

ارزیابی قابلیت رادار نفوذی زمین در شناخت پتانسیل کاهش دوام لایه آسفالتی اجرا شده (مطالعه موردی: استان کرمان)

علمی - پژوهشی

پیمان رشیدیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی راه و ترابری، دانشگاه پیام نور مرکز بین الملل کیش، کیش، ایران

محمود رضا کی منش^{*}، استادیار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

مسلم زینال زاده، دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و تحقیقات آزاد اسلامی واحد آمل، آمل، ایران

^{*}پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۶۸-۵۵

چکیده

درصد فضای خالی لایه آسفالتی از عوامل تاثیر گذار در خرابی‌های بوجود آمده در لایه آسفالتی است. از این جهت معیاری برای سنجش کیفیت لایه آسفالتی اجرا شده در پروژه‌های راهسازی می‌باشد. روش معمول برای اندازه‌گیری آن مغزه گیری است. که این روش هزینه‌بر و وقت گیر است و همچنین خصوصیات کیفی لایه آسفالتی را در یک نقطه مشخص می‌کند. در این مقاله تعیین درصد فضای خالی و همچنین تشخیص پتانسیل کاهش دوام لایه آسفالتی اجرا شده با استفاده از دستگاه رادار نفوذی به زمین بررسی شده است. در این پژوهش ابتدا بخشی از یک راه اجرا شده در استان کرمان به عنوان قطعه آزمایشی انتخاب سپس اقدام به ارزیابی مکانیزه به کمک دستگاه (GPR) گردیده و در ادامه از محل‌هایی به طور تصادفی نمونه‌های مغزه گرفته شده و تحت آزمایشات تعیین درصد فضای خالی و چگالی قرار داده شده‌اند. در مقایسه نتایج و تجزیه و تحلیل آزمایشات مخرب با پیمایش مکانیزه حاصل از دستگاه (GPR) مشخص گردید با کم شدن نسبت چگالی مغزه‌ها مقدار عددی دی الکتریک خروجی از دستگاه (GPR) کاهش و همچنین در صورت افزایش درصد فضای خالی اضافی در آسفالت دی الکتریک کاهش می‌یابد. به طوری که با کاهش درصد فضای خالی کمتر و مساوی ۹ درصد افزایش مقدار ثابت دی الکتریک از عدد ۵ ناشی از ارزیابی غیر مخرب مشاهده شد. بنابراین، با استفاده از نتایج خروجی رادار می‌توان پروفیل پیوسته‌ای از وضعیت دانسیته و درصد فضای خالی محور مورد مطالعه به دست آورد که این پروفیل‌های به دست آمده در تشخیص پتانسیل کاهش دوام لایه آسفالتی در صورت قرار گرفتن آن در معرض رطوبت بسیار کارا خواهند بود.

واژه‌های کلیدی: درصد فضای خالی، رادار نفوذی زمین، طول موج، فرکانس، دوام لایه آسفالتی

۱-مقدمه

اجازه می‌دهد در این حفره‌ها حرکت نماید. اکثر طرح اختلاط‌ها ۳ تا ۵ درصد فضای خالی را پیشنهاد می‌دهند. وقتی درصد فضای خالی کمتر از ۵ درصد باشد، مواد مخلوط آسفالتی اکثراً در برابر رطوبت غیر قابل نفوذ می‌باشند. اگر درصد فضای خالی بیشتر از ۸ درصد باشد، رطوبت می‌تواند به راحتی در داخل مصالح نفوذ کند. [Kandhal, P.S and et all, 1992]

دانسیته و درصد فضای خالی از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار در ساختار مخلوط آسفالتی است. یک مخلوط با طرح اختلاط و تراکم مناسب شامل درصد فضای خالی کافی به منظور جلوگیری از بروز شیارشدگی ناشی از جریان پلاستیک، افزایش مقاومت و کاهش شکنندگی آن و نیز درصد فضای خالی کم جهت جلوگیری از نفوذ آب و هوا می‌باشد. درصد فضای خالی زیاد در لایه‌های آسفالتی به آب

درصد فضای خالی محور مورد مطالعه رسید. سیستم‌های راداری به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود از قبیل قابلیت استفاده در شب، انرژی بالا (به دلیل داشتن طول موج در حد چند سانتی متر) قابلیت عبور از موانعی نظیر ابر و مه، توانایی تشخیص تغییرات جزئی توپوگرافی زمین، حساسیت به تفاوت‌های موجود در حجم رطوبت خاک، سرعت بالای انتشار امواج آن و توانایی ارائه اطلاعاتی پیرامون موقعیت، اندازه، توجیه، سرعت و حتی طبیعت جسم، ابزاری حائز اهمیت در بین ابزارهای شناخت پدیده‌ها محسوب می‌شوند.

[Dadrasjavan and Toosi Mohamadyvezhe, 2018]

تاریخچه استفاده از روش رادار نفوذی زمین در ارزیابی روسازی وزیر - سازی جاده‌ها وابنه‌هایی از این قبیل به اواسط دهه ۱۹۷۰ بر می‌گردد. اتحادیه مدیریت بزرگراه‌های کشور آمریکا (FHWA) امکان پذیری قابلیت اجرای روش (GPR) را در بررسی وضعیت تونل‌ها و پس از آن در ارزیابی وضعیت پل‌ها مورد آزمایش قرار دادند. در اوایل دهه ۱۹۸۰، پیمایش‌های (GPR) در کانادا نیز آغاز شد. اولین آزمایش (GPR) جهت مطالعات راهسازی در سال ۱۹۸۶ شروع و بعد از آن آزمایش‌های بیشتری در فنلاند انجام شد، بدینگونه که روش (GPR) به سرعت به یک ابزار پیمایشی معمول در طراحی و پروژه‌های ترمیم و نوسازی در فنلاند تبدیل شده است. در اواخر دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰، اکثر کاربردها در مطالعات زیر سازی در آمریکای شمالی بر اندازه‌گیری ضخامت آسفالت، تعیین فضاهای خالی زیر قالب‌های بتنی و تعیین نواحی در حال تخریب در پل‌ها متمرکز گردید و در فرانسه نیز روش (GPR) بیشتر بر ارزیابی وضعیت آسفالت متمرکز می‌باشد.

[Ballard, 1992]

در سال ۱۹۹۷ در مطالعه‌ای در تگزاس Rmeili و Scullion دریافتند که از خصوصیات رادار می‌توان برای تشخیص عریان شدگی در آسفالت استفاده کرد، زیرا لایه‌ای که دچار این خرابی می‌شود رطوبت یا درصد هوای آن و یا هردوی آنها زیاد شده، که منجر به تغییر سرعت امواج منتشر شده می‌گردد. همچنین آنان دریافتند که در صورت خرابی ناشی از رطوبت هم چگالی و هم مقدار ثابت دی الکتریک هر دو کاهش می‌یابد. [Shabane and kyanfar and Mohamadyvezhe, 2017]

انجام نگیرد، درصد فضای خالی زیاد به دست می‌آید. ۲ تا ۳ سال، بر اثر تراکم ناشی از ترافیک در صد فضای خالی مورد نظر شکل می‌گیرد.

[Shabane and kyanfar and Mohamadyvezhe, 2017]

درصد فضای خالی باید به اندازه‌ای کم باشد تا از نفوذ هوا و آب جلوگیری کند و نیز به اندازه کافی زیاد باشد. تا از بروز جریان پلاستیک در مخلوط آسفالتی پس از عبور ترافیک بعد از گذشت چند سال جلوگیری کند. بنابراین، اندازه‌گیری صحیح درصد فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی برای کنترل و تضمین کیفیت، تشخیص پتانسیل کاهش کاهش دوام لایه آسفالتی در صورت قرار گرفتن آن در معرض رطوبت ضروری است. دستگاه رادار نفوذی به زمین از روش‌های الکترومغناطیسی است که امروزه کاربردهای آن در راه سازی به سرعت در حال گسترش می‌باشد. آسفالتی که در نقاطی دچار خرابی ناشی از رطوبت می‌گردد، دارای درصد فضای خالی زیاد بوده و در آن نقاط دارای کمترین مقدار چگالی است. با ارزیابی رابطه درصد فضای خالی و ضریب ثابت دی الکتریک، قابلیت تشخیص سریع میزان و وسعت حساسیت رطوبتی را می‌توان به دست آورد [Dar-Hao chen and et al, 2014] مجموع موارد ذکر شده لزوم ارائه روشی ساده که ضمن دارا بودن دقت لازم، بتواند در مدت زمان کوتاه و با هزینه ای اندک پتانسیل کاهش دوام لایه آسفالتی اجرا شده را مشخص نماید آشکار می‌سازد.

۲- ارزیابی غیرمخرب با دستگاه رادار نفوذی به زمین

امروزه متداول‌ترین روش برای تعیین درصد فضای خالی آزمایش [ASTM^۱ D2014] می‌باشد که یک روش اثبات شده جهت تعیین درصد فضای خالی لایه آسفالتی مد نظر است. اما این روش مخرب است و چاله‌های حاصل از مغزه گیری باید وصله و مرمت شوند و همچنین دارای سختی کار و زمان بر است. شاید منفی‌ترین وجه مغزه گیری مدت زمان زیادی است که صرف تعیین دانسیته و درصد فضای خالی در محل می‌شود و پروفیل پیوسته‌ای از دانسیته و درصد فضای خالی محور مورد مطالعه را ارائه نمی‌دهد. ولی در مقابل با استفاده از دستگاه رادار نفوذی زمین می‌توان به پروفیل پیوسته ای از دانسیته و

است. در این روش از امواج الکترومغناطیسی جهت کاوش لایه‌های مختلف زمین و روسازی راه استفاده می‌شود، که با استفاده از محاسبه زمان رفت و برگشت امواج و محاسبه ضریب دی الکتریک مواد، مشخصاتی از لایه مورد ارزیابی را در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد.

۲-۱- تعیین سرعت امواج در لایه آسفالتی

در روش GPR از پالس‌های الکترومغناطیسی کوتاه استفاده می‌شود، سه ویژگی اصلی که انتشار پالس‌های الکترومغناطیسی را در محیط کنترل می‌کند شامل: گذر دهی دی الکتریک نسبی، گذر دهی مغناطیسی نسبی و رسانایی الکتریکی است. به طوری که سرعت پالس الکترو مغناطیس از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \left(1 + \frac{(\sigma/\omega)^2}{2}\right)}} \quad (1)$$

که در این رابطه c سرعت نور در خلاء، ϵ_r گذر دهی دی الکتریک نسبی، μ_r گذر دهی مغناطیسی نسبی و σ رسانایی الکتریکی و ω بسامد زاویه‌ای هستند. در مورد استفاده در راه سازی گذر دهی مغناطیسی نسبی نزدیک به یک و رسانایی الکتریکی در بسیاری موارد نزدیک به صفر است. بنابراین، مهمترین ویژگی که سرعت پالس را در مورد راه سازی کنترل می‌کند گذر دهی دی الکتریک نسبی است، با فرضیات بالا رابطه سرعت به صورت زیر خلاصه می‌شود.

[Loken, 2003]

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

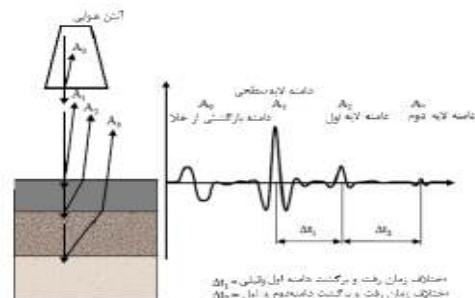
۲-۲- تعیین مقادیر دامنه لایه آسفالتی

مقادیر دامنه لایه آسفالتی، مقادیر بازتاب عددی هرکدام از لایه‌ها به آنتن می‌باشند. شکل ۱ نشان دهنده مکانیزم عملکرد آنتن دوتایی هوایی را نشان می‌دهد. [Yaejian.cao,et.aL,2008] همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، A_1 و A_2 و A_3 بترتیب بازتاب‌های

در سال ۲۰۰۵ پژوهشگران در ایالت جرجینا با مقایسه مغزه‌های گرفته شده و آزمایش‌های مخرب با سایر روش‌های آزمایشات غیر مخرب نظیر رادار و ارزیابی لرزه‌ای دریافتند که ثابت دی الکتریک بدست آمده از امواج الکترومغناطیسی که از ارزیابی مکانیزه با رادار به دست می‌آید دارای مقادیر کمی می‌باشد که قادر خواهند بود جنس مصالح و مقدار درصد رطوبت محبوس شده داخل مصالح آسفالت را تشخیص دهد. [Zeari and keymanesh and kyanfar,2018]

در سال ۲۰۱۵، مطالعه‌ای توسط Hoegh و همکاران صورت گرفت، که در آن ارتباط مقدار درصد فضای خالی موجود در آسفالت متراکم، در نقاطی که مغزه‌گیری شده با روش رادار و درصد فضای خالی مغزه‌های گرفته شده با آزمایش مخرب مقایسه شد. در نهایت نموداری به دست آمد، که طی آن در نقاطی که مقادیر ثابت دی الکتریک بیشتر از ۵ دارند، دارای درصد فضای خالی کمتر از ۹ درصد هستند [Hoegh, et all.,2015].

در سال ۲۰۱۴، نیز پژوهش‌هایی توسط chen و همکاران انجام شد که در آن با ارزیابی محور مورد مطالعه و به دست آوردن دامنه بازتاب از سطح آسفالت، دامنه صفحه فلزی و محاسبه ثابت دی الکتریک، میزان درصد فضای خالی به وسیله تابعی از متغیر ثابت دی الکتریک به دست آمد. در نهایت پروفیل درصد فضای خالی در کیلومترهای مسیر، ترسیم شد. در این تحقیق مناطقی که دارای درصد فضای خالی بالای ۸ درصد بوده‌اند، پیشنهاد بازسازی، تعمیر و روکش آسفالت داده شد [Chen, et all.,2014]. امروزه روش رادار نفوذی زمین (GPR) جایگاه ویژه‌ای در میان روش‌های ارزیابی غیر مخرب مهندسی راه پیدا کرده



شکل ۱. مکانیزم عملکرد آنتن دوتایی هوایی

$$\epsilon_r = \left(\frac{c}{v}\right)^2 \quad (4)$$

۲- تعیین گذردهی دی الکتریک با استفاده از دامنه سیگنال انعکاس یافته از سطح آسفالت: در این روش با مقایسه دامنه انعکاس از سطح آسفالت و دامنه انعکاس یافته از یک صفحه فلزی می‌توان گذردهی الکتریک نسبی آسفالت را با کمک رابطه زیر بدست آورد: [Saarenketo,2006]

$$\sqrt{\epsilon_r} = \frac{A_m + A_1}{A_m - A_1} \quad (5)$$

که در این رابطه A_m دامنه انعکاس از صفحه فلزی و A_1 دامنه انعکاس از سطح آسفالت است. نکته مهم در این روش این است که از این معادله فقط در مورد آنتن‌های جفت شده هوایی می‌توان استفاده کرد ولی در آنتن‌های زمینی این روش قابل استفاده نیست چرا که در این آنتن‌ها انعکاس از سطح آسفالت با کوپلینگ بین فرستنده و گیرنده تداخل می‌کند و تعیین گذردهی دی الکتریک آسفالت را دشوار می‌سازد.

۳- در این روش از مقادیر پیش تعیین شده‌ی گذردهی دی الکتریک مواد استفاده می‌شود مطابق با جدول ۱.

جدول ۱. مقادیر گذردهی دی الکتریک برخی از مواد مورد

مواد	گذردهی دی الکتریک
۱	هوا
۱۰-۸۱	آب
۵-۱۰	ماسه خشک
۵-۳۵	رس
۲۰-۳۰	ماسه بادی

۳- مکانیزم عملکردی درصد فضای خالی در لایه

آسفالتی

از جمله عوامل مهم که در ایجاد آنها درصد فضای خالی لایه آسفالتی تاثیر بسزایی دارند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- گودی مسیر چرخ‌ها
- حساسیت رطوبتی و کاهش دوا
- کاهش مدول دینامیکی
- افزایش تغییر شکل نسبی قائم

لایه‌های سطحی اول و دوم آسفالت می‌باشند. رابطه زیر مقدار محاسبه دامنه را نشان می‌دهد.

$$A = \frac{V}{F} \quad (3)$$

در این رابطه A دامنه (طول موج) بر حسب میلی ولت، V سرعت موج در عمق مورد نظر و F فرکانس دستگاه می‌باشد. با توجه به اینکه امواج در خلاء با سرعت نور (3×10^8 متر بر ثانیه) به سطح آسفالت برخورد نموده سپس انعکاس می‌یابد، مقدار این دامنه جهت محاسبات روسازی قابل استفاده نیست.

[Hojat,2014]

۳-۲- تعیین مقادیر گذردهی دی الکتریک نسبی لایه

آسفالتی

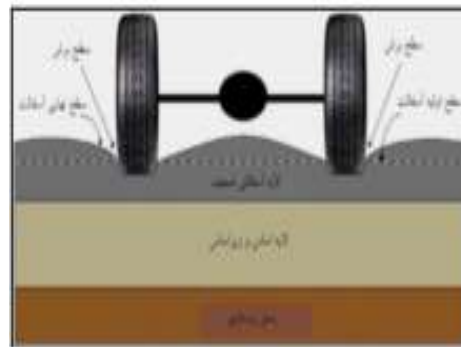
گذردهی دی الکتریک آسفالت تابعی از گذردهی دی الکتریک و درصد حجمی مولفه‌های تشکیل دهنده آن است. است که این مولفه‌ها شامل خرده سنگ، قیر و هوا است. می‌توان فرض کرد که درصد حجمی دو مولفه خرده سنگ و قیر در یک پروژه راه سازی تغییرات ناچیزی دارد و تغییرات آنها تاثیرچندانی روی گذردهی دی الکتریک آسفالت ندارد و از طرفی دیگر درصد حجمی حفرات هوای موجود در آسفالت بیشترین تاثیر را در گذردهی دی الکتریک آسفالت دارد. درواقع هرچه مقدار حفرات موجود در آسفالت بیشتر باشد، دانسیته و گذردهی دی الکتریک آن کمتر می‌شود.

محدوده تیبیک گذردهی دی الکتریک نسبی آسفالت بین ۴ تا ۷ است. گذردهی دی الکتریک پایین‌تر از این محدوده نشان دهنده تراکم و دانسیته پایین و وجود حفرات هوای زیاد در آسفالت است و گذردهی دی الکتریک نسبی بالاتر این محدوده می‌تواند به دلیل رطوبت در آسفالت باشد. در GPR سه روش اصلی برای تعیین گذردهی دی الکتریک آسفالت وجود دارد.

۱- تعیین گذردهی دی الکتریک با استفاده از روش CMP (Common Midpoint): در این روش آنتن‌های فرستنده و گیرنده در دو طرف یک نقطه ثابت حرکت داده شده و از هم دور می‌شوند. با رسم نمودار فاصله بین فرستنده و گیرنده (X)-زمان (t) که به شکل یک هذلولی است می‌توان سرعت پالس را در آن محیط تخمین زد و سپس با استفاده از رابطه زیر گذردهی دی الکتریک را به دست آورد. [Saarenketo,2006]

گودی مسیر چرخ‌ها

گودی مسیر چرخ‌ها به موجی عرضی که در سطح رویه آسفالتی بوجود می‌آید اطلاق می‌شود. نقاط گود این موج‌ها در مسیرهای حرکت چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین قرار دارند. یک مخلوط با طرح اختلاط و تراکم مناسب شامل در صد فضای خالی کافی باشد، از بروز شیار افتادگی در لایه آسفالتی اجزا شده جلوگیری خواهد کرد. [Tabatabaei, 2017] گودی مسیر چرخ‌ها تغییر شکل دائمی آسفالت در حجم ثابت است که ناشی از ضعف برشی لایه آسفالتی است. [Divandari et al, 2015]



شکل ۲. گودی مسیر چرخ‌ها

قیری است که سنگ دانه‌ها را پوشانده است، و از بین رفتن چسبندگی قیر به علت نرم شدگی قیر پر کننده‌ای است که در مخلوط وجود دارد. در نتیجه افزایش مقدار فضای خالی و نفوذ راحت‌تر آب مقاومت در برابر آسیب رطوبتی به شدت کاهش می‌یابد، که این موضوع از علل کاهش دوام لایه آسفالتی است. [Taherkhni and Afrozi, 2017]

تراکم ناکافی لایه آسفالتی موجب بروز پدیده عریان‌شدگی زود هنگام در مخلوط‌های آسفالتی می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند که در حالتی که درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی کمتر از ۴٪ باشد مخلوط عملاً در برابر آب نفوذناپذیر است و در این ناحیه آب بی تأثیر است و اگر درصد فضای خالی بیشتر از حدود ۱۳-۱۴٪ باشد، مقاومت مخلوط کمتر تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرد زیرا روسازی بصورت زهکش عمل می‌کند، اما اگر درصد فضای خالی بین این مقادیر باشد مخلوط آسفالتی در منطقه بحرانی قرار می‌گیرد، زیرا میزان فضای خالی در محدوده غیر بهینه قرار دارد و مخلوط آسفالتی از لحاظ آسیب رطوبتی در بحرانی‌ترین وضعیت قرار خواهد گرفت. [Kavande and Heidary and Dehghani 2019]

کاهش مدول دینامیکی

مدول دینامیکی لایه آسفالتی توسط معادله ۶ محاسبه می‌شود، که رابطه مستقیم با میزان فضای خالی لایه آسفالتی دارد. با افزایش میزان فضای خالی مدول دینامیکی کاهش می‌یابد.

حساسیت رطوبتی و کاهش دوام

آسیب رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی، درون مخلوط سنگ دانه-قیر در حضور آب رخ می‌دهد، و در حالت کلی به دو مکانیسم، از بین رفتن چسبندگی بین قیر و سنگ دانه و از بین رفتن چسبندگی قیر تقسیم‌بندی می‌شود. از بین رفتن چسبندگی بین قیر و سنگ دانه، به علت ورود آب بین قشر

(۶)

$$E = 100000 * (10)^{\beta 1}$$

$$\beta 1 = \beta 3 + 0.000005\beta 2 - 0.00189\beta 2 * (10)^{\beta 1}$$

$$\beta 2 = * T^{\beta 1} * \beta 4^{0.5}$$

$$\beta 3 = 0.553833 + 0.028829(p200 * F^{-0.1703} - 0.03476v_a + 0.07377Y + 0.931757F^{-0.03774}$$

$$\beta 4 = 0.483v_b$$

$$\beta 5 = 1.3 + 0.49825LOG F$$

F = فرکانس بارگذاری برحسب هرتز

T = دما برحسب درجه فارنهایت

$p200$ = درصد وزنی مصالح عبوری از الک نمره ۲۰۰

v_a = درصد حجمی فضای خالی

v_b = درصد حجمی قیر

Y = ویسکوزیته آسفالت در دمای ۷۰ درجه فارنهایت برحسب $(10)^{+6}$ پواز می‌باشد.

افزایش تغییر شکل نسبی قائم

با میزان فضای خالی لایه آسفالتی دارد که در نتیجه آن با افزایش فضای خالی تغییر شکل نسبی قائم افزایش خواهد یافت.

$$\epsilon = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

تغییر شکل نسبی قائم لایه آسفالتی توسط معادله ۹ محاسبه می‌شود که رابطه معکوس با مدول دینامیکی لایه آسفالتی دارد و مطابق معادله ۸ مدول دینامیکی رابطه معکوس (۷)

$$E = \text{مدول برجهندگی}$$

$$\sigma_1 = \text{تنش قائم}$$

$$\sigma_2 = \text{تنش افقی در زیر لایه}$$

۴- روش پژوهش

الکترونیک خروجی از دستگاه در نقاطی که از آنها مغزه‌گیری انجام گرفته آورده شده است.

هدف کلی از این پژوهش ارزیابی قابلیت استفاده از دستگاه رادار نفوذی زمین در تعیین درصد فضای خالی و همچنین تشخیص پتانسیل کاهش دوام در لایه آسفالتی اجرا شده در صورت قرار گرفتن آن در معرض رطوبت می‌باشد. در این پژوهش سعی بر آن است تا با تکیه بر نتایج به دست آمده از برداشت‌های میدانی توسط دستگاه رادار نفوذی زمین و انجام آزمایشات مخرب جهت تعیین درصد فضای خالی و مقایسه فنی بین این دو روش، شناخت مسئله صورت پذیرد.

۴-۳- مشخصات دستگاه پیمایش میدانی

داده‌های (GPR) مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از آنتن ۲ گیگاهرتز برداشت شده‌اند. این آنتن از نوع هورن (Horn) بوده و قابلیت برداشت داده‌ها با فاصله از سطح زمین را دارا است. استفاده از سیستم‌های GPR دوتایی - هوایی رشد سریعی در جهت ارزیابی بخش بالایی ساختار آسفالت و راه داشته است. این تجهیزات سیگنال‌هایی بی‌نقص تولید می‌کنند؛ که در نتیجه می‌توان در سرعت‌های نزدیک به سرعت مجاز در بزرگراه‌ها، عملیات برداشت GPR را انجام داد. محدوده فرکانسی سیستم‌های آنتن دوتایی - هوایی، بین ۵۰۰ مگا هرتز تا ۲٫۵ گیگا هرتز هستند که عمق نفوذشان در محدوده ۵۰ تا ۹۰ سانتی متر است از مهم‌ترین مزایای این سیستم این است که با تغییر وضعیت و خواص آسفالت، تغییری در این آنتن‌ها ایجاد نمی‌شود. [Saarenketo et al, 2000]

۴-۱- انتخاب محور مورد مطالعه

بخشی از مسیر برگشت محور بم - کرمان واقع در استان کرمان جهت انجام این پژوهش انتخاب گردید جدول شماره ۲ مشخصات مسیر را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات محور مورد ارزیابی

نام محور	طول محور	مشخصات محور
مسیر برگشت بم - کرمان	۳ کیلومتر	دارای ۲ خط عبور اصلی درجه ۱

۴-۱-۱- انجام آزمایش‌های مکانیکی آزمایش تعیین چگالی

روش انجام آزمایش مطابق استاندارد AASHTO T166 می‌باشد و دانسیته واقعی از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$G_{mb} = \frac{W_a}{w_a - w_w} \quad (۸)$$

در این رابطه W_a وزن نمونه‌ها در هوا، w_w وزن نمونه در آب و G_{mb} وزن مخصوص واقعی آسفالت می‌باشد. در جدول شماره ۵ مقدار چگالی واقعی مغزه‌های اخذ شده

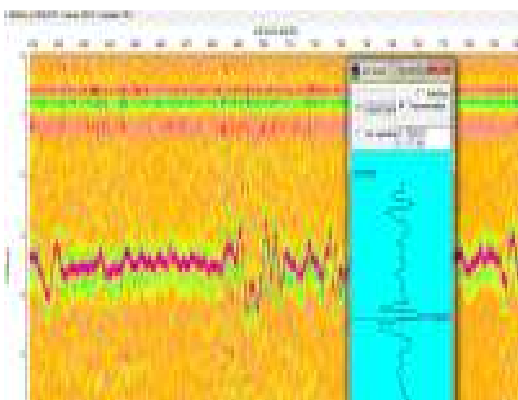
۴-۲- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در این پژوهش هم از نوع پیمایشی و هم از نوع آزمایشی می‌باشد، جهت برداشت پیمایشی بخشی از یک راه اجرا شده مورد مطالعه قرار گرفته که پس از برداشت با دستگاه رادار نفوذی به زمین از همان محور مغزه‌گیری برای انجام آزمایشات مخرب جهت تعیین درصد فضای خالی صورت گرفته که در جدول شماره ۵ دی

۶- بحث و بررسی

۱-۶- تفسیر کیفی

بعد از پردازش‌های مناسب داده‌ها تفسیر پروفیل‌های رادار انجام شد که این روش تفسیر به تفسیر گرافیکی معروف می‌باشد. این تفسیر با استفاده از مشخصات بارز روی مقاطع رادار صورت می‌گیرد. به این ترتیب که مقاطع زمانی به دست آمده ممکن است با استفاده از سرعت امواج رادار، در محیط زیر سطحی به مقاطع عمقی تبدیل شوند و یا اینکه به صورت مستقیم در دست تفسیر قرار گیرند. در این تفسیر مفسر در واقع کیفیت و شکل بازتاب‌ها را نسبت به بازتاب‌های مجاور تشخیص داده و با توجه به ویژگی این بازتاب‌ها از جمله پیوستگی، بزرگی و گسترش آنها، این رویدادها را از یکدیگر تفکیک می‌کند. شکل شماره ۴ پروفیل محور مورد مطالعه به همراه خروجی گرافیکی و مقدار پیک دامنه را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود غیر یکنواختی شدیدی در لایه آسفالتی اجرا شده وجود دارد که ناشی از تفکیک شدن، کاهش چکالی و افزایش درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده است. با مقایسه نمودارهای شکل شماره ۶ و ۷ و ۸ مشاهده می‌شود گراف خروجی از نتایج تحلیل رادار که نشان دهنده غیر یکنواختی شدید در لایه آسفالتی است با درصد فضای خالی اندازه‌گیری شده مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ و چگالی واقعی اندازه‌گیری شده مطابق استاندارد AASHTO T166 مطابقت دارد.



شکل ۴. پروفیل برداشت شده دستگاه مکانیزه

محور مورد مطالعه

آورده شده است. شکل شماره ۳ توزین نمونه‌های آسفالتی در هوا و آب را نشان می‌دهد.



شکل ۳. توزین نمونه‌های آسفالتی در هوا و آب

آزمایش تعیین درصد فضای خالی

روش انجام آزمایش مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ می‌باشد و درصد فضای خالی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$A.V = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \quad (9)$$

در این رابطه G_{mb} چگالی واقعی بتن آسفالتی، G_{mm} چگالی ماگزیمم بتن آسفالتی و $A.V$ درصد فضای خالی مغزه آسفالتی است. در جدول شماره ۵ درصد فضای خالی مغزه‌های اخذ شده آورده شده است.

۵- نتایج پژوهش

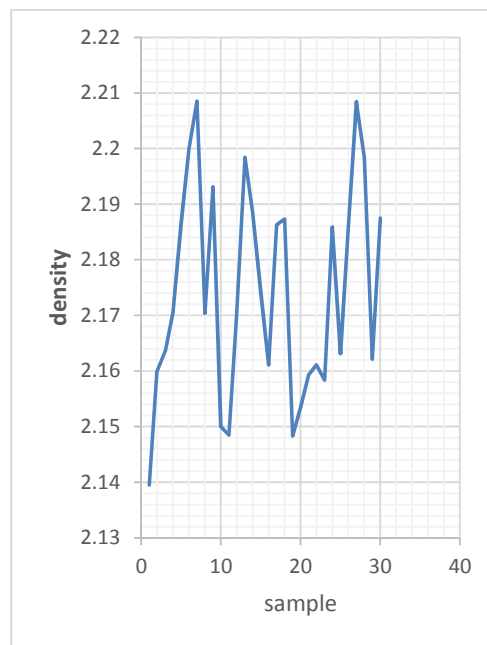
پس از برداشت با دستگاه رادار در کل مسیر از نقاط مشخص شده اقدام به مغزه‌گیری می‌شود. در مرحله بعد با توجه به اینکه رابطه درصد فضای خالی واقعی لایه آسفالتی اجرا شده با دی الکتریک اخذ شده از رادار مورد نظر است در تعیین درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده از وزن مخصوص نمونه اخذ شده از محور استفاده شده است که در صورت استفاده از وزن مخصوص مغزه اخذ شده در محاسبه درصد فضای خالی به جای نمونه مارشال درصد فضای خالی محاسبه شده بیشتر از فضای خالی محاسبه شده توسط نمونه مارشال خواهد بود.

[keymanesh and Rashidian,2020]

جدول شماره ۵ خلاصه نتایج آزمایشات مخرب و غیر مخرب را نشان می‌دهد.

۶-۲- ارتباط درصد فضای خالی با ثابت دی الکتریک

با مقایسه درصد فضای خالی محاسبه شده مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ با دی الکتریک خروجی از رادار مشاهده شد مطابق نمودار شکل شماره ۷ نسبت درصد فضای خالی با ثابت دی الکتریک رابطه عکس دارد. به طوری که با افزایش دی الکتریک خروجی از رادار درصد فضای خالی در لایه آسفالتی اجرا شده کاهش و با کاهش دی الکتریک خروجی از رادار درصد فضای خالی در لایه آسفالتی اجرا شده افزایش می‌یابد و نمودار شکل شماره ۷ ارتباط نسبت درصد فضای خالی و ثابت دی الکتریک را یک تابع نمایی با ضریب همبستگی 0.7551 و رابطه $y = 57.502e^{-0.351x}$ را نشان می‌دهد، می‌توان با جایگذاری مقدار دی الکتریک خروجی از دستگاه (GPR) در هنگام برداشت لایه آسفالتی اجرا شده در مقدار X در صد فضای خالی لایه آسفالتی را محاسبه کرد.

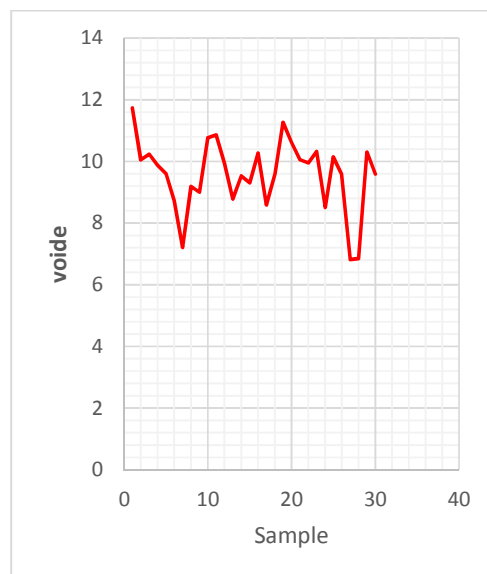


شکل ۵. نمودار رابطه چگالی واقعی و شماره نمونه

در محور مورد مطالعه

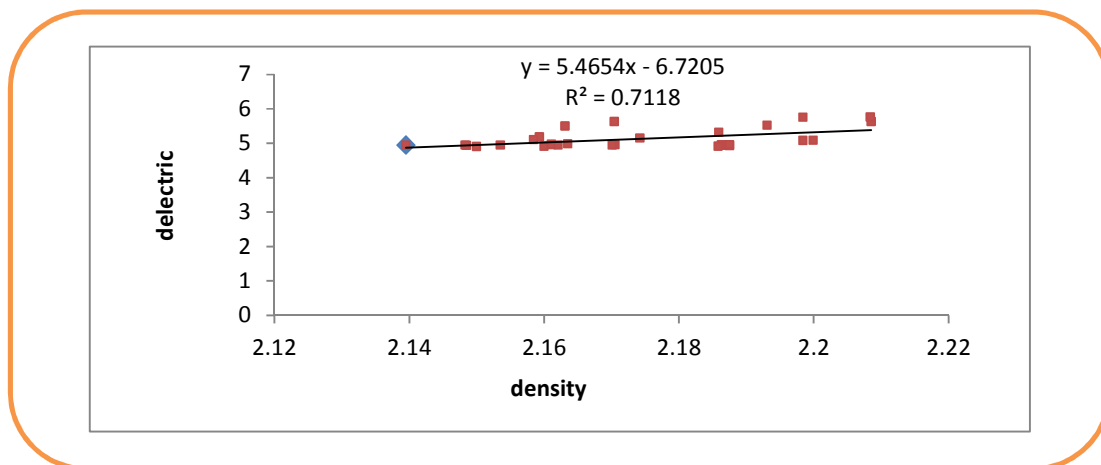
۶-۳- ارتباط چگالی واقعی با ثابت دی الکتریک

با مقایسه چگالی واقعی محاسبه شده مطابق استاندارد AASHTO T166 با ثابت دی الکتریک خروجی از رادار مشاهده شد مطابق نمودار شکل شماره ۱۰ دانسیته واقعی با ثابت دی الکتریک نسبت مستقیم دارد. به طوری که با افزایش دی الکتریک خروجی از رادار چگالی واقعی لایه آسفالتی افزایش و با کاهش دی الکتریک خروجی از رادار چگالی واقعی لایه آسفالتی کاهش می‌یابد و نمودار شکل شماره ۸ ارتباط چگالی واقعی و ثابت دی الکتریک را یک تابع خطی با ضریب همبستگی 0.7118 و رابطه $Y = 5.4654x - 6.7205$ را نشان می‌دهد. می‌توان با جای گذاری مقدار دی الکتریک خروجی از دستگاه (GPR) از نقاط برداشتی لایه آسفالتی اجرا شده در مقدار Y چگالی واقعی لایه آسفالتی را محاسبه کرد.

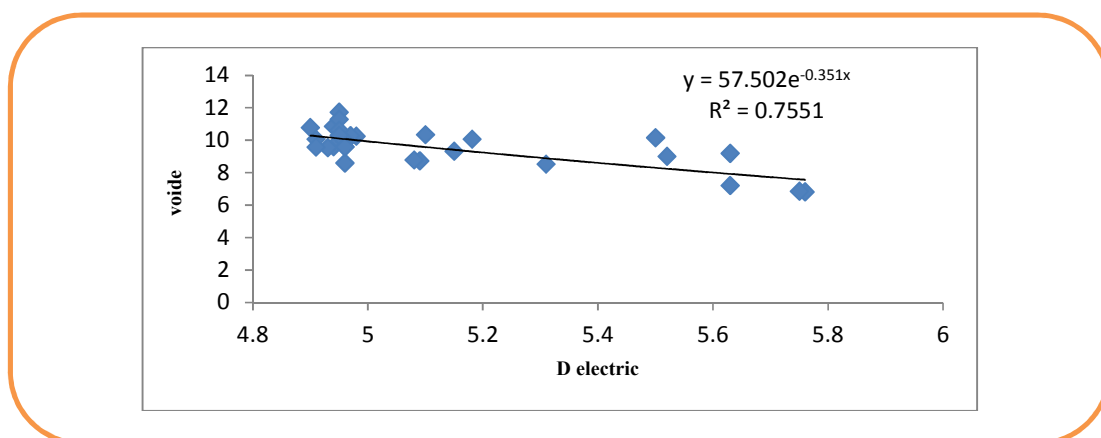


شکل ۶. نمودار رابطه درصد فضای خالی و شماره نمونه

در محور مورد مطالعه



شکل ۷. نمودار رابطه بین دی الکتریک و درصد فضای خالی



شکل ۸. نمودار رابطه بین چگالی واقعی و دی الکتریک

۶-۴-ارتباط درصد فضای خالی با دوام لایه آسفالتی

وجود بیش از حد فضای خالی در بتن آسفالتی باعث کاهش دوام آن می‌شود. از این جهت بر اساس نتایج تجربی به دست آمده حجم فضای خالی بتن آسفالتی به حداقل ۲ درصد و حداکثر ۶ درصد محدود شده است.

[Tabatabaei,2017]

مطابق ضوابط مشخصات فنی عمومی راه نشریه ۱۰۱ درصد فضای خالی استاندارد برای لایه بیندر در محدوده (۳-۶) درصد می‌باشد. درنقاطی که مقدار درصد فضای خالی بیشتر از ۶ درصد باشد حساسیت رطوبتی و به تبع آن پتانسیل کاهش دوام را در لایه آسفالتی خواهیم داشت. شکل شماره ۹ نمودار مقایسه درصد فضای خالی محاسبه شده

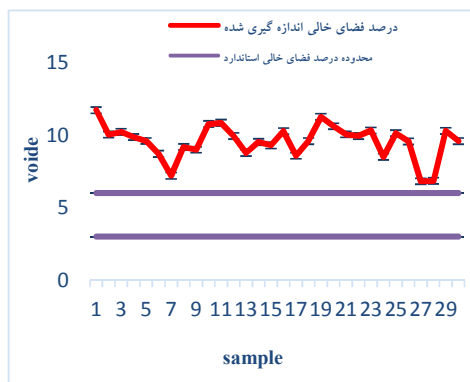
مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ را با محدوده استاندارد درصد فضای خالی نشان می‌دهد نقاطی که در داخل محدوده استاندارد بین دو خط آبی رنگ قرار بگیرند مستعد پتانسیل شیار شدگی نخواهند بود ولی همانگونه که در شکل شماره ۹ مشخص است. درصد فضای خالی هیچکدام از نقاط در داخل محدوده استاندارد قرار نگرفته است و این نشان دهنده پتانسیل کاهش دوام در لایه آسفالتی است با مقایسه نمودارهای شکل شماره ۴ و ۹ مشاهده شد گراف خروجی از نتایج تحلیل کیفی رادار که نشان دهنده غیر یکنواختی شدید در لایه آسفالتی است. با درصد فضای خالی اندازه گیری شده مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ مطابقت دارد.

شماره ۲ و نمودار مقایسه بین دی الکتریک استاندارد و دی الکتریک خروجی از نتایج تحلیل رادار در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است.

نقاطی که دی الکتریک آنها در شکل شماره ۱۰ داخل محدوده استاندارد بین دو خط قهوه‌ای رنگ قرار بگیرند مستعد پتانسیل شیار شدگی نخواهند بود. ولی همانگونه که در شکل شماره ۱۲ مشخص است.

دی الکتریک اندازه‌گیری شده هیچ‌کدام از نقاط در داخل محدوده استاندارد قرار نگرفته است و این نشان دهنده پتانسیل کاهش دوام در لایه آسفالتی است.

با مقایسه نمودارهای شکل شماره ۴ و ۶ و ۱۰ مشاهده می‌شود گراف خروجی از نتایج تحلیل رادار که نشان دهنده غیریکنواختی شدید در لایه آسفالتی است با درصد فضای خالی اندازه‌گیری شده مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ و دی الکتریک اندازه‌گیری شده توسط رادار مطابقت دارد.



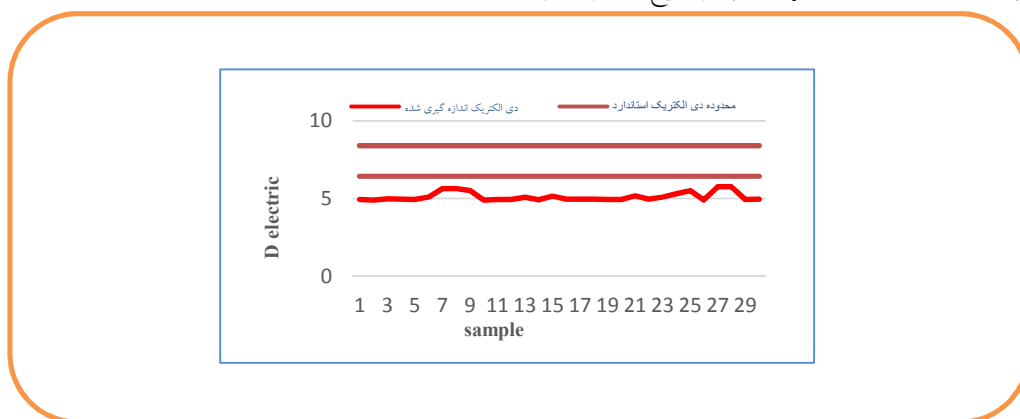
شکل ۹. نمودار مقایسه درصد فضای خالی محاسبه شده با محدوده درصد فضای خالی استاندارد

جدول ۳. مقادیر دی الکتریک در درصد فضای خالی استاندارد

درصد فضای خالی استاندارد	دی الکتریک
۳	۸,۴۱۳۸
۴	۷,۵۹۴۱
۵	۶,۹۵۸۳
۶	۶,۴۳۸۹

۵-۶- ارتباط ثابت دی الکتریک با دوام لایه آسفالتی

مطابق ضوابط مشخصات فنی عمومی راه نشریه ۱۰۱ درصد فضای خالی استاندارد برای لایه بیندر در محدوده (۳-۶) درصد می‌باشد که دی الکتریک متناظر با آن مطابق رابطه $y = 57.502e^{-0.351x}$ محاسبه و نتایج آن در جدول



شکل ۱۰. نمودار مقایسه دی الکتریک اندازه‌گیری شده با محدوده دی الکتریک استاندارد

جدول ۴. مقایسه آماری نتایج حاصل از آزمایش‌ها

ردیف	میانگین درصد فضای خای محاسبه شده مطابق استاندارد ASTM۲۰۴۱	میانگین درصد فضای خای محاسبه شده مطابق استاندارد ASTM۲۰۴۱	انحراف از معیار درصد فضای خای محاسبه شده مطابق رابطه به دست آمده از پژوهش	انحراف از معیار درصد فضای خای محاسبه شده مطابق استاندارد ASTM۲۰۴۱	ضریب تغییرات درصد فضای خای محاسبه شده مطابق رابطه به دست آمده از پژوهش	ضریب تغییرات درصد فضای خای محاسبه شده مطابق استاندارد ASTM۲۰۴۱
۱	۹,۵۷۳۲	۹,۵۵۹۶	۱,۱۶۶۹	۰,۸۷۳۶	۰,۱۲۱۸	۰,۰۹۱۳

جدول ۵. مقادیر چگالی، درصد فضای خالی و دی الکتریک مغزه‌های گرفته شده از محور مورد مطالعه

ردیف	شماره نمونه	دانشیته واقعی مطابق استاندارد AASHTO T166	دانشیته ماگزیمم	درصد فضای خالی مطابق استاندارد ASTM۲۰۴۱	دی الکتریک	درصد فضای خالی مطابق رابطه به دست آمده از پژوهش
۱	A1	۲,۱۳۹۵	۲,۴۲۳۸	۱۱,۷۲۹۵	۴,۹۵	۱۰,۱۱۸۵
۲	A2	۲,۱۶	۲,۴۰۱۲	۱۰,۰۴۵	۴,۹۱	۱۰,۲۶۱
۳	A3	۲,۱۶۳۵	۲,۴۱۰۱	۱۰,۲۳۱۹	۴,۹۸	۱۰,۰۱۲
۴	A4	۲,۱۷۰۵	۲,۴۰۸۱	۹,۸۶۶۷	۴,۹۶	۱۰,۰۸۳
۵	A5	۲,۱۸۶۵	۲,۴۱۸۶	۹,۵۹۶۴	۴,۹۴	۱۰,۱۵۴۱
۶	A6	۲,۱۹۹۹	۲,۴۱	۸,۷۱۷۸	۵,۰۹	۹,۶۳۳۴
۷	A7	۲,۲۰۸۵	۲,۳۸	۷,۲۰۵۸	۵,۶۳	۷,۹۷
۸	A8	۲,۱۷۰۴	۲,۳۹	۹,۱۸۸۲	۵,۶۳	۷,۹۷
۹	A9	۲,۱۹۳۱	۲,۴۱	۹	۵,۵۲	۸,۲۸۳۷
۱۰	A10	۲,۱۵	۲,۴۰۹۵	۱۰,۷۶۹۹	۴,۹	۱۰,۲۹۷۶
۱۱	A11	۲,۱۴۸۵	۲,۴۱۰۱	۱۰,۸۵۴۳	۴,۹۴	۱۰,۱۵۴۱
۱۲	A12	۲,۱۷۰۱	۲,۴۰۹۷	۹,۹۴۳۱	۴,۹۵	۱۰,۱۱۸۵
۱۳	A13	۲,۱۹۸۴	۲,۴۰۹۹	۸,۷۷۶۳	۵,۰۸	۹,۶۶۷۲
۱۴	A14	۲,۱۸۸۵	۲,۴۱۷۹	۹,۵۲۸۹	۴,۹۳	۱۰,۱۸۹۸
۱۵	A15	۲,۱۷۴۲	۲,۳۹۷۲	۹,۳۰۲۵	۵,۱۵	۹,۴۳۲۵
۱۶	A16	۲,۱۶۱۱	۲,۴۰۶۸	۱۰,۲۷۵۷	۴,۹۷	۱۰,۰۴۷۷
۱۷	A17	۲,۱۸۶۳	۲,۳۹۱۶	۸,۵۸۴۲	۵,۰۱	۹,۹۰۷۶
۱۸	A18	۲,۱۸۷۳	۲,۴۱۹۴	۹,۵۹۳۲	۴,۹۶	۱۰,۰۸۳
۱۹	A19	۲,۱۴۸۳	۲,۴۲۱۱	۱۱,۲۶۷۶	۴,۹۵	۱۰,۱۱۸۵
۲۰	A20	۲,۱۵۳۵	۲,۴۰۹۳	۱۰,۶۱۷۱	۴,۹۵	۱۰,۱۱۸۵
۲۱	A21	۲,۱۵۹۳	۲,۴۰۰۷	۱۰,۰۵۵	۵,۱۸	۹,۳۳۴۵
۲۲	A22	۲,۱۶۱۱	۲,۳۹۹۸	۹,۹۴۶۶	۴,۹۶	۱۰,۰۸۳
۲۳	A23	۲,۱۵۸۴	۲,۴۰۶۹	۱۰,۳۲۴۵	۵,۱	۹,۵۹۹۵
۲۴	A24	۲,۱۸۵۹	۲,۳۸۹۲	۸,۵۰۹۱	۵,۳۱	۸,۹۱۷۴
۲۵	A25	۲,۱۶۳۱	۲,۴۰۷۲	۱۰,۱۴۰۴	۵,۵	۸,۳۴۲۱
۲۶	A26	۲,۱۸۵۸	۲,۴۱۷۲	۹,۵۷۳۰	۴,۹۱	۱۰,۲۶۱
۲۷	A27	۲,۲۰۸۴	۲,۳۷	۶,۸۱۸۵	۵,۷۶	۷,۶۱۴۵
۲۸	A28	۲,۱۹۸۴	۲,۳۶	۶,۸۴۷۴	۵,۷۵	۷,۶۴۱۳
۲۹	A29	۲,۱۶۲۱	۲,۴۱۰۳	۱۰,۲۹۷۵	۴,۹۵	۱۰,۱۱۸۵
۳۰	A30	۲,۱۸۷۵	۲,۴۱۹۶	۹,۵۹۲۴	۴,۹۶	۱۰,۰۸۳

مقایسه آماری

جلوگیری از شروع و گسترش خرابی لایه آسفالتی اجرا شده اقدام کرد.

نتایج حاصل از آزمایشات تعیین درصد فضای خالی مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ با نتایج تعیین درصد فضای خالی مطابق رابطه به دست آمده از پژوهش با هم مقایسه شد که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود اختلاف میان ضریب تغییرات تعیین درصد فضای خالی مطابق استاندارد ASTM ۲۰۴۱ با ضریب تغییرات تعیین درصد فضای خالی مطابق رابطه به دست آمده از پژوهش ۰,۰۳ است که این میزان اختلاف در مقایسه با نسبت فایده استفاده از رادار در تعیین درصد فضای خالی که پروفیل پیوسته‌ای از درصد فضای خالی در طول محور مورد مطالعه ارائه می‌کند، ناچیز است.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Laboratories Central des pontes et Chaussees Wheel Tracker
2. American society for Testing and Materials
3. American Association of State Highway and Transportation Officials

۷- مراجع

- بهبهانی، ح. ایازی، م. شجاعی، م.، (۱۳۹۵)، "ارزیابی آزمایشگاهی حساسیت رطوبتی و پتانسیل شیار شدگی مخلوط‌های آسفالتی نیمه گرم"، مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره سوم، ص. ۴۱۸-۴۰۵.

۵- نتیجه‌گیری

- خاوندی، ع. حیدری، م. و دهقانی، ا.، (۱۳۹۸)، "بررسی اثر افزودنی‌های ضد عریان شدگی و نوع مصالح سنگ دانه‌ای بر مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر آسیب‌های رطوبتی (مطالعه موردی: استان اردبیل)"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال دهم، شماره چهارم، ص. ۸۶۵-۸۵۱.

نتایج این تحقیق به طور خلاصه به این صورت است.

- با مقایسه دی الکتریک اخذ شده از رادار نفوذی زمین با درصد فضای خالی محاسبه شده لایه آسفالتی در نقاط مشترک امکان تعیین دقیق رابطه ریاضی بین این دو پارامتر فراهم می‌شود که در نتیجه آن پروفیل پیوسته‌ای از درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده در کل مسیر مورد مطالعه در کمترین زمان ممکن قابل دسترسی است.

- دیواندری، ح. مدرس، ا. حسینی علی آباد، م. و رستمی، ا.، (۱۳۹۴)، "ارایه مدل شیارشدگی آسفالتی با استفاده از نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم و پارامترهای مارشال"، مهندسی زیرساخت‌های حمل و نقل، سال اول، شماره دوم، ص. ۵۴-۴۱.

- با توجه به اینکه درصد فضای خالی بیش از اندازه در لایه آسفالتی تاثیر مستقیم در کاهش دوام آن دارد با در اختیار داشتن مقادیر درصد فضای خالی به صورت پروفیل پیوسته از محور مورد مطالعه و مقایسه آن با درصد فضای خالی استاندارد می‌توان پتانسیل کاهش دوام در لایه آسفالتی را تشخیص داد.

- دادرس جوان، ف. و طوسی، ا.، (۱۳۹۷)، "مروری بر مبانی رادار نفوذ پذیر در زمین (GPR) و روش‌های مدل‌سازی سه بعدی اجسام مدفون شده در خاک به کمک آنها"، نشریه علمی - ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره دهم، شماره ۱، ص. ۲۸-۱۳.

- با تشخیص پتانسیل کاهش دوام لایه آسفالتی جهت جلوگیری از شروع و گسترش خرابی عریان شدگی که یکی از خرابی‌های بنیادی در لایه آسفالتی اجرا شده می‌باشد می‌توان در اسرع وقت نسبت به انجام اقدامات کنترلی جهت

- زیاری، ح. کی منش، م. و کیانفر، ک.، (۱۳۹۷)، "قابلیت رادار نفوذی زمین در شناخت خرابی ناشی از رطوبت در لایه‌ای مخلوط آسفالتی"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۵۵، ص. ۱۴-۱.

- AASHTO T166 -Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity of Compacted Hot-Mix Mix Asphalt Using Saturated Surface – Dry Specimens.
- ASTM D 2041-03a-Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous paving Mixtures.
- Ballard, G., (1992), "Under the skin, World Highways/Routes du Monde.jan/feb 1992", pp.37-39.
- Bulk Specific Gravity of Compacted Hot-Mix Mix Asphalt Using Saturated Surface – Dry Specimens.
- Chen, D.H., Hong, F., Zhou, W. and Ying, P., (2014), "Estimating the hot mix asphalt air voids from ground penetrating radar", NDT & E., International, 68, pp.120-127.
- Dar-Hao Chen, et al., (2014), "Estimating the Hot mix asphalt air voids from ground Penetrating radar", NDT. & E. International 68, pp.120–127.
- Fwa, T.F., Pasindu, H. R. and Ong, G.P., (2012), "Critical rut depth for pavement maintenance based on vehicle skidding and hydroplaning Consideration", Journal of Transportation Engineering, Vol. 138, No. 4, pp. 423-429.
- Hoegh, K., Khazanovich, L., Dai, S. and Yu, T., (2015), "Evaluating asphalt concrete air void variation via GPR antenna array data", Case Studies in Nondes tructive Testing and Evaluation, 3, pp.27-33.
- Hojat, A., (2014), "Booklet study ground penetrating radar", faculty of mining engineering, University of the Kerman.
- Kandhal, P.S., N.A.P. Association, and N.C.F.A., (1992), "Technology, Moisture susceptibility of HMA mixes: identification of problem and recommended solutions", National Asphalt pavement.
- Loken, M., (2007), "Use of ground penetrating radar to evaluate Minnesota roads".
- Saarenketo, T., van Deusen, D. and Maijala, P., (2000), "Minnesota GPR Project 1998 testing ground penetrating radar technology on innesota roads and highways, In 8th International Conference on Ground Penetrating Radar, International Society for Optics and Photonics, pp. 396-401.
- Saarenketo, T., (2006), "Electrical properties of pavement material".
- Yuejian Cao, et.al, (2008), "Pavement Evaluation Using Ground Penetrating Radar", Department of Civil Engineering University of Minnesota 500.
- شعبانی، ش. کیانفر، ک. محمدی ویژه، م.، (۱۳۹۶)، "تشخیص ارتباط پارامترهای عریان شدگی در عمق آسفالت به کمک روش رادار نفوذی به زمین مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران"، نشریه ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۲، ص.۲۴۳-۲۴۹.
- طاهر خانی، ح. و افروزی، س.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی شیار افتادگی و حساسیت رطوبتی بتن آسفالتی گرم حاوی الیاف نایلونی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال هشتم، شماره چهارم، ص.۵۸۷-۵۶۷.
- طباطبایی، ا.م.، (۱۳۹۶)، "روسازی راه"، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- عربانی، م. بخشی، ب. شیرینی، ب.، (۱۳۹۶)، "ارزیابی نتایج آزمایشگاهی عمق شیارشدگی در مخلوط آسفالت لاستیکی با نتایج مدل‌سازی المان محدود"، مهندسی حمل و نقل، سال هشتم، شماره سوم، ص.۴۵۰-۴۳۵.
- کی‌منش، م. و رشیدیان، پ.، (۱۳۹۹)، "کنترل شیارشدگی لایه آسفالتی با تعیین درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده در محل جهت جلوگیری از بروز خرابی زود هنگام عملکردی آن"، نشریه علمی-تخصصی مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره ۶، شماره ۱، ص.۳۷-۲۱.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۹۰)، "آیین‌نامه روسازی راه‌های آسفالتی ایران"، نشریه شماره ۲۳۴، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل، موسسه قیر و آسفالت ایران، تجدید نظر اول.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۹۲)، "مشخصات فنی عمومی راه نشریه ۱۰۱"، تجدید نظر دوم.

Evaluation Ability Ground Penetration Radar in Recognition Potential Decreasing the Durability of the Applied Asphalt Layer (Case Study: Kerman Province)

*Peyman Rashydian, M.Sc., Grad., Transportation Department,
Faculty of Engineering, Payam Noor University of Kish, Kish, Iran.
Mahmood Reza Keymanesh, Assistant Professor, Transportation Department,
Faculty of Engineering, Payam Noor University of Tehran, Tehran, Iran.
Moslem Zeynalzadeh, Ph.D., Student, Department of Civil Engineering,
Ayatollah Amoly Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.*

E-mail: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

Received: September 2022- Accepted: February 2023

ABSTRACT

One of the influencing factors in failure asphalt layer percentage empty space. For that reason validate benchmark for assessing and evaluating the quality of asphalt in road projects. Coring is the usual method for measuring quality of asphalt layer in the implemented road projects. But the mentioned method is costly and time-consuming and also show the quality of asphalt layer in a specific point. In the present article determine percentage empty space and also detection potential failure of the implemented asphalt layer with using the device GPR (Ground Penetrating Radar) reviewed. In the research firstly a part of Tehran network roads selected as a sample for study then evaluated mechanized with the help device GPR done. In the following taken core samples from locations random and then experiments determine percentage empty space and density done on them. In comparison results destructive experiments with mechanized scrolling transpire by increase percentage empty space in the asphalt layer decreases dielectric. So that by decreasing the percentage of empty space less and equal to 9%, an increase in dielectric constant value of 5 due to non-destructive evaluation observed. So the using output results radar can be obtained continuous profile from status percentage empty space the project study that this profiles obtained make useful in diagnosis potential groove failure implemented asphalt layer.

Keywords: Percentage of Empty Space, Ground Penetration Radar, Wavelength, Frequency, Durability of Asphalt Layer