برشی بین لایه‌های روسازی با تعبیه ژئوستتیک و بدون تعبیه ژئوستتیک انجام دادند. در آزمایش‌ها انجام شده توسط Zamora سه نوع ژئوگرید و دو نوع ژئوتکستایل مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که بکارگیری تمامی انواع ژئوستتیک موجب افت مقاومت برشی بین لایه‌های نمونه شده است [Zamora-Barraza, 2010].

براساس مشاهدات آزمایشگاهی Brown و همکاران در سال ۲۰۰۱ به این نتیجه می‌توان رسید که مقاومت چسبندگی بین

رشد ترک در روکش آسفالتی ساخته شده بر روی ترکهای موجود بر روسازی قدیمی منجر به بروز خرابیهای در روکش جدید می‌گردد که ترکهای انعکاسی نامیده می‌شوند. این ترکها پس از رسیدن به سطح؛ راه را برای ورود آب سطحی و سایر عوامل مخرب باز می‌کنند و موجب تشدید خرابی می‌گردند [Penman, 2008].

روشهای بسیاری برای پیشگیری از این نوع ترکها ارائه شده است که یکی از مهمترین این روشها، بکارگیری ژئوستتیک‌ها می‌باشد [Fallah, 2015]. ژئوستتیک‌ها می‌توانند تا ۴ برابر، مقاومت روسازی را در برابر ترکهای انعکاسی افزایش دهند [Moghadass Nejad, 2014]. با وجود مزایای استفاده از ژئوستتیک‌ها، یکی از بزرگترین معایب به کار گیری ژئوستتیک‌ها کاهش مقاومت برشی بین لایه روکش و لایه آسفالت قدیمی است. مقاومت بین لایه‌های روسازی پارامتر مهمی محسوب می‌گردد. چرا که ضعف در مقاومت بین لایه‌های روسازی در اثر هر عاملی که به وجود آمده باشد، می‌تواند موجب بروز خرابیهای در روسازی شود. توزیع تنش در سطح تماس لایه‌ها با شرایط اتصال میان لایه‌ها ارتباط مستقیم دارد، لذا کمبود یا نبود چسبندگی بین لایه‌ها موجب بروز تغییر شکلهای بسیار بیشتر، تغییر در توزیع تنش و کرنش و توزیع آن در سازه روسازی و نهایتاً کاهش عمر خدمت روسازی می‌گردد [D' Andrea A., 2012, Ozer, 2012].

عدم کفایت یا از میان رفتن چسبندگی میان لایه‌های روسازی، آن را در برابر بسیاری از خرابیها آسیب پذیر می‌سازد که از آن جمله می‌توان به خرابیهای ترک خوردگی، شیار شدگی و بروز دست انداز بر روی روسازی اشاره نمود [Tashman, 2006]. بر اساس تحقیقات Khweir در هنگامی که اتصال مناسبی بین لایه سطحی و بیندر وجود نداشته باشد، عمر روسازی در حدود ۴۰٪ کاهش می‌یابد [Khweir, 2003].

## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

همچنین بر اساس نتایج حاصل از آزمایش بر روی نمونه‌های مغزه گیری شده و آزمون (FWD) بر روی روسازی، تفاوت بهبود پارامتر مساحت به دست آمده از روسازی اکیدا همبسته با مقاومت برشی بین لایه‌های روسازی می باشد. در عمده نمونه‌ها با افزایش مقاومت برشی بین لایه‌ها میزان مقاومت روسازی در برابر بار قائم نیز بهبود چشمگیری داشته است که این افزایش مقاومت و کاهش پارامتر سطح می تواند به کاهش کرنش‌های کف لایه روکش و به تبع آن کاهش سرعت تشکیل و رشد ترکهای روسازی از جمله ترکهای خستگی و ترکهای انعکاسی منجر شود [Pasquini, 2012].

بر اساس تحقیقات انجام گرفته در ادبیات فنی مشخص گردید که یکی از مهمترین روشهای اندازه گیری مقاومت بین لایه‌ها در روسازی به کارگیری دستگاه اندازه گیری مقاومت برشی بین لایه‌ها است. از جمله این دستگاه‌ها می توان به دستگاه AASTRA<sup>2</sup> اشاره نمود. با این وجود این نوع دستگاهها مستقیماً میزان مقاومت برشی بین دو بخش آسفالتی را بررسی می کنند. این مقاومت از دو بخش اصلی تشکیل شده است که شامل مقاومت برشی در برابر جابجایی دو لایه مضرس آسفالتی بر روی یکدیگر ناشی از چفت و بست سنگدانه‌ها در یکدیگر و مقاومت برشی مرتبط با ژئوستنتیک است. مقاومت مرتبط با ژئوستنتیک خود از دو بخش مقاومت درونی ژئوستنتیک و همچنین چسبندگی برشی بین آسفالت و ژئوستنتیک تشکیل یافته است [Pasquini, 2012]. بر اساس مشاهداتی که در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و با استفاده از دستگاه اندازه گیری مقاومت برشی بین لایه‌های روسازی انجام گرفت، مشاهده گردید که گسیختگی برشی بین لایه‌های آسفالتی منجر به جابجایی ژئوستنتیک‌ها بر روی لایه‌های آسفالتی می‌گردد که مقدار آن بسیار بیش از مقدار جابجایی برشی درونی خود ژئوستنتیک است. این موضوع اهمیت ارزیابی چسبندگی برشی بین لایه ژئوستنتیک و لایه آسفالت را افزایش می دهد.

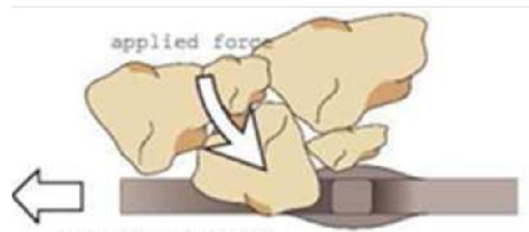
نوارهای پارچه‌گونه و آسفالت به عنوان یک فاکتور کلیدی و مهم در عملکرد تقویت کننده های آسفالت محسوب می‌شود. مقاومت چسبندگی زیاد، که به وسیله استفاده از شبکه‌های پلیمری بدست می‌آید، اثر خوبی در تقویت کردن لایه آسفالتی دارد [Brown, 2001].

Bozkurt و همکاران در سال ۲۰۰۲ تحقیقاتی را منتشر نمودند که طی آن مشخص شد که جداسازی لایه‌ها با به بکارگیری ژئوتکستایلها (ژئوستنتیک‌های با مدول پایین) می‌تواند منجر به کاهش تمرکز تنش در بخش زیرین لایه روکش آسفالتی گردد. همچنین در این پروژه مشخص گردید که ترکهای انعکاسی به شدت تحت تاثیر تنش برشی در مجاورت ترکها و درزها قرار دارند و کاهش مقاومت مذکور می‌تواند ایجاد و رشد ترکهای انعکاسی را به شدت کاهش دهد [Bozkurt and Buttlar, 2002].

توسط Baek و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از مدل‌های مکانیک شکست و روش اجزاء محدود مطالعاتی بر روی تاثیر مقاومت برشی و قائم بین لایه‌ها بر روی رشد ترک انعکاسی صورت گرفت که بر اساس آن وقوع ترک انعکاسی حساسیت بسیار زیادی به وضعیت بین لایه‌ای داشته است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، رشد ترک انعکاسی به مقاومت چسبندگی در برابر بار قائم حساسیت بیشتری نسبت به سختی برشی موجود بین لایه‌ها دارد [Baek, 2010].

در تحقیقات Pasquini و همکاران در سال ۲۰۱۲، دو نوع ژئوگرید با سایز شبکه متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. این مجموعه آزمایش‌ها از سه بخش اصلی تشکیل یافته بود که شامل ارزیابی مقاومت برشی بین لایه‌ها، ارزیابی تغییر مکان قائم میدانی و همچنین مقاومت نمونه در برابر بارگذاری خمشی بوده است. بر اساس این مطالعات مشخص گردید که ضعف تنش برشی بین لایه‌های روسازی منجر به کاهش اندک در مقاومت خمشی سه نقطه ای تیرچه آسفالتی می‌شود.

موجب می‌شود که عمدتاً مقاومت گیرداری ژئوستتیک در آسفالت به حدی زیاد باشد که پیش از رسیدن به حد نهایی آن ژئوستتیک دچار پارگی گردد. با این وجود در مورد برخی از ژئوستتیک‌های با مقاومت بالا همانند آنچه که در این تحقیق از آن سود برده شده است می‌توان کماکان با کاهش سطح مقاوم نمونه‌ها میزان مقاومت را ارزیابی نمود.



شکل ۱. نحوه گیردار شدن ژئوگرید در سنگدانه‌های خاک

کاهش سطح در زمان اجرای آزمایش PullOut در اندازه گیری مقاومت بیرون کشش ژئوستتیک از درون خاک نیز رواج دارد و به آزمایش Small Pull out test موسوم است. نمونه ای از این آزمایش در سال ۲۰۱۲ توسط Zornberg انجام گرفته است.

## ۲. ساخت نمونه‌ها

### ۱-۲ مشخصات مصالح

مصالح سنگدانه ای مورد استفاده در این تحقیق بر اساس دانه‌بندی طرح اختلاط آسفالت گرم که مناسب برای آستر و رویه می باشد ارائه شده است. این دانه‌بندی، دانه‌بندی شماره جدول ۹-۱ نشریه شماره ۲۳۴ (آیین نامه روسازی آسفالتی راههای ایران) را تشکیل می دهد که در شکل ۲ ارائه شده است (معاونت راهبردی، نظام فنی اجرایی، ۱۳۹۰).

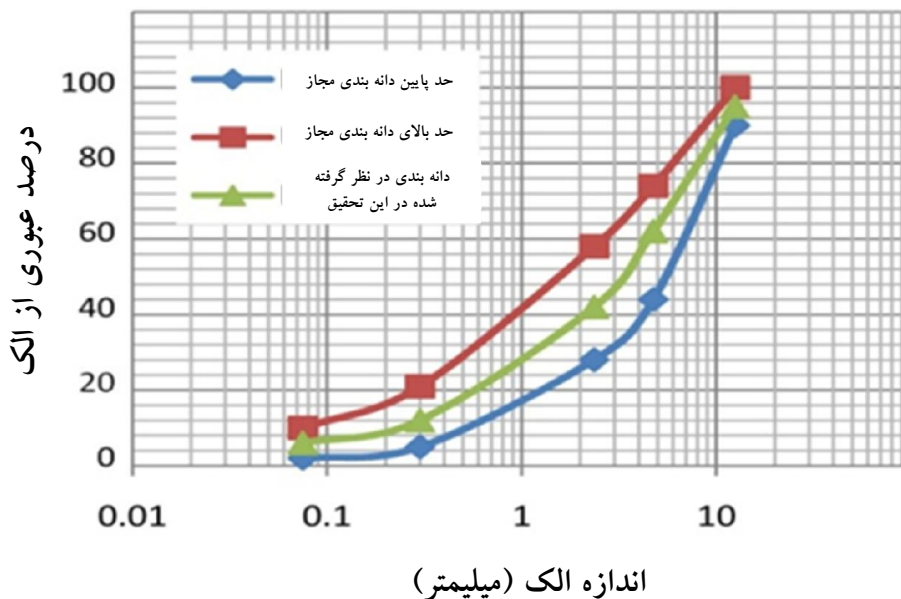
قیر مورد استفاده از نوع ۷۰-۶۰ انتخاب گردید که در پالایشگاه تهران تولید شده است. با استفاده از این قیر و طرح سنگدانه‌های مذکور مقدار قیر بهینه جهت دستیابی به حداکثر دانسیته، حداکثر پایداری و مقاومت مخلوط، میانگین منافذ مطلوب و ... در حدود ۴/۵۵ درصد به دست آمد

علاوه بر این موضوع، همانگونه که در تحقیقات پیشین نیز مشاهده گردید، نظر به اینکه کارکرد ژئوستتیک‌ها بستگی به میزان گیرداری ژئوستتیک در بین دو لایه آسفالتی دارد، هر اندازه میزان گیرداری ژئوستتیک در بین لایه‌های آسفالتی افزایش یابد عملکرد بهتری از آن مورد انتظار خواهد بود. میزان گیرداری ژئوستتیک در یک محیط دیگر عمدتاً توسط آزمایش بیرون کشش ارزیابی می‌گردد که عمدتاً در مورد ژئوگریدها و ژئوکامپوزیت‌های مورد استفاده در خاک اجرا می‌شود [Ezzein, 2014]. شکل ۱ به صورت شماتیک نحوه گیردار شدن شبکه ژئوگرید را در محیط سنگدانه‌ای اطراف نشان می دهد.

با توجه به نیاز به گیر افتادن سنگدانه‌ها در میان فاصله ژئوگریدهای مورد استفاده در خاک، با افزایش میزان گیر افتادن سنگدانه‌ها در شبکه ژئوگرید افزایش چشمگیری در میزان مقاومت حاصل از آزمایش مشاهده می‌گردد.

ژئوستتیک‌ها و به خصوص ژئوکامپوزیت‌های مورد استفاده در تقویت روکش آسفالتی علاوه بر استفاده از گیر افتادن سنگدانه‌ها در بین شبکه های ژئوستتیک، از چسبندگی قیر نیز به منظور افزایش مقاومت بیرون کشش استفاده می‌نمایند. این موضوع

## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی



شکل ۲. نمودار دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در این پژوهش

سازد امکان ساخت دال آسفالتی را به نحوی که بیشترین شباهت را به تراکم میدانی آن داشته باشد، فراهم نموده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، به منظور ساخت نمونه‌های دارای ژئوسنتتیک با بیشترین شباهت به حالت میدانی، در ابتدا لایه ای به ضخامت ۱۵۵ میلیمتر با مشخصات ذکر شده، توسط دستگاه PresBox ساخته شد. نمونه‌ها پس از برش توسط اهر مخصوص دستگاه PresBox به نحوی که سطح مضرس آن رو به بالا باشد بر روی سطحی قرار گرفته و پس از اجرای لایه تک تک، توسط نمونه‌های ژئوکامپوزیت پوشش داده شد. طول نمونه ژئوکامپوزیت به میزان ۲۰۰ میلیمتر بیش از عرض نمونه آسفالتی انتخاب گردید به گونه ای که از طرفین ۱۰۰ میلیمتر از ژئوکامپوزیت به طرف بیرون قرار گرفت. پس از قرار گیری ژئوکامپوزیت، لبه‌های آن تا شده و به زیر بخش آسفالتی فرستاده شد و سپس دال آسفالتی همراه با ژئوکامپوزیت درون محفظه دستگاه PresBox قرار گرفت. با فرار گیری قیف مخصوص پخش آسفالت دستگاه و ریختن مخلوط آسفالتی بر روی لایه ژئوکامپوزیت و سپس پخش آن و تراکم اندک آن اقدامی مشابه آنچه که توسط فینشر انجام می‌گیرد صورت گرفت. نهایتاً با قرار گیری صفحه تراکم دستگاه PresBox آسفالت تا زمان رسیدن

ژئوکامپوزیت مورد استفاده در این تحقیق از ژئوگرید ساخته شده با الیاف شیشه تشکیل شده است که بر روی بستری از ژئوتکستایل نبافته ساخته شده از الیاف پلی پروپیلن قرار گرفته است.

مقاومت کششی ژئوسنتتیک‌های مورد استفاده در این تحقیق ۵۰ کیلونیوتن بر متر، مقدار افزایش طول در هنگام شکست آنها برابر با ۳ درصد، وزن واحد سطح ژئوسنتتیک ۳۰۰ گرم بر متر مربع، مقدار جذب قیر آن بیش از ۱/۵ کیلوگرم بر متر مربع و نقطه ذوب ژئوسنتتیک بیش از ۱۶۵ درجه سانتیگراد می باشد.

ژئوسنتتیک‌های مورد استفاده در سه اندازه شبکه تهیه شدند که عبارت از ۲۸، ۶۷ و ۱۱۱ میلیمتر بوده است. با وجود متفاوت بودن اندازه شبکه ژئوکامپوزیت‌ها، به دلیل یکسان بودن تعداد فیلامنت‌های گرید در واحد سطح، مقاومت ژئوکامپوزیت و همچنین سایر مشخصات فیزیکی آن در هر سه نوع ژئوکامپوزیت یکسان بوده است.

### ۲-۲ روش ساخت نمونه‌ها

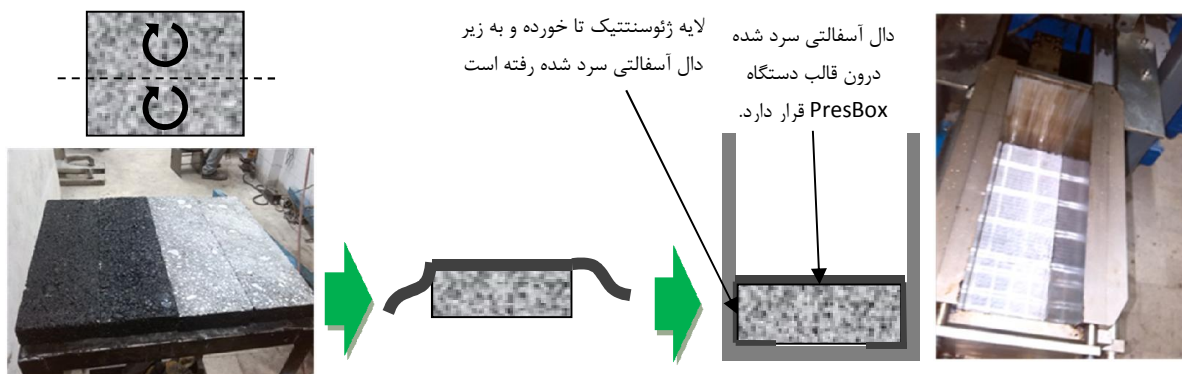
به منظور ساخت نمونه‌های دو لایه مخصوص انجام آزمایش‌ها از دستگاه PressBox استفاده گردید. این دستگاه که با اعمال فشار قائم و جابجایی جانبی به صورت توام نمونه را متراکم می

### علیرضا نوری، فریدون مقدس نژاد، علی خدایی

به همراه یک زبانه ۱۰۰ میلیمتری از ژئوسنتتیک جهت قرار گیری در دستگاه بیرون کشش و آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند.

به تراکم مناسب تحت فشار و ورز دادگی ناشی از حرکت برشی بدنه قالب دستگاه قرار گرفت.

پس از بیرون آوردن نمونه از دستگاه و برش زدن طولی و عرضی، نمونه‌های به دست آمده به ابعاد ۷۵\*۱۴۰\*۱۴۰ میلیمتر

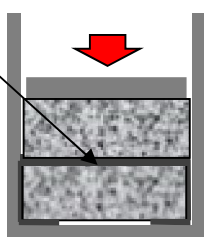


a

b

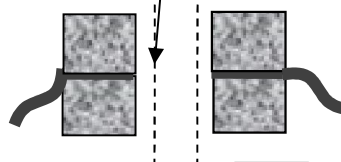
c

مخلوط آسفالتی داغ بر روی لایه ژئوسنتتیک ریخته و متراکم می شود.

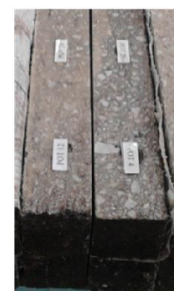


d

نمونه های آسفالتی به صورت طولی بریده شده و سپس به صورت عرضی نیز بریده می شوند.



e



f



شکل ۳. نحوه ساخت نمونه‌های آزمایش بیرون کشش

## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

### ۳. انجام آزمایش ها

#### ۳-۱ دستگاه بیرون کشش

را برعهده دارند. این درب در واقع فک بالایی دستگاه محسوب می گردد که نمونه در زیر آن قرار گرفته و تنها ژئوستتیک بکار رفته در نمونه از شکاف دستگاه بیرون می آید و به فک بالایی دستگاه وصل می شود. نگهدارنده های جانبی وظیفه پیشگیری از جدا شدن دو بخش نمونه از هم در حین آزمایش را بر عهده دارد.

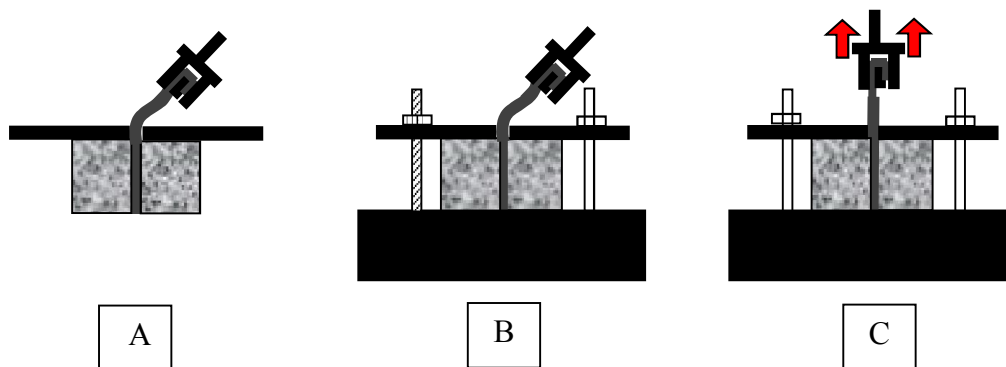
روش قرار گیری نمونه در دستگاه آزمایش بیرون کشش در شکل ۵ نشان داده شده است. به منظور قرار گیری نمونه درون فک دستگاه و انجام آزمایش در ابتدا بدنه دستگاه درون UTM پیچ می شود. پس از آن همانگونه که در شکل قسمت A نشان داده شده است، درب بالایی دستگاه بر روی نمونه قرار گرفته و ژئوستتیک به درون فک بالایی دستگاه بسته می شود. سپس نگهدارنده های جانبی به کناره نمونه بسته می شوند و پس از آن نمونه به همراه نگهدارنده های جانبی و درب بالایی دستگاه درون بدنه دستگاه قرار می گیرد و پیچهای آن همانند شکل قسمت B بر روی آن بسته می شوند.

دستگاه انجام آزمایش Pullout مورد استفاده در این تحقیق در دانشگاه صنعتی امیر کبیر ساخته شد و به صورت بخشی طرح شده است که امکان قرار گیری درون دستگاه UTM<sup>۳</sup> را داشته و به سهولت می تواند به فک بالایی و پایینی این دستگاه متصل شده و آزمایش توسط آن انجام پذیرد. همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می گردد، دستگاه شامل دو بخش اصلی است که یکی از این دو بخش به بازوی بارگذاری دستگاه UTM متصل شده و به ژئوستتیک متصل می گردد.

بخش دوم دستگاه که به مخلوط آسفالتی متصل می گردد شامل سه قسمت اصلی است که شامل بدنه، درب بالایی دستگاه و نگهدارنده های جانبی می شود. بدنه دستگاه به نحوی طرح گردید است که کاملاً صلب می باشد و توسط یک پیچ به فک پایینی دستگاه UTM متصل می گردد. از بدنه دستگاه چهار پیچ بلند خارج می شود که وظیفه اتصال درب بالایی دستگاه به بدنه



شکل ۴: دستگاه انجام آزمایش Pullout به صورت متصل (A) و جدا (B) از دستگاه UTM



شکل ۵. نمای شماتیک قرار گیری نمونه در دستگاه بیرون کشش

امیرکبیر، سه پارامتر اصلی بر میزان مقاومت برشی بین لایه‌های تقویت شده با ژئوستتیک در شرایط شبیه سازی شده راه موثر است. این سه پارامتر عبارتند از: دما، مقدار تک کت و سایز شبکه ژئوگرید در ژئوکامپوزیت. در طرح آزمایش‌ها در این تحقیق پارامتر دما در دو سطح و در دمای ۱۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد بررسی گردید. پارامتر سایز شبکه ژئوگرید در ژئوکامپوزیت در سه سطح ۲۸، ۶۷ و ۱۱۱ میلی‌متر و مقدار تک کت در چهار سطح ۰، ۵/۰، ۱ و ۱/۵ کیلوگرم بر متر مربع بررسی گردید. همچنین در تحقیقات انجام گرفته مشخص گردید که یکی از روشهای توزیع خطا و کاهش آن ساخت نمونه و انجام آزمایش‌ها به صورت رندم می باشد. این روش خطاهای غیر قابل پیش‌بینی در آزمایش‌ها را توزیع نموده و کاهش می دهد [Coo, 2015]. هر یک از سطوح مربوط به نمونه‌ها به ترتیب از کوچک به بزرگ مرتب گردید و به منظور کاهش خطاها به صورت رندم در آمد.

ثبت گردید. پس از اتمام مجموعه آزمایش‌ها نمودار مربوط به هر یک از نمونه‌ها ترسیم گردید. دمای انجام آزمایش در نگاه اول اثر بسیار مهمی بر رفتار نمونه‌ها در تمامی طول مدت آزمایش دارد. با توجه به سخت تر شدن قیر تک کت در دماهای پایین، انتظار می‌رود میزان تاثیر قیر بکار گرفته شده به عنوان تک کت در دماهای پایین بسیار بیشتر باشد و کوچک‌ترین عامل موثر بر خواص قیر از جمله مقدار قیر تک کت به کار رفته و برخی عوامل خارجی که در این تحقیق به رغم اثر بسیار اندک بر خواص قیر می‌توانند موثر باشند، تاثیر بسیار زیادی بر مقاومت بیرون کشش ژئوستتیک داشته باشد. این موضوع موجب می

نهایتاً با اتصال فک بالایی به بازوی بارگذاری دستگاه UTM دستگاه آماده انجام آزمایش بیرون کشش می‌گردد. بارگذاری در این آزمایش به صورت کششی و با نرخ ثابت بر روی ژئوستتیک اعمال می‌گردد و مقدار مقاومت نمونه در برابر بیرون کشیده شدن ژئوستتیک ثبت می‌گردد (بخش C). نکته قابل توجه در مورد فک بالایی دستگاه آزمایش بیرون کشش آن است که پس از قرار گیری نمونه در آن، نمونه ژئوستتیک یک بار دور قسمت مغزی فک بارگذاری دور می‌زند و سپس بسته می‌شود که این نوع طراحی احتمال لغزیدن ژئوستتیک را کاهش می‌دهد.

### ۲-۳ طراحی آزمایش‌ها به شیوه فاکتوریل

در انجام عملیات آزمایشگاهی مربوط به این تحقیق از روش طراحی آزمایش‌های General full factorial design بهره برده شد. بر اساس تحقیقات انجام گرفته در دانشگاه صنعتی

جدول ۱ سطوح مربوط به هر یک از پارامترهای آزمایش بر روی نمونه را نشان می‌دهد. هر یک از نمونه‌ها بر اساس پارامترهای ارائه شده در این جدول ساخته شد و آزمایش‌ها مربوطه بر روی آنها صورت گرفت.

### ۴. نتایج آزمایش‌ها

#### ۴-۱ نمودارهای مقاومت - زمان

در حین انجام آزمایش‌ها توسط دستگاه UTM در هر نیم ثانیه یک بار داده های تنش و کرنش از دستگاه جمع آوری شده و



## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

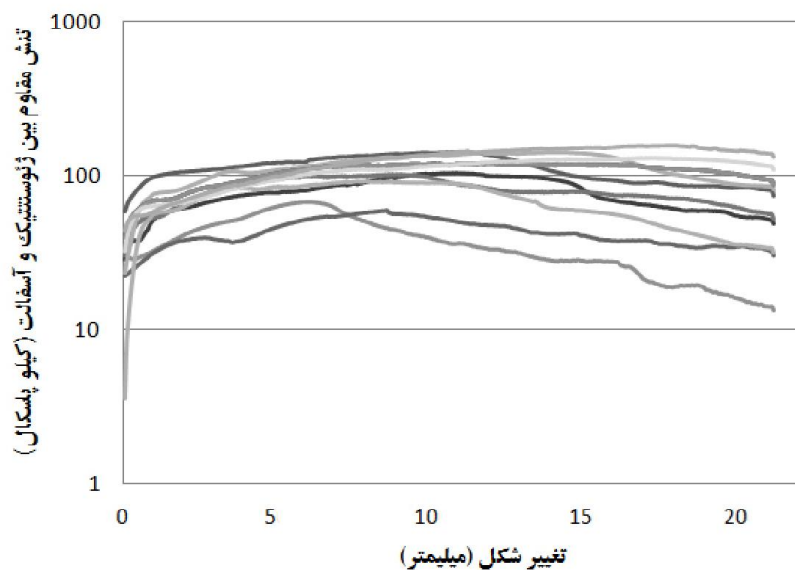
گردد که نمودارهای به دست آمده از آزمایشها در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد، همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می شود، از پراکندگی بالایی برخوردار باشند. نکته قابل توجه در این نمودارها آن است که نمونه‌های فاقد تک کت با اختلاف قابل توجهی با نمونه‌های دارای میزان تک کت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ کیلوگرم بر متر مربع، کمترین میزان مقاومت بیرون کشش را دارند که این موضوع حاکی از تاثیر مثبت وجود قیر تک کت، جدای از مقدار آن، بر مقاومت بیرون کشش ژئوستتیک در این دما است.

در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد به دلیل آنکه قیر از ویسکوزیته پایبندی برخوردار است عوامل موثر بر آن از جمله مقدار قیر

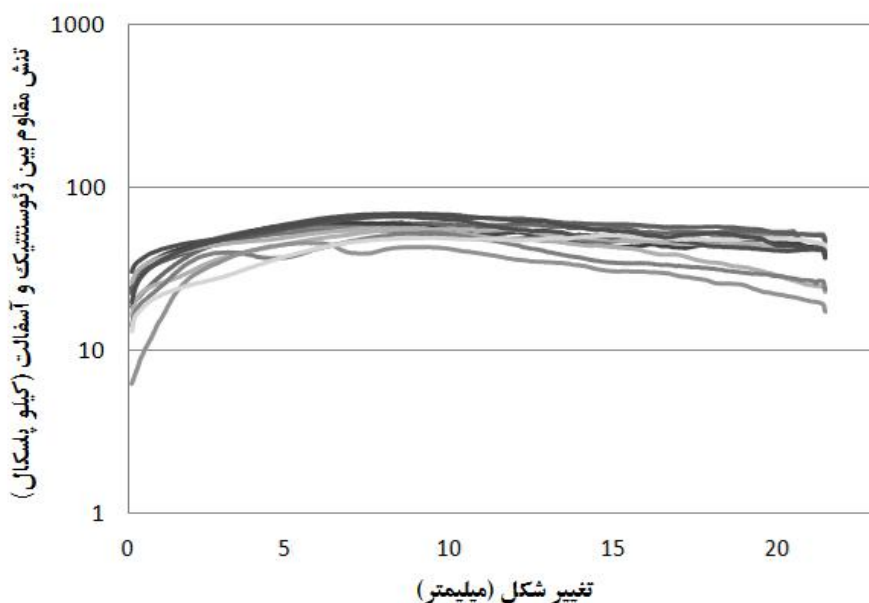
تک کت و حتی عواملی که در این تحقیق به عنوان پارامتر تعریف نشده‌اند ولی تاثیراتی بر قیر دارند تاثیر بسیار کمتری خواهند داشت و نهایتاً این موضوع موجب کاهش پراکندگی نمودارها در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد می شود. لازم به ذکر است که در برخی نمونه‌ها در این دما نه تنها وجود قیر مقاومت بیرون کشیدگی ژئوکامپوزیت را بهبود نداده است، بلکه به عنوان روان کننده (Lubricant) عمل نموده است و مقاومت نمونه با داشتن قیر حتی از مقاومت فاقد قیر آن نیز کمتر شده است. کاهش میزان پراکندگی نمودارها در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.

### جدول ۱. طراحی آزمایش‌ها به شیوه فاکتوریل

نام نمونه	سطوح پارامترهای مورد استفاده (L)			پارامترهای مورد بررسی		
	دما (A)	سایز ژئوگرید (B)	مقدار تک کت (C)	دما (A)	سایز ژئوگرید (B)	مقدار تک کت (C)
POT 9	۱	۱	۱	۱۵	۲۸	۰
POT 21	۱	۲	۱	۱۵	۶۷	۰
POT 11	۱	۳	۱	۱۵	۱۱۱	۰
POT 1	۱	۱	۲	۱۵	۲۸	۰/۵
POT 17	۱	۲	۲	۱۵	۶۷	۰/۵
POT 3	۱	۳	۲	۱۵	۱۱۱	۰/۵
POT 10	۱	۱	۳	۱۵	۲۸	۱
POT 22	۱	۲	۳	۱۵	۶۷	۱
POT 12	۱	۳	۳	۱۵	۱۱۱	۱
POT 2	۱	۱	۴	۱۵	۲۸	۱/۵
POT 18	۱	۲	۴	۱۵	۶۷	۱/۵
POT 4	۱	۳	۴	۱۵	۱۱۱	۱/۵
POT 13	۲	۱	۱	۳۰	۲۸	۰
POT 23	۲	۲	۱	۳۰	۶۷	۰
POT 15	۲	۳	۱	۳۰	۱۱۱	۰
POT 5	۲	۱	۲	۳۰	۲۸	۰/۵
POT 19	۲	۲	۲	۳۰	۶۷	۰/۵
POT 7	۲	۳	۲	۳۰	۱۱۱	۰/۵
POT 14	۲	۱	۳	۳۰	۲۸	۱
POT 24	۲	۲	۳	۳۰	۶۷	۱
POT 16	۲	۳	۳	۳۰	۱۱۱	۱
POT 6	۲	۱	۴	۳۰	۲۸	۱/۵
POT 20	۲	۲	۴	۳۰	۶۷	۱/۵
POT 8	۲	۳	۴	۳۰	۱۱۱	۱/۵



شکل ۶. نمودار تنش مقاوم بین ژئوکامپوزیت و آسفالت در برابر تغییر شکل برای نمونه‌های آزمایش شده در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد



شکل ۷. نمودار تنش مقاوم بین ژئوکامپوزیت و آسفالت در برابر تغییر شکل برای نمونه‌های آزمایش شده در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد

#### ۲-۴ مقاومت بیرون کشش بیشینه

است که جابجایی ژئوستنتیک در بین لایه‌های آسفالتی بدون رها شدن‌های نسبی صورت گرفته است و تقریباً یکنواخت بوده است. ماکزیمم مقاومت بیرون کشش نمونه‌ها بر اساس نمودارهای ذکر شده در بخش قبل به دست آمد. نتایج به دست آمده از محاسبه این مقاومت در جدول ۲ نشان داده شده است.

مقاومت بیشینه بیرون کشش ژئوستنتیک در حقیقت مقدار پیک گرافهای بخش قبل را تشکیل می‌دهد که مبنای بررسیها در این تحقیق هستند. عدم وجود پیکهای نسبی در نمودارها بیانگر آن

## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

جدول ۲. مقدار مقاومت بیرون کشش بیشینه بر حسب کد نمونه‌ها

نام نمونه	تنش ماکزیمم (کیلوپاسکال)	نام نمونه	تنش ماکزیمم (کیلوپاسکال)
POT 13	۵۵/۹۶	POT 9	۶۰/۷۷
POT 23	۶۱/۵۰	POT 21	۶۸/۲۶
POT 15	۵۱/۲۶	POT 11	۵۹/۹۷
POT 5	۶۱/۱۰	POT 1	۱۰۵/۸۸
POT 19	۵۵/۸۰	POT 17	۱۰۳/۲۵
POT 7	۵۶/۶۱	POT 3	۹۱/۹
POT 14	۶۹/۸۲	POT 10	۱۴۳/۷۳
POT 24	۶۹/۵	POT 22	۱۲۶/۹۵
POT 16	۵۶/۶۲	POT 12	۱۵۷/۱۸
POT 6	۵۳/۳۹	POT 2	۱۴۳/۰۹
POT 20	۶۶/۶۲	POT 18	۱۲۱/۵۸
POT 8	۴۶/۳۸	POT 4	۱۳۱/۰۲

$(m_k)_l$ : میانگین نتایج آزمایش بر روی نمونه دارای

پارامتر  $K$  در سطح  $L$  (کیلوپاسکال)

$m$ : میانگین کل (کیلوپاسکال)

سپس مجموع مربعات کل ( $SS_T$ ) از فرمول (۲) به دست می‌آید.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_C \quad (2)$$

که در آن  $SS_k$ : مجموع مربعات هر یک از پارامترهای  $A$  تا  $C$  است که از فرمول (۱) به دست می‌آید.

سپس از طریق معادله (۳) مقدار درصد مشارکت هر یک از متغیرها در جواب حاصل می‌گردد [Wang YQ, 2009]:

$$P = \frac{SS_k}{SS_T} \times 100 \quad (3)$$

به منظور تحلیل هرچه مناسب‌تر عوامل موثر بر میزان مقاومت بیرون کشش نمونه‌ها، از تحلیل واریانس استفاده گردید. جداول تحلیل واریانس عمدتاً درجات آزادی متغیرها ( $DF$ )، مجموع مربعات مانده‌ها و نهایتاً مقدار سهم متغیر در پاسخ را ارائه می‌نماید. در این راستا مجموع مربعات برای فاکتور  $K$  از طریق معادله شماره ۱ به دست می‌آید.

$$SS_k = \sum_{l=1}^N 3[(m_k)_l - m]_l^2 \quad (1)$$

که در آن:

$SS_K$ : مجموع مربعات برای فاکتور  $K$

$k$ : بیانگر هر یک از فاکتورهای  $A$ ،  $B$  و یا  $C$  است.

$N$ : تعداد سطوح فاکتور  $K$  در طراحی آزمایش است.

$L$ : شماره سطح فاکتور  $K$  (بر اساس جدول ۱)

## علیرضا نوری، فریدون مقدس نژاد، علی خدایی

است که در محدوده قابل قبول ۰/۰۵ قرار دارد. با این وجود که پارامتر A و C یعنی پارامترهای مقدار تک کت و دما از نظر آماری معنا دار هستند و پارامتر B یعنی سایز ژئوگرید موجود در ژئوکامپوزیت از نظر آماری معنا دار نیست.

صرفاً بر اساس ضرایب متغیرهای A، B و C توسعه باید دقت قابل قبولی را ارائه خواهد داد.

در صورتی که به جای پارامتر B، میزان تداخل پارامتر A با C در مدل وارد شود، دقت مدل در حدود ۱۳/۴٪ افزایش خواهد یافت و در واقع پارامتر B در برابر دو پارامتر A و C و همچنین تداخل آن دو، پارامتر موثری قلمداد نمی‌گردد.

این موضوع منجر به آن گردید که آزمون P بر روی هر یک از متغیرها صورت گیرد تا میزان معنا دار بودن متغیر از نظر آماری مشخص گردد. همانگونه که در نشان داده شده است، مقدار P برای مجموعه سه پارامتر اصلی برابر با ۰ بوده است که در محدوده قابل قبول ۰/۰۵ قرار دارد. با این وجود که پارامتر A و C یعنی پارامترهای مقدار تک کت و دما از نظر آماری معنا دار هستند و پارامتر B یعنی سایز ژئوگرید موجود در ژئوکامپوزیت از نظر آماری معنا دار نیست.

جدول ۳. میزان مشارکت هر یک از پارامترها و تداخل‌های آنها در جواب

درجه آزادی	مجموع مربعات تنظیم شده	مشارکت	عامل	
۲۳	۲۸۴۰۹/۲	۱۰۰٪	مدل	
۶	۲۲۲۳۴/۹	۷۸/۲۷٪	خطی	تک عاملی
۳	۶۶۶۵/۵	۲۳/۴۶٪	A	
۲	۱۱۴/۷	۰/۴۰٪	B	
۱	۱۵۴۵۴/۷	۵۴/۴۰٪	C	دو عاملی
۱۱	۵۵۶۸/۴	۱۹/۶۰٪	تداخل‌ها	
۶	۲۵۲/۲	۰/۸۹٪	A*B	
۳	۵۰۵۱/۸	۱۷/۷۸٪	A*C	سه عاملی
۲	۲۶۴/۳	۰/۹۳٪	B*C	
۶	۶۰۵/۹	۲/۱۳٪	تداخل‌ها	
۶	۶۰۵/۹	۲/۱۳٪	A*B*C	
۰			خطا	
۲۳	۲۸۴۰۹/۲	۱۰۰/۰۰٪	مجموع	

همانگونه که در این موضوع منجر به آن گردید که آزمون P بر روی هر یک از متغیرها صورت گیرد تا میزان معنا دار بودن متغیر از نظر آماری مشخص گردد. همانگونه که در نشان داده شده است، مقدار P برای مجموعه سه پارامتر اصلی برابر با ۰ بوده جدول ۳ نشان داده شده است، مقادیر تامین درجات آزادی مدل توسط هر یک از پارامترها ارائه شده است. درجه آزادی پارامتر A با داشتن چهار سطح به مقدار ۳ در نظر گرفته شده است. درجه آزادی B و C نیز به ترتیب با یک واحد کاهش نسبت به تعداد سطوح پارامتر مذکور ارائه شده است. درجات آزادی هر یک از تداخل‌ها میان پارامترها برابر با حاصلضرب درجات آزادی پارامترهای اصلی مولد آن تداخل است.

پس از بدست آمدن مقادیر مجموع مربعات و یافتن میزان مشارکت هر مجموعه در جواب نهایی (مقاومت نهایی بیرون کشش)، مشخص گردید که مشارکت مستقیم پارامترهای اصلی به میزان تقریبی ۸۷٪ بیشترین وزن را در پاسخ دارد و پس از آن تداخل‌های دو به دوی متغیرها با ۱۹/۶٪ و نهایتاً تداخل سه متغیر با یکدیگر با ۲/۱۳٪ به ترتیب بیشترین نقش را در پاسخ داشته اند. این موضوع بیانگر آن است که در صورتی که مدلی

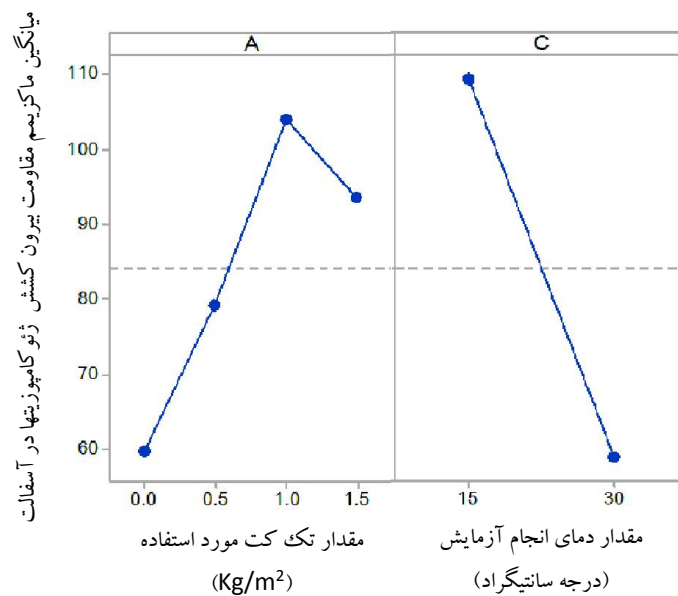
## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

جدول ۴. ضرایب تحلیل رگرسیون و نتایج آزمون P برای هر یک از پارامترها (کد شده)

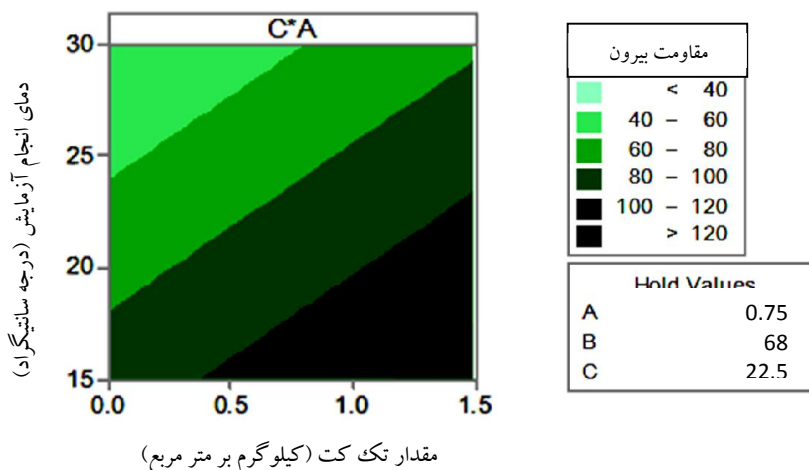
ضریب	SE	مقدار P	پارامتر
۱۳۳/۸	۱۸/۷	۰	ثابت
۱۲/۷۱	۳/۶۵	۰/۰۰۲	A
-۲/۶۸	۵	۰/۵۹۸	B
-۵۰/۷۵	۸/۱۶	۰	C

به منظور در نظر گرفتن تاثیر توام پارامترها، نمودارهای ارائه شده در شکل ۹، شکل ۱۰ و شکل ۱۱ ترسیم گردیدند. همانگونه که در این نمودارها مشاهده می‌گردد تغییرات زیاد در پارامتر اندازه شبکه ژئوکامپوزیت تغییرات اندکی را در مقاومت بیرون کشش موجب می‌گردد.

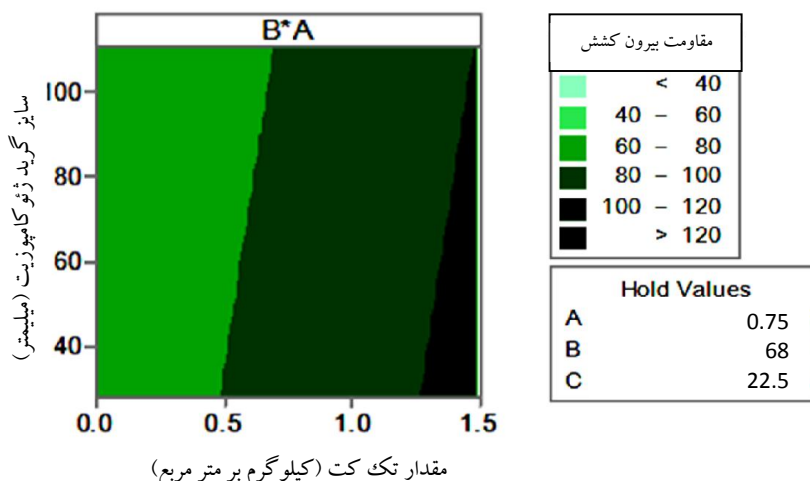
شکل ۸ نمودارهای مربوط به میانگین ماکزیمم مقاومت بیرون کشش در برابر مقدار دمای انجام آزمایش و همچنین مقدار تک کت مورد استفاده را نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌گردد افزایش دما به ۳۰ درجه سانتیگراد موجب افت بسیار چشمگیر در مقاومت شده است. علاوه بر این مقدار تک کت مورد استفاده در ابتدا موجب افزایش مقاومت شده و پس از رسیدن مقدار تک کت به ۱ کیلوگرم بر متر مربع، نمودار شروع به کاهش نموده است.



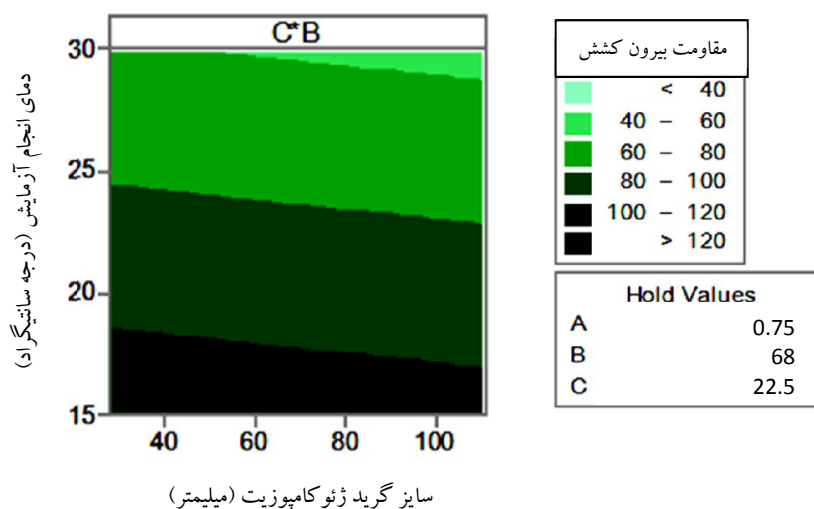
شکل ۸. نمودار تاثیر پارامترهای اصلی معنا دار مورد بررسی بر بیشینه مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت در آسفالت



شکل ۹. نمودار تاثیر میزان دما و مقدار تک کت بر مقاومت بیرون کشت



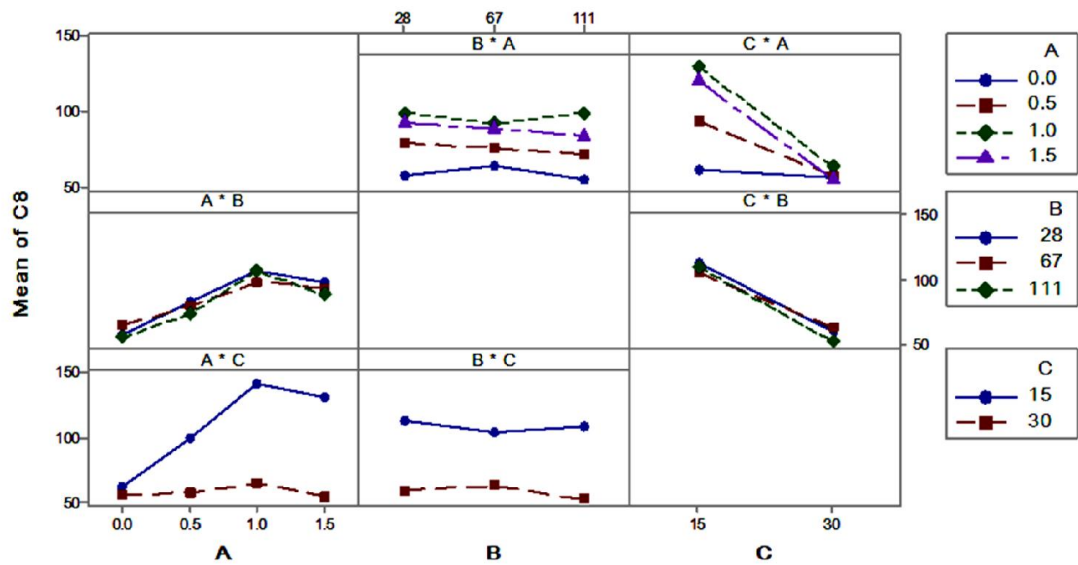
شکل ۱۰. نمودار تاثیر اندازه شبکه ژئوکامپوزیت و مقدار تک کت بر مقاومت بیرون کشت



شکل ۱۱. نمودار تاثیر اندازه شبکه ژئوکامپوزیت و مقدار دما بر مقاومت بیرون کشت

بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

میانگین ماکزیمم مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیتها در آسفالت



شکل ۱۲. نمودار تداخل پارامترهای موثر در مقاومت بیرون کشش در برابر میزان مقاومت

در درون آسفالت نداشته است. در مقابل آن در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد اثر تغییرات میزان تک کت بسیار زیاد است. این موضوع که بیشینه مقاوت در دمای ۱۵ درجه و ۳۰ درجه مربوط به مقدار تک کت یک کیلوگرم بر متر مربع بوده است را از بالاتر بودن نمودار سبز رنگ که نشان دهنده این مقدار تک کت بوده است نیز می توان دریافت.

همچنین نزدیک بودن و انطباق تقریبی نمودارهای C\*B و عدم تغییر محسوس نمودار در اثر تغییر اندازه شبکه های ژئوکامپوزیت بیانگر اهمیت کم پارامتر مذکور در برابر پارامتر دما می باشد. با حذف پارامترهای کم اثرتر و طرح مدل بر اساس پارامتر A، C و تداخل این دو پارامتر معادله حاکم بر مدل را می توان به شکل معادله شماره (۴) ارائه نمود:

$$\text{Maximum pull out strength} = 86.3 + 98.6 A - 0.945 C - 3.251 A * C \quad (4)$$

بر اساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۱۲ مشخص گردید که بر اساس تداخل A\*B، مقدار ساین ژئوگرید ژئوستتیک (B) تاثیر چندانی بر عملکرد میزان قیر (A) نداشته است و مقدار مقاومت بیرون کشش بر اساس مقدار قیر تک کت دارای نقطه ماکزیممی است که در A=1 حاصل می گردد. این به آن مفهوم است که بیشینه مقاومت بیرون کشش زمانی حاصل گردیده است که مقدار قیر مصرفی یک کیلوگرم بر متر مربع بوده است.

بر اساس تداخل A\*C مشخص گردید که همانگونه که پیش از این نیز بیان گردید، علاوه بر اینکه مقدار مقاومت بیرون کشش در دمای ۱۵ درجه بیشتر است، مقدار تغییرات مقاومت مذکور که در اثر تغییر در میزان قیر تک کت مصرفی به وجود آمده است نیز در دمای ۱۵ درجه محسوستر است. در هر دو دما میزان بیشینه مقاومت زمانی رخ داده است که میزان تک کت مصرفی ۱ کیلوگرم بر متر مربع بوده است. از تحلیل نمودار C\*A نیز به طور مشابه اینگونه استنباط می گردد که تغییر میزان تک کت در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد تاثیر چندانی بر مقاومت ژئوستتیک

برای بیشترین گیرداری ژئوستنتیک درون آسفالت سود جست. باید توجه شود که تنها ژئوستنتیک‌هایی را می‌توان در این آزمایش مورد استفاده قرارداد که بتوانند مقدار کشش ناشی از بارگذاری در این آزمایش را تحمل نموده و دچار گسیختگی نگردند. همچنین به دلیل اینکه کرنش نشان داده شده توسط Actuator دستگاه در این آزمایش ترکیبی از کرنش ژئوستنتیک و حبابی آن در بین دو لایه آسفالتی است، باید در مورد پارامترهایی که مستقیماً به میزان کرنش مربوط هستند با احتیاط برخورد نمود.

- پارامتر اندازه شبکه های ژئوکامپوزیت پارامتر پر اهمیتی ارزیابی نمی‌گردد. به منظور ارزیابی اهمیت این پارامتر از آزمون P نیز با محدوده دقت ۰/۰۵ استفاده گردید که بیانگر این موضوع بود که این پارامتر به هیچ عنوان پارامتر معناداری از نظر آماری نیست.
- تداخل‌های میان پارامترها نیز مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که تداخل‌های میان پارامتر دمای آزمایش و میزان تک تک سهم قابل توجهی از جواب را به خود اختصاص می‌دهند. این موضوع به معنای آن است که در صورتی که مدل دقیقی و در عین حال ساده ای مورد نیاز باشد بهتر است در آن از پارامتر دما، مقدار تک تک و حاصلضرب این دو پارامتر سود جست.

## ۶. سپاسگزاری

این پژوهش با همکاری و حمایت مالی "مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران" صورت پذیرفته است که در این جا از معاونت و مدیریت مربوط در آن مرکز سپاسگزاری می‌شود.

## ۷. پی نوشتها

<sup>1</sup> Falling Weight Deflect meter

<sup>2</sup> Ancona Shear Testing Research and Analysis

<sup>3</sup> Universal Testing Machine

که مقدار پارامتر R-sq برای مدل فوق برابر با ۸۷/۱۴٪ است و در آن A نماینده دما بر حسب درجه سانتیگراد و C نماینده مقدار تک کت مورد استفاده بر حسب کیلوگرم بر متر مربع است.

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از یک دستگاه اندازه گیری مقاومت بیرون کشش (Pull out) ژئوستنتیک که در دانشگاه صنعتی امیرکبیر طراحی و ساخته شده است و با نام AUT-Pull out موسوم است، مقدار مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت از درون مخلوط آسفالتی مورد بررسی قرار گرفت.

- نمودارهای به دست آمده بیانگر این موضوع است که در دماهای پایین تر پراکندگی نمودارها بسیار بیشتر از نمودارهای در دمای بالا است.
- بررسی بر روی سه پارامتر اصلی تاثیرگذار بر مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت نشان داد که از میان سه پارامتر تاثیرگذار دما، مقدار تک کت و اندازه شبکه ژئوکامپوزیت پارامتر دما بیشترین تاثیر را بر مقاومت مذکور دارد. تغییرات دما به نحو چشمگیری می‌تواند مقدار این مقاومت را دستخوش تغییر نماید.
- پارامتر تاثیر گذار دوم بر روی مقاومت بیرون کشش پارامتر میزان تک کت به کار رفته در میان لایه‌های مخلوط آسفالتی است. این پارامتر اگرچه به مقداری نصف پارامتر دما تاثیر از خود نشان داده است، با این وجود با درصد مشارکت در جواب به میزان ۲۳/۴٪ میزان مشارکت بالایی در جواب آزمایش‌ها از خود نشان داده است.

- پارامتر میزان تک کت، دارای مقدار ماکزیمم است که پس از رسیدن به آن مقدار ماکزیمم، نمودار مجدداً کاهش مقدار مقاومت pullout را نمایان می‌سازد. این مقدار ماکزیمم در حدود ۱ کیلوگرم بر متر مربع ارزیابی می‌گردد. نکته قابل توجه آن است که این مقدار بهینه چندان تابع میزان دما نبوده است. لذا از آزمایش بیرون کشش و نتایج آن می‌توان به طور مشابه برای به دست آوردن مقدار قیر لازم



- samples and field cores", *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 6, pp. 2251–2258
- Coo, M. (2015) "Effect of sand, fly ash, and coarse aggregate gradation on preplaced". *Construction and Building Materials*, Vol. 93, pp. 812–821.
- Ezzein, Fawzy M. and Bathurst, Richard (2014) "A new approach to evaluate soil-geosynthetic interaction using a novel pullout test apparatus and transparent granular soil", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 42, No. 3, pp. 246-255 .
- Fallah, S. and Khodaii, A. (2015) "Reinforcing overlay to reduce reflection cracking ,an experimental investigation", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol 43, pp. 216-227 (DOI:10.1016/j.geotextmem.2015.03.002).
- Ferrotti, G., Canestrari, F., Virgili, A. and Grilli, A. (2011) "A strategic laboratory approach for the performance investigation of geogrids in flexible pavements", *Journal of Construction and Building Materials*, Vol. 25, No. 5, pp. 2343-2348 (DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.032)
- Ferrotti, G., Canestrari, F., Pasquini, E. and Grilli, A. (2012) "Experimental evaluation of the influence of surface coating on fiberglass geogrid performance in asphalt pavements", *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 34, pp. 11-18 .(DOI: 10.1016/j.geotextmem.2012.02.011)
- Gupta, J. G. (2012) "Analytical model for design of geosynthetic reinforced pavements based on pullout tests", *Second Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition*. Lima, Perú: GeoAmericas.
- Khweir, K. F. (2003) "Influence of layer bonding on the prediction of pavement life", *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*.
- Ling, H. L. (2001) "Performance of geosynthetic-reinforced asphalt pavements", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127 , pp.177-184).
- Lopes M. J. L. M. (1999) "Soil-geosynthetic interaction - influence of soil particle size and
- D'Andreaa, A. and Tazzo, Christina (2012) "Interlayer shear failure evolution with different test equipments", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53, pp. 556-567, (DOI : 10.1016/j.sbspro.2012.09.906).
- Bae, A., Mohammad, L., Elseifi, M, Button, J. and Patel, N. (2010) "Effects of temperature on interface shear strength of emulsified tack coats and its relationship to rheological properties", *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2180. pp. 21-26.
- Baek, J. (2010) "Modeling reflective cracking development in hot mix asphalt overlays and quantification of control techniques", *Urbana, Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign*. pp. 12-22.
- Bonin, G. C., Cantisani, G. and Loprencipe, G. (2007) "Dynamic effects in concrete airport pavement joints", *Industria Italiana del Cemento* Vol. 09, pp. 590-607.
- Bozkurt, D. and Buttlar, W. G. (2002) "Three-dimensional finite element modeling to evaluate benefits of interlayer stress absorbing composite for reflective crack", *FAA Airport Technology Transfer Conference*, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, DC , pp. 54-72.
- Brown, S. F., Thom, N. H. and Sanders, P. J. (2001) "A study of grid reinforced asphalt to combat reflection cracking", *Journal of the Association of Paving Technologists*. Vol .70, pp. 543-571.
- Canestrari, F. G. (2006)" Interlayer shear effect of geosynthetic reinforcements", *Quebec: Proceedings of the 10th International Conference on Asphalt Pavements*.pp. 34-44.
- Chen, J. (2010) "Effect of surface characteristics on bonding properties of bituminous tack coat", *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2180, pp.211-217
- Collop A. C., Sutanto, M. H., Airey, G. D. and Elliot, R. C. (2009) "Shear bond strength between asphalt layers for laboratory prepared

- Villani, M. M. (2010) "Numerical modeling of the mechanical response of recycled materials in embankments", London: Taylor and Francis Group, Numerical Methods in Geotechnical Engineering , pp. 569-574.
- Wang, Y. Q., Afsar, A. and Sung, J. (2009) "Optimization of brazing conditions for OFHC Cu and ASTM A501 low carbon steel by Taguchi method"., International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 10, No. 3, pp. 97-104, (DOI 10.1007/s12541-009-0053-9).
- Zornberg, J. F. (2012) "Geosynthetic-reinforced unbound base courses: quantification of the reinforcement benefits", Austin, TX 78763-5080: Texas Department of Transportation.
- Zamora-Barraza D., Calzada-Perez, M. A. and Castro-Fresno, D. (2010) "New procedure for measuring adherence between a geosynthetic material and a bituminous mixture", : Geotextiles and Geomembranes, Vol. 28, Issue 5, pp. 483-489.
- ایران. وزارت راه و شهرسازی. موسسه قیر و آسفالت (۱۳۹۰).  
آیین نامه روسازی راههای ایران، نشریه شماره ۲۳۴، تهران:  
وزارت راه و شهرسازی، موسسه قیر و آسفالت ایران.
- geosynthetic structure", Geosynthetics International, Vol. 6, pp. 327-342.
- Moghadas Nejadad, F. N. (2014) "Effect of using geosynthetics on reflective crack prevention", International Journal of Pavement Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 1-11.
- Ozer H., Al-Qadi, I., Wang, H. and Leng, Z., (2012) "Characterisation of interface bonding between hot-mix asphalt overlay and concrete pavements: modelling and in-situ response to accelerated loading", International Journal of Pavement Engineering, Vol. 13, pp. 181-196
- Pasquini, E. M. (2012) "Laboratory characterisation and field validation of geogrid-reinforced asphalt pavements", Road Materials and Pavement Design, Vol. 14 , No. 1, pp. 17-35
- Penman, J., Hook, K. D. and Al-Qadi, I. (2008) "The use of geogrids to retard reflective cracking on airport runways, taxiways and aprons", Pavement Cracking, Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-0-415-47575-4, Vol. 1 ,pp.713-720 .
- Raab, C. (2004) "Interlayer shear performance :Experience with different pavement structures", Dübendorf, Switzerland: 3rd Eurasphalt and Eurobitume Congress Vienna.
- Tashman L., Nam, K. and Papagiannakis , T. (2006) "Evaluation of the influence of tack coat construction factors on the bond strength between pavement layers", Washington Center for Asphalt Technology, Report# WCAT 06-002.

## بررسی عوامل تاثیر گذار و ارائه مدل مقاومت بیرون کشش ژئوکامپوزیت بین دو لایه آسفالتی

علیرضا نوری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۸۷ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران، راه و ترابری را در سال ۱۳۸۹ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نمود. در سال ۱۳۹۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه سازی در مهندسی ترافیک، حوزه ایمنی و مدیریت بحران و بکارگیری ژئوسنتتیکها در کنترل رفتار مصالح بوده و در حال حاضر مدیر مطالعات و برنامه ریزی امور فنی و عمرانی، استانداردارد سازی و امور بحران مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران است.



فریدون مقدس نژاد، درجه کارشناسی در رشته مهندسی راه و ساختمان را در سال ۱۳۶۴ از دانشگاه سیستان و بلوچستان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی راه و ترابری را در سال ۱۳۶۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۹۹۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران (راه و ترابری) از دانشگاه سیدنی گردید. نامبرده یک سال دوره تحقیقاتی فوق دکتری در دانشگاه سیدنی استرالیا گذرانده است. تالیفات ایشان شامل ۱۲۰ مقاله در مجلات ISI و ۱۸۰ مقاله در کنفرانس های داخل و خارجی، ۶ کتاب در زمینه های راه و راه آهن و ۲۳ ثبت اختراع می باشد. دکتر مقدس نژاد در سال ۱۳۹۶ به علت فعالیت های پژوهشی برجسته موفق به دریافت عنوان پژوهشگر برتر وزارت راه و شهرسازی در دومین همایش جایزه دادمان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان، حوزه روسازی راه، فرودگاه و مهندسی راه آهن بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک) است.



علی خدایی، درجه کارشناسی خود را در رشته مهندسی عمران و سازه از دانشگاه برادفورد انگلستان در سال ۱۳۵۹ و درجه کارشناسی ارشد در رشته حمل و نقل را در سال ۱۳۶۰ از همان دانشگاه اخذ نمود. در سال ۱۳۶۴ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران از دانشگاه کوئینز انگلستان با درجه عالی گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان روسازی راه، آسفالت گوگردی، پلیمر در قیر، نانو رسها و تکنولوژی آسفالت است. ایشان در حوزه حمل و نقل نیز علاقه مند به برنامه ریزی حمل و نقل، مهندسی ترافیک و حمل و نقل ریلی هستند. ایشان در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد تمام در دانشگاه صنعتی امیرکبیر است.

