

ارزیابی میدانی روش‌های نوین تعیین دانسیته لایه‌های روسازی

حسن زیاری^۱، حسن دیواندری^{۲*}، امیر ایزدی^۳، سید محمد لواسانی^۴

۱- استاد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر، نوشهر، ایران*

۳- استادیار، دانشگاه شمال، آمل، ایران

۴- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

divandari@iauns.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۲۰

چکیده - چگالی بهترین معیار سنجش و کنترل کیفیت روسازی اجرا شده است. تعیین چگالی مخلوط آسفالتی در حین عملیات تراکم و پس از آن، از دو جهت تعیین میزان تراکم و زمان اتمام عملیات دارای اهمیت است. در حال حاضر متداول‌ترین و البته دقیق‌ترین روش تعیین دانسیته در محل مخلوط آسفالتی، روش مغزه‌گیری است. روش معمول برای انجام این کار استفاده از مغزه‌گیر و انجام آزمایش تعیین چگالی بر روی مغزه‌های به دست آمده در آزمایشگاه است. اما این روش دارای معایبی شامل ایجاد خرابی در سطح روسازی، هزینه نسبتاً بالا، عدم تکرارپذیری و پایش دانسیته برای یک نقطه خاص و صرف زمان زیاد است که زمان‌بر بودن انجام این آزمایش، منجر می‌شود نقاط ضعف لایه ناشی از عدم تراکم لازم به سرعت مشخص نشوند، بنابراین اقدامات اصلاحی در زمان مناسب صورت نگیرند. در سال‌های اخیر استفاده از آزمایش‌های غیرمخرب تعیین دانسیته، با استقبال زیادی مواجه شده است. این نوع آزمایش‌ها در سطح روسازی ایجاد خرابی نمی‌کند، هزینه انجام آنها کمتر از مغزه‌گیری و به علت عدم ایجاد خرابی به وسیله آنها تکرارپذیرند، که شامل دو روش غیرمخرب هسته‌ای و غیرهسته‌ای است. در این پژوهش ارزیابی میدانی دستگاه الکترومغناطیسی PQI مدل ۳۰۱ و دستگاه هسته‌ای Troxler مدل HS-5001EZ انجام شد، که بعد از انجام تحلیل‌های آماری مشخص شد که دستگاه PQI مناسب برای تعیین دانسیته لایه‌های آسفالتی و دستگاه هسته‌ای برای تعیین دانسیته لایه‌های سنگدانه‌ای مناسب است.

واژگان کلیدی: تعیین دانسیته، مغزه‌گیری، روش‌های غیرمخرب هسته‌ای و غیر هسته‌ای.

۱- مقدمه

مخلوط با طرح اختلاط و سطح تراکم مناسب، از طرفی شامل درصد فضای خالی کافی به منظور جلوگیری از بروز شیارشدگی^۱ ناشی از جریان پلاستیک و تغییرشکل‌های ماندگار^۲ می‌باشد و از طرف دیگر دارای درصد فضای

دانسیته یکی از مهم‌ترین پارامترها در طرح و اجرای روسازی آسفالتی محسوب می‌شود. انتخاب سطح تراکم مناسب در مرحله طرح اختلاط به منظور عملکرد مناسب روسازی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. یک

1- Rutting
2- Permanent Deformation

خالی کم، جهت جلوگیری از نفوذ آب و هوا است.

به هنگام اجرا نیز، پیمانکاران به محض پخش مخلوط آسفالتی در روسازی راه، با استفاده از انواع غلتک‌ها اقدام به تراکم نمودن مخلوط آسفالتی تا رسیدن به تراکم مورد نظر می‌کند. قبل از پیدایش انواع دستگاه‌های غیرمخرب غیرهسته‌ای تنها دو روش برای تعیین دانسیته آسفالت تازه اجرا شده وجود داشت. روش اول بر اساس مغزه‌گیری بوده که روشی است مخرب^۱ و روش دوم که با استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیر غیرمخرب هسته‌ای قابل حمل، صورت می‌گرفته است. اگر چه روش مغزه‌گیری دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری دانسیته است، اما مجموعه عملیات مغزه‌گیری و سپس تعیین دانسیته مغزه‌های گرفته شده از مسیر بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است که معمولاً ترجیح داده می‌شود به عنوان آخرین گزینه تعیین دانسیته در نظر گرفته شود. شاید منفی‌ترین وجه مغزه‌گیری، مدت‌زمان زیادی است که صرف تعیین دانسیته مخلوط می‌شود. مغزه‌های گرفته شده ابتدا باید به محل آزمایشگاه منتقل شوند و این در حالی است که ممکن است بین محل انجام عملیات راهسازی تا آزمایشگاه فاصله قابل توجهی باشد و این روند بسته به وضعیت پروژه ممکن است از چند ساعت تا یک روز به طول بیانجامد. نکته دیگر اینکه با این روش امکان کنترل دانسیته در زمان انجام مراحل مختلف غلتک‌زنی یعنی وقتی هنوز آسفالت گرم است، وجود ندارد [۱].

امروزه روش‌های غیرمخرب در ارزیابی کیفیت روسازی و کنترل تراکم لایه‌های روسازی کاربرد فراوانی دارند. دستگاه دانسیته‌سنج هسته‌ای^۲ برای به دست آوردن وزن مخصوص و درصد رطوبت در محل، طبق استاندارد (ASTM D2922-D3017) به کار می‌رود. این دستگاه دارای دو مزیت سرعت بالا و غیرمخرب بودن است. در این

دستگاه به منظور تعیین وزن مخصوص از تشعشع پرتو گاما و برای تعیین درصد رطوبت از انتشار ذرات نوترون استفاده می‌شود. موقعیت پروژه، نوع مصالح استفاده شده و مدل دستگاه، روی نتایج تاثیر زیادی دارند [۲]. دانسیته‌سنج هسته‌ای ارزان‌تر و سریع‌تر از روش مغزه‌گیری نتایج را مشخص می‌کند، اما با این حال معایب زیادی نیز دارد. اولین و بارزترین مشکل آن استفاده از یک منبع رادیواکتیو است که مسلماً نیاز به تنظیمات زیاد و آموزش تخصصی نیروی کار آزموده دارد. عیب دیگر آن شامل کسب مجوز برای استفاده و نوسازی تجهیزات، آموزش تکنسین‌ها و طرز کار نه چندان ساده می‌باشد. به منظور حل مشکلات گفته شده، دستگاه‌های غیرمخرب غیرهسته‌ای به‌عنوان یک گزینه ایمن‌تر، سبک‌تر و ارزان‌تر در مقابل دستگاه دانسیته‌سنج هسته‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش با انجام آزمایش‌های میدانی و تحلیل آماری نتایج به دست آمده، به ارزیابی عملکرد دستگاه‌های غیرمخرب پرداخته شده است.

۲- توصیف کلی روش مغزه‌گیری و روش -

های غیرمخرب هسته‌ای و غیرهسته‌ای

انواع روش‌های تعیین دانسیته برای لایه‌های خاکی و آسفالتی در جدول (۱) مشخص شده‌اند.

۲-۱- تعیین دانسیته مخلوط آسفالتی از طریق مغزه‌گیری

مغزه‌گیری یک روش اثبات شده برای تعیین دانسیته لایه آسفالتی است و به عنوان معتبرترین و دقیق‌ترین روش تعیین دانسیته مطرح است. روند کار به این صورت است که از محل مورد بررسی به وسیله‌ی دستگاه مغزه‌گیر به تعداد مورد نیاز، مغزه تهیه می‌شود و به روش‌های مختلف روی این مغزه‌ها آزمایش‌های تعیین دانسیته صورت می‌گیرد.

1- Destructive
2- Nuclear Density Gauge

جدول ۱- انواع روش‌های تعیین دانسیته برای لایه‌های سنگی و آسفالتی

نوع لایه		لایه سنگدانه ای		نوع آزمایش
مخرب	غیرمخرب	مخرب	غیرمخرب	نام آزمایش و شماره استاندارد
آزمایش هسته ای ASTM D2950	مغزه گیری و آزمایش تعیین وزن مخصوص AASHTO T230 ASTM D1188	آزمایش هسته ای ASTM D2922 ASTM D3017	آزمایش مخروط ماسه ASTM D 1556 AASHTO T191	
آزمایش غیرهسته ای AASHTO TP68-04 ASTM D7113-09			آزمایش بالن لاستیکی ASTM D2167	

عیب دیگر آن شامل کسب مجوز برای استفاده و نوسازی تجهیزات، نیاز به آموزش تکنسین‌ها و طرزکار نه چندان ساده و نگهداری تجهیزات آن است. لازم به ذکر است که از نظر کاربران این دستگاه، دقت کار با آن در لایه‌های سنگدانه‌ای بیشتر از لایه‌های آسفالتی است.

۲-۳- تعیین دانسیته مخلوط آسفالتی به روش

غیرمخرب غیرهسته‌ای (PQI)^۵

به دلیل اینکه چگالی مخلوط آسفالتی مهم‌ترین متغیر شناخته شده در ساختار رویه آسفالتی با دوام زیاد و عمر طولانی است، نیاز به یک روش تعیین چگالی قابل اعتماد در مقایسه با روش مخرب مغزه‌گیری و غیرمخرب هسته-ای که بیانگر سریع وضعیت تراکم لایه اجرا شده در حالات مختلف باشد، احساس می‌شود. در این راستا پژوهشگران موفق به ساخت دستگاهی شدند که دانسیته لایه آسفالتی را با استفاده از ارسال امواج الکترومغناطیس و تعیین ثابت دی‌الکتریک مصالح مشخص می‌سازد و دستگاه PQI یکی از انواع آن است. دستگاه یاد شده، مقدار دانسیته را با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی آسفالت که تابع ثابت دی‌الکتریک آن است، تعیین می‌کند. این پارامتر متناسب با توانایی مصالح در ذخیره انرژی الکتریکی است؛ این سیستم شامل یک مدار الکتریکی است که این مدار با تولید ولتاژ فرکانس رادیویی مشخص اعمال شده به الکتروود حساسی،

وزن مخصوص واقعی^۱ یک خصوصیت کلیدی برای مخلوط‌های آسفالتی گرم (HMA)^۲ است که از آن در تعیین پارامترهای مخلوط آسفالتی گرم استفاده می‌شود. روش تعیین دانسیته بر اساس جابه‌جایی میزان آب، متداول‌ترین روش در میان سایر روش‌ها است. این روش مبتنی بر نظریه ارشمیدس است که حجم نمونه را با وزن کردن در هوا و حمام آب به دست می‌آورد. اختلاف این دو وزن به عنوان وزن آب جابه‌جا شده برای تعیین حجم نمونه آسفالتی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های مشابهی، مانند روش اشباع با سطح خشک (SSD)^۳، روش پارافین، روش پارافیلیم و روش کرلک^۴ بدین منظور کاربرد دارند [۳].

۲-۲- تعیین دانسیته مخلوط آسفالتی به روش

غیرمخرب هسته‌ای

یکی از آزمایش‌هایی که به‌عنوان جایگزینی برای روش مغزه‌گیری در تعیین دانسیته لایه‌های سنگدانه‌ای کاربرد دارند، آزمایش هسته‌ای است که از آن می‌توان در تعیین دانسیته و رطوبت خاک استفاده نمود. اندازه‌گیری به روش هسته‌ای ارزان‌تر و سریع‌تر از روش مغزه‌گیری است، اما با این حال معایب زیادی نیز دارد. اولین و بارزترین ضرر آن استفاده از یک منبع رادیواکتیو است که مسلماً نیاز به تنظیمات زیاد و آموزش تخصصی نیروی کار آزموده دارد.

- 1- Bulk Specific Gravity
- 2- Hot Mix Asphalt
- 3- Saturated Surface Dry
- 4- Corelok method

5- Pavement Quality Indicator

و درست امری ضروری است. شرکت سازنده دستگاه (PQI) روش‌های مختلفی را برای کالیبراسیون ارائه کرده‌اند که در مقتضیات مختلف قابل استفاده است؛ دستگاه باید برای هر سطح آسفالتی و در هر سایت کاری کالیبره شود که در پروژه یاد شده بنا به دلایلی که در ادامه راجع به آن صحبت می‌شود از روش معمولی^۱ برای کالیبراسیون دستگاه استفاده شد.

علت اینکه از روش معمولی برای کالیبراسیون دستگاه استفاده شد و دیگر روش‌های کالیبراسیون برای کار با دستگاه (PQI) استفاده نشدند را این گونه می‌توان توضیح داد که در سایر روش‌ها به عدد چگالی مخلوط آسفالتی غلتک‌نخورده که تازه به وسیله‌ی فینیشر اجرا شده است و نیز به پیش‌بینی مقدار عدد چگالی مخلوط اجرا شده به وسیله‌ی افراد خبره به عنوان ورودی‌های دستگاه احتیاج است که سایت مورد بررسی دارای چنین شرایطی نبود.



شکل ۱- روش معمولی کالیبراسیون دستگاه PQI (تعیین چگالی در مرکز و چهار نقطه در حول دایره در موقعیت ساعات ۸، ۴، ۲ و ۱۰ در پنج نقطه متفاوت) نتایج فرآیند کالیبراسیون در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است:

جدول ۲- داده‌های حاصل از مغزه‌گیری در ۵ ایستگاه برای انجام

کالیبراسیون دستگاه

شماره نمونه	وزن در هوا (gr)	وزن در آب (gr)	وزن مخصوص واقعی (kg/m ³)	میانگین مقادیر مغزه (kg/m ³)
1	692/6	375	2181	2181
2	860/3	466	2182	
3	725/4	394	2189	
4	760/9	411	2175	
5	667	361	2180	

یک میدان الکتریکی در مصالح روسازی ایجاد می‌کند. الکتروود حسی دیگری پاسخ‌های دی‌الکتریک از مصالح روسازی را اندازه‌گیری می‌کند و در پایان تحلیلگر داده‌ها، دانسیته مصالح روسازی را بر اساس مقاومت مصالح روسازی در مقابل جریان تعیین می‌نماید. کار روی این سیستم در اواسط سال ۱۹۹۰ آغاز شد و در حال حاضر جدیدترین نوع آن با عنوان PQI 301 در دسترس است [۴]. تجربیات حاصل راجع به این سیستم، حاکی از مطالب زیر است:

- کار کردن با این دستگاه و استفاده از آن آسان است.
- محدودیت حمل و نقل برای دستگاه وجود ندارد.
- کار با دستگاه نیاز به آموزش محدود و ساده‌ای دارد.
- سبک است و به سرعت آماده بهره‌برداری می‌شود.
- در مدت زمان کوتاهی چندین اندازه‌گیری صورت می‌گیرد.

۳- مطالعات میدانی

۳-۱- داده‌برداری از قطعه‌ای از مسیر آزاد راه

تهران- پردیس

به‌منظور انجام عملیات میدانی و بررسی چگونگی عملکرد دو دستگاه غیرمخرب الکترومغناطیس (PQI) و هسته‌ای، اقدام به انجام آزمایش در قطعات تعیین شده شد. محل‌های مورد نظر آزمایش، قطعاتی از آزاد راه تازه تأسیس تهران- پردیس (آسفالتی و خاکی) است.

۳-۲- کالیبراسیون دستگاه‌های غیرمخرب برای

شروع عملیات داده‌برداری

۳-۲-۱- کالیبراسیون دستگاه الکترومغناطیسی (PQI)،

قبل از شروع به داده‌برداری

انجام کالیبراسیون صحیح برای داشتن قرائت‌های نامتناقض

فواصل ۷ متر از یکدیگر، ۱۰ مقطع انتخاب شد و هر مقطع به ۶ قسمت تقسیم و در مجموع تعداد ۶۰ نقطه (برداشت) را تحت پوشش قرار داد.

۳-۴- نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی بر روی لایه بستر خاکی

عملیات تعیین چگالی لایه‌های خاکی در قطعه‌ای از مسیر بزرگراه تهران- پردیس در کنار مسیر انحرافی سد لتیان در جاده جاجرود روی بستر خاکی متراکم‌شده مسیر که دستگاه نظارت آن شرکت ایران‌استن است، صورت گرفت. نتایج اندازه‌گیری‌های دانسیته به روش مخروط ماسه در لایه بستر خاکی که به عنوان عدد مورد اعتماد برای تعیین دانسیته لایه خاکی است (مانند روش مغزه‌گیری برای لایه آسفالتی و تعیین دانسیته در آزمایشگاه) در محور تهران- پردیس در جدول (۷) آمده است. اعداد دانسیته به دست آمده به روش مخروط ماسه به عنوان معیاری برای اعتبارسنجی خروجی‌های دستگاه هسته‌ای در تعیین دانسیته مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پس از تعیین دانسیته بستر موجود به روش مخروط ماسه، برداشت دانسیته با دستگاه هسته‌ای در ۲۰ نقطه و به فواصل ۵۰ سانتی‌متری، صورت گرفت که نتایج خروجی دستگاه هسته‌ای در جدول (۷) آمده است.

۴- تحلیل نتایج به دست آمده و ارائه راهکارهای اجرایی برای استفاده بهینه و تقلیل میزان خطای روش‌های مورد استفاده

برخی از نتایج حاصل از دستگاه‌های PQI و هسته‌ای در دو لبه مسیر اجراشده به وسیله‌ی فینشر، مقادیر کمتری را نسبت به داده‌های به دست آمده از این دو دستگاه با فاصله از لبه نشان دادند؛ که این نتیجه در مورد پژوهش گروه

میانگین نتایج حاصل از برداشت مقادیر چگالی به وسیله‌ی PQI و دستگاه مغزه‌گیر به قرار زیر است:

- میانگین نتایج مغزه‌گیری: $2181 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

- قرائت PQI: $2010 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

- اختلاف بین میانگین نتایج مغزه‌گیری و قرائت‌های PQI: $171 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

این عدد اصلاحی بدین معنی است که مقدار ۱۷۱ باید به عدد قرائت دستگاه در وضعیت کالیبراسیون اضافه شود.

جدول ۳- جدول مربوط به قرائت‌های دستگاه PQI در ۵ ایستگاه و در موقعیت ساعت‌های مختلف در هر ایستگاه

مکان	1	2	3	4	5
موقعیت					
مرکز	1987	2002	2019	2025	1970
ساعت ۲	2008	2001	2015	2023	2026
ساعت ۴	2005	2019	2019	2006	2002
ساعت ۸	1996	2027	2017	2025	1985
ساعت ۱۰	2013	2025	2036	1988	2003
میانگین	2002	2015	2021	2013	1997

۳-۲-۲- کالیبراسیون دستگاه هسته‌ای قبل از شروع به داده‌برداری در قطعه ۳ (آسفالتی)

دستگاه هسته‌ای مورد استفاده در این پژوهش از نوع HS-5001EZ ساخت شرکت TROXLER و متعلق به شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل استان تهران است؛ که کالیبراسیون این دستگاه در پی برداشت‌های متوالی میدانی از یک نقطه و به وسیله‌ی خود دستگاه صورت می‌گیرد و در صورتی که در چند برداشت متوالی اختلاف قابل-توجهی در نتایج مشاهده نشود، دستگاه آماده به کار می‌شود.

۳-۳- نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی روی سطح آسفالتی در یکی از خطوط مسیر مورد بررسی به عرض ۳/۶۵ به

دپارتمان کارولینای شمالی نیز مشاهده شد [۵]. تحلیل داده- نرم افزار SPSS صورت گرفت که خروجی های آن در ادامه ها به منظور اعتبارسنجی دستگاه های غیرمخرب به وسیله ی ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج اندازه گیری های میدانی روی سطح آسفالتی در ۱۰ مقطع و مجموعاً ۶۰ نقطه

شماره ایستگاه	موقعیت	هسته ای (kg/m ³)	PQI (kg/m ³)	دستگاه مغزه گیر (kg/m ³)	شماره ایستگاه	موقعیت	هسته ای (kg/m ³)	PQI (kg/m ³)	دستگاه مغزه گیر (kg/m ³)
1	۱	۱۹۵۶	۲۱۳۰		۶	۱	۱۹۴۱	۲۰۸۰	
	۲	۱۸۱۵	۲۱۹۷	۲۱۸۱		۲	۱۷۹۲	۲۱۳۹	۲۱۸۲
	۳	۱۶۷۰	۲۱۸۸			۳	۱۸۰۱	۲۱۵۰	
	۴	۲۱۱۵	۲۱۴۱			۴	۱۹۴۸	۲۱۸۸	
	۵	۱۹۸۰	۲۲۳۷			۵	۲۰۸۰	۲۱۵۳	
	۶	۲۰۱۰	۲۱۸۱			۶	۲۰۰۹	۲۰۷۳	
2	۱	۱۷۱۱	۲۰۸۳		۷	۱	۱۶۹۵	۲۱۳۰	
	۲	۲۰۰۹	۲۱۷۷			۲	۱۹۰۲	۲۱۳۸	
	۳	۱۸۱۴	۲۲۰۴	۲۱۸۲		۳	۱۷۵۷	۲۱۳۱	۲۱۷۴
	۴	۲۰۷۲	۲۱۵۷			۴	۲۰۰۴	۲۱۷۲	
	۵	۱۹۴۱	۲۲۱۳			۵	۲۰۶۱	۲۲۱۰	
	۶	۱۹۳۷	۲۱۴۰			۶	۱۷۶۴	۲۱۴۳	
3	۱	۱۶۱۳	۲۰۶۸		۸	۱	۱۷۵۲	۲۱۱۰	
	۲	۱۹۳۶	۲۱۶۰			۲	۲۰۸۰	۲۰۹۱	
	۳	۱۶۹۴	۲۱۵۸			۳	۱۹۷۹	۲۱۶۰	
	۴	۱۹۶۷	۲۱۸۳	۲۱۸۹		۴	۱۹۸۴	۲۱۴۹	۲۱۸۰
	۵	۲۱۳۱	۲۲۳۱			۵	۱۹۸۶	۲۰۹۶	
	۶	۱۹۴۲	۲۱۷۲			۶	۲۰۵۱	۲۰۹۰	
4	۱	۱۹۰۹	۲۱۲۲		۹	۱	۱۶۰۳	۲۰۷۷	
	۲	۱۹۴۳	۲۱۵۰			۲	۱۹۸۸	۲۰۹۵	
	۳	۱۹۱۲	۲۱۲۸			۳	۱۸۵۹	۲۱۳۳	
	۴	۱۹۶۳	۲۲۲۴			۴	۲۰۴۱	۲۲۳۳	
	۵	۱۹۹۱	۲۲۹۴	۲۱۸۲		۵	۲۰۹۱	۲۲۱۲	۲۱۷۵
	۶	۲۰۶۸	۲۲۱۳			۶	۲۰۵۸	۲۲۳۷	
5	۱	۱۹۱۱	۲۱۶۶	۲۱۸۱	۱۰	۱	۱۶۱۸	۲۱۷۳	۲۱۸۱
	۲	۲۰۴۶	۲۲۰۰			۲	۲۰۰۸	۲۱۴۹	
	۳	۱۸۱۰	۲۱۳۸			۳	۱۸۴۶	۲۱۳۲	
	۴	۲۰۷۹	۲۲۲۶			۴	۲۰۴۰	۲۱۸۴	
	۵	۲۰۹۹	۲۲۲۲			۵	۱۹۹۹	۲۱۷۸	
	۶	۱۸۱۴	۲۱۶۶	۲۱۷۵		۶	۱۹۵۸	۲۱۸۰	۲۱۸۲

جدول ۵- نتایج دانسیته لایه بستر خاکی برداشت شده به روش مخروط ماسه

شماره نقطه	1	2	3	4	5
مقدار چگالی (kg/m^3)	1790	1794	1800	1810	1808

انجام هر آزمون به وسیله تابعی از مشاهدات صورت گرفته انجام می‌شود که تابع مورد استفاده، آماره آزمون نامیده می‌شود. این تابع در موارد مختلف متفاوت بوده و دارای انواع مختلفی است که در این پژوهش آماره آزمون مرتبط برای هر آزمون، معرفی می‌شود. در آزمون‌های پارامتری (مانند آزمون t-student) فرضیه‌هایی در مورد توزیع جمعیت، مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای نمونه، آزمون‌های t-student بر اساس این فرضیه است که جمعیت (های) مورد بررسی در این آزمون‌ها دارای توزیع نرمال هستند و هدف از انجام آزمون استنباطی در مورد پارامترهای مجهول جامعه آماری است (مانند میانگین جمعیت). آزمون t-student به طور متداول جهت بررسی معنی داری تفاوت بین دو میانگین به کار می‌رود. در آزمون‌های ناپارامتری توزیع جمعیت مورد مطالعه معلوم نیست. بنابراین هنگام مقایسه میانگین دو جمعیت مستقل که توزیع آن‌ها برای ما معلوم نیست، نمی‌توانیم از آزمون پارامتری t-student (که ملاک کار آن بر اساس فرضیه دارای توزیع نرمال بودن است) استفاده نماییم و به جای آن از آزمون ناپارامتری من-ویتنی (man whitney) استفاده می‌کنیم. تفاوت دیگر آزمون‌های ناپارامتری با آزمون‌های پارامتری این است که در آزمون‌های ناپارامتری، برای مقایسه جوامع به جای

استفاده از میانگین مقادیر از میانه استفاده می‌شود. آزمون t که برای مقایسه میانگین‌های جوامع نرمال بکار می‌رود به شدت به شرط تساوی واریانس‌ها و نرمالیتی وابسته است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که این آزمون‌ها تحت عدول از فرض تساوی واریانس‌ها استوار نیست. از این رو راه‌حل‌های متعددی برای این مسئله پیشنهاد شده است. یکی از این راه‌حل‌ها استفاده از آزمون‌های معادل ناپارامتری است. قابل ذکر است که آزمون‌های ناپارامتری، اختلاف بین دو جامعه را با بررسی اختلاف بین میانه دو جامعه آزمون می‌کنند.

۴-۱- نتیجه‌گیری تحلیل‌های صورت گرفته برای اعتبارسنجی دو دستگاه PQI و هسته‌ای در لایه آسفالتی

اختلاف بین دو جامعه در آزمون‌های پارامتری بر اساس میانگین‌های دو جامعه بررسی می‌شود. در ابتدا دیدیم که جوامع مورد بررسی (منظور اعداد حاصل از هر روش آزمایش که در هر روش تشکیل جامعه آماری مربوط به خود را می‌دهند) نرمالند و لذا آزمون‌های پارامتری جهت مقایسه دو جامعه (جامعه معتبر، داده‌های خروجی مغزه-گیری شده است) استفاده می‌شود.

اگر مقدار sig (یا سطح معنی‌داری یا P value) در خروجی آزمون T کمتر از ۰/۰۵ باشد با اطمینان ۹۵٪ درصد فرض تساوی دو جامعه رد می‌شود و اگر بالای این عدد باشد با اطمینان ۹۵٪ مقادیر دو جامعه بهم نزدیکند.

جدول ۶- نتایج دانسیته لایه بستر خاکی برداشت شده با دستگاه دانسیته‌سنج هسته‌ای

ایستگاه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
چگالی (kg/m^3)	1878	1829	1757	1810	1959	1910	1898	1738	1881	1914	1925	2015	1817	1777	1803	1779	1780	1835	1844	1811

بنابراین باعث ایجاد خطا و تردید در مورد کل سطح می‌شود.

جدول ۷ - نتایج آزمون t انجام شده به وسیله نرم افزار SPSS

T-Test					
Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Dev	Std. Err Mean
Pair	PQI	2173/025	40	43/8081	6/9267
1	Core	2179/836	40	4/8214	0/7623
Pair	Nuclear	1955/870	40	116/7343	18/4573
2	Core	2179/836	40	4/8214	0/7623
Paired Samples Correlations					
		N	Correlation	Sig	
Pair 1	PQI & Core	40	0/202	0/210	
Pair 2	Nuclear & Core	40	0/014	0/931	

Paired Samples Tests									
		Mean	Std. Dev	Std. Err Mean	99% Confidence Interval of the Difference		t	Df	Sig (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	PQI & Core	-6/8	43/09	6/8134	-25/26	11/6£	-1	39	0/324
Pair 2	Nuclear & Core	-223/9	116/£	18/4622	-273/9£	-173/97	-12/1	39	0/000

- در حین برداشت باید دقت کرد که با دستگاه تماس حاصل نشود، چون باعث بروز خطا در قرائت‌های دستگاه می‌شود.

- هوای بارانی و درصد رطوبت زیاد روسازی باعث بروز خطا در مقادیر قرائت‌شده به وسیله PQI می‌شوند.

- کالیبراسیون دستگاه PQI برای شروع هر کار جدیدی باید صورت گیرد. برای هر نوع آسفالت کالیبراسیون مربوط به همان نوع آسفالت باید صورت گیرد.

- با وجود اینکه سهم قابل ملاحظه‌ای از روش‌های کالیبراسیون این دستگاه شامل برآوردهای تجربی برای واردکردن اعداد کالیبراسیون دستگاه است اما بر اساس تجربیات مجری این مطالعه و وجود نابسامانی‌هایی در ارائه این اعداد تجربی توصیه می‌شود از روش معمولی برای کالیبراسیون این دستگاه استفاده شود که ملاک آن مقایسه با نتایج مغزه‌گیری (معتبرترین روش تعیین چگالی) است. به صورت مشخص‌تر این که چون در سایر روش‌ها به عدد چگالی مخلوط آسفالتی غلتک‌نخورده که تازه به وسیله‌ی

با توجه به خروجی نرم افزار SPSS، (جدول ۷) مقادیر اندازه‌گیری شد به وسیله‌ی دو دستگاه PQI و مغزه‌گیر با اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ولی حتی با اطمینان ۹۹ درصد می‌توان گفت که مقادیر اندازه‌گیری‌شده به وسیله‌ی دو دستگاه هسته‌ای و مغزه‌گیر، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند.

دقت شود که با توجه به منفی بودن تفاضل بین میانگین‌های اندازه‌گیری‌های دو دستگاه هسته‌ای و مغزه‌گیر، می‌توان نتیجه گرفت که با اطمینان ۹۹ درصد دستگاه هسته‌ای مقادیر کمتری را نسبت به مغزه‌گیر می‌دهد ولی برای PQI با اینکه این اختلاف منفی است ولی با اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری با صفر ندارد. به عبارت دیگر فاصله اطمینان برای تفاضل دو میانگین برای PQI و مغزه شامل عدد صفر است و این درحالی است که این تفاضل برای دو دستگاه هسته‌ای و مغزه‌گیر شامل صفر نیست و این بازه منفی است.

بنابراین از نتیجه آزمون صورت گرفته برای اعتبارسنجی دو دستگاه PQI و هسته‌ای این موضوع حاصل می‌شود که دستگاه PQI از قابلیت اعتماد قابل قبولی برای تعیین چگالی مخلوط آسفالتی برخوردار است و دستگاه هسته‌ای مناسب برای تعیین چگالی مخلوط‌های آسفالتی نیست.

۴-۱-۱- نکات اجرایی برای استفاده بهینه و تقلیل میزان خطا در کار با دستگاه PQI

- باید در نظر گرفت که PQI از کارایی مناسب برای تعیین نقاط با تراکم نامناسب از جمله لبه‌های کار برخوردار است و توصیه می‌شود برای تعیین مقادیر چگالی یک سطح آسفالتی به منظور ارزیابی وضعیت تراکم لایه آسفالتی از داده‌برداری در محل‌هایی که در لبه اجرایی کار به وسیله‌ی فینیشر قرار می‌گیرند خودداری کنید زیرا مقادیر چگالی در این محل‌ها کمتر از مقادیر چگالی در دیگر نقاط است

خروجی آزمون man-whitney که اساس کار آن بر این فرض استوار است که اختلاف بین میانه دو جامعه آماری (در مورد پروژه حاضر دو جامعه خروجی‌های روش مخروط ماسه و دستگاه هسته‌ای) را مورد تحلیل قرار دهد نشان می‌دهد که با اطمینان ۹۵ درصد فرض تساوی بین دو جامعه (داده‌های هسته‌ای و مخروط ماسه) رد نمی‌شود (sig = 0/126) که این عدد کمتر از ۰/۰۵ نیست. برای تأیید بیشتر چند آزمون ناپارامتری دیگر نیز که همگی از نظر صلاحیت بررسی، مورد تأیید است صورت گرفته است که همگی نتیجه یاد شده را تأیید می‌کنند.

بر اساس نتایج آزمون‌های ناپارامتری man-whitney، kolmogorov و moscs و با توجه به مقدار $P\text{-Value} > 0/05$ در تمامی آزمون‌ها، دلیلی برای رد تساوی مقادیر میانه‌های دو جامعه وجود ندارد.

بنابراین از نتیجه آزمون‌های صورت گرفته برای اعتبارسنجی دستگاه هسته‌ای در تعیین دانسیته لایه‌های خاکی این موضوع به دست می‌آید که دستگاه هسته‌ای از قابلیت اعتماد قابل قبولی برای تعیین چگالی مخلوط لایه-های خاکی برخوردار است.

۵- نتیجه گیری

- از نتیجه آزمون صورت گرفته برای اعتبارسنجی دو دستگاه PQI و هسته‌ای این موضوع به دست می‌آید که دستگاه PQI از قابلیت اعتماد قابل قبولی برای تعیین چگالی مخلوط آسفالتی برخوردار است و دستگاه هسته‌ای مناسب برای تعیین چگالی مخلوط‌های آسفالتی نیست.

- از نتیجه آزمون‌های صورت گرفته برای اعتبارسنجی دستگاه هسته‌ای در تعیین دانسیته لایه‌های خاکی این موضوع به دست می‌آید که دستگاه هسته‌ای از قابلیت اعتماد قابل قبولی برای تعیین چگالی مخلوط لایه‌های

فینیش اجرا شده است و نیز به پیش‌بینی مقدار عدد چگالی مخلوط اجرا شده به وسیله‌ی افراد خیره به عنوان ورودی-های دستگاه احتیاج است و معمولاً سایت‌های مورد بررسی حائز شرایط یاد شده نیست، روش معمولی ارجح است.

۴-۲- اعتبارسنجی کار با دستگاه هسته‌ای برای اندازه‌گیری چگالی لایه‌های خاکی

تعداد ۵ مرتبه آزمایش مخروط ماسه برای تعیین عدد قابل-قبول چگالی صورت گرفت و پس از آن ۲۰ مرتبه اندازه-گیری به وسیله‌ی دستگاه هسته‌ای و به روش پخش مستقیم صورت گرفت. با توجه به نتایج بخش توصیفی داده‌های مخروط ماسه، می‌توان نتیجه گرفت که توزیع این داده‌ها عادی نیست (مقدار ۵ مشاهده نیز برای تصمیم‌گیری در مورد عادی بودن یا نبودن یک جامعه کافی نیست). در عین حال داده‌های هسته‌ای با اطمینان ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. از آنجا که فرض تساوی واریانس دو جامعه نیز با اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود (بر اساس نتایج آزمون تساوی واریانس‌ها به وسیله‌ی نرم‌افزار SPSS) هیچ توجیهی برای استفاده از آزمون‌های پارامتری (آزمون t-student) نداریم. بنابراین از معادل ناپارامتری آزمون t-student یعنی آزمون man-whitney استفاده می‌شود.

تفاوت اصلی بین آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری این است که در آزمون‌های ناپارامتری، فرض عادی بودن داده‌ها حذف می‌شوند. امروزه استفاده از این روش‌ها به سرعت گسترش پیدا کرده است و علت اصلی گسترش این آزمون-ها از آنجا به دست می‌آید که آزمونگر در بسیاری موارد در مورد نوع توزیع جامعه مورد بررسی خود اطلاع دقیقی ندارد. قابل ذکر است که آزمون‌های ناپارامتری، اختلاف بین دو جامعه را با بررسی اختلاف بین میانه دو جامعه آزمون می‌کنند.

۷- مراجع

- [1] Shane M., Turner J., and Barton J., 2004 " In place density evaluation of stone matrix asphalt (SMA) Mixes in Alabama." Asphalt paving technology; VOL 73, pages 195-228
- [2] Khani H., 2004 "Evaluation of nuclear nondestructive methods for determination of pavement density", M.Sc. thesis in transportation engineering,
- [3] Glagola C., 2003., "Pavement quality indicator" University of Florida, Gainesville.
- [4] Karlsson T., 2002., "Evaluation of the pavement quality indicator (PQI)" Skanska Asphalt and Concrete Technology Region- VTO South380 30 ROCKNEBY, An SSIJF-financed development project (no. 1040).
- [5] Sully-Miller Contracting Company Quality Control Department ., 2000., "A Summary of operational differences between nuclear and non-nuclear density measuring instruments" Sully-Miller Contracting Company Quality Control Department.

خاکی برخوردار است.

- باید در نظر گرفت که PQI از کارایی مناسب برای تعیین نقاط با تراکم نامناسب از جمله لبه‌های کار برخوردار است و توصیه می‌شود برای تعیین مقادیر چگالی یک سطح آسفالتی به منظور ارزیابی وضعیت تراکم لایه آسفالتی از داده‌برداری در محل‌هایی که در لبه اجرایی کار به وسیله‌ی فینیشر قرار می‌گیرند خودداری کنید زیرا مقادیر چگالی در این محل‌ها کمتر از مقادیر چگالی در دیگر نقاط است پس باعث ایجاد خطا و تردید در مورد کل سطح می‌شود.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند بدینوسیله از همکاری مسئولان و پرسنل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک تهران تشکر و قدردانی نمایند.

Field Evaluation of New Methods For Determining Pavement Layers Density

H. Ziari¹, H. Divandari^{2*}, A. Izadi³, S.M.S. Lavasani⁴

1- Professor, Civil Engineering School, Iran University of Sciences and Technology, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Islamic Azad University of Nowshahr, Nowshahr, Iran

3- Assistant Professor, Shomal University, Amol, Iran

4- M.Sc. in Highway and; Transportation Eng., Civil Eng. School, Faculty of Eng., Uni. of Tehran, Tehran, Iran

divandari@iauns.ac.ir

Abstract:

One of the most applicable methods to control the quality of performed pavements is to measure asphalt concrete and granular layers densities. Determining asphalt mixture density while compaction and after finishing it, is important from compaction ratio and project accomplishment time aspects. The most common and precise method of measuring asphalt mixture density in situ is using cores. It is done by coring from asphalt mixture and performing density test on these samples in laboratory. The problem with this method is being destructive, expensive and results cannot be validated by repeating the test for a specific point while a lot of time is needed for a full project. The last problem makes it impossible to recognize bad compaction condition of layer and perform modifications on time.

Using nondestructive density determination tests turned popular so much in recent years. These tests don't destroy pavement, are less expensive than core method and are repeatable since can be used in a specific point for several times. Nondestructive test are divided to nuclear and non-nuclear tests. Nuclear device is used to determine density and moisture content in site based on ASTM D2922 – D3017 which is rapid and nondestructive. Gamma ray and Neutron particles are used in this device for determining density and moisture content respectively. On the other hand, radioactive substances which are radiated from these devices are the most important problem with them. Non-Nuclear NDT devices has the advantages of nuclear instruments while hasn't the noticed problem.

In this research electromagnetic PQI301 and nuclear Troxler HS-5001EZ device is evaluated in the field. Firstly the devices were calibrated and after that, 60 points in Tehran-Pardis freeway were selected in a lane with 3.65 width and at a spacing of 7 meters, each section divided to 6 parts and 10 sections were chosen totally. Both nuclear and nonnuclear devised were used for determining density of each point and for each group, one core were excavated and density were measured too. For granular layers, a detour for Latian Dam Road was selected and density determination were performed by sand bottle method and nuclear device.

SPSS software was used to analyze the results of study. It was concluded PQI is useful in determining asphalt layer density, while nuclear device isn't appropriate in measuring asphalt mixture density and it is convenience in determining granular layers density. It should be noted PQI is a good device to determine points with low compaction, even in pavement edges. Since density in edge of roller path is less than this parameter exactly under roller, quality control points should be selected not from edge points, otherwise the results contain a considerable error.

Keywords: Density Determination, Core, Nuclear and Nonnuclear NDT methods