

مقایسه درصد فضای خالی نمونه‌های مارشال با مغزه‌های گرفته شده از لایه آسفالتی اجرا شده در محل

علمی - پژوهشی

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

محمود رضا کی‌منش*، استادیار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

جلال ایوبی نژاد، استادیار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

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

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۶

صفحه ۲۱۰-۱۹۵

چکیده

در صد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده اثر مهمی بر روی عملکرد بهینه، دوام و پایداری آن دارد. روش معمول برای اندازه‌گیری آن در حال حاضر انجام آزمایش مطابق استاندارد (ASTM D2014) می‌باشد. در این استاندارد محاسبه درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی با وزن مخصوص واقعی نمونه مارشال که در شرایط کاملاً استاندارد آزمایشگاهی تعیین می‌شود مشخص می‌گردد، از آنجایی که در حین انجام عملیات اجرایی نمی‌توان شرایط دقیق آزمایشگاهی را اعمال کرد، در صورت استفاده از وزن مخصوص واقعی نمونه مارشال در تعیین درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی اجرا شده با استفاده از استاندارد (ASTM D2014) نتایج حاصله با نتایج واقعی مقایرت خواهد داشت. در این پژوهش بخشی از شبکه راه های استان کرمان به عنوان قطعه آزمایشی انتخاب سپس تعیین درصد فضای خالی با استفاده از وزن مخصوص نمونه مارشال و وزن مخصوص مغزه اخذ شده از محور انجام و اختلاف درصد فضای خالی بین نمونه‌های متناظر بدست می‌آید. با مقایسه نتایج و تحلیل آنها با توجه به یکسان بودن مخلوط آسفالتی در هر دو روش اندازه‌گیری درصد فضای خالی مشخص گردید، در صورت استفاده از وزن مخصوص مغزه اخذ شده از لایه آسفالتی در محاسبه مقدار درصد فضای خالی نتیجه آن (۳٫۸ تا ۳۲٫۸) درصد بیشتر از درصد فضای خالی محاسبه شده با استفاده از وزن مخصوص نمونه مارشال است. بنابراین در صورت استفاده از درصد فضای خالی نمونه مارشال در تعیین پارامترهای لایه آسفالتی به علت متفاوت بودن شرایط دمایی و تراکم آزمایشگاهی و اجرایی نتایجی غیر از واقعیت حاصل خواهد شد. با توجه به نتایج این پژوهش بهتر است از وزن مخصوص مغزه اخذ شده لایه آسفالتی اجرا شده در تعیین درصد فضای خالی استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: درصد فضای خالی، دانسیته، لایه آسفالتی، وزن مخصوص مغزه اخذ شده، وزن مخصوص نمونه

مارشال

۱- مقدمه

جریان پلاستیک، افزایش مقاومت و کاهش شکنندگی آن و نیز درصد فضای خالی کم جهت جلوگیری از نفوذ آب وهوا است. درصد فضای خالی زیاد در لایه‌های آسفالتی به آب اجازه می‌دهد در این حفره‌ها حرکت نماید. اکثر طرح

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 بروزشمار شدگی ناشی از

رگرسیون چند جمله‌ای تکاملی [Ganizadeh and Heidarabadizadeh and Zeaey 2021] محاسبه مدول دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی که توسط سخایی فر و همکاران توسعه یافته، مدول دینامیکی رابطه عکس با میزان فضای خالی دارد به طوری که با افزایش میزان فضای خالی مدول دینامیکی کاهش می‌یابد.

[Sakhaeifar, kim and kabir, 2015] 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 بی‌تأثیر 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 غیربهبه‌ی قرار دارد و مخلوط آسفالتی از لحاظ آسیب رطوبتی در بحرانی‌ترین وضعیت قرار خواهد گرفت.

[Kavande and Heidary and Dehghani 2019] استفاده از معیارهای حجمی در ارزیابی و طراحی روسازی بتن آسفالتی را نخستین بار در دهه ۵۰ میلادی مک لود کانادایی مطرح کرد. وی برای بار نخست معیار حداقل فضای خالی مصالح سنگی را در طراحی مخلوط‌های آسفالتی در قشر رویه را پیشنهاد داد، با این فرض که فضای خالی مصالح سنگی نقش موثر و کنترل کننده بر رفتار بتن آسفالتی دارد و رفتار آن را در اختیار می‌گیرد [McLeod, 1956]. وی پیشنهاد داد که بر اساس روابط حجمی باید حداقل فضای خالی مصالح سنگی ۱۵ درصد، حجم فضای خالی مخلوط آسفالتی (۵-۳) درصد، حجم پر شده با قیر (۸۵-۷۵) درصد، باشد. او در کامل کردن نظریه خود، فضای خالی مصالح سنگی را متناسب با بیشترین اندازه اسمی دانه‌ها دانست به طوری که در مصالح ریز دانه، فضای خالی مصالح سنگی از ۱۵ درصد بیشتر و در مصالح درشت دانه از ۱۵ درصد کمتر است [Smith and Hesp, 2002]. امروزه برای اندازه‌گیری درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده مطابق استاندارد (ASTM D2014) از وزن مخصوص نمونه مارشال استفاده می‌گردد. از آنجاییکه مطابق نتایج پژوهش حاضر معلوم شد. نتیجه درصد فضای خالی اندازه‌گیری شده

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 هستند. 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]. اگر در طول فرایند ساخت، کنترل تراکم به خوبی انجام نگیرد، درصد فضای خالی زیاد به می‌آید. ۲ تا ۳ سال، بر اثر تراکم ناشی دست از ترافیک در صد فضای خالی مورد نظر شکل می‌گیرد [Shabane and kyanfar and Mohamadyvezhe, 2017]. تحکیم لایه آسفالتی در اثر فضای خالی بیش از اندازه در اوایل عمر روسازی رخ می‌دهد [Pardhan, 1995]. بنابراین، اندازه‌گیری صحیح درصد فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی برای کنترل و تضمین کیفیت، تشخیص پتانسیل و کنترل خرابی لایه‌های آسفالتی اجرا شده ضروری است.

از جمله خرابی‌هایی که افزایش درصد فضای خالی لایه آسفالتی در ایجاد آنها موثر است، شیار شدگی، حساسیت رطوبتی و ... می‌باشد [Amery.etal, 2015].

امروزه افزایش وسعت و شدت تغییر شکل‌های دائم که یکی از علت‌های آن درصد فضای خالی بیش از اندازه مخلوط آسفالتی است در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی را در ارتباط با اثر این نوع خرابی بر عملکرد روسازی‌های آسفالتی به وجود آورده است. این نوع خرابی قابلیت بهره برداری را کاهش داده و خطر تائیرات رطوبت و یخ زدگی را به علت تجمع آب در شیار جای چرخ، افزایش می‌دهد [Fwa and Pasindu and Ong, 2012].

بعلاوه، این پدیده سبب ایجاد قیرزدگی نیز می‌شود که طی آن قیر به سطح روسازی آمده و با کاهش اصطکاک، بستر مناسبی برای بروز حوادث رانندگی را مهیا می‌سازد.

[Divandari.etal, 2015] از بین رفتن چسبندگی قیر به علت نرم شدگی قیر پرکننده‌ای 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]. درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی پارامتری است که در تعیین برخی از مشخصات مهم روسازی آسفالتی کاربرد دارد از جمله مدل سازی عدد جریان مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از روش

نمونه‌های اخذ شده در هنگام اجرای لایه آسفالتی و انجام آزمایش‌های تعیین دانسیته و درصد فضای خالی بر روی مغزه‌های اخذ شده از محور و از همان محل‌هایی که نمونه‌گیری در حین اجرای عملیات صورت گرفته و با مقایسه فنی و آماری بین نتایج حاصل از آزمایشات در دو حالت فوق‌الذکر شناخت مسئله صورت پذیرد.

۲-۱- انتخاب محور های مورد مطالعه

بخشی از سه محور منتهی به شهر کرمان در استان کرمان برای انجام آزمایش‌های میدانی در این پژوهش انتخاب شده است. جدول شماره ۱ مشخصات محورها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات محور مورد ارزیابی

نام محور	طول محور	مشخصات محور
مسیر برگشت بم - کرمان قطعه ۳	۲۲ کیلومتر	دارای ۲ خط عبور اصلی درجه ۱
مسیر رفت کرمان - بافت قطعه ۱ الف	۲۲ کیلومتر	دارای ۲ خط عبور اصلی درجه ۱
مسیر رفت کرمان - بافت قطعه ۱ الف	۲۲ کیلومتر	دارای ۲ خط عبور اصلی درجه ۱

۲- روش تحقیق

هدف کلی از این پژوهش تعیین درصد فضای خالی واقعی لایه آسفالتی اجرا شده می‌باشد. در این پژوهش سعی بر آن است تا با تکیه بر نتایج به دست آمده از انجام آزمایش‌های تعیین دانسیته و درصد فضای خالی برای

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در این پژوهش، از نوع آزمایشگاهی و میدانی می‌باشد. ابتدا از محل‌هایی به طور تصادفی در حین اجرای عملیات لایه آسفالتی اقدام به نمونه‌گیری شده و بر روی نمونه‌های اخذ شده آزمایش‌های تعیین دانسیته و درصد فضای خالی مطابق روش‌های استاندارد [AASHTO T166] و [ASTM D2014] صورت گرفته است.

سپس بعد از اتمام عملیات اجرایی از همان محل‌هایی که نمونه‌گیری جهت انجام آزمایش‌ها صورت گرفته اقدام به مغزه‌گیری شده و بر روی این مغزه‌ها نیز آزمایش‌های تعیین دانسیته و درصد فضای خالی مطابق استانداردهای فوق‌الذکر انجام گرفته است.

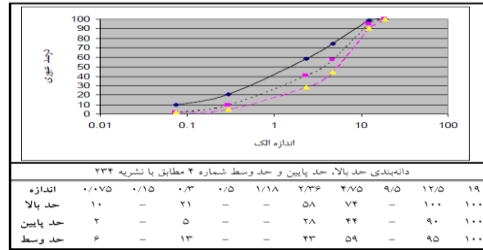
۲-۲-۱- انجام آزمایش‌های مکانیکی

۲-۲-۲- آزمایش‌های قیر

قیر انتخابی برای این تحقیق از نوع ۶۰-۷۰ بوده و کلیه الزامات استاندارد را براساس آیین نامه ایران (جدول ۱-۱۴-۱ نشریه ۱۰۱) تامین کرده است. جدول ۲، مشخصات قیر مصرفی در پژوهش را نشان می‌دهد.

۲-۲-۳- دانه بندی مصالح سنگی

از میان دانه بندی‌های مختلف پیشنهادی نشریه ۲۳۴ (آئین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، ۱۳۹۰) به عنوان مرجع اصلی طرح روسازی‌های آسفالتی در ایران، حد وسط دانه بندی شماره ۴، برای ساخت مخلوط آسفالتی در این تحقیق انتخاب گردید. منحنی حد وسط دانه‌بندی شماره ۴، به همراه حدود بالا و پایین در شکل ۱، و نتایج آزمایش‌های انجام شده در خصوص مصالح سنگی در جدول ۳، ارائه شده است.



شکل ۱. منحنی حد وسط دانه‌بندی پیوسته شماره ۴

(آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، ۱۳۹۰)

۲-۲-۴- تعیین درصد قیر بهینه

متصل می‌گردد تا هوای موجود در بین ذرات آسفالت خارج شود. در نهایت، با خارج شدن تمامی هوای بین ذرات مخلوط، ارلن از دستگاه جدا و تا خط نشانه پر از آب شده و وزن آن اندازه‌گیری می‌شود. سپس با کمک رابطه ۱ وزن مخصوص ماکزیمم مخلوط آسفالتی به دست می‌آید.

$$G_{mm} = \frac{A}{B+D-E} \quad (1)$$

که در آن، G_{mm} وزن مخصوص ماکزیمم، A وزن نمونه خشک در هوا (گرم) (حدود ۱۲۰ گرم)، D وزن ارلن پر از آب به (گرم) و E وزن ارلن حاوی نمونه آسفالتی و پر از آب (گرم)، می‌باشد. که مقدار اندازه‌گیری شده برای چگالی ماکزیمم مخلوط آسفالتی در این پژوهش برای محور ۱ و محور ۲ و محور ۳ به ترتیب ۲،۵۱۷، ۲،۴۷۹ و ۲،۴۷۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

۲-۲-۶- تعیین دانسیته واقعی مخلوط آسفالتی

روش آزمایش مطابق استاندارد [AASHTO. T166]

می‌باشد و دانسیته واقعی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$G_{mb} = \frac{W_a}{w_a - w_w} \quad (2)$$

در این رابطه W_a وزن نمونه‌ها در هوا، w_w وزن نمونه در آب و G_{mb} وزن مخصوص واقعی آسفالت می‌باشد. شکل شماره ۲، توزین نمونه‌های آسفالتی در هوا و آب را نشان می‌دهد.

مقدار درصد قیر بهینه مخلوط آسفالتی مطابق پیشنهادات نشریه MS-2 انستیتو آسفالت، با توجه به درصد قیر نظیر فضای خالی (۳-۶) در محور ۱ و محور ۲ و محور ۳ به ترتیب ۴/۶، ۴/۴، ۴/۳ درصد نسبت به وزن مخلوط آسفالت انتخاب گردید. شایان ذکر است که سایر پارامترهای مخلوط آسفالتی: پایداری مارشال، روانی مارشال، درصد فضای خالی، درصد فضای خالی پر شده با قیر، به ازای درصد قیر بهینه انتخابی تعیین و مقادیر آنها با معیار طرح اختلاط به روش مارشال مقایسه گردید، که نتایج آزمایش‌های ذکر شده در جدول ۲، ارایه شده است. همانگونه که از نتایج آزمایش‌ها در جدول ۲ مشهود است مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در محدوده مجاز می‌باشند. بنابراین انتخاب قیر بهینه ۴/۶، ۴/۴، ۴/۳ در هریک از آزمایش‌ها نسبت به وزن مخلوط آسفالت بلامانع خواهد بود.

۲-۲-۵- تعیین دانسیته حداکثر نظری مخلوط آسفالتی

برای تعیین دانسیته حد اکثر نظری حدود ۱۲۰ گرم از مخلوط آسفالتی انتخاب شده و داخل ارلنی که وزن خشک و پرآب آن بدست آمده، ریخته می‌شود، در ادامه حدود یک سوم حجم ارلن حاوی نمونه آسفالت از آب پر شده و پس از بسته شدن درب آن به دستگاه خلاء



شکل ۲. توزین نمونه‌های آسفالتی در هوا و آب

۲-۷- تعیین درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی

مغزه آسفالتی است. جهت شناخت مسئله، محاسبه درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی مطابق فرمول بالا ابتدا با G_{mb} نمونه مارشال و سپس با G_{mb} مغزه اخذ شده از محور اندازه‌گیری می‌شود که نتایج آن در جدول شماره ۶ آورده شده است.

روش انجام آزمایش مطابق استاندارد [ASTM D2014] می‌باشد و درصد فضای خالی از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$A.V = 100 * \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \quad (3)$$

در این رابطه G_{mb} چگالی واقعی بتن آسفالتی، G_{mm} چگالی ماگزیمم بتن آسفالتی و $A.V$ درصد فضای خالی

جدول ۲. نتایج آزمایش های قیر

مشخصه	نتایج آزمایش ۱	نتایج آزمایش ۲	نتایج آزمایش ۳	حدود آئین نامه
طبقه بندی ترافیک	سنگین	سنگین	سنگین	-
تراکم، تعداد ضربات به هر سمت	۷۵	۷۵	۷۵	-
مقاومت مخلوط بر حسب کیلوگرم	۱۳۴۰	۱۱۵۰	۱۲۰۰	حداقل ۸۰۰
روانی برحسب میلی متر	۲,۶	۲,۹	۲,۶	۲-۳/۵
درصد فضای خالی	۴,۱	۵	۴,۵	۳-۶
درصد فضای خالی پر شده با قیر	۶۸	۶۵	۶۶	۶۰-۷۵

جدول ۳. نتایج آزمایش های مرغوبیت مصالح سنگی

مشخصه	استاندارد آزمایش	نتایج آزمایش ۱ درشت دانه ماسه ۶-۰	نتایج آزمایش ۲ درشت دانه ماسه ۶-۰	نتایج آزمایش ۳ درشت دانه ماسه ۶-۰	حدود آئین نامه
ارزش ماسه ای	ASHTO - ۳A T176	۶۹	۶۰	۶۲	حداقل ۵۰
درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس آنجلس	AASHTO - T96	۲۲	۲۳	۲۲	حداکثر ۲۵
درصد تورق	BS - 812	۱۲	۱۰	۹	حداکثر ۱۵
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	AASHTO - T104	۱	۲	۲	۸-۱۲

جدول ۴. شرایط مقاومت، روانی، فضای خالی و درصد فضای خالی پر شده با قیر برای طرح مخلوط آسفالتی به روش مارشال

مشخصه	استاندارد آزمایش	نتایج آزمایش ۱	نتایج آزمایش ۲	نتایج آزمایش ۳	حدود آئین نامه
وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی گراد (gr/cm ³)	ASTM-D70	۱/۰۱۷	۱/۰۱۷	۱/۰۱۷	۱/۰۱-۱/۰۶
درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی گراد	ASTM-D5	۶۴	۶۴	۶۴	۶۰-۷۰
نقطه نرمی برحسب درجه سانتی گراد	ASTM-D36	۵۰/۵	۵۱	۵۱	۴۹-۵۶
مقدار کشش در ۲۵ درجه سانتی گراد، برحسب سانتی متر	ASTM-D113	+۱۰۰	+۱۰۰	+۱۰۰	حداقل +۱۰۰
کندروانی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد (سانتی استوکس)	ASTM-D2170	۶۱۹	۵۹۵	۶۱۰	-
کندروانی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد (سانتی استوکس)	ASTM-D2170	۳۲۶	۳۲۱	۳۲۳	۳۰۰
کندروانی در دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد (سانتی استوکس)	ASTM-D2170	۱۳۲	۱۳۴	۱۳۲	-
دمای تکمیل تراکم نمونه مارشال حسب درجه سانتی گراد		۱۳۶	۱۳۴	۱۳۴	-

۲-۸- آزمایش دما در زمان تکمیل تراکم

شود. در این پژوهش دمای مخلوط آسفالتی بعد از تکمیل غلطک زنی نهایی اندازه‌گیری شد و نتایج آن در جدول شماره ۷ ارایه شده است.

برای ارزیابی تراکم پذیری مخلوط آسفالتی عامل اصلی و تعیین‌کننده دمای مخلوط است [Aboutalebi and Gole khoraseghane and Jamaloe,2018] بدین جهت دمایی که تراکم در آن صورت می‌گیرد باید مشخص

جدول ۵. مقادیر وزن مخصوص واقعی نمونه مارشال و مغزه اخذ شده از آسفالت اجرا شده

ردیف	شماره نمونه	وزن مخصوص نمونه مارشال (gr/cm ³)			وزن مخصوص آسفالت اجرا شده (gr/cm ³)		
		محور ۱	محور ۲	محور ۳	محور ۱	محور ۲	محور ۳
۱	A۱	۲,۳۴۸	۲,۴۰۷	۲,۳۳۳	۲,۳۷	۲,۳۲	۲,۲۸۱
۲	A۲	۲,۳۴۶	۲,۳۹۹	۲,۳۳۴	۲,۳۰۳	۲,۳۰۱	۲,۲۶۹
۳	A۳	۲,۳۴۳	۲,۳۸۰	۲,۳۳۴	۲,۲۶۸	۲,۳۲۰	۲,۲۵۴
۴	A۴	۲,۳۴۲	۲,۳۸۳	۲,۳۳۹	۲,۲۷۹	۲,۲۹۲	۲,۲۶۱
۵	A۵	۲,۳۴۲	۲,۳۷۸	۲,۳۳۴	۲,۲۸۱	۲,۲۶۸	۲,۲۶
۶	A۶	۲,۳۴۴	۲,۳۸۲	۲,۳۳۳	۲,۲۸۷	۲,۳۳۷	۲,۲۵۵
۷	A۷	۲,۳۵۶	۲,۳۸۱	۲,۳۳۱	۲,۲۶۴	۲,۲۹۰	۲,۲۶۳
۸	A۸	۲,۳۴۲	۲,۳۸۴	۲,۳۳۲	۲,۲۹	۲,۲۷۷	۲,۲۶۲
۹	A۹	۲,۳۴۳	۲,۳۹۰	۲,۳۳۸	۲,۲۶۶	۲,۲۷۱	۲,۲۵۱
۱۰	A۱۰	۲,۳۴۲	۲,۳۸۸	۲,۳۳۳	۲,۲۷	۲,۳۰۲	۲,۲۷۱
۱۱	A۱۱	۲,۳۴۴	۲,۴۰۵	۲,۳۳۲	۲,۲۶۶	۲,۳۰	۲,۲۵۳
۱۲	A۱۲	۲,۳۴۴	۲,۳۹۰	۲,۳۳۳	۲,۲۷۶	۲,۲۹۲	۲,۲۸۱
۱۳	A۱۳	۲,۳۴۱	۲,۳۹	۲,۳۴۱	۲,۲۸۰	۲,۲۷	۲,۲۶۲
۱۴	A۱۴	۲,۳۴۵	۲,۳۸	۲,۳۴۲	۲,۲۹۳	۲,۲۶۹	۲,۲۹۱
۱۵	A۱۵	۲,۳۵۲	۲,۳۸	۲,۳۴۱	۲,۲۸۹	۲,۲۶۶	۲,۲۸۱
۱۶	A۱۶	۲,۳۴۰	۲,۳۸۸	۲,۳۴۲	۲,۲۶۰	۲,۳۰۲	۲,۲۷۱
۱۷	A۱۷	۲,۳۴۱	۲,۳۸۴	۲,۳۴۲	۲,۲۶۰	۲,۲۸۶	۲,۲۶۸
۱۸	A۱۸	۲,۳۴۲	۲,۳۹۴	۲,۳۴۳	۲,۲۷۱	۲,۲۸۰	۲,۲۸۸
۱۹	A۱۹	۲,۳۴۲	۲,۳۸۳	۲,۳۴۱	۲,۲۹۵	۲,۲۷۵	۲,۲۶۱
۲۰	A۲۰	۲,۳۴۰	۲,۳۸۰	۲,۳۳۹	۲,۲۷	۲,۲۶۸	۲,۲۵۹
۲۱	A۲۱	۲,۳۴۳	۲,۳۸۵	۲,۳۳۸	۲,۲۸۱	۲,۲۸۳	۲,۲۸
۲۲	A۲۲	۲,۳۴۳	۲,۳۸۰	۲,۳۳۷	۲,۲۷	۲,۳۳۵	۲,۲۹۲
۲۳	A۲۳	۲,۳۴۳	۲,۳۸۱	۲,۳۳۸	۲,۲۶۳	۲,۲۹	۲,۲۵۱
۲۴	A۲۴	۲,۳۴۱	۲,۳۸۳	۲,۳۳۹	۲,۲۶۳	۲,۲۶۷	۲,۲۷۷
۲۵	A۲۵	۲,۳۴۲	۲,۳۷۱	۲,۳۴	۲,۲۶۲	۲,۲۶۶	۲,۲۵۵
۲۶	A۲۶	۲,۳۴۳	۲,۳۸۷	۲,۳۴۱	۲,۲۷۰	۲,۳۰۱	۲,۲۶۴
۲۷	A۲۷	۲,۳۴۱	۲,۳۸۰	۲,۳۴۲	۲,۲۶۲	۲,۲۸۲	۲,۲۵۸
۲۸	A۲۸	۲,۳۴۰	۲,۳۹۰	۲,۳۴۱	۲,۲۶۳	۲,۲۷۶	۲,۲۶۳
۲۹	A۲۹	۲,۳۴۰	۲,۳۸۲	۲,۳۴۲	۲,۲۶۲	۲,۲۷۰	۲,۲۷۴
۳۰	A۳۰	۲,۳۴۳	۲,۳۸۱	۲,۳۴۳	۲,۲۸۱	۲,۲۶۹	۲,۲۶۶

جدول ۶. مقادیر درصد فضای خالی با استفاده از دانسیته نمونه مارشال و دانسیته آسفالت اجرا شده

ردیف	شماره نمونه	درصد فضای خالی محاسبه شده توسط دانسیته مارشال			درصد فضای خالی محاسبه شده توسط دانسیته آسفالت اجرا شده		
		محور ۱	محور ۲	محور ۳	محور ۱	محور ۲	محور ۳
۱	A1	۴,۷۴۶	۴,۳۷	۵,۵۰۸	۷,۹۱۱	۷,۸۲۷	۷,۶۱۴
۲	A2	۴,۸۲۷	۴,۶۸۸	۵,۴۶۸	۶,۵۲۷	۸,۵۸۲	۸,۱۰۰
۳	A3	۴,۹۴۹	۵,۴۴۳	۵,۴۶۸	۷,۹۹	۷,۸۲۷	۸,۷۰۸
۴	A4	۴,۹۸۹	۵,۳۲۴	۵,۲۶۵	۷,۵۴۶	۸,۹۳۹	۸,۴۲۴
۵	A5	۴,۹۸۹	۵,۵۲۲	۵,۴۶۸	۷,۴۶۴	۹,۸۹۳	۸,۴۶۵
۶	A6	۴,۹۰۸	۵,۳۶۴	۵,۵۰۸	۷,۲۲۱	۷,۱۵۱	۸,۶۶۷
۷	A7	۴,۴۲۲	۵,۴۰۳	۵,۵۸۹	۸,۱۵۴	۹,۰۹۱	۸,۳۴۳
۸	A8	۴,۹۸۹	۵,۲۸۴	۵,۵۴۹	۷,۰۹۹	۹,۵۳۵	۸,۳۸۴
۹	A9	۴,۹۴۹	۵,۰۴۶	۵,۳۰۶	۸,۰۷۳	۹,۷۷۴	۸,۸۲۹
۱۰	A10	۴,۹۸۹	۵,۱۲۵	۵,۵۰۸	۷,۹۱	۸,۵۴۲	۸,۰۱۹
۱۱	A11	۴,۹۰۸	۴,۴۵۰	۵,۵۴۹	۸,۰۷۳	۸,۶۲۱	۸,۷۴۸
۱۲	A12	۴,۹۰۸	۵,۰۴۶	۵,۵۰۸	۷,۶۶۷	۸,۹۳۹	۷,۶۱۴
۱۳	A13	۵,۰۳	۵,۰۴۶	۵,۱۸۴	۷,۵۰۵	۹,۸۱۳	۸,۳۸۴
۱۴	A14	۴,۸۶۸	۵,۴۴۳	۵,۱۴۴	۶,۹۷۷	۹,۸۵۳	۷,۲۰۹
۱۵	A15	۴,۵۸۴	۵,۴۴۳	۵,۱۸۴	۷,۱۴۰	۹,۹۷۲	۷,۶۱۴
۱۶	A16	۵,۰۷	۵,۱۲۵	۵,۱۴۴	۸,۳۱۶	۸,۵۴۲	۸,۰۱۹
۱۷	A17	۵,۰۳	۵,۲۸۴	۵,۱۴۴	۸,۳۱۶	۹,۱۷۸	۸,۱۴۱
۱۸	A18	۴,۹۸۹	۴,۸۸۴	۵,۱۰۳	۷,۸۷۰	۹,۴۱۶	۷,۳۳۱
۱۹	A19	۴,۹۸۹	۵,۳۲۴	۵,۱۸۴	۶,۸۹۶	۹,۶۱۵	۸,۴۲۴
۲۰	A20	۵,۰۷	۵,۴۴۳	۵,۲۶۵	۷,۹۱۰	۹,۸۹۳	۸,۵۰۵
۲۱	A21	۴,۹۴۹	۵,۲۴۴	۵,۳۰۶	۷,۴۶۴	۹,۲۹۷	۷,۶۵۵
۲۲	A22	۴,۹۴۹	۵,۴۴۳	۵,۳۴۶	۷,۹۱۰	۷,۲۳۱	۷,۱۶۹
۲۳	A23	۴,۹۴۹	۵,۴۰۳	۵,۳۰۶	۸,۱۹۴	۹,۰۱۱۹	۸,۸۲۹
۲۴	A24	۵,۰۳	۵,۳۲۴	۵,۲۶۵	۸,۱۹۴	۹,۹۳۲	۷,۷۷۶
۲۵	A25	۴,۹۸۹	۵,۸۰۱	۵,۲۲۵	۸,۲۳۵	۹,۹۷۲	۸,۶۶۷
۲۶	A26	۴,۹۴۹	۵,۱۶۵	۵,۱۸۴	۷,۹۱۰	۸,۵۸۲	۸,۳۰۳
۲۷	A27	۵,۰۳	۵,۴۴۳	۵,۱۴۴	۸,۲۳۵	۹,۳۳۷	۸,۵۴۶
۲۸	A28	۵,۰۷	۵,۰۴۶	۵,۱۸۴	۸,۱۹۴	۹,۵۷۵	۸,۳۴۳
۲۹	A29	۵,۰۷	۵,۳۶۴	۵,۱۴۴	۸,۲۳۵	۹,۸۱۳	۷,۸۹۸
۳۰	A30	۴,۹۴۹	۵,۴۰۳	۵,۱۰۳	۷,۴۶۴	۹,۸۵۳	۸,۲۲۲

جدول ۷. مقادیر دمای تکمیل تراکم مخلوط آسفالتی حین اجرا

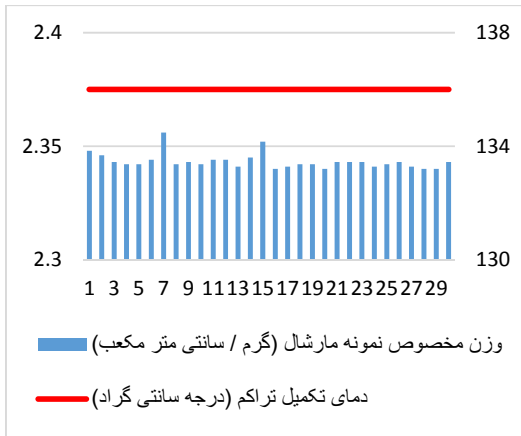
ردیف	شماره نمونه	دمای تکمیل تراکم (درجه سانتی‌گراد)		
		محور ۱	محور ۲	محور ۳
۱	A۱	۱۱۴	۱۱۹	۱۱۷
۲	A۲	۱۲۶	۱۱۲	۱۱۳
۳	A۳	۱۱۳	۱۱۹	۱۰۸
۴	A۴	۱۱۷	۱۰۹	۱۱۰
۵	A۵	۱۱۸	۱۰۰	۱۱۰
۶	A۶	۱۲۰	۱۲۵	۱۰۸
۷	A۷	۱۱۱	۱۰۸	۱۱۱
۸	A۸	۱۲۱	۱۰۴	۱۱۱
۹	A۹	۱۱۲	۱۰۱	۱۰۷
۱۰	A۱۰	۱۱۴	۱۱۳	۱۱۴
۱۱	A۱۱	۱۱۲	۱۱۲	۱۰۷
۱۲	A۱۲	۱۱۶	۱۰۹	۱۱۷
۱۳	A۱۳	۱۱۷	۱۰۱	۱۱۱
۱۴	A۱۴	۱۲۲	۱۰۱	۱۲۱
۱۵	A۱۵	۱۲۱	۱۰۰	۱۱۷
۱۶	A۱۶	۱۱۰	۱۱۳	۱۱۴
۱۷	A۱۷	۱۱۰	۱۰۷	۱۱۳
۱۸	A۱۸	۱۱۴	۱۰۵	۱۲۰
۱۹	A۱۹	۱۲۳	۱۰۳	۱۱۰
۲۰	A۲۰	۱۱۴	۱۰۰	۱۰۹
۲۱	A۲۱	۱۱۸	۱۰۶	۱۱۷
۲۲	A۲۲	۱۱۴	۱۲۴	۱۲۱
۲۳	A۲۳	۱۱۱	۱۰۸	۱۰۷
۲۴	A۲۴	۱۱۱	۱۰۰	۱۱۶
۲۵	A۲۵	۱۱۱	۱۰۰	۱۰۸
۲۶	A۲۶	۱۱۴	۱۱۲	۱۱۱
۲۷	A۲۷	۱۱۱	۱۰۵	۱۰۹
۲۸	A۲۸	۱۱۱	۱۰۳	۱۱۱
۲۹	A۲۹	۱۱۱	۱۰۱	۱۱۵
۳۰	A۳۰	۱۱۸	۱۰۱	۱۱۲

۳- تحلیل و بررسی نتایج

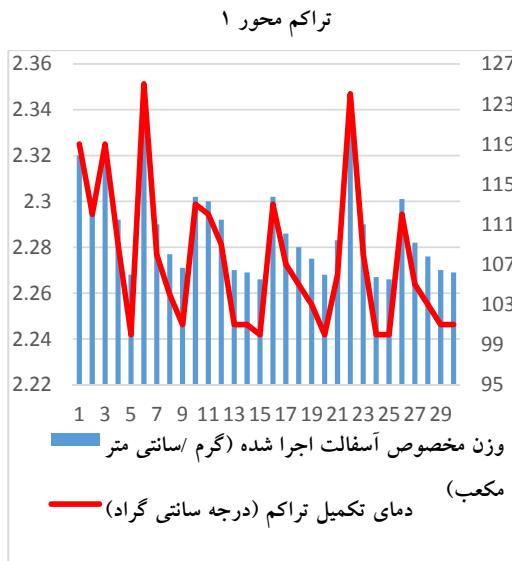
اهمیت چگالی و درصد فضای خالی در مخلوط‌های آسفالتی اجرا شده و همچنین لزوم معرفی روش دقیق که بتواند درصد فضای خالی واقعی مخلوط آسفالتی اجرا شده را که معیاری برای کنترل و تضمین کیفیت لایه آسفالتی اجرا شده است، نشان دهنده چرایی این موضوع تحقیق می‌باشد.

۳-۱- مقایسه آزمایش تعیین وزن مخصوص نمونه مارشال و مغزه اخذ شده از محور آزمایش در دمای تکمیل تراکم

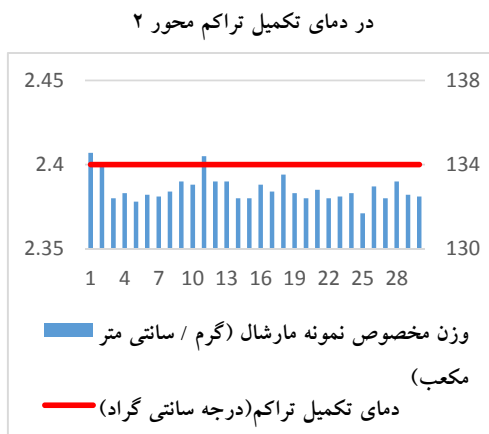
نتایج آزمون‌های وزن مخصوص نمونه مارشال و وزن مخصوص آسفالت اجرا شده، در دمای تکمیل تراکم مطابق نمودارهای شکل ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ ارائه شده است همانطور که در این اشکال مشهود است نمودار وزن مخصوص نمونه مارشال دارای یکنواختی بیشتری نسبت به نمودارهای وزن مخصوص آسفالت اجرا شده هستند. با توجه به اینکه آزمون‌های انجام شده در سه مخلوط آسفالتی متفاوت صورت گرفته است و در هر سه مخلوط آسفالتی نتایج آزمون‌های وزن مخصوص نمونه مارشال دارای یکنواختی بیشتری نسبت به نتایج آزمون‌های آسفالت اجرا شده می‌باشند.



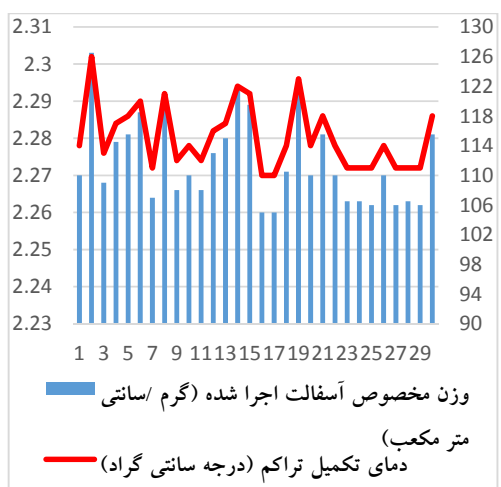
شکل ۴. نمودار وزن مخصوص نمونه مارشال در دمای تکمیل



شکل ۵. نمودار وزن مخصوص مغزه اخذ شده آسفالت اجرا



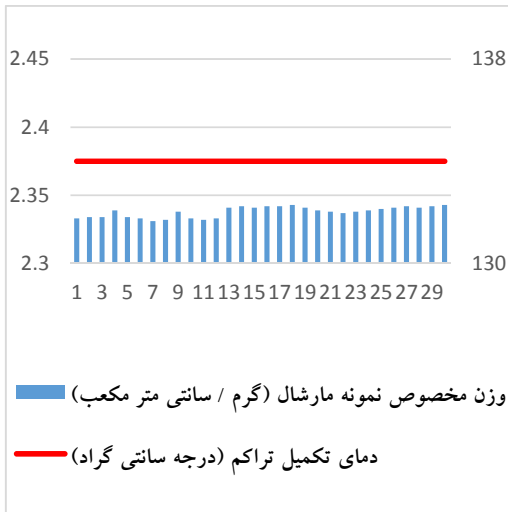
شکل ۶. نمودار وزن مخصوص نمونه مارشال در دمای تکمیل



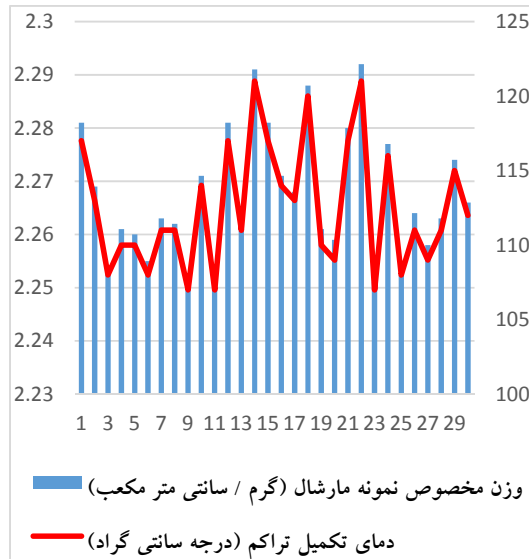
شکل ۳. نمودار وزن مخصوص مغزه اخذ شده آسفالت اجرا

تراکم محور ۲

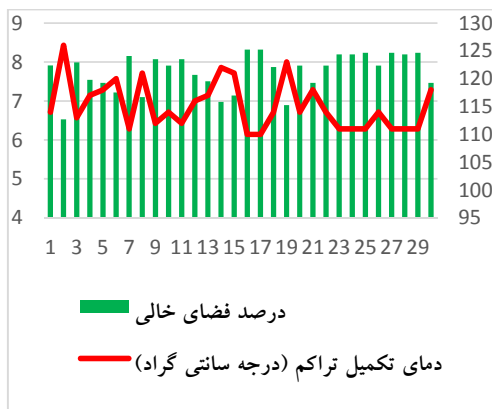
در دمای تکمیل تراکم محور ۱



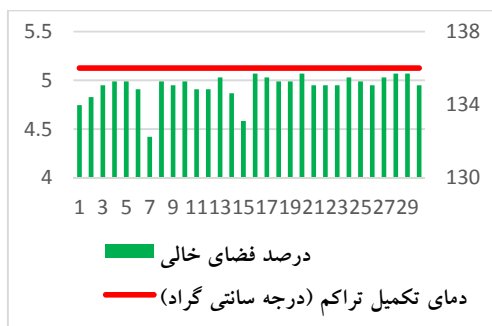
شکل ۸. نمودار وزن مخصوص نمونه مارشال در دمای تکمیل تراکم محور ۳



شکل ۷. نمودار وزن مخصوص مغزه اخذ شده آسفالت اجرا در دمای تکمیل تراکم محور ۳



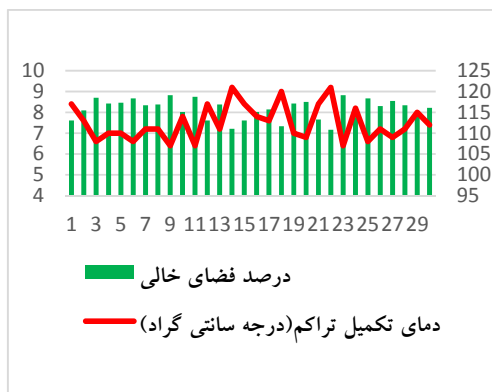
شکل ۹. نمودار درصد فضای خالی آسفالت اجرا شده در دمای تکمیل تراکم محور ۱



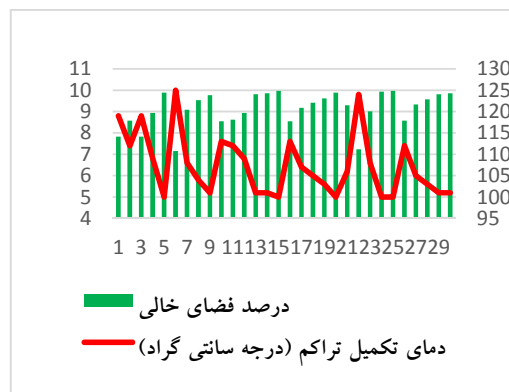
شکل ۱۰. نمودار درصد فضای خالی نمونه مارشال در دمای تکمیل تراکم محور ۱

۲-۳- مقایسه آزمایش تعیین درصد فضای خالی نمونه مارشال و مغزه اخذ شده از محور آزمایش در دمای تکمیل تراکم

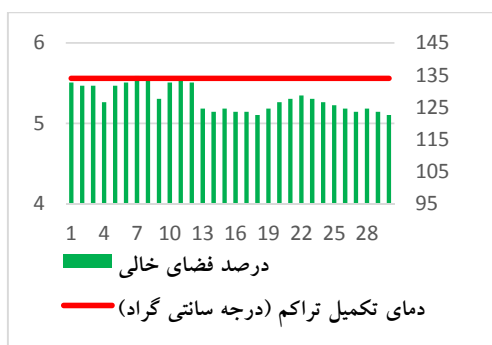
نتایج آزمون های درصد فضای خالی محاسبه شده با وزن مخصوص نمونه مارشال و وزن مخصوص آسفالت اجرا شده در دمای تکمیل تراکم مطابق نمودارهای شکل ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ ارایه شده است همانطور که از نتایج آزمایش درصد فضای خالی در دمای تکمیل تراکم قابل مشاهده است. نمودار درصد فضای خالی محاسبه شده با وزن مخصوص نمونه مارشال دارای یکنواختی بیشتری نسبت به نمودار درصد فضای خالی محاسبه شده با وزن مخصوص آسفالت اجرا شده هستند. با توجه به اینکه آزمون های انجام شده در سه مخلوط آسفالتی متفاوت صورت گرفته است و در هر سه مخلوط آسفالتی نتایج آزمون های درصد فضای خالی با وزن مخصوص نمونه مارشال دارای یکنواختی بیشتری نسبت به نتایج آزمون های آسفالت اجرا شده می باشند، علت این امر را می توان عدم یکنواختی در دمای تکمیل تراکم آسفالت اجرا شده نام برد.



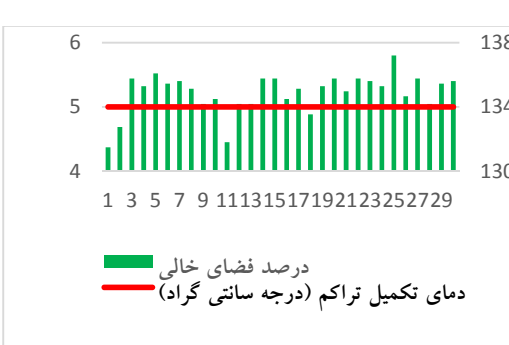
شکل ۱۳. نمودار درصد فضای خالی آسفالت اجرا شده در دمای تکمیل تراکم ۳ محور ۳



شکل ۱۱. نمودار درصد فضای خالی آسفالت اجرا شده در دمای تکمیل تراکم ۲ محور ۲



شکل ۱۴. نمودار درصد فضای خالی نمونه مارشال در دمای تکمیل تراکم ۳ محور ۳

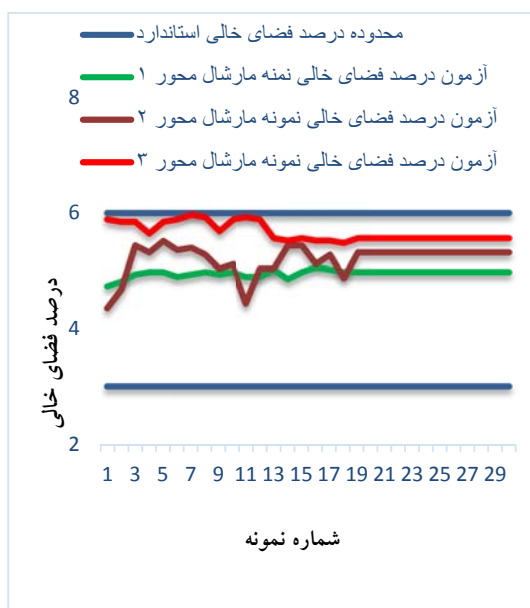


شکل ۱۲. نمودار درصد فضای خالی نمونه مارشال در دمای تکمیل تراکم ۲ محور ۲

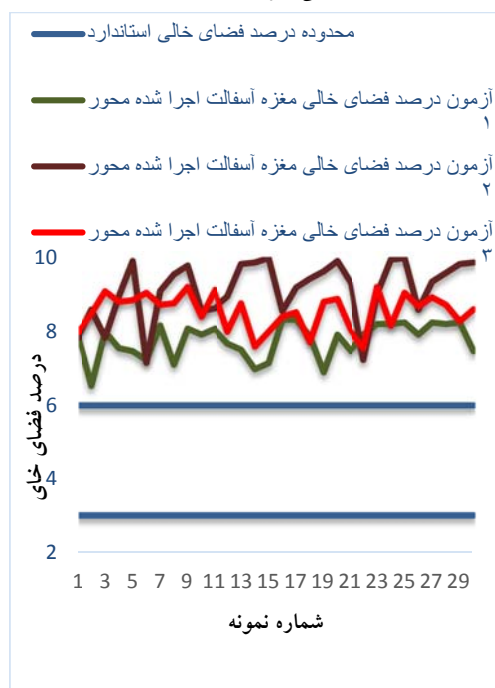
۳-۳- مقایسه آزمون درصد فضای خالی نمونه مارشال و مغزه آسفالت اجرا شده با درصد فضای خالی استاندارد

شکل شماره ۱۵ نمودار مقایسه آزمون درصد فضای خالی نمونه مارشال و شکل شماره ۱۶ نمودار مقایسه آزمون درصد فضای خالی مغزه آسفالت اجرا شده را با محدوده استاندارد درصد فضای خالی نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رفت و در شکل شماره ۱۵ مشخص است درصد فضای خالی همه نمونه‌های مارشال در داخل محدوده استاندارد قرار گرفته و در شکل شماره ۱۶ درصد فضای خالی هیچ کدام از مغزه‌های آسفالت اجرا شده در داخل محدوده استاندارد نیست.

حجم فضای خالی بتن آسفالتی به حداقل ۲ درصد و حداکثر 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. در نقاطی که مقدار درصد فضای خالی بیشتر از ۶ درصد باشد خرابی‌هایی که درصد فضای خالی بیش از اندازه در ایجاد آنها موثر است خواهیم داشت.



شکل ۱۵. نمودار مقایسه درصد فضای خالی نمونه مارشال با محدوده درصد فضای خالی استاندارد



شکل ۱۶. نمودار مقایسه درصد فضای خالی نمونه مارشال با محدوده درصد فضای خالی استاندارد

۴- مقایسه آماری

شده و نمونه مارشال محاسبه و نتایج آن در جدول شماره ۸ و ۹ ارایه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود ضریب تغییرات دمای تکمیل تراکم و درصد فضای خالی لایه آسفالتی اجرا شده بیشتر از دمای تکمیل تراکم و درصد فضای خالی نمونه مارشال است.

به منظور ارزیابی تاثیر دمای تکمیل تراکم در نتایج حاصل از آزمایشات تعیین درصد فضای خالی با استفاده از دانسیته نمونه مارشال و دانسیته لایه آسفالتی اجرا شده انحراف از معیار و ضریب تغییرات دمای تکمیل تراکم و درصد فضای خالی تعیین شده با استفاده از دانسیته آسفالت اجرا

جدول ۸. مقایسه آماری دمای تکمیل تراکم

میانگین دمای تکمیل تراکم دانسیته مارشال	میانگین دمای تکمیل تراکم آسفالت اجرا شده	انحراف از معیار میانگین دمای تکمیل تراکم آسفالت اجرا شده	انحراف از معیار میانگین دمای تکمیل تراکم دانسیته مارشال	میانگین دمای تکمیل تراکم آسفالت اجرا شده	میانگین دمای تکمیل تراکم دانسیته مارشال	
۱۳۶	۱۱۵,۱۶	۰	۴,۳۷۹	۰,۲۸۳	۰,۶۲۱	محور ۱
۱۳۴	۱۰۷,۳۶	۰	۷,۲۶۰	۰,۵۸۹	۰,۰۸۸	محور ۲
۱۳۴	۱۱۲,۵	۰	۰,۴۸۱	۰,۳۰۱	۰,۰۵۸	محور ۳

جدول ۹. مقایسه آماری نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد فضای خالی در دمای تکمیل تراکم

میانگین درصد فضای خالی محاسبه شده توسط دانسیته مارشال	میانگین درصد فضای خالی محاسبه شده توسط آسفالت اجرا شده	انحراف از معیار درصد فضای خالی محاسبه شده توسط آسفالت اجرا شده	انحراف از معیار درصد فضای خالی محاسبه شده توسط دانسیته مارشال	میانگین درصد فضای خالی محاسبه شده توسط آسفالت اجرا شده	میانگین درصد فضای خالی محاسبه شده توسط دانسیته مارشال	
۴,۹۳۷	۷,۷۵۰	۰,۱۴۰	۰,۴۸۲	۰,۲۸۳	۰,۶۲۱	محور ۱
۵,۲۲۳	۹,۱۲۰	۰,۳۰۸	۰,۸۰۷	۰,۵۸۹	۰,۰۸۸	محور ۲
۵,۳۰	۸,۱۶۵	۰,۱۶۰	۰,۴۸۱	۰,۳۰۱	۰,۰۵۸	محور ۳

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش مقادیر درصد فضای خالی محاسبه شده با استفاده از وزن مخصوص نمونه مارشال و وزن مخصوص لایه آسفالتی اجرا شده مطابق استاندارد [ASTM D 2041] مقایسه گردید و نتایج زیر به دست آمد.

-در صورت استفاده از وزن مخصوص نمونه مارشال در تعیین درصد فضای خالی ضریب تغییرات درصد فضای خالی در محدوده (۰,۰۲۸۳ تا ۰,۰۵۸۹) است در حالی که ضریب تغییرات درصد فضای خالی محاسبه شده با استفاده از وزن مخصوص لایه آسفالتی اجرا شده در محدوده (۰,۰۵۸) تا (۰,۰۶۲۱) می باشد.

-درصد فضای خالی محاسبه شده با استفاده از وزن مخصوص لایه آسفالتی اجرا شده ۲,۸ تا ۳,۸ درصد بیشتر از درصد فضای خالی محاسبه شده با استفاده از نمونه مارشال است.

نتایج به دست آمد از این پژوهش گواه بر این است که آزمون‌های درصد فضای خالی با وزن مخصوص نمونه مارشال در شرایط کاملاً استاندارد آزمایشگاهی انجام می شود و نمی تواند معرف واقعی درصد فضای خالی آسفالت اجرا شده باشد.

۷- پی نوشت ها

1. Laboratoire Central des ponts et Chaussées wheel Tracker
2. American society for Testing and Materials
3. American Association of state highway and Transportation officials

۸- مراجع

- ابوطالبی اصفهانی، م. گلی خراسگانی، ا. و هارونی جمالونی، م.، (۱۳۹۷)، "بررسی اثر واکس های ساسوبیت و پارافین بر خصوصیات رئولوژی قیر"، پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ۵۶، ص. ۱۶۰-۱۴۵.

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

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

- طاهرخانی، 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.

- شعبانی، ش. کیانفر، ک. و 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. ۲۴۳-۲۲۹.

- طباطبایی، ا.م.، (۱۳۹۶) "روسازی راه"، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.

- عامری، م. و امق، م. روح الامینی، ح. بمانا، ک.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی حساسیت رطوبتی در مخلوط های آسفالتی گرم" مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره چهارم، ص. ۶۱۶-۶۱۳.

- غنی زاده، ع. حیدر آبادی زاده، ن. ضیایی، ا.، (۱۴۰۰)، "مدل سازی عدد جریان مخلوط های آسفالتی با استفاده از روش رگرسیون چند جمله ای تکاملی"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال هجدهم، دوره سوم، شماره ۶۸، ص. ۲۸-۱۶.

- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۹۰)، "آیین نامه روسازی راه های آسفالتی ایران"، نشریه شماره ۲۳۴، وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل موسسه قیر و آسفالت ایران، تجدید نظر اول.

- معاونت و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۲)، "مشخصات فنی عمومی راه"، نشریه ۱۰۱ تجدید نظر دوم.

- MC leod , N. W., (1956), “Relationship between Density, Bitumen Content, and Voids properties of compacted Bituminous paving Mixtures”, Proceedings of Highway Research Board.
- Pardhan, M. M., (1995), “Permanent Deformation Characteristics of Asphalt – Aggregate Mixture Using varied Material and Modeling procedure With Marshall Method”, Ph.D. Dissertation, Montana University.
- Sakhaeifar, M. S., Kim, Y. R. and Kabir, P. (2015). “New predictive models for the dynamic modulus of hot mix asphalt”, Construction and Building Materials, No. 76, pp. 221-231.
- Smith, B.J., Hesp,s , (2002), “crack pinning In Asphalt Mastic and concreat : Regular Fatigue studies ” , Journal of Transportation Research Board, Vol. 3, No. 1728, pp.75-81.
- AASHTO T 166-16 Standard Method of Test for Bulk Specific Gravity (Gmb) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) Using Saturated Surface-Dry Specimens.(2016).
- ASTM D2041 - 03a - Standard Test Method For Theoretical Maximum Specifice Gravity and Density of Bituminous paving Mixtures(2016).
Doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.011.
- 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.
- 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.

Comparison Percent Empty Space Marshall Samples with Cores Taken from the Asphalt Layer in Place

*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.
Jalal Ayoubinejad, Assistant Professor, Transportation Department,
Faculty of Engineering, Payam Noor University of Tehran, Tehran, Iran.*

E-mail: mrkeymanesh@pnu.ac.ir

Received: February 2023- Accepted: July 2023

ABSTRACT

One of validate benchmarks for assessing and evaluating the quality of asphalt in road projects, such as density and percent empty space. Percent empty space of the Asphalt layer implemented has an important effect on its optimal performance, durability and stability. Using of (ASTM D2014) is the usual method for measuring percent empty space of asphalt layer. Mentioned method for determination percentage empty space using of density sample Marshall which is determined under completely "standard" laboratory conditions. In the present article determination percent empty space asphalt layer implemented with using of density core obtained of asphalt layer implemented done, and then the result comparison with percent empty space determinate by density sample Marshall transpire if used density core obtained of asphalt layer implemented In calculating percent empty space the result (2.8-3.8) percent more than percent empty space calculated With using of Marshall sample density. Therefore, if the percent of empty space of the Marshall sample is used in determining the parameters of the asphalt layer, due to the different temperature conditions and experimental and operational density, results other than reality will be obtained .According to the results of this research, it is better to use the density core obtained of asphalt layer implemented in determine the percentage of empty space asphalt layer.

Keywords: Percentage Empty Space, Density, Asphalt Layer, Density Core Obtained, Density Sample Marshall