کنترل کیفی مراحل تولید و اجرای آسفالت گرم برای افزایش طول عمر بهره‌برداری روسازی (مطالعه موردی: منتخبی از پروژه‌های استان مازندران)

مقاله علمی-پژوهشی

*محسن عموزاده عمرانی **(نویسنده مسئول)**، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
رضوان باباگلی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: **Mo.Omrani@iau.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۰- پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۲
صفحه ۱۶۸-۱۳۷

چکیده

بروز خرابی در روسازی یکی از معضلات اصلی در کاهش عمر مفید و سرویس‌دهی آن می‌باشد. راه حل‌های موجود جهت از بین بردن خرابی‌های روسازی به دو دسته پیشگیری و درمان تقسیم می‌شوند. فرآیند کنترل و تضمین کیفیت یکی از راه حل‌های پیشگیرانه می‌باشد. در این فرآیند، با استفاده از فعالیت‌هایی نظیر بازرسی، نمونه‌گیری، آزمایش و کنترل کیفیت در حین رانندگی، می‌توان کیفیت روسازی ساخته شده را کنترل و در صورت پذیرش، کیفیت روسازی را تضمین نمود. در این پژوهش، مطالعات صورت گرفته جهت کنترل و تضمین کیفیت آسفالت گرم به دو بخش اصلی برنامه کنترل کیفیت و برنامه تضمین کیفیت تقسیم‌بندی شده است. برنامه کنترل کیفیت براساس روش‌های آماری همانند، دسته‌بندی مشخصه‌های آسفالت و بررسی درصد اقلام معیوب توسط نمودار پارتو تعیین شده است. در برنامه ارزیابی و پذیرش، ابتدا درصد درون مشخصه‌ها توسط توزیع نرمال و سپس مقادیر ضریب پرداخت برای هرکدام از مشخصه‌ها براساس درصد درون حدود آنها محاسبه شده است. در نهایت، ضریب پرداخت مرکب برای تمامی مشخصه‌های مورد بررسی آسفالت محاسبه شده است. جهت تعیین رابطه پرداخت و درصد درون حدود از روش دلفی استفاده شده که در نهایت، برنامه پرداخت پله‌ای تعیین شده است. نتایج انجام برنامه کنترل کیفیت بر روی مشاهدات مطالعه موردی، نشان دهنده تشابه نتایج روش‌های مختلف مورد استفاده در برنامه کنترل کیفیت می‌باشد. علاوه بر آن، توسط این روش‌ها می‌توان عوامل کاهنده کیفیت آسفالت ساخته شده را تشخیص داد. در این پژوهش، این نتیجه حاصل شد که در مورد برنامه کنترل کیفیت تولید آسفالت، دسته‌هایی که در حدود کنترل قرار گرفته باشند، مقدار درصد درون حدود آنها بیشتر از ۷۵ درصد شده و در برنامه ارزیابی و پذیرش، قابل پذیرش هستند. همچنین در خصوص برنامه ارزیابی و پذیرش، بررسی ومقایسات صورت گرفته، نشان دهنده کمتر بودن میزان ضریب پرداخت مرکب برنامه ارزیابی و پذیرش نسبت به سایر سیستم‌های ارزیابی جاری وزارت راه و شهرسازی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: روسازی، کنترل کیفیت، آسفالت گرم، روش‌های آماری

۱-مقدمه

امروزه هزینه‌های بسیاری صرف تولید و ترمیم روسازی‌های آسفالت گرم می‌شود. مطابق آمار به دست آمده هزینه‌های سالانه تولید قیر و آسفالت در کشور حدوداً ۲۵۰۰ میلیارد تومان می‌باشد که این مبلغ، حدود ۱۵ درصد بودجه عمرانی کشور را به خود اختصاص داده است. بعلاوه، متوسط عمر روسازی در کشور ایران ۳ الی ٤ سال می باشد، در حالی که در سایر کشورها این عمر، تقریباً ۹ الی ۱۰ سال است. کوتاهی عمر روسازی راه های ایران سالانه در حدود ۱۵۰۰ میلیارد تومان هزینه به کشور

تحمیل نموده است. آمار فوق حاکی تولید انبوه قیر و آسفالت در سطح کشور می‌باشد و با وجود انجام نظارت و بازرسی از تولید و اجرای روسازی، درصد قابل توجهی از هزینه‌های تولید آنها صرف تعمیر و بازسازی روسازی راه‌ها شده است (عموزاده عمرانی، ۱۴۰۲). در نتیجه نظارت و بازرسی بر مراحل تولید و اجرای آسفالت در سطح کلان، جهت کسب کیفیت مطلوب چندان کافی نبوده و فقدان فرآیندهایی جهت کنترل و تضمین کیفیت آسفالت روسازی‌ها، به روشنی دیده می‌شود. فرآیند کنترل و تضمین کیفیت روسازی از جمله اقدامات پیشگیرانه جهت جلوگیری از اضمحلال روسازی در بازه زمانی عمر آن است. این فرآیند شامل سه بخش اصلی کنترل کیفیت، پذیرش محصول و بازبینی و تاییدهای نهایی می‌شود. نمونه‌گیری، آزمایش و بازرسی از جمله نیازات اولیه بخش‌های مختلف این فرآیند می‌باشد. روش‌های آماری ابزاری مفید و موثر جهت بررسی سطوح کیفی محصولات و ارزیابی آنها در دوره زمانی مشخص هستند. این روش‌ها به نام کنترل کیفیت آماری شناخته شده و با نمونه‌گیری از محصول و استفاده از اطلاعات به دست آمده، ارزیابی و کنترل انجام و اصلاح فرآیند ساخت آسفالت امکان پذیر است (Turochy et al, 2007).

توجه به نحوه تامین مصالح مواد با مشخصات مورد نیاز، ساخت و اجرای آسفالت در جهت کاهش هزینه‌ها و همچنین کارکرد مناسب در طول دوره عمر روسازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (عموزاده عمرانی و باباگلی، ۱۴۰۲). حمل‌ونقل جاده‌ای در جهت حمل‌ونقل کالا و مسافر نقش اول را در میان سایر مدهای حمل‌ونقل داراست. در واقع شبکه راه‌ها بستر این نوع حمل ونقل محسوب می‌شوند. اما سوال اصلی آن است که آیا بستر مهم حمل‌ونقل در طول چرخه عمر خود از کیفیت سرویس‌دهی مورد انتظار برخوردار است یاخیر. بررسی‌ها و بازرسی‌های انجام شده از سطوح روسازی‌های اجرا نشانگر این موضوع است که عمده روسازی‌های ساخته شده تا به امروز سرویس‌دهی مورد انتظار را نداشته‌اند. درنتیجه شناخت مشکلات روسازی‌های اجرا شده و در نظر گرفتن یک طرح کنترل کیفیت مناسب و در ادامه‌ی آن یک طرح تضمین کننده کیفیت کار پیمانکار در هنگام ساخت و پخش لایه‌های آسفالتی برای افزایش طول عمر و بازدهی مناسب آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (omrani et al., 2025). با توجه به طول عمر سرویس‌دهی پایین روسازی‌های آسفالتی در داخل کشور در مقایسه با کشورهای پیشرفته نیاز تمرکز بر روی گسترش روش‌های مدیریت و نگهداری راه بیش از پیش احساس می گردد. مطالعات گذشته به منظور مقایسه روش‌های پیشگیرانه بروز خرابی‌های روسازی مانند کنترل و تضمین کیفیت آن و روش‌های درمانی نشان دهنده مزیت روش‌های پیشگیرانه نسبت به روش‌های ترمیم روسازی راه می‌باشد. لذا ضرورت مطالعه و تحقیق در خصوص ارائه یک طرح کنترل و تضمین کیفیت آسفالت گرم به منظور حل برخی از قسمت های مسئله مطرح شده قابل قبول می‌باشد. کنترل کیفیت ترکیبی از دو وایه کنترل و کیفیت می‌باشد. جهت فهم بهتر واژه کنترل کیفیت تعریف جداگانه واژگان کیفیت و کنترل لازم است. کیفیت یعنی "شایستگی" جهت استفاده به‌خصوص و میزانی است که یک محصول انتظار مصرف‌کننده خود را برآورده می‌سازد. کنترل به معنای اعمال ضوابط و راهنمایی‌ها در مورد کسی یا چیزی جهت اطمینان از کسب نتایج مورد نظر می‌باشد. مفهوم کنترل کیفیت تعریف جداگانه دو واژه فوق را در بر می‌گیرد. کنترل کیفیت در نگاه اول، در نظر بسیاری از ناظران و صنعتگران، همان بازرسی جلوه می‌نماید؛ حال آن‌که در واقع بازرسی بخشی از فرآیند کنترل کیفیت می‌باشد (Shekharan et al, 2007). برنامه و اجرای کنترل کیفیت توسط طرح کنترل کیفیت انجام می‌گیرد. در واقع طرح کنترل کیفیت بیان‌کننده فعالیت‌هایی نظیر بازرسی، نمونه‌گیری، آزمایشات و ... می‌باشد که توسط آن‌ها می‌توان کیفیت پروژه را تحت کنترل قرار داد. هم‌چنین در مواقع خروج سطح کیفی پروژه از حدود مطلوب، می‌توان توسط راهکارهای مناسب و نیازمند زمانی کوتاه، جهت دخول سطح کیفی پروژه به حد مطلوب استفاده نمود.

۲-نمونه‌گیری از مواد و مصالح

نمونه‌گیری از مواد خام از جمله اقدامات طرح کنترل کیفیت می‌باشد. ضوابط ارائه شده در این قسمت معمولا بر اساس تجربیات پیشین و آزمایشات انجام‌گرفته بر روی مصالح خام و محصول نهایی انجام می‌شود. تعداد نمونه‌ها باید به مقدار کافی بوده و در شرایط مناسب از مواد مورد نظر تهیه گردند. از آن‌جا که در مواردی هم‌چون گرم کردن قیرهای خالص و مخلوط کردن مصالح دانه‌ای با قیر داغ امکان نمونه‌گیری‌های متعدد وجود ندارد، لذا صرف دقت کافی در این موارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. دستورالعمل‌های متعددی در مورد شیوه نمونه‌گیری تهیه شده است که می‌توان به دستورالعمل آیین‌نامه آشتو اشاره نمود.

۲-۱-آزمایشات کنترل کیفیت

آزمایشات کنترل کیفیت بر اساس دسترسی به داده‌ها و اطلاعات زیر انتخاب می‌گردند.

-آزمایشات تعیین مقادیر حجمی مصالح یا سنجش حجم

جهت انجام این‌گونه آزمایشات معمولا از آزمایشات متداول قدیمی استفاده می‌گردد. آزمایشات تعیین پارامترهایی مانند فضای خالی بین مصالح سنگی، فضای خالی مصالح مخلوط شده

با قیر، فضای خالی آسفالت و تعیین ارتباط آن‌ها و هم‌چنین، آزمایشات تعیین مقدار قیر، تعیین چگالی نمونه آسفالت با پیکنومتر و آزمایش دانه‌بندی از مثال‌های بارز این‌گونه آزمایشات به حساب می‌آیند.

-آزمایشات بدون نیاز به سنجش حجم

در این‌گونه آزمایشات، تعیین مقادیر حجمی مصالح نقش چندانی را در انجام آزمایش ایفا نکرده و یا نتایج آن‌ها بر اساس حجم مصالح نمی‌باشد. آزمایشاتی مانند تعیین چگالی آسفالت با استفاده از دستگاه چگالی‌سنج هسته‌ای و آزمایش SPT از جمله این‌گونه آزمایشات می‌باشند.

آزمایش چگالی‌سنج هسته‌ای جهت بررسی چگالی آسفالت پس از انجام عملیات تراکم صورت می‌پذیرد. در این آزمایش، چگالی آسفالت متراکم‌شده در ۱۰ نقطه از پیش تعیین شده توسط گیج استاندارد دستگاه چگالی‌سنج هسته‌ای اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه با امواج گاما کار می‌کند و به وسیله وسایل اندازه‌گیری نصب شده روی آن می‌تواند چگالی آسفالت ساخته شده را به صورت درجا اندازه‌گیری نماید. آزمایش چگالی‌سنج هسته‌ای در گروه آزمایشات غیرمخرب قرار دارد.

۳-۱-کاربرد روش‌های آماری جهت کنترل و تضمین کیفیت آسفالت گرم

رابرت اشمیت (۱۹۹۸)، کنترل و پذیرش آسفالت گرم (که از ارکان اصلی تضمین کیفیت می‌باشند)، تحقیقات جامعی انجام داده است. اشمیت در تحقیقات خود از ابزار علوم آماری استفاده کرده است. در این تحقیقات، کنترل کیفیت ساخت آسفالت در دو مرحله کنترل کیفیت آسفالت تولید شده توسط کارخانه و کنترل کیفیت تراکم آسفالت پخش شده پیشنهاد شده است. روند مورد استفاده در تحقیقات اشمیت برای کنترل کیفیت آسفالت ساخته شده مطابق ادامه می‌باشد.

کنترل کیفیت مخلوط در کارخانه

الف- تاثیر تغییرپذیری بر کیفیت

اطمینان از مشخصه‌ها به وسیله دستیابی به اهداف با حداقل تغییرات از اهداف اولیه طرح کنترل کیفیت آزمایشات در مخلوط تولید کارخانه‌ای می‌باشد. در صورت امکان، کنترل تغییرپذیری، تشخیص تغییرپذیری از بین تغییرپذیری تصادفی و تغییرپذیری مختص فاکتورهای مشخص پروژه جزو احتیاجات پیمانکاران می‌باشد. به عنوان مثال، تفاوت قابل توجهی در تولیدات روزانه محصولات دیده می‌شود یا خیر. یا این‌که چگونه می‌توان از این اطلاعات برای اجرای روش‌های کنترل کیفیت استفاده نمود (Tam et al, 2007).

ب- ANOVA، مدل تحلیل تغییرات تصادفی

در این مطالعات جهت بررسی وجود تغییرات روزانه در فرآیند ساخت آسفالت گرم از آزمون آنوا استفاده شده است.

اشمیت در مطالعات خود جهت بررسی وجود تغییرات میان مشاهدات مشخصه‌های آسفالت مقادیر هدف، استفاده از نمودار کنترل را پیشنهاد نموده است (Ryan et al, 1989).

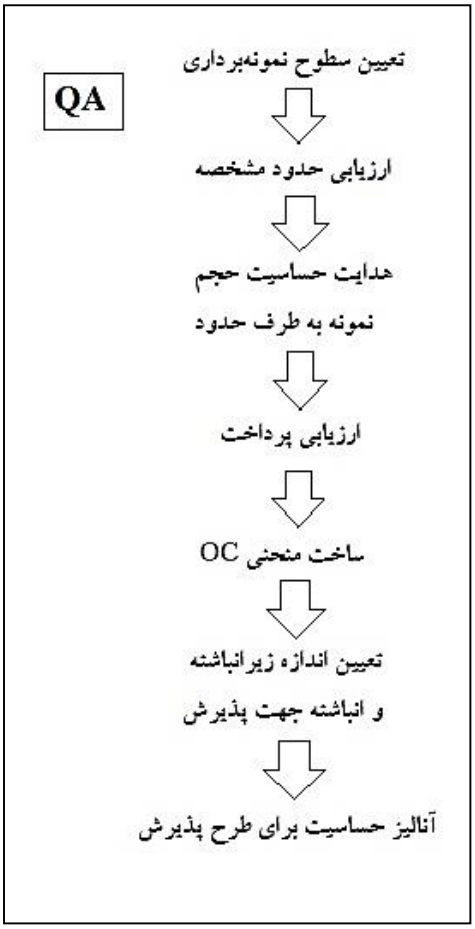
کنترل کیفیت تراکم در اجرا

همانند بررسی خواص مخلوط در کارخانه، جهت بررسی کیفیت درصد تراکم، تغییرات روزانه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته، فاکتورهای موثر بر ایجاد تغییرات شامل تغییر در خواص مخلوط، شیوه تراکم و شرایط محیطی می‌باشند. جهت بررسی رابطه تعدد نمونه‌گیری با انحراف معیار قابل قبول، استفاده از شاخص آماری بازه اطمینان پیشنهاد شده است. با توجه به بررسی داده‌های مشابه در مورد دصد تراکم، انحراف معیار مورد استفاده ۱/۵ در نظر گرفته شده است.

طرح پذیرش توسط کارفرما

در شکل ۱ مراحل پذیرش آسفالت توسط کارفرما دیده می‌شود. با توجه به شیوه پیشنهادی می‌توان فرآیند پذیرش را به دو بخش اصلی تقسیم‌بندی نمود. بخش اول، شیوه نمونه‌گیری و تعدد آن می‌باشد و بخش دوم، تعیین ضریب پرداخت برای هر کدام از مشخصه‌ها است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در این شیوه ارتباط متقابل بین دو قسمت برقرار است به این صورت که ابتدا ضریب پرداخت با توجه به نمونه‌ها و تجربیات پیشین معین شده و سپس بر اساس نمونه‌برداری ضریب پرداخت از لحاظ فنی و اقتصادی کنترل می‌شود (Turochy et al, 2007).



شکل ۱. مراحل اعمال طرح پذیرش

فرآیند تصدیق

اشمیت (۱۹۹۸)، جهت بررسی درستی و مقایسه مقادیر نمونه‌گیری شده در طرح کنترل کیفیت و طرح پذیرش استفاده از آزمون‌ها t و F را پیشنهاد می‌نماید. از آزمون t و F می‌توان به ترتیب برای مقایسه میانگین و تغییرات دو جامعه نمونه‌برداری توسط پیمانکار و کارفرما استفاده نمود.

تاثیرات یک برنامه QC/QA گسترده بر روی نحوه مدیریت روسازی

وجود داده‌های مورد نیاز کافی و سازمان‌دهی شده یکی از الزامات و احتیاجات مدیریت روسازی می‌باشد. در راستای تحقق برداشت اتوماتیک داده‌های مورد نیاز از سطح روسازی راه تلاش‌های بسیاری طی دهه اخیر انجام گرفته است که می‌توان به فعالیت‌های انجام‌گرفته در ایالت آلاباما آمریکا اشاره کرد.

سازمان حمل و نقل ایالت آلاباما توانسته است تا اطلاعات مورد نیاز از سطح روسازی را به طور خودکار برداشت نماید (Akkinepally et al, 2006). در این تحقیق، تاثیرات یک برنامه کامل و گسترده نمایش کیفیت بر روی داده‌های مدیریت روسازی و بودجه تخمینی تعیین شده است. یک برنامه گسترده و کامل نمایش کیفیت شامل کنترل کیفیت، پذیرش و تضمین کیفیت، تصدیق مستقل و بازبینی است. از نتایج تصدیق مستقل و بازبینی پیشین و پسین برای تعیین تاثیرات برنامه کامل و گسترده نمایش کیفیت بر روی داده جمع‌آوری شده از خرابی‌های سطح روسازی استفاده شده است. موارد زیر از احتیاجات هر برنامه نمایش کیفیت می‌باشد.

-مشارکت سازمان مربوطه و بخش‌های مختلف آن

-تصدیق/بازبینی فعالیت فروشندگان یا مجریان

-ارزیابی سایت کنترل

-ارائه یک برنامه گسترده QC/QA

-مرور تصدیق مستقل و بازبینی

اجرای برنامه نمایش کنترل در ایالت کالیفرنای آمریکا دارای سه مزیت بوده است.

-موجب افزایش دقت در ارائه گزارش شرایط موجود شده است (افزایش ۶۰ درصدی)

-موجب افزایش دقت در ارائه گزارش نقصان‌ها در شرایط موجود شده است (افزایش ۳۰ درصدی)

-موجب افزایش دقت در تعیین بودجه مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها شده است.

مطابق با ارزیابی‌های انجام‌گرفته، به طور کلی استفاده از برنامه نمایش کیفیت بهبود ۲۵ درصدی در انجام فرآیندهای مرمت و بازسازی روسازی را به دنبال داشته است (Bhattacherjee et al, 2002).

مقایسه نتایج آزمایشات کیفیت برای پذیرش آسفالت گرم توسط پیمانکار و کارفرما برای مشخصه درصد تراکم

نمونه‌گیری و انجام آزمایشات کنترل کیفیت از جمله فعالیت‌های رایج یک برنامه پذیرش محصول توسط کارفرما یا نماینده آن می‌باشد. در بسیاری از ایالت‌های آمریکا، بررسی عملکرد پیمانکاران مجری پروژه‌های روسازی‌های آسفالت گرم توسط نتایج حاصل از نمونه‌گیری و آزمایش آسفالت ریخته شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، نتایج آزمایشات درصد تراکم آسفالت پیمانکاران و کارفرمایان ایالت‌های آلاباما، فلوریدا، کارولینای شمالی و کانزاس مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تهیه داده‌های مورد نیاز از دستگاه چگالی‌سنج هسته‌ای استفاده شده است.

جهت نمونه‌گیری ابتدا حجم انباشته تعیین شده و سپس، از هر کدام از انباشته‌ها، تعداد نمونه مورد نیاز توسط کارفرما و پیمانکار برداشته شده است.

جهت مقایسه داده‌های نتایج آزمایشات پیمانکار و کارفرما، از روش‌های آماری F-test و t-test استفاده شده است. توسط این دو آزمون به ترتیب وجود تفاوت معنی‌دار میان تغییرات داده‌ها (انحراف معیار) و میانگین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. سطح اهمیت برای این دو آزمون یک درصد در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از انجام این آزمون‌ها بر روی داده‌های پیمانکاران و کارفرمایان نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار میان داده‌های آن‌ها می‌باشد. به علاوه، این مقایسه بیانگر تغییرات کمتر و انطباق بیشتر داده‌ها سبت به حدود مشخصات برای داده‌های پیمانکاران بوده که این موضوع نشان‌دهنده اعمال توجه و دقت بیشتر پیمانکاران نسبت به نمایندگان کارفرما در زمینه کنترل کیفیت محصول است.

۲- روش تحقیق

۲-۱-برنامه کنترل کیفیت تولید و اجرای آسفالت

نمونه‌گیری، آزمایش و بازرسی از پیش‌نیازهای برنامه کنترل کیفیت می‌باشد. پس از انجام مراحل مذکور، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری و پردازش‌های لازم جهت تعیین سطوح کیفی خواص روی آن انجام می‌پذیرد. برنامه کنترل کیفیت مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل۲ می‌باشد. مشخصه درصد تراکم از مهمترین مشخصه‌های اجرایی می‌باشد. جهت بررسی این پارامتر ابتدا مشاهدات برگه‌های آزمایشگاهی توسط روش آماری کوکران دسته‌بندی می‌شوند و سپس تغییرات میان آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

سپس تاثیر تغییرات اقلام معیوب و درصد درون حدود برروی میانگین دسته‌ها مطالعه می‌شود. همچنین منظور از ارزیابی و پذیرش ارائه فرایندی است که طی آن درصد آسفالت اجرا شده مورد قبول محاسبه و سپس بر اساس آن ضریب پرداخت مشخص می‌شود. درصد آسفالت مورد قبول براساس درصد انطباق مشخصه‌های آن با حدود آیین‌نامه‌ای و طرح اختلاط‌های مصوب کارگاهی تعیین می‌شود. سپس ضریب پرداخت برای هرکدام از مشخصه‌ها تعیین شده و درنهایت ضریب پرداخت مرکب برای آسفالت اجرا شده تعیین می‌شود.

شکل۲. روش‌ها و مراحل کنترل کیفیت آسفالت تولید شده در کارخانه

دستورالعمل جمع‌آوری اطلاعات و روش‌های بکار رفته

روش‌های مورد استفاده در طرح کنترل کیفیت

روش انتخابی جهت ارزیابی و تحلیل کیفی آسفالت شامل بررسی سه عامل تحلیل تغییرپذیری و پایداری آماری و بررسی فراوانی و درصد اقلام معیوب مشخصه‌ها است که در ادامه این فصل به ارائه نحوه انجام این تحلیل‌ها پرداخته خواهد شد.

تعیین حجم نمونه و دسته بندی داده‌ها

در این پژوهش از روش پیشنهادی کوکران جهت دسته‌بندی داده‌های پیوسته استفاده شده است. از ویژگی‌های این روش تعیین خطای نسبی میانگین دسته‌ها و میانگین جامعه است. بدین معنی که میانگین دسته‌بندی داده‌ها بگونه‌ای است که خطای نسبی، کمتر از میزان خطای در نظر گرفته شده برای انجام محاسبات، باشد. حجم نمونه در روش پیشنهادی کوکران توسط رابطه (۱)، محاسبه می‌شود (سی. مونتگومری، ۱۳۸۷).

$$n = \frac{n_Q}{1+\frac{n_Q-1}{N}} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱)، n حجم جامعه آماری، N میانگین جامعه آماری و n_Q انحراف میار جامعه آماری است.

روش تحلیل تغییرات

جهت بررسی تغییرپذیری مشخصه‌ها از روش تحلیل تغییرات استفاده شده است. روش تحلیل تغییرات از جمله روش‌های آماری است که می‌توان برای مقایسه میانگین‌های دو یا چند دسته یا جامعه از آن استفاده کرد. روش تحلیل تغییرات فنی توانمند جهت تفسیر داده‌ها و مشاهدات چندین جامعه آماری یا دسته‌های تیماری مربوط به آنها است. تغییرات میان جوامع یا دسته‌های آماری نشات گرفته از دو منبع در ادامه است.

-تغییرات میان میانگین احجام نمونه جامعه

-تغییرات میانگین هرکدام از احجام نمونه با میانگین کل جامعه (خطا)

نمونه‌برداری تصادفی یکی از پیش‌زمینه‌های این روش است. تعداد احجام دسته‌های داده‌های هر جامعه می‌تواند از ۲ تا n دسته متغییر باشد که احجام هر کدام از این دسته‌ها با n_1 نشان داده شده است. جدول ۱، به جدول آنوا شناخته شده است و جهت انجام محاسبات از آن استفاده می‌شود (کوکران و همکاران، ۱۳۸۵).

جدول۱. جدول آنوا برای مقایسه دسته‌ها

منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات
انحراف دسته‌ها	$\sum_{i=1}^{\kappa}(\bar{y}_i-\bar{\bar{y}})^2$	$d.f=\kappa-1$	$MS_T^{\cdot}=\frac{SS_T}{\kappa-1}$
مانده‌ای	$\sum_{i=1}^{\kappa}\sum_{j=1}^{n_i}(y_{ij}-\bar{y}_i)^2$	$d.f=\sum_{i=1}^{\kappa}n_i-\kappa$	$MSE=\frac{SSE}{d.f=\sum_{i=1}^{\kappa}n_i-\kappa}$
مجموع	$\sum_{i=1}^{\kappa}\sum_{j=1}^{n_i}(y_{ij}-\bar{\bar{y}})^2$	$\sum_{i=1}^{\kappa}n_i-1$	-

مقایسه جفتی وجود تفاوت میان دسته‌ها با مقایسه میانگین‌آنها

جهت بررسی وجود تفاوت میان دسته‌ها، میانگین آنها بصورت جفتی توسط آزمون دانکن مقایسه شده‌اند. از ویژگی‌های این آزمون نسبت به سایر آزمون‌ها، توان بالای آن در تشخیص وجود تفاوت میان دسته‌ها و امکان استفاده از آن در تمامی شرایط (حتی در مواقعی که حجم نمونه دسته‌ها با یکدیگر برابر نباشند) می‌باشد. در آزمون دانکن دسته‌ها دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند. جهت انجام این آزمون به‌ترتیب زیر عمل می‌شود.

-میانگین دسته‌ها را به ترتیب صعودی مرتب کرده و سپس خطای معیار میانگین‌ها محاسبه می‌شود.

-از جدول دامنه‌ها معنی دار دانکن برای مقادیر P=2,3,.....a مقادیر $r_a(P,f)$ بدست آورده می‌شود که در آن a سطح معنی دار بودن و f تعداد درجات آزادی خطاها است.

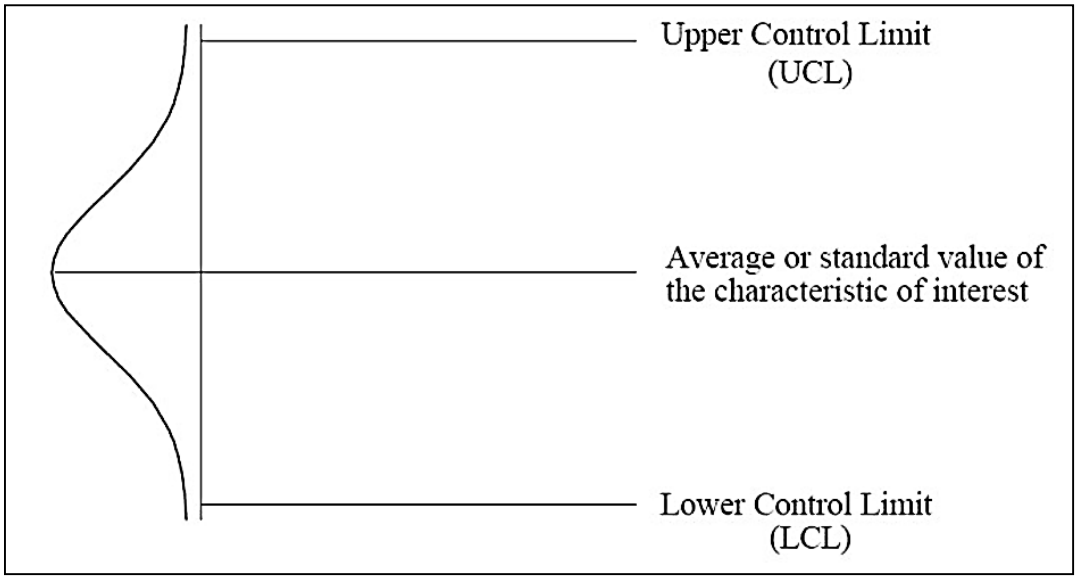
-توسط رابطه (۲)، مجموعه‌ای شامل a-1 مقدار تحت عنوان کمترین دامنه‌های معنی‌دار بدست آورده می‌شود.

$$R_P = r_a(p,f)S_{\bar{Y}_{io}}, p=2 \quad (۲)$$

اختلاف میانگین تک‌تک با شروع از بزرگترین نسبت به کوچکترین آنها که با R_p مقایسه شده آزمون می‌شود. اگر این اختلاف از R_p بیشتر بود نتیجه می‌شود که جفت میانگین مربوطه بصورتی معنی‌دار با یکدیگر متفاوت هستند.

تحلیل پایداری داده حول مقادیر هدف و حدود آیین‌نامه‌ای

جهت بررسی پایداری داده‌های حاصل ار نتایج آزمایشات از نمونه‌برداری آماری استفاده خواهد شد. نمودارهای کنترل یکی از ابزارهای علم آمار است. نمودارهای کنترل دارای انواع مختلفی می‌باشند و برای محاسبه هرکدام از آنها روابط مختص به خود وجود دارد. هرکدام از نمودارهای کنترل برای بررسی داده‌ها و خلاصه‌های آماری مخصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با مشخص بودن آنها می‌توان از نمودار مربوطه استفاده نمود. در شکل۳، شکل کلی یک نمودار کنترل نشان داده شده است.



شکل۳. شکل کلی یک نمودار کنترل

در شکل ۳، CL، UCL و LCL به ترتیب مقدار هدف، حدبالای کنترل و حد پایین کنترل می‌باشد. انتخاب نمودارهای کنترل معمولا براساس نوع مشخصه مورد بررسی انجام می-پذیرد. بسیاری از مشخصه‌ها را می‌توان در قالب اندازه‌های عددی بیان کرد. مشخصه‌های کیفی قابل اندازه‌گیری نظیر ابعاد، وزن و یا حجم را مشخصه‌های کیفی متغییر می‌نامند. معمولا در عمل هنگامیکه مشخصه کیفی مورد مطالعه بصورت متغییر باشد هم میانگین و هم واریانس آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. لذا معمول‌ترین گونه‌های نمودارهای کنترل برای مشخصه‌های متغییر نمودارهای کنترل برای بررسی میانگین دسته‌ها و نمدار کنترل S و R برای کنترل تغییرات می‌باشند. در اینگونه نمودارهای کنترل توزیع داده‌ها بصورت نرمال می‌باشد. از آنجاییکه تغییرات در این پژوهش توسط آزمون‌های تحلیل تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است، لذا بررسی پایداری مشاهدات تنها توسط نمودار کنترل استفاده می‌شود.

نمودارهای کنترل شوارت

نمودار کنترل شوارت معروف‌ترین نوع نمودارهای نمایش پیوستگی کیفیت داده‌ها در حال حاضر می‌باشد. نمودار کنترل برای بررسی پایداری میانگین مشاهدات و تغییرات آنها حول مقادیر هدف است. گام‌های ترسیم این نمودار به شرح زیر می‌باشد.

-دسته‌بندی داده‌ها

-تعیین شاخص مورد بررسی برای هر دسته

-تعیین مقادیر حد مرکزی، حد بالا و حد پایین

-ترسیم نمودار توسط خلاصه‌های آماری هر دسته، حد مرکزی، حد بالا و حد پایین

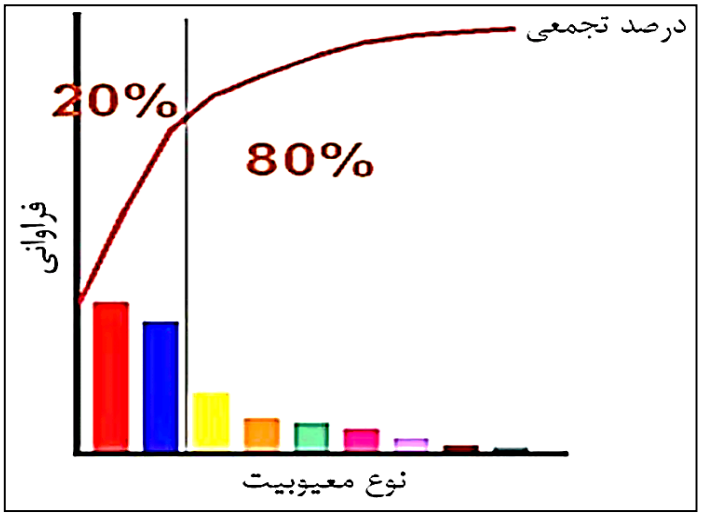
مقادیر حد مرکزی، حد بالا و حد پایین توسط روابط موجود در جدول ۲، محاسبه می‌شوند.

جدول ۲. نحوه محاسبه مقادیر حد مرکزی، حد بالا و حد پایین در نمودار کنترل

نمودار کنترل $\bar{X}$
$\bar{R} = \sum_{i=1}^{n} R_i/n$ و $\bar{\bar{X}} = \sum_{i=1}^{n} \bar{X}_i/n$
$\mathrm{UCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
$\mathrm{LCL}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$

بررسی فراوانی و درصد اقلام معیوب

از دیگر کاربردهای علوک آماری در زمینه کنترل کیفیت بررسی فراوانی و درصد اقلام معیوب توسط نمودار پارتو است. نمودار پارتو که یکی از مهمترین و کاربردی‌ترین نمودارهای آماری است امروزه در فرآیندهای تولیدی و غیر تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصل پارتو یا همان قانون ۸۰:۲۰ را عنوان می‌کند که ۲۰ درصد از عوامل ۸۰ درصد مسائل را می‌آفرینند و هشتاد درصد از عوامل سبب ۲۰ درصد مسائل هستند. جهت ترسیم نمدار پارتو ابتدا مقدار فراوانی و درصد تجمعی عیوب مشخص شده و این مقادیر مشابه شکل ٤، در یک نمودار ترسیم می‌شود.



شکل٤. نمونه‌ای از نمودار پارتو

روش‌های مورد استفاده در برنامه ارزیابی و پذیرش

محاسبه درصد درون حدود

درصد درون حدود که اصطلاحا با PLW شناخته می‌شود عبارت است از درصدی از جامعه مورد بررسی که در بین حدود پایین و بالای مشخصه قرار می‌گیرد. اصول اولیه برای محاسبه PLW مشخصه‌های آسفالت براساس توزیع نرمال بوده و PLW بر اساس سطح زیر نمودار توزیع نرمال، حجم نمونه، انحراف معیار و میانگین نمونه‌های هر کدام از مشخصه‌ها محاسبه می‌شود. جهت محاسبه مقادیر PLW از جداول پیشنهادی FHWA استفاده می‌شود.

محاسبه برنامه پرداخت

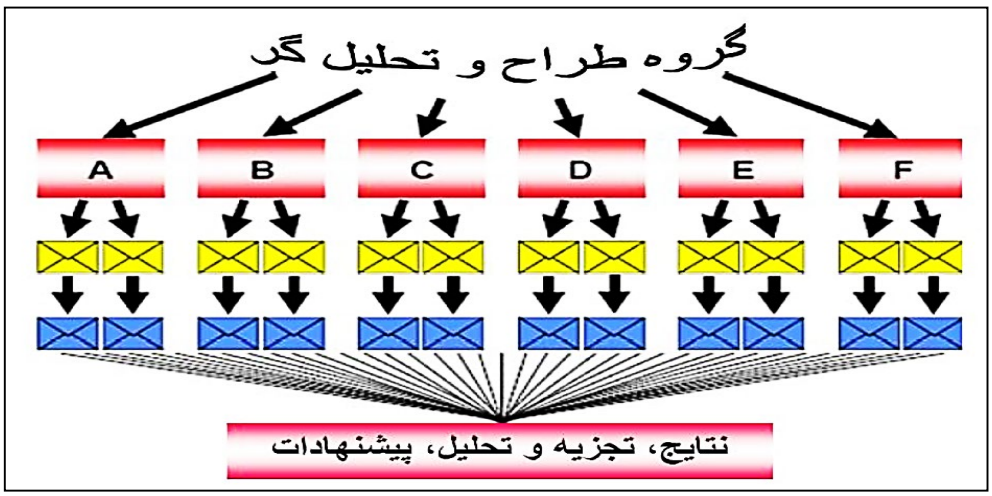
برنامه پرداخت مشخص کننده ارتباط میان پارامتر PWL و ضریب پرداخت است. با توجه به مطالعات انجام شده دو گونه رایج این برنامه شامل برنامه پرداخت پله‌ای و برنامه پرداخت پیوسته می‌شود. در برنامه پرداخت پله، ضریب پرداخت براساس بازه‌های از پیش تعیین شده PWL مشخص می‌شود. در برنامه پرداخت پیوسته ضریب پرداخت توسط یک رابطه خطی تعیین می‌شود. آشتو، مزیت برنامه پرداخت پیوسته را نسبت به برنامه پرداخت پله‌ای بدین صورت بیان می‌دارد که تغییرات بسیار کم در کیفیت یک آسفالت تولید شده در صورتی که PWL آن نزدیک به ابتدا و انتهای بازه‌ها باشد موجب تغییر قابل توجه در ضریب پرداخت می‌شود حال آنکه این موضوع در برنامه پرداخت پیوسته قابل رویت نیست. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش دلفی، برنامه پرداخت پله‌ای تعیین شده و سپس توسط دو روش تقریبی، برنامه پرداخت پیوسته از برنامه پرداخت پله‌ای استخراج می‌شود.

روش دلفی

روش دلفی اولین بار توسط دارکلی و هلمرد، برای موسسه رند آمریکا تدوین گردید. این روش به منظور نگرش‌ها و قضاوت‌های افراد و گروه‌های متخصص، بدون الزام حضور افراد در محل معینی، با استفاده از پرسشنامه طی چندین مرحله و ایجاد هماهنگی بین دیدگاه‌ها، به جمع‌آوری نظرات این افراد می‌پردازد. در پایان جمع‌بندی، ارزش‌گذاری و تحلیل مجموعه دیدگاه‌ها و نظرات افراد، مبنای هدف‌گذاری، تدوین برنامه و یا تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. روش دلفی راهکاری جهت ایجاد یک فرایند ارتباط گروهی است، به‌طوری که این فرایند گروهی که شامل اجزای جداگانه و مستقل است اجازه می‌دهد که در حل مسائل پیچیده شرکت کنند. در روش دلفی پرسش‌گری در دو مرتبه یا بیشتر انجام می‌شود و در هرمرتبه از نتایج به‌دست آمده از دفعه یا دفعات قبل استفاده می‌شود. بنابراین، از مرتبه دوم، متخصصان و کارشناسان تحت تاثیر نظریات و عقاید هم ترازان خود ونتایج به دست آمده از مرتبه قبل به سوالات پاسخ می‌دهند. طبق تعریف هادر و همکاران، روش دلفی یک فرایند قوی مبتنی بر ساختار ارتباطی گروهی است، طوری که در مواردی که دانشی غیر کامل و نامطمئن است در دسترس باشد و مورد استفاده قرار گیرد، قضاوت به متخصصان آن امر سپرده می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۷۶).

طبق نظر وچ اسلر، یک روش دلفی استاندارد روش تحقیقی است که توسط یک گروه ناظر اداره می‌شود و در چندین دور توسط یک گروه متخصص که برای یکدیگر ناشناس هستند، اجرا می‌شود و هدف آن اجماع نظر در رابطه با یک موضوع است. بعد از هر مرتبه، نتایج به دست آمده براساس آمار گیری از قضاوت گروه، محاسبه شده و در دورهای بعدی از آنها استفاده می‌شود و نتایج در اختیار گروه قرار می‌گیرد.

در شکل ۵، نمایی از روش دلفی نشان داده شده است (نوری و همکاران ۱۳۸۶).



شکل ۵. نمایی از روش دلفی

ارزیابی برنامه پرداخت

مطابق با روش آشتو در این مرحله برنامه پرداخت پله‌ای ارزیابی شده و مقادیر ریسک‌های پیمانکار و کارفرما برای آن محاسبه شده است. جهت ارزیابی برنامه پرداخت پله‌ای از منحنی عملکرد استفاده می‌شود. هدف از بکارگیری این منحنی محاسبه مقادیر ریسک کارفرما و پیمانکار بر اساس تعدد منطقی و قابل اجرای حداقل نمونه‌های گرفته شده از آسفالت است.

محاسبه ضریب پرداخت مرکب

هدف از محاسبه ضریب پرداخت مرکب، ارزیابی کل آسفالت براساس ارزیابی مشخصه‌های مورد نظر است. در این تحقیق ضریب پرداخت مرکب از روش میانگین وزنی مشخصه‌های آسفالت استفاده می‌شود. وزن هرکدام از مشخصه‌ها توسط روش تحلیل سلسله مراتبی محاسبه می‌شوند.

نتایج

مشخصه‌ها و حدود طرح اختلاط

مشخصه‌ها و حدود طرح اختلاط آیین‌نامه‌ای از دیگر اطلاعات مشترک مورد استفاده در این پژوهش می‌باشند که از آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه ایران که نشریه ۲۳٤ نام دارد، مشخصات فنی عمومی راه که نشریه ۱۰۱ نام دارد طرح اختلاط کارگاهی پروژه تعیین می‌شوند. علاوه بر آن توضیحات و اظهار نظرات دستگاه نظارت پروژه در هر کدام از برگه‌های آزمایشگاهی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به موارد بیان شده، حدود مشخصه استخراج شده برای مشخصه‌های آسفالت پروژه‌ها مطابق جدول‌های ۳، ٤ و ۵ می‌باشند.

جدول ۳. مشخصه‌ها و حدود طرح اختلاط قشر بیندر کارخانه آسفالت سازمان عمران شهرداری ساری

شماره	مشخصه	مقادیر			توضیحات
		حدپایین	متوسط	حد بالا	
۱	متوسط درصدقیر نسبت به مخلوط آسفالت	٤/۸	۵/۲	۵/٦	–
۲	درصد شکستگی مصالح	۸۰	–	–	–
۳	درجه حرارت آسفالت	۱۲۰	۱٤۱/۵	۱٦۳	برای ضخامت٤/۵ سانتی‌متر با ۱۰ درجه حدود رواداری
٤	درصد فضای خالی آسفالت	۳	–	٦	ترافیک سنگین
۵	استقامت مارشال (کیلوگرم)	۸۰۰	–	–	ترافیک سنگین
٦	درصد فضای خالی پرشده با قیر	٦۵	–	۷۵	ترافیک سنگین
۷	روانی مارشال	۸	–	۱۲	ترافیک سنگین
۸	دانه بندی (درصد رد شده از الک٤)	۳۸	٤۵	۵۲	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۹	دانه بندی (درصد رد شده از الک۸)	۲٤	۳۰	۳٦	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۱۰	دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۵۰)	۵	۱۰	۱۵	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۱۱	دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۲۰۰)	۲	۵	۸	حدود طرح اختلاط کارگاهی

جدول ٤. مشخصه‌ها و حدود طرح اختلاط قشر بیندر محور ساری-پهنه‌کلا

شماره	مشخصه	مقادیر			توضیحات
		حدپایین	متوسط	حد بالا	
۱	متوسط درصدقیر نسبت به مخلوط آسفالت	٤/۷	۵	۵/۳	–
۲	درصد شکستگی مصالح	۹۰	–	–	–
۳	درجه حرارت آسفالت	۱۲۰	۱٤۱/۵	۱٦۳	برای ضخامت٤/۵سانتی متر با ۱۰ درجه حدود رواداری
٤	درصد فضای خالی آسفالت	۳	–	۵	ترافیک سنگین
۵	درصد فضای خالی مصالح	۱۳	–	–	–
٦	استقامت مارشال (کیلوگرم)	۸۰۰	–	–	ترافیک سنگین
۷	درصد فضای خالی پرشده با قیر	٦۵	–	۷۵	ترافیک سنگین
۸	روانی مارشال میلیمتر	۲	–	۳/۵	ترافیک سنگین
۹	دانه بندی (درصد رد شده از الک٤)	۵۲	۵۹	٦٦	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۱۰	دانه بندی (درصد رد شده از الک۸)	۳۹	٤۵/۵	۵۲	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۱۱	دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۵۰)	۸	۱۳	۱۸	حدود طرح اختلاط کارگاهی
۱۲	دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۲۰۰)	۲	۵	۸	حدود طرح اختلاط کارگاهی

درصد تراکم نیز از دیگر مشخصه‌های آسفالت است که براساس نشریه ۱۰۱ حداقل ۹۷ درصد برای آن درنظر گرفته شده است. در مورد دانه‌بندی، از آنجا که بررسی تمامی الک‌ها دشوار و وقت گیر است لذا تنها چهار الک مبنای کنترل قرار گرفته‌اند.

کنترل کیفیت تولید آسفالت گرم

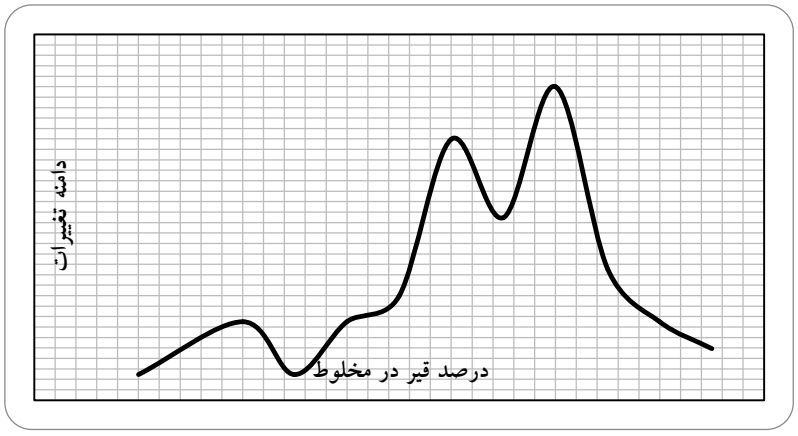
اولین گام در برنامه کنترل کیفیت، نمونه‌گیری و تعیین حجم انباشته و نمونه‌ها می‌باشد. با توجه به تغییر طرح کنترل اختلاط آسفالت کارخانه آسفالت سازمان عمران شهرداری ساری آسفالت تولیدی در بازه زمانی مشخص، به دو انباشته تقسیم شده است. مطابق با زمان تغییر طرح اختلاط، انباشته اول آسفالت تولید شده از مهرماه تا دی ماه و انباشته دوم آسفالت تولید شده در بهمن ماه و اسفند ماه است. در تحقیقات کنترل کیفیت، از آسفالت تولیدی در انباشته دوم استفاده می‌شود. جهت کنترل کیفیت آسفالت از روش‌های آماری استفاده می‌شود.

لذا در اولین مرحله جهت توصیف خوصیات انباشته مورد بررسی، خلاصه‌های آماری مشخصه‌های مختلف آسفالت تولید شده در این انباشته در جدول۵ نشان داده شده است. در این قسمت روی بررسی پارامترهایی که در جدول ۱ دارای حد بالا و پایین مشخص می‌باشند تمرکز شده است.

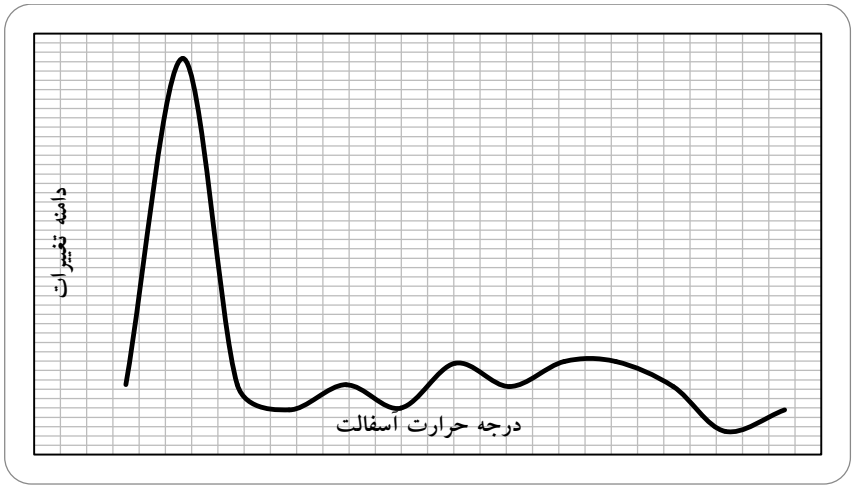
جدول۵. خلاصه‌های آماری مشخصه‌های آسفالت تولیدی در انباشته منتخب

مشخصه	□	میانگین	میانه	نما	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	محدوده
متوسط درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالت	۵۱	۵/۲۷	۵/۳	۵/٤	۰/۲۳۷	٤/٦	۵/۷	۱/۱
درجه حرارت آسفالت	۵۱	۱٤۸/۲٦	۱٤۷	۱٤۳	٦/۰۷٦	۱٤۰	۱٦۰	۲۰
درصد فضای خالی آسفالت	٤۰	۵/۵	۵/٦۵	۵/۹	۰/۷۱۵	۳/۸	٦/٦	۲/۸

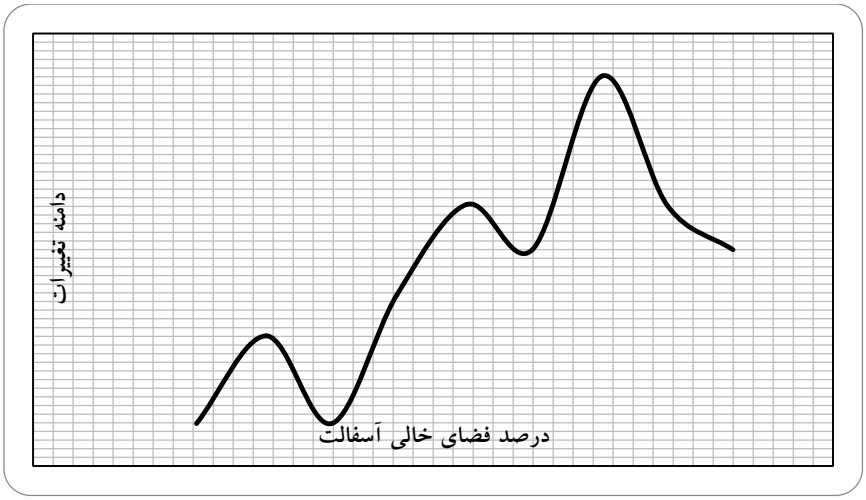
درصد فضای خالی پرشده با قیر آسفالت	٤٠	٦٦/١	٦٦	٦٥	٣/٤٠٣	٥٧	٧٤	١٧
روانی مارشال	٥١	١٣/١٦	١٣	١٤	٠/٩٢٥	١١	١٥	١٤
دانه‌بندی (درصد الک رد شده از الک٤)	٥١	٥٠/٥٥	٥١	٤٨	٤/١٩٧	٤٠	٥٨	١٨
دانه‌بندی (درصد الک رد شده از الک٨)	٥١	٣٣/٥	٣٤	٣٤	٣/٤٠٤	٢٦	٤٠	١٤
دانه‌بندی (درصد الک رد شده از الک٥٠)	٥١	٩/٤١	٩	٨	١/٣٤٤	٧	١٣	٦
دانه‌بندی (درصد الک رد شده از الک٢٠٠)	٥١	٤/٥٧	٥	٥	٠/٦٠٨	٣	٦	٣



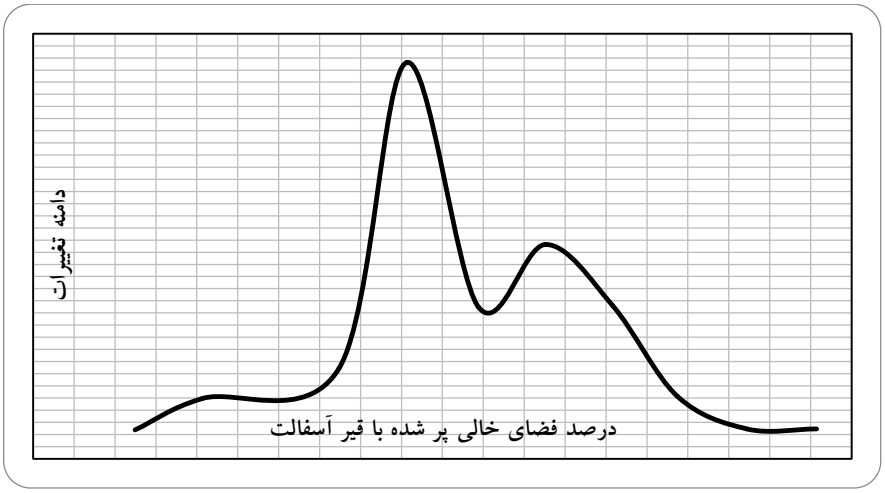
شکل٦. نمودار درصد قیر در مخلوط



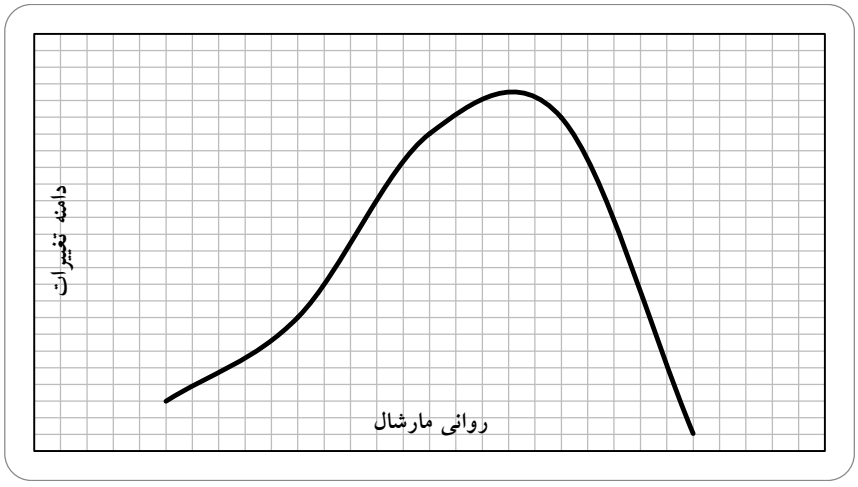
شکل٧. نمودار درجه حرارت آسفالت



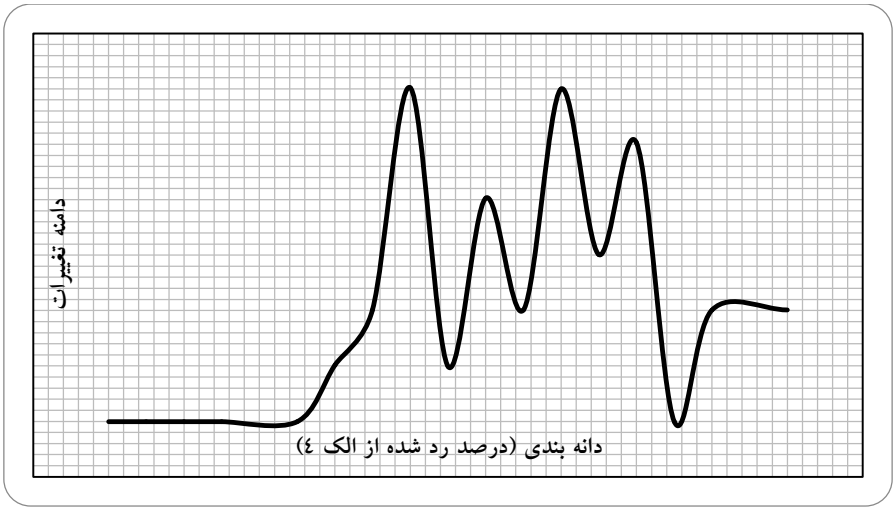
شکل۸. نمودار درصد فضای خالی آسفالت



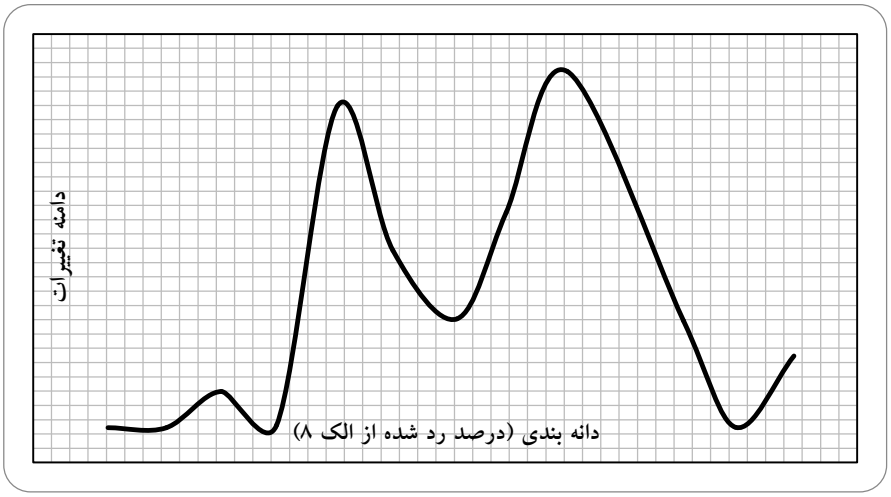
شکل۹. نمودار درصد فضای خالی پرشده با قیر آسفالت



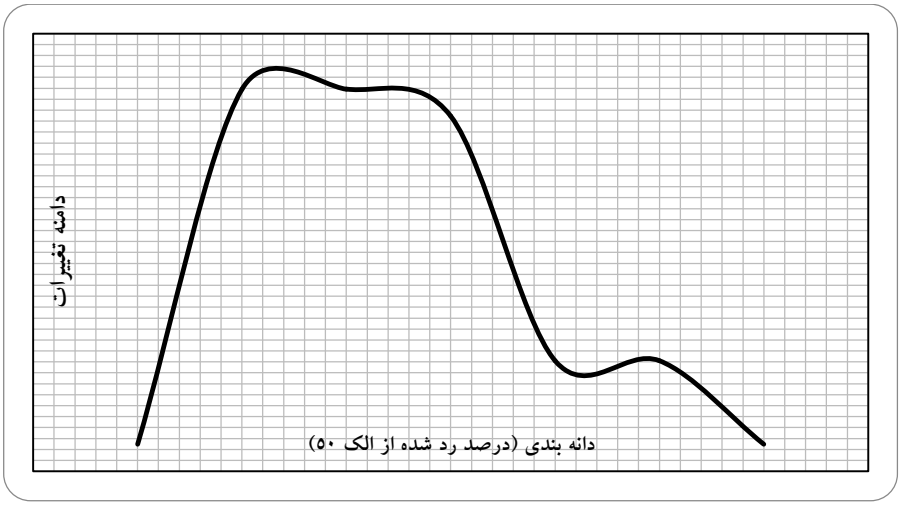
شکل۱۰. نمودار روانی مارشال



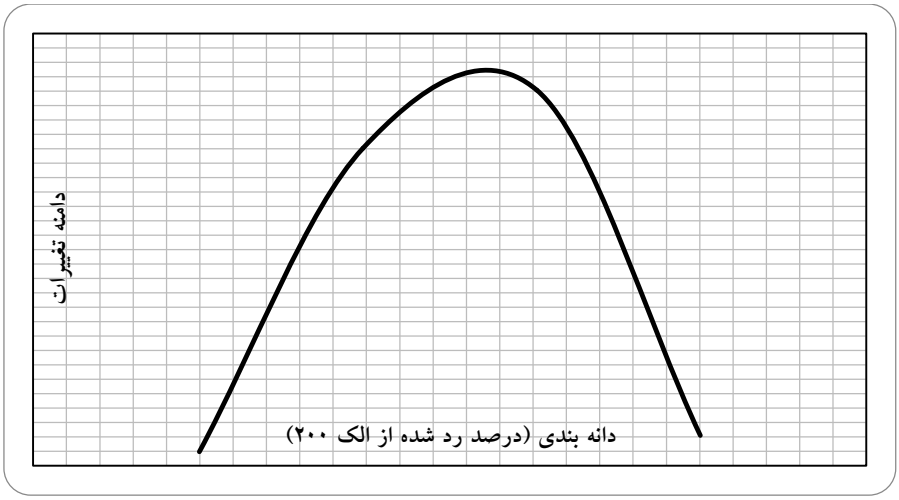
شکل۱۱. نمودار دانه‌بندی (درصد رد شده از الک ٤)



شکل۱۲. نمودار دانه‌بندی (درصد رد شده از الک ۸)



شکل۱۳. نمودار دانه‌بندی (درصد رد شده از الک ۵۰)



شکل۱٤. نمودار دانه‌بندی (درصد رد شده از الک ۲۰۰)

تعیین حجم نمونه

جهت استفاده از نمودارهای کنترل کیفیت داده‌ها به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند. از آنجاییکه امکان دسته‌بندی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش و بررسی آنها به‌صورت روزانه امکان نداشت جهت دسته‌بندی آنها از روش آماری کوکران استفاده شده است. در این روش جهت دسته‌بندی ابتدا تمامی داده‌های مشخصه‌ها توسط گروه نرم‌افزاری مایروسافت (اکسل) ثبت و سپس توسط روابط مربوطه حجم نمونه برای هرکدام از مشخصه‌ها محاسبه می‌شود و سپس از احجام محاسبه شده میانگین‌گیری شده و از مقدار میانگین به عنوان حجم نمونه استفاده شده است.

خلاصه محاسبات صورت گرفته در جدول ٦ نشان داده شده است.

جدول ٦. محاسبات تعیین حجم نمونه مشخصه‌ها با استفاده از روش کوکران

	پارامترهای روش کوکران						
مشخصه‌ها	**N**	میانگین	انحراف معیار	**P**	**Z**	**n_0**	**n**
درصد قیر	۵۱	۵/۲۷	۰/۲۳۷	۰/۰۵	۱/۹٦	۷	٦
درصد قیر نسبت به مصالح	۵۱	۵/۵٦	۰/۲٦	۰/۰۵	۱/۹٦	۷	٦
درصد شکستگی	۵۱	۸٤/۰٦	٤/۰٤	۰/۰۵	۱/۹٦	۰	۰
درجه حرارت آسفالت	۵۱	۱٤۸/۲٦	٦/۰۸	۰/۰۵	۱/۹٦	۰	۰
درصد فضای خالی آسفالت	٤۰	۵/۵	۰/۷۲	۰/۰۵	۱/۹٦	۱۹	۱۳
استقامت مارشال	۵۱	۱۱۱۰/۸٤	۱۷۳/۳٦	۰/۰۵	۱/۹٦	۰	۰
درصد فضای پر شده با قیر آسفالت	٤۱	٦۱/۱۰	۳/٤	۰/۰۵	۱/۹٦	۱	۱
روانی مارشال	۵۱	۱۳/۱٦	۰/۰۲	۰/۰۵	۱/۹٦	٤	٤
وزن مخصوص آسفالت	۵۱	۲/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۹٦	٤	٤
وزن مخصوص مصالح	۵۱	۲/۵۰	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۹٦	۱	۱
درصد رد شده از الک٤	۵۱	۵۰/۵۵	٤/۲	۱/۹٦	۱/۹٦	۱	۱
درصد رد شده از الک۸	۵۱	۳۳/۵	۳/٤	۱/۹٦	۱/۹٦	۲	۲
درصد رد شده از الک۵۰	۵۱	۹/٤۱	۱/۳٤	۱/۹٦	۱/۹٦	۱۲	۱۰
درصد رد شده از الک۲۰۰	۵۱	٤/٤۵	۰/٦۱	۱/۹٦	۱/۹٦	۲۳	۱٦

در جدول (٤)، n حجم نمونه، N حجم جمعیت آماری، Z مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد، p نسبتی از جمعیت دارای صفت معین و d مقدار اشتباه مجاز یا درصد خطا می‌باشند.

تحلیل تغییرات دسته‌ها

برای نمایش تغییرات میان دسته‌ها از نمودار میله‌ای خطا استفاده شده است. اولین مرحله جهت انجام آزمون تحلیل تغییرات، سطح اهمیت می‌باشد. محاسبات انجام گرفته برای تحلیل تغییرات دسته‌ها بر اساس سطح اهمیت ۵ درصد صورت گرفته است و نتایج آزمون تحلیل تغییرات که توسط نرم افزار SPSS محاسبه شده است برای مشخصه‌های جدول ۵، در جدول ۷، نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج آزمون تحلیل تغییرات دسته‌های مشخصه آسفالت تولیدی در انباشته منتخب

مشخصه‌ها	نوع	مجموع مربعات	.□.□	میانگین مربعات	□	تغییرات میان دسته‌ها	معنی‌داری تغییرات
محتوای آسفالت	داخل گروه	۰/۹۵۷	۹	۰/۱۰٦	۲/۳٦٤	۰/۰۳	معنی دار
	وسط گروه	۱/۸٤٤	٤۱	۰/۰٤٥			
	کل	۲/۸۰۲	٥۰				
درجه حرارات	داخل گروه	۱٦۸/۸٥	۹	۱۸/۷٦	۰/٤٥۹	۰/۸۹۳	معنی دار
	وسط گروه	۱٦۷٦/۸۳	٤۱	٤۰/۸۹			
	کل	۱۸٤٥/٦۸	٥۰				
فضای خالی	داخل گروه	۱۰/٥۹	۹	۲۳/۸۳	۳/۷۷۱	۰/۰۰۳	معنی دار
	وسط گروه	۹/۳٦	۳۰	۷/۹۰۲			
	کل	۱۹/۹٥	۳۹				
فضای خالی پرشده با آسفالت	داخل گروه	۲۱٤/٥٥	۹	۲۳/۸۳	۳/۰۱۷	۰/۰۱۱	معنی دار
	وسط گروه	۲۳۷/۰٥	۳۰	۷/۹۰۲			
	کل	٤٥۱/٦	۳۹				
روانی	داخل گروه	۱۳/٤۱۲	۹	۱/٤۹	۲/۰۸	۰/۰٥٤	بی معنی
	وسط گروه	۲۹/۳۳	٤۱	۰/۷۱٥			
	کل	٤۲/۷٤	٥۰				
دانه‌بندی (درصد رد شده از الک٤)	داخل گروه	٥۲٥/٦۹	۹	٥۸/٤۱	٦/۷٤	۰/۰	معنی دار
	وسط گروه	۳٥٤/۹۳	٤۱	۸/٦٥			
	کل	۸۸۰/٦۲	٥۰				

ادامه جدول ۷. نتایج آزمون تحلیل تغییرات دسته‌های مشخصه آسفالت تولیدی در انباشته منتخب

مشخصه‌ها	نوع	مجموع مربعات	.□.□	میانگین مربعات	□	تغییرات میان دسته‌ها	معنی‌داری تغییرات
دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۸)	داخل گروه	۳۳۵/۳	۹	۳۷/۲۵	٦/۲۵	۰/۰	معنی دار
	وسط گروه	۲٤٤/۲	٤۱	۵/۹۵			
	کل	۵۷۹/۵	۵۰				
دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۵۰)	داخل گروه	۳٦/۷۲	۹	٤/۰۸	۳/۱۱	۰/۰۰٦	معنی دار
	وسط گروه	۵۳/٦۳	٤۱	۱/۳			
	کل	۹۰/۳۵	۵۰				
دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۲۰۰)	داخل گروه	٤/۳۷	۹	۰/٤۸٦	۱/٤۱۱	۰/۲۱۵	معنی دار
	وسط گروه	۱٤/۱۳	٤۱	۰/۳٤۵			
	کل	۱۸/۵۱	۵۰				

با بررسی جدول ۷، مشاهده می‌گردد که ایجاد تغییرات، ناشی از وجود تغییرات بین دشته‌ها می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که فرایند تولید کارخانه باید بگونه‌ای باشد که علاوه یکنواختی در طول بازه‌های زمانی مشخص، بین بازه‌های زمانی نیز یکنواخت باشد. بدیهی است در این صورت در انتهای تولید آسفالت درخواستی کارفرما، تغییرات کمتری متوجه آسفالت خواهد بود.

تعیین دسته‌های همگن

جهت مقایسه دسته‌به‌دسته هر کدام از مشخصه‌ها از آزمون‌های دانکن استفاده شده است. نتایج آزمون دانکن که توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شده است برای مشخصه‌های جدول ۵، در جدول‌های ۸ الی ۱٦، آورده شده است.

جدول۸. نتایج آزمون دانکن برای درصد قیر مخلوط آسفالت

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳
۱	۵	۵/۲٤	۵/۲٤	۵/۲٤
۲	۵	۵/۲٤	۵/۲٤	۵/۲٤
۳	۵	۵/۲۸	۵/۲۸	۵/۲۸
٤	۵			۵/٤
۵	۵		۵/٤	۵/٤
٦	۵	۵/۳۲	۵/۳۲	۵/۳۲
۷	۵			۵/۵
۸	۵	۵/۰۲		
۹	۵	۵/۱	۵/۱	
۱۰	٦	۵/۲۱	۵/۱	۵/۲۱
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۰/۰۷۳

جدول ۹. نتایج آزمون دانکن برای درجه آسفالت

گروه	جامعه آماری	۱
۱	۵	۱۴۹
۲	۵	۱۴۹/۸
۳	۵	۱۴۸/۶
۴	۵	۱۵۲
۵	۵	۱۴۶
۶	۵	۱۴۸/۴
۷	۵	۱۴۸/۸
۸	۵	۱۴۸/۴
۹	۵	۱۴۵/۸
۱۰	۶	۱۴۶/۱۶۶
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۲

جدول ۱۰. نتایج آزمون دانکن برای درصد فضای خالی آسفالت

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳	۴
۱	۳	۴/۸			
۲	۳	۵/۳	۵/۳	۵/۳	۵/۳
۳	۵	۴/۸			
۴	۳	۴/۹۳	۴/۹۳		
۵	۴			۵/۹۵	۵/۹۵
۶	۵	۵/۰۸	۵/۰۸	۵/۰۸	
۷	۲			۵/۹۵	۵/۹۵
۸	۴			۶/۰۲	۶/۰۲
۹	۵		۵/۸۴	۵/۸۴	۵/۸۴
۱۰	۶				۶/۰۵
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۲۹۳	۰/۰۵۳	۰/۰۵۲	۰/۱۲۲

جدول ۱۱. نتایج آزمون دانکن برای درصد فضای پرشده با قیر آسفالت

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳
۱	۳			۶۸/۶۶
۲	۳	۶۷/۶۶	۶۷/۶۶	۶۷/۶۶
۳	۵			۶۸/۸
۴	۳			۶۷/۶۶
۵	۴	۶۶	۶۶	۶۶
۶	۵		۶۸	۶۸
۷	۲	۶۵	۶۵	۶۵
۸	۴	۶۳/۷۵	۶۳/۷۵	
۹	۵	۶۳/۵		
۱۰	۶	۶۳/۵	۶۳/۵	
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۱۲۴

جدول۱۲. نتایج آزمون دانکن برای روانی مارشال

گروه	جامعه آماری	۱	۲
۱	۵	۱۳/۶	۱۳/۶
۲	۵	۱۳/۶	۱۳/۶
۳	۵		
٤	۵	۱۲/۸	۱۲/۸
۵	۵	۱۲/٤	
٦	۵	۱۲/٤	
۷	۵	۱۲/٦	۱۲/٦
۸	۵		۱۳/۸
۹	۵	۱۳/٤	۱۳/٤
۱۰	٦	۱۳/۳٤	۱۳/۳٤
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰۵۷	۰/۰٦٦

جدول ۱۳. نتایج آزمون دانکن برای دانه‌بندی (درصد رد شده از الک٤)

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳	٤
۱	۵	٤۵/۲			
۲	۵	٤۸/٦	٤۸/٦		
۳	۵	٤۵/۲			
٤	۵		۵۲/۲	۵۲/۲	۵۲/۲
۵	۵		۵۱/٤	۵۱/٤	
٦	۵		۵۰/۲	۵۰/۲	
۷	۵				۵۵/۸
۸	۵		۵۱/٦	۵۱/٦	
۹	۵		۵۱	۵۱	
۱۰	٦			۵۳/٦٦	۵۳/٦٦
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۱۰٦	۰/۰۷۱

جدول ۱٤. نتایج آزمون دانکن برای دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۸)

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳	٤	۵
۱	۵	۲۹/۷				
۲	۵	۳۱/۲	۳۱/۲			
۳	۵	۳۰/٤				
٤	۵		۳٤	۳٤	۳٤	
۵	۵	۳۳	۳۳	۳۳		
٦	۵	۳۲/٦	۳۲/٦	۳۲/٦		
۷	۵					۳۷/٤
۸	۵	۳۳	۳۳	۳۳		
۹	۵			۳٦	۳٦	۳٦
۱۰	٦				۳۷	۳۷
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰٦٤	۰/۱۱	۰/۰۵۲	۰/۳۹۵	

جدول ۱۵. نتایج آزمون دانکن برای دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۵۰)

گروه	جامعه آماری	۱	۲	۳	٤
۱	۵	۹	۹	۹	
۲	۵	۸/۲			
۳	۵	۹/٤	۹/٤	۹/٤	۹/٤
٤	۵	۸/٦	۸/٦		
۵	۵	۸/۸	۸/۸		
٦	۵	۹/۲	۹/۲	۹/۲	
۷	۵		۱۰/۲	۱۰/۲	۱۰/۲
۸	۵	۹	۹	۹	
۹	۵			۱۰/٦	۱۰/٦
۱۰	٦				۱۰/۸٤
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۱۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۵۵	۰/۰۷٤

جدول ۱٦. نتایج آزمون دانکن برای دانه‌بندی (درصد رد شده از الک۲۰۰)

گروه	جامعه آماری	۱	۲
۱	۵	٤/۸	٤/۸
۲	۵	٤/٦	٤/٦
۳	۵	٤/۲	٤/۲
٤	۵	٤	
۵	۵	٤/٤	٤/٤
٦	۵	٤/۸	٤/۸
۷	۵		۵
۸	۵	٤/٤	٤/٤
۹	۵	٤/۸	٤/۸
۱۰	٦	٤/٦۷	٤/٦۷
تغییرات میان دسته‌ها		۰/۰۷	۰/۰۷

در جدول‌های ۸ الی ۱٦، در ستون اول شماره دسته و در ستون دوم حجم نمونه نشان داده شده است. در سایر ستون‌ها میانگین دسته‌هایی که تفاوت میان‌آنها معنی دار نمی باشند در یک ستن به نام دسته‌های همگن قرار گرفته‌اند. در این روش از میانگین دسته به عنوان شاخص بررسی وجود تفاوت میان دسته‌ها استفاده شده است. لذا نتایج این آزمون و آزمون تحلیل تغییرات همگن می‌باشند. با مقایسه نتایج این آزمون و آزمون تحلیل تغییرات مشاهده می‌شود که برای مشخص‌هایی که اکثرا دسته‌های آنها در یک ستون همگن قرار گرفته‌اند تغییرات نیز در آزمون تحلیل تغییرات بی معنی می‌باشد.

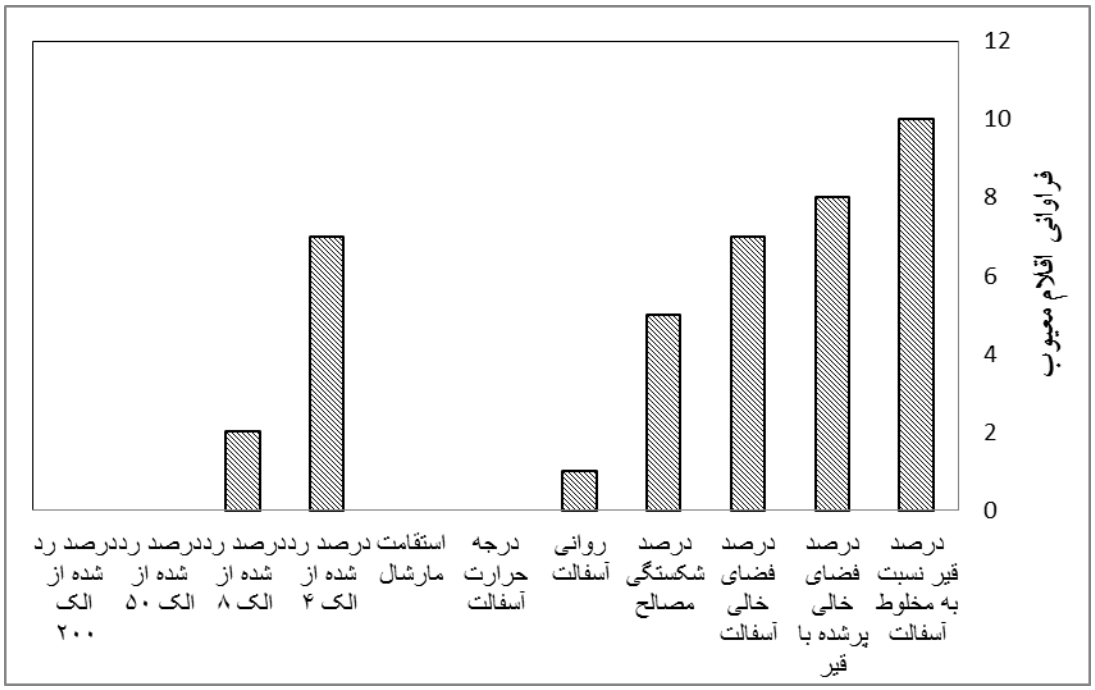
بررسی فراوانی و درصد اقلام معیوب توسط نمودار پارتو

جهت بررسی تاثیر معیوبیت هر کدام از مشخصه‌ها از نمودار پارتو استفاده می‌شود. برخلاف کنترل کیفیت صورت گرفته برای کارخانه در بخش‌های پیشین، جهت بررسی اقلام معیوب از تمامی مشخصه‌های موجود در جدول طرح اختلاط کارگاهی و آیین‌نامه استفاده شده است. جهت ترسیم نمودار پارتو ابتدا فراوانی و درصد معیوبیت هر کدام از مشخصه‌ها محاسبه شده است که در جدول ۱۷، نشان داده شده است.

جدول ۱۷. فراوانی و درصد اقلام معیوب مشخصه‌های موجود در طرح اختلاط

ردیف	ویژگی	فراوانی اقلام معیوب	فراوانی تجمعی	درصد	درصد تجمعی
۱	درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالت	۱۰	۱۰	۲۵/۶	۲۵/۶
۲	درصد فضای خالی پرشده با قیر	۸	۱۸	۲۰/۵	٤٦/۲
۳	درصد فضای خالی آسفالت	۷	۲۵	۱۷/۹	٦٤/۵
٤	درصد شکستگی مصالح	۵	۳٦	۱۲/۸	۹۲/۳
۵	روانی آسفالت	۱	۳۹	۲/٦	۱۰۰
٦	درجه حرارت آسفالت	۰	۳۹	۰	۱۰۰
۷	استقامت مارشال	۰	۳۹	۰	۱۰۰
۸	درصد رد شده از الک ٤	۷	۳۱	۱۵/٤	۷۹/۵
۹	درصد رد شده از الک ۸	۲	۳۸	۵/۱	۹۷/٤
۱۰	درصد رد شده از الک ۵۰	۰	۳۹	۰	۱۰۰
۱۱	درصد رد شده از الک ۲۰۰	۰	۳۹	۰	۱۰۰
مجموع		۳۹	–	۱۰۰	–

نمودار پارتو برای مشخص‌های آسفالت مورد بررسی مطابق شکل ۱۵ است. در شکل ۱۵، نمودار پارتو برای مشخصه‌های آسفالت جدول ۱۷، نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۵، مشاهده می‌شود که حدود ۸۰ درصد معیوبیت ناشی از ٤ مشخصه درصد قیر نسبت به آسفالت، درصدفضای خالی پرشده با قیر، درصد فضای خالی و درصد رد شده از الک٤ می‌باشد.



شکل ۱۵. نمودار پارتو انباشتگی مورد بررسی

ارزیابی و پذیرش آسفالت

محاسبه برنامه پرداخت پله‌ای با استفاده از روش دلفی

جهت محاسبه برنامه پرداخت پله‌ای از روش دلفی استفاده شده است. روش دلفی براساس اظهار نظر کارشناسان مجرب استوار است. لذا ابتدا پرسشنامه‌هایی تهیه شده است و در بین کارشناسان مجرب پخش گردیده است. پس از جمع آوری پرسشنامه‌ها، پاسخ‌های کارشناسی مورد بررسی قرار گرفت و سپس نتایج در اختیار کارشناسان قرار گرفته است تا در صورت تغییر نظر آنها، نظرات جدید ثبت و جمع آوری شود. این پروسه تا جایی ادامه یافت تا بین کارشناسان اجماع نظر حاصل گردد. همچنین فرم پرسشنامه در پیوست این پژوهش آورده شده است. گروه دلفی انتخابی که فرم‌ها در بین آنها پخش گردید جمعا ۳۳ نفر شده بودند. این گروه شامل افرادی با زمینه کاری علمی-پژوهشی، مهندسین طراح، ناظر و اجرایی (به عنوان مثال کارشناسان وزارت راه و شهرسازی و ناظرین و کارشناسان مجرب شاغل در سازمان عمران شهرداری ساری) می‌باشد. براساس گروه دلفی انتخابی به دو دسته علمی و اجرایی تقسیم‌بندی شده‌اند. در جدول۱۸، فراوانی پاسخ دهندگان در هر کدام از این دسته‌ها نشان داده شده است.

هدف اصلی از تهیه پرسشنامه تعیین برنامه پرداخت پله‌ای با استفاده از نظرات کارشناسی افراد مختصص و مجرب است. با توجه به این موضوع تحت عنوان جدول پیشنهادی برنامه پرداخت پرسشنامه‌ها تهیه شده است. در جدول ۱۹، برنامه پرداخت نشان داده شده است. در جدول برنامه پرداخت ابتدا بازه‌های PWL بر اساس توصیه‌های آشتو تنظیم شده است و از کارشناسان پرسیده شده است که:

-در صورت پذیرش بازه PLW ای پیشنهادی ضریب پرداخت مورد نظر را درج نمایند.

-در صورت عدم پذیرش بازه‌ها، پیشنهادی خورد را بیان نموده و ضریب پرداخت مورد نظر را برای بازه‌های پیشنهاد شده درج نمایند.

جدول ۱۸. فراوانی پاسخ‌دهندگان در دسته‌های گروه دلفی

	علمی	اجرایی	مجموع علمی و اجرایی
فراوانی افراد	۱۲	۲۱	۳۳
درصد	۳۶/۳۶	۶۳/۶۴	۱۰۰

جدول ۱۹.جدول برنامه پرداخت پیشنهادی پرسشنامه

بازه PWL	ضریب پرداخت
۹۵-۱۰۰	-
۸۵-۹۴/۹ (پذیرش محصول)	-
۵۰-۸۴/۹	-
۰-۴۹/۹ (رد محصول)	-

با توجه به پراکندگی نظرات کارشناسان، تحلیل نظرات آنها در سه مرحله صورت پذیرفته است. از آنجا که برخی از کارشناسان پرسشنامه‌ها را بدون اظهار نظر تحویل داده بودند ابتدا پرسشنامه‌ها برای دسته‌های علمی و اجرایی به دو گروه پاسخ داده شده و بدون پاسخ تقسیم شده‌اند که فراوانی هریک از این گروه‌ها و درصد آنها در جدول ۲۰، نشان داده شده است.

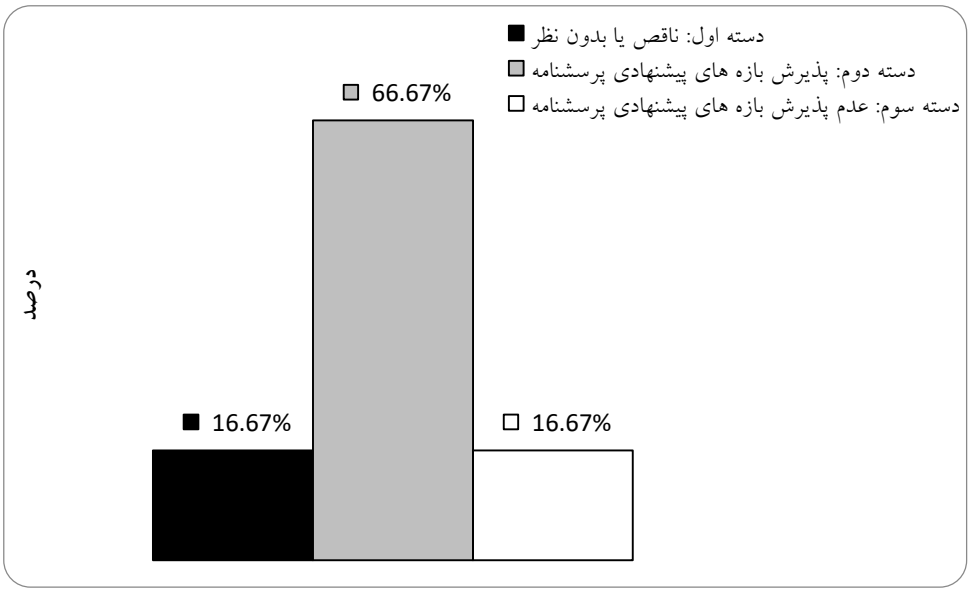
جدول ۲۰. دسته‌بندی و گروه‌بندی پرسشنامه‌ها در مرحله دوم

شرح		فراوانی	درصد
پاسخ داده شده	علمی	۶	۲۵
	اجرایی	۱۸	۷۵
مجموع		۲۴	۱۰۰
پاسخ داده نشده	علمی	۵	۵۵/۶
	اجرایی	۴	۴۴/۴
مجموع		۹	۱۰۰

همانطور که در جدول۲۰ مشاهده می‌شود با توجه به درصد پاسخ کارشناسان اجرایی نسبت به کارشناسان علمی می‌توان نتیجه گرفت که تمایل شرکت این دسته کارشناسان بیشتر از کارشناسان دسته دیگر بوده است. در مرحله دوم دسته‌بندی پرسشنامه‌ها بر اساس تنوع نظرات کارشناسان صورت پذیرفت. شکل ۱۶، نشان دهنده دسته‌بندی پرسشنامه‌ها و درصد هرکدام از دسته‌ها نسبت به کل پرسشنامه‌های دریافتی در مرحله دوم تحلیل است.

مطابق شکل ۱۶، دسته دوم درصد قابل توجه‌ای را به خود اختصاص داده است. لذا اکثر کارشناسان بازه‌های پیشنهادی را پذیرفته و برای هر کدام از بازه‌ها ضریب پرداخت پیشنهاد نموده‌اند. در مرحله سوم جهت افزایش اطمینان از درستی نظرات کارشناسی، نظرات افرادی با تجربه کمتر از پنج سال از گروه دلفی حذف شده‌اند. پس از اصلاح گروه دلفی، نظرات کارشناسان منتخب جمع‌آوری شده برنامه پرداخت براساس میانگین نظرات آنها محاسبه شد و مجددا در اختیار گروه دلفی قرار گرفت تا اجماع نظر حاصل گردید.

براساس نظرات کارشناس منتخب، برنامه پرداخت پله‌ای محاسبه شده در جدول ۲۱، آورده شده است.



شکل ۱۶. دسته‌بندی پرسشنامه‌ها در مرحله دوم

جدول ۲۱. برنامه پرداخت پله‌ای محاسبه شده

بازه درصد درون حدود		ضریب پرداخت
انتها	ابتدا	
۱۰۰	۹۵	۱۰۱
۹۴/۹	۸۵	۹۴
۸۴/۹	۵۰	۷۸
۴۹/۹	۰	۰

اولویت‌بندی و محاسبه وزن پارامترها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در این مرحله جهت تعیین وزن مشخصه‌های موثر بر کیفیت آسفالت از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. مراحل انجام این فرِاند بصورت مفصل در فصل سوم این پژوهش، شرح داده شده است. در مرحله اول کلیه مشخصه‌ها استخراج شده‌اند. سپس با مشورت کارشناسان گروه دلفی، مشخصه‌هایی که دارای اهمیت چندانی نبودند و همچنین مشخصه‌هایی که با مشخصه‌ای دیگر در ارتباط بودند حذف شدند. در انتها ۱۲ مشخصه از میان مشخصه‌ها انتخاب شده است. این ۱۲ مشخصه در قالب سه گروه تقسیم‌بندی شده‌اند که در جدول ۲۲، نشان داده شده است.

جدول ۲۲. دسته بندی پارامترهای درنظر گرفته شده

شماره گروه	گروه	پارامتر
۱	مشخصات مصالح	دانه‌بندی
		درصد فیلر
		درصد شکستگی سنگدانه‌ها
		ارزش ماسه
		درصد قیر
۲	مشخصات مخلوط	درصد فضای خالی
		درصد فضای خالی پرشده با قیر
		استقامت مارشال
		روانی
۳	مشخصات اجرایی	درجه حرارت هنگام پخش
		درصد تراکم
		ضخامت

در مرحله بعد پرسشنامه‌هایی براساس مقایسات زوجی و مقیاس۱الی۹ ساعتی تنظیم شده‌اند و طی جلساتی توسط کارشناسان گروه دلفی تکمیل گردید و سپس تحلیل سلسله مراتبی صورت پذیرفته است.

تشکیل ساختار مسئله و تحلیل سلسله مراتبی

ابتدا پس از شناخت عوامل، ساختار سلسله مراتبی تشکیل گردیده است. سطوح مختلف این ساختار به ترتیب عبارتند از:

هدف

تعیین وزن مشخصه‌های موثر بر عملکرد آسفالت گرم

معیار

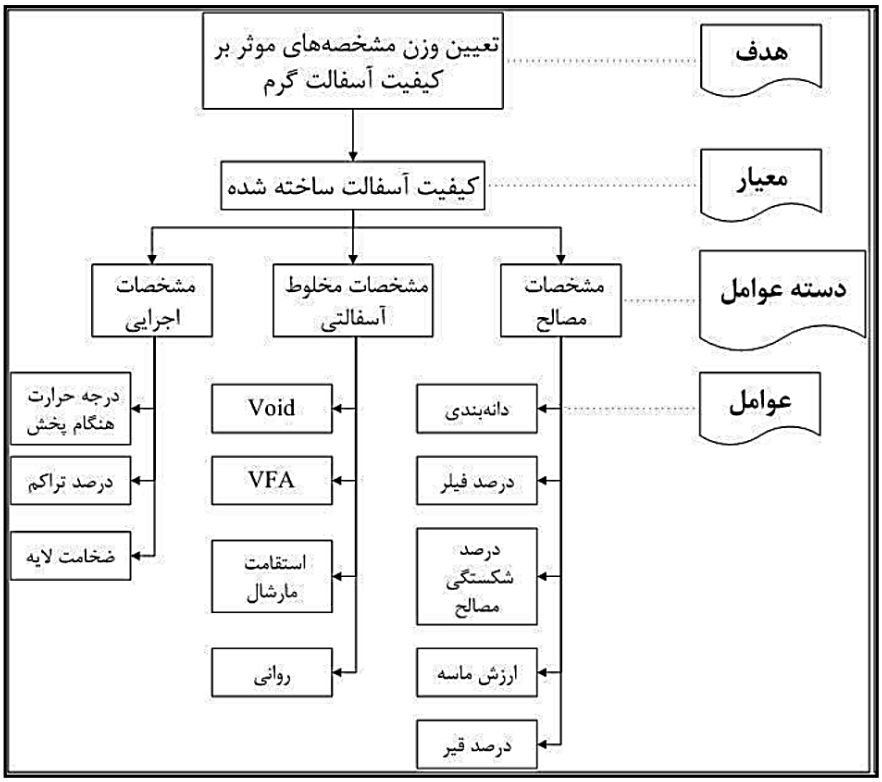
کیفیت آسفالت ساخته شده

دسته عوامل

سه گروه عامل ناشی از مشخصات مصالح، مشخصات مخلوط آسفالتی و مشخصات اجرایی

عوامل

در جدول (۱۹)، آورده شده است. در شکل ۱۷ ساختار سلسله مراتبی نشان داده شده است.



شکل۱۷. ساختار سلسله مراتبی در تعیین وزن مشخصه‌های موثر بر کیفیت آسفالت

در مرحله بعدی ار نظرات کارشناسان میانگین گرفته شده است و ماتریس زوجی توسط میانگین نظرات کارشناسان تشکیل شده است که این مقادیر در جدول‌های ۲۳ الی ۲۶، نشان داده شده است.

جدول ۲۳. ماتریس زوجی دسته عوامل

	مشخصات مصالح	مشخصات مخلوط آسفالتی	مشخصات اجرایی
مشخصات مصالح	۱	٤/۲	۲/۹
مشخصات مخلوط آسفالتی	۲/۲	۱	۱/۷
مشخصات اجرایی	۰/۳	۰/٦	۱

جدول ۲٤. ماتریس زوجی دسته مشخصات مصالح

	دانه‌بندی	درصد فیلر	درصد شکستگی سنگدانه‌ها	ارزش ماسه	درصد قیر
دانه‌بندی	۱	۳	۳/۸	۱/۷	۱/۳
درصد فیلر	۰/۳	۱	۳/٤	۲/۱	۱/۱
درصد شکستگی سنگدانه‌ها	۰/۳	۰/۳	۱	۱/۵	۰/۸
ارزش ماسه	۰/٦	۰/۵	۰/۷	۱	۰/۷
درصد قیر	۰/۸	۰/۹	۱/۳	۱/۵	۱

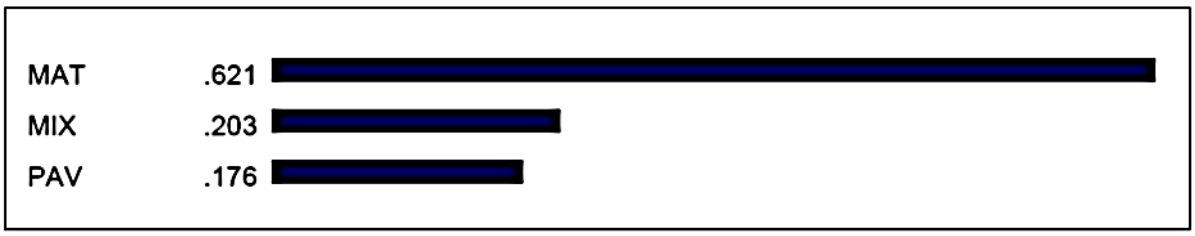
جدول ۲۵. ماتریس زوجی دسته مخلوط آسفالتی

	درصد فضای خالی	درصد فضای خالی پرشده با قیر	استقامت مارشال	روانی
درصد فضای خالی	۱	۳/۵	۲/۷	۳/۵
درصد فضای خالی پرشده با قیر	۰/۳	۱	۱	۲/٤
استقامت مارشال	۰/٤	۱	۱	٤
روانی	۰/۳	۰/٤	۰/۳	۱

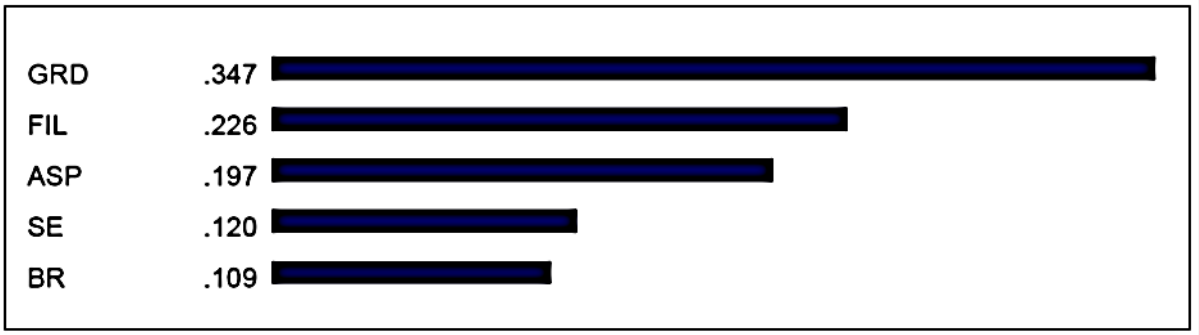
جدول ۲۶. ماتریس زوجی دسته مشخصات اجرایی

	درجه حرارت پخش	تراکم	ضخامت
درجه حرارت بخش	۱	۱/٦	۲/۷
تراکم	۰/٦	۱	۳/۹
ضخامت	۰/٤	۰/۳	۱

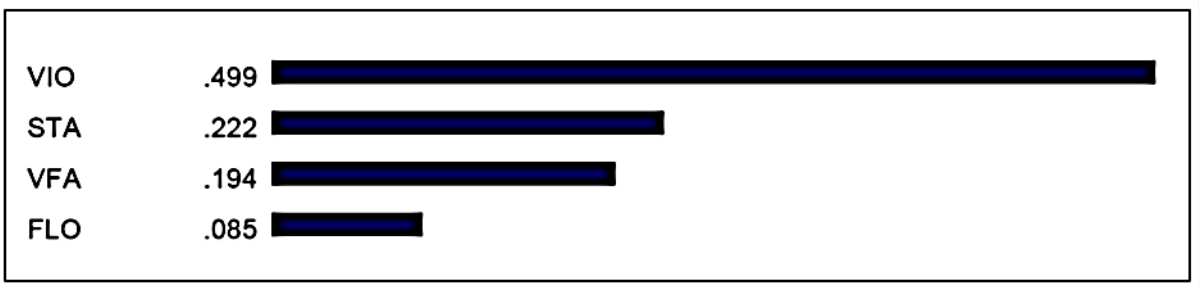
وزن محاسبه شده توسط نرم‌افزار برای هرکدام از عناصر ماتریس‌های زوجی در شکل‌های ۱۸ الی ۲۱، نشان داده شده است.



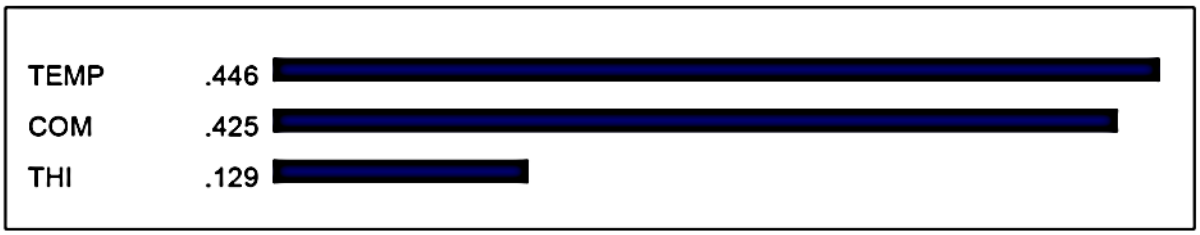
شکل۱۸. وزن محاسبه شده برای عناصر ماتریس دسته عوامل



شکل۱۹. وزن محاسبه شده برای عناصر ماتریس دسته مشخصات مصالح



شکل۲۰. وزن محاسبه شده برای عناصر ماتریس دسته مشخصات مخلوط آسفالتی



شکل۲۱. وزن محاسبه شده برای عناصر ماتریس دسته مشخصات اجرایی

پس از تلفیق وزن‌های محاسبه شده برای دسته عوامل، مشخصه‌های موجود در دسته عوامل مقادیر وزن نهایی پارامترها محاسبه شده است. مقادیر وزن نهایی مشخصه‌ها در جدول ۲۷، آورده شده است.

جدول ۲۷. مقادیر وزن نهایی مشخصه‌ها

پارامتر	وزن نهایی
دانه‌بندی	۰/۲۱۶
درصد فیلر	۰/۱۴۱
درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالت	۰/۱۲۲
درصد فضای خالی	۰/۱۰۱
درجه حرارت پخش	۰/۰۷۹
تراکم	۰/۰۷۵
ارزش ماسه	۰/۰۷۴
درصد شکستگی	۰/۰۶۸
استقامت مارشال	۰/۰۴۵
درصد فضای خالی پرشده با قیر	۰/۰۳۹
ضخامت لایه	۰/۰۲۳
روانی	۰/۰۱۷

محاسبه ضریب پرداخت مرکب برای اطلاعات برگه‌های آزمایشگاهی پروژه‌ها

پس از محاسبه مقادیر ضریب پرداخت و وزن مشخصه‌ها، در این مرحله ضریب پرداخت مرکب برای انباشته آسفالت تولیدی کارخانه آسفالت سازمان عمران شهرداری ساری، محاسبه شده است. از آنجا که مقادیر درصد درون حدود برای برخی از مشخصه‌های انباشته از مقدار حد پذیرش یا ۷۵ کمتر است. بنابراین داده‌هایی از بین آنها انتخاب شدند که مقادیر درصد درون حدود آنها حداقل برابر ۷۵ شود. مقادیر ضریب پرداخت مرکب برای انباشته در جدول ۲۸، نشان داده شده است.

جدول ۲۸. محاسبه ضریب پرداخت برای قشر آستر انباشته آسفالت تولیدی کارخانه سازمان عمران شهرداری ساری

ضریب پرداخت مرکب	ضریب پرداخت وزن نرمال شده	ضریب پرداخت وزن	وزن نرمال شده	وزن	ضریب پرداخت	درصد درون حدود	ویژگی	ردیف
	۹	۱۰/۸۷	۰/۱۴۷	۰/۱۲۲	۷۴	۷۵	درصد قیر نسبت به مخلوط آسفالت	۱
	۵/۸۶	۷/۰۸	۰/۰۸۲	۰/۰۶۸	۸۶	۸۶/۵	درصد شکستگی	۲
	۷/۸۸	۹/۵۲	۰/۰۹۵	۰/۰۷۹	۱۰۰	۹۹/۱	درجه حرارت آسفالت	۳
	۸/۵۱	۱۰/۲۸	۰/۱۲۲	۰/۱۰۱	۸۴	۷/۸۴	درصد فضای خالی آسفالت	۴
	۴/۳۱	۲۱/۵	۰/۰۵۴	۰/۰۴۵	۹۶	۴/۹۵	استقامت مارشال	۵
	۳/۰۸	۳/۷۲	۰/۰۴۷	۰/۰۳۹	۷۹	۷۴/۷۹	درصد فضای خالی پر شده با قیر	۶
	۱/۳۶	۱/۶۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۸۰	۷۵/۸۰	روانی مارشال	۷
	۶/۴۱	۷/۷۴	۰/۰۸۷	۰/۰۷۲	۸۹	۸۹/۱	رد شده از الک ۴	۸
	۶/۶۶	۸/۰۴	۰/۰۸۷	۰/۰۷۲	۹۲	۹۲/۳	رد شده از الک ۸	۹
	۷/۱۹	۸/۶۹	۰/۰۸۷	۰/۰۷۲	۱۰۰	۹۹/۲	رد شده از الک ۵۰	۱۰
	۱۴/۲۱	۱۷/۱۶	۰/۰۱۷	۰/۱۴۱	۱۰۱	۱۰۰	رد شده از الک ۲۰۰	۱۱
۹۰	۷۴/۴۷	۹۰	۱	۰/۸۲۸	مجموع			

تحلیل برنامه ارزیابی و پذیرش

در این قسمت از پژوهش، برنامه ارزیابی و پذیرش پیشنهادی با سیستم‌های جاری ارزیابی مقایسه شده است. مراحل ارزیابی انجام شده در موارد به شرح زیر می‌باشد.

-مقایسه مشخصه‌های قابل ارزیابی برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل‌های تعیین کسورات عملیات راه‌سازی و دستورالعمل جرائم تولید آسفالت

-ارزیابی آسفالت کارخانه آسفالت سازمان عمران شهرداری ساری

-مقایسه ضریب پرداخت مرکب با میزان جریمه توسط دستورالعمل تعیین کسورات عملیات راه‌سازی وزارت راه

-مقایسه ضریب پرداخت مرکب با میزان جریمه توسط دستورالعمل تعیین جرائم تولید آسفالت

-مقایسه ضریب پرداخت محاسبه شده توسط برنامه خطی با ضریب پرداخت محاسبه شده با برنامه پرداخت خطی آشتو

مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل تعیین کسورات جرائم آسفالت

مشخصه‌های آسفالت قبل از ارزیابی توسط برنامه ارزیابی و پذیرش و دستورالعمل‌های وزارت راه و شهرسازی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در جدول ۲۹، مشخصه‌های قابل ارزیابی آسفالت توسط این دو سیستم نشان داده شده است.

مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورالعمل تعیین جریمه تولید آسفالت

جهت مقایسه برنامه ارزیابی و پذیرش با دستورات تعیین کسورات عملیات راه‌سازی، مقادیر جریمه انباشته کارخانه آسفالت سازمان عمران شهرداری ساری محاسبه شده است که در جدول ۳۰، نشان داده شده است.

در جدول ۳۰، مقدار a نشان دهنده ضریب کسر بها براساس میزان خروج مقادیر نمونه‌ها از حدود مشخصه برای هر کدام از مشخصه‌های نمونه می‌باشند که براساس مقادیر موجود در جداول دستورالعمل کسر بهای عملیات راه‌سازی تعیین می‌شوند. همچنین مقادیر n، N و R به‌ترتیب نشان دهنده فراوانی اقلام معیوب، تعداد نمونه‌ها و درصد جریمه نسبت به تناژ محصول تولید شده می‌باشد.

جدول ۲۹. چگونگی امکان‌پذیری مقایسه مشخصه‌های برنامه ارزیابی و پذیرش دستورالعمل جرائم وزارت راه

ردیف	ویژگی	برنامه ارزیابی و پذیرش	دستورالعمل وزارت راه
۱	درصد قیر نسبت به آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۲	دانسیته مارشال	غیر قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۳	درصد شکستگی مصالح	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
٤	استقامت مارشال	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
٥	روانی مارشال	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
٦	درجه حرارت آسفالت	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۷	درصد فضای خالی آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۸	درصد حجمی فضای خالی مصالح	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۹	درصد فضای خالی پرشده با قیر آسفالت	قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۱۰	وزن مخصوص حقیقی مصالح	غیر قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۱۱	دانه‌بندی	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی
۱۲	ضخامت لایه آسفالت	غیر قابل ارزیابی	غیر قابل ارزیابی
۱۳	تراکم نسبی آسفالت	قابل ارزیابی	قابل ارزیابی

جدول ۳۰. محاسبه میزان جریمه توسط دستورالعمل کسورات عملیات راه‌سازی وزارت راه برای انباشته آسفالت تولیدی کارخانه سازمان عمران شهرداری ساری

ردیف	ویژگی	مقدار	a	n	N	R
۱	درصد قیر نسبت به آسفالت	٥/٥	۰/۱۲	۳	۳۱	۰/۰۱۱٦۱
۲		٥/٦	۰/۲۳	۲	۳۱	۰/۰۱٤۸٤
۳	درصد شکستگی مصالح	۷٥	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰٦٥
٤		۷۸	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰٦٥
٥		۷۹	۰/۰۲	۱	۳۱	۰/۰۰۰٦٥
٦	درصد فضای خالی	٦/٤	۰/۰۲	۲	۲٤	۰/۰۰۱٦۷
۷	پایداری آسفالت	–	۰	۰	۳۱	۰
۸	الک شماره ٤	٤۰	۰/۰۳	۱	۳۱	۰/۰۰۰۹۷

۹		٤١	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
۱۰		٤٢	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
۱۱		۵۸	۰/۰۱	۲	۳۱	۰/۰۰۰٦۵
۱۲	الک شماره۸	۲٦	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
۱۳		۲٦/۵	۰/۰۱	۱	۳۱	۰/۰۰۰۳۲
۱٤	الک شماره۵۰	–	۰	۰	۳۱	۰
۱۵	الک شماره ۲۰۰	–	۰	۰	۳۱	۰
	مجموع جرائم					۰/۰۳

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به طول عمر سرویس‌دهی پایین روسازی‌های آسفالتی در داخل کشور در مقایسه با کشورهای پیشرفته، تمرکز بر روی گسترش روش‌های مدیریت و نگهداری راه بیش از پیش نیاز است. مطالعات گذشته به منظور مقایسه روش‌های پیشگیرانه بروز خرابی‌های روسازی مانند کنترل و تضمین کیفیت آن و روش‌های درمانی نشان دهنده مزیت روش‌های پیشگیرانه نسبت به روش‌های ترمیم روسازی راه می‌باشد. مطالعات صورت گرفته در این پژوهش بیشتر جنبه مدیریتی در ساخت آسفالت گرم را دارد و می‌توان از آن جهت افزایش راندمان پروژه‌های روسازی به عنوان یک روش پیشگیرانه به منظور کاهش خرابی‌ها و افزایش عمر خدمت‌دهی آسفالت استفاده کرد. نتایج بدست آمده در این پژوهش به شرح زیر می‌باشند.

-درخصوص برنامه کنترل کیفیت تولید آسفالت، دسته‌هایی که در حدود کنترل قرار گرفته باشند، مقدار درصد درون حدود آنها کمتر از ۷۵ درصد نشده و در برنامه ارزیابی و پذیرش، قابل پذیرش هستند.

-با استفاده از نمودار پارتو، علل مهم‌تر ایجاد عیوب خط تولید تعیین می‌شود که با رفع آنها می‌توان تا حد زیادی کیفیت آسفالت تولیدی را ارتقا داد.

-با توجه به حجم آسفالت تولیدی، پیشنهاد می‌شود پیمانکار، روزانه نمونه‌هایی از آسفالت را تهیه کرده و توسط برنامه کنترل کیفیت، فرآیند تولید را کنترل نماید.

-در خصوص برنامه کنترل کیفیت اجرای آسفالت، روش پیشنهادی برای کنترل کیفیت مشخصه درصد تراکم با شاخص ارزیابی درصد درون حدود منطبق می‌باشد.

-در خصوص برنامه ارزیابی و پذیرش، بررسی و مقایسات صورت گرفته در این پژوهش، نشان دهنده کمتر بودن میزان ضریب پرداخت مرکب برنامه ارزیابی و پذیرش نسبت به سایر سیستم‌های ارزیابی جاری وزارت راه و شهرسازی است.

-برنامه پذیرش و ارزیابی، امکان بررسی مشخصه‌های بیشتری را نسبت به سیستم ارزیابی دستورالعمل‌های وزارت راه و شهرسازی فراهم ساخته است که این، امتیازهای اصلی این برنامه نسبت به سیستم جاری مورد استفاده در کشور می‌باشد.

۶-مراجع

-احمدی، علیرضا و داعی، بهیار (۱۳۷۶). کاربرد روش دلفی در تعیین اولویت اهداف استراتژیک سازمان‌ها. *مجموعه مقالات پنجمین همایش دانشجویی مهندسی صنایع*، دانشگاه علم و صنعت، تهران.

-سی. مونتگومری، داگلاس و نورالنسا، رسول (۱۳۸۷). کنترل کیفیت آماری، مرکز انتشارات علم و صنعت ایران، ویرایش سوم، ایران.

-کوکران، و.ج، ترجمه صالح اردستانی، عباس و سعدی، محمدرضا (۱۳۸۵). تکنیک‌های نمونه‌گیری، *انتشارات اتحاد*، تهران.

-نوری، هدایت و نیلی‌پور طباطبایی، شهره (۱۳۸۶). اولویت‌بندی توسعه صنایع تبدیلی و تکمیلی بخش کشاورزی با استفاده از روش دلفی، شهرستان فلاورجان، استان اصفهان. *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره۶۱، ۱۷۷-۱۶۶.

-Akkinepally, R. and Attoh-Okine, N., (2006). Quality Control and Quality Assurance of Hot Mix Asphalt Construction in Delaware. *Delaware Center for Transportation,* University of Delaware.

-Amoozadeh, O. M., and Babagoli, R., (2023). Evaluation of the effect of nano-calcium carbonate mechanical performance of asphalt binder and mixture. *Journal of Transportation Research,* 20(3), 467-488.

-Amouzadeh Omrani, M., (2023). Laboratory comparison of mechanical properties of emulsified cold recycled asphalt containing cement kiln dust and steel slag with recycled asphalt containing cement. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering,* 9(3), 57-79.

-Bhattacherjee, A., (2002). Practical issues in the construction of control charts in mining applications. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*.

-Ryan, T. (1989). Statistical methods for quality improvement. *John Wiley & Sons Inc*., USA.

-Schmitt, R.L, (1998). Development of Statistically-Base Methods for Determine QC/QA Testing Levels for Hot-Mix Asphalt Constructions. *University of Wisconsin- Madison,* USA.

-Omrani, M. A., Babagoli, R., and Hasirchian, M., (2025). Predictive modeling of mechanical properties in cold recycled asphalt mixtures enhanced with industrial byproducts. *Case Studies in Construction Materials,* 23, e05202.

-Shekharan, R. and Frith, D. and Chowdhury, T. and Larson, C. and Morian, D., (2007). The Effects of a Comprehensive QA/QC Plan on Pavement Management. *Transportation Research Board 2007 Annual Meeting,* USA.

-Turochy, R.E and Parker, F, (2007). Comparison of Contractor and State Transportation Agency Quality Assurance Test Results on Mat Density of Hot-Mix Asphalt Concrete: Findings of a Multi-State Analysis. *Transportation Research Board Annual Meeting*, USA.

Quality Control of Hot Mix Asphalt Production and Placement Processes to Extend Pavement Service Life (Case Study: Selected Projects in Mazandaran Province)

Mohsen Amouzadeh Omrani, *Department of Civil Engineering, Sava.C., Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.*

Rezvan Babagoli, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran.

E-mail: Mo.Omrani@iau.ac.ir

Received: September 2025- Accepted: February 2026

ABSTRACT

The failure of pavement is one of the main issues impacting the service life and durability of pavements. The existing solutions for rectifying pavement failures are generally classified into two categories: Procurement and Treatment. Quality control and assurance processes serve as preventive measures. In this process, activities such as inspections, sampling, testing, and in-service quality control enable the monitoring of constructed pavement quality and, upon acceptance, ensure its standards. In this research, the studies conducted for the quality control and assurance of hot asphalt are divided into two main parts: the quality control program and the quality assurance program. The quality control program is based on statistical methods, including classification of asphalt properties and evaluation of defective items percentage through Pareto charts. For the acceptance evaluation program, initially, the percentage within specifications is determined using a normal distribution, followed by calculating the payment coefficients for each property based on their within-limit percentages. Ultimately, a composite payment coefficient is calculated for all evaluated asphalt properties. The relationship between payment and the within-limit percentage is established using the Delphi method, resulting in a stair-step payment schedule. The results of applying the quality control program to the case study observations show that the outcomes from different methods used within the quality control framework are similar. Additionally, these methods facilitate the identification of factors that reduce the quality of the constructed asphalt. This study found that, regarding the hot mix asphalt production quality control program, the proportion of samples within the control limits exceeded 75%, making the asphalt suitable for acceptance within those limits. Furthermore, the comparative analysis of the evaluation and acceptance program indicates that its composite payment coefficient is lower than those of other current evaluation systems used by the Ministry of Roads and Urban Development.

Keywords: Pavement, Quality Control, Hot Mix Asphalt, Statistical Methods