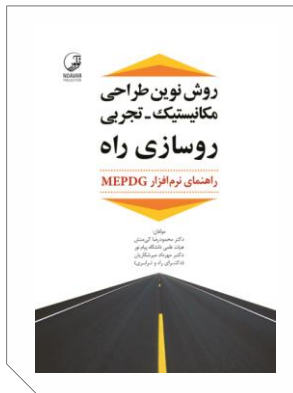




## روش نوین طراحی مکانیستیک - تجربی روسازی راه

راهنمای نرم افزار MEPDG



مؤلفان:

دکتر محمود رضا کی منش

عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور

دکتر مهرداد امیرشکاریان

دکترای راه و ترابری



کی‌منش، محمودرضا، ۱۳۳۸ - Keymanesh, Mahmoud Reza  
 روش نوین طراحی مکانیستیک - تجربی روسازی راه : راهنمای نرم‌افزار MEPDG/مولفان محمودرضا  
 کی‌منش، مهرداد میرشکاریان.  
 تهران : نوآور، ۱۳۹۸.  
 ۲۱۶ ص.  
 ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۹-۵ : شابک  
 فیپا  
 راهنمای نرم‌افزار MEODG.  
 روسازی  
 Pavements :  
 روسازی -- طرح و ساختمان  
 Design and construction Pavements : --  
 روسازی -- طرح و ساختمان -- نرم‌افزار  
 Pavements -- Design and construction -- Software :  
 میرشکاریان، مهرداد، ۱۳۵۰ -  
 Mirshekariyan, Mehrdad :  
 ۲۵۰ TE :  
 ۸۵/۶۲۵ :  
 ۵۷۳۳۲۷۰ :

سرشناسه  
 عنوان و نام پدیدآور  
 مشخصات نشر  
 مشخصات ظاهری  
 شابک  
 وضعیت فهرست نویسی  
 عنوان دیگر  
 موضوع  
 موضوع  
 موضوع  
 موضوع  
 موضوع  
 شناسه افزوده  
 شناسه افزوده  
 رده بندی کنگره  
 رده بندی دیویی  
 شماره کتابشناسی ملی

## روش نوین طراحی مکانیستیک - تجربی روسازی راه

مولفان: محمودرضا کی‌منش، دکتر مهرداد میرشکاریان



نشر نوآور

ناشر: نوآور

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۸

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۴۳۹-۵

قیمت: ۳۹۰۰۰ تومان

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای  
 ژاندارمیری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸  
 طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و  
 مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر  
 نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل  
 هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع  
 انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا  
 تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام  
 است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

لطفاً جهت دریافت الحاقات و اصلاحات احتمالی این کتاب به سایت انتشارات نوآور مراجعه فرمایید.

[www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

<https://telegram.me/noavarpub>

<https://www.instagram.com/noavarpub/>

# فهرست مطالب

۸	پیشگفتار
۹	مقدمه
۱۱	فصل اول / مقدمه
۱۵	۱.۱ هدف کتابچه راهنما
۱۵	۲.۱ مروری بر روش طراحی روش مکانیستیک- تجربی
۲۰	فصل دوم / اسناد و استانداردهای مرجع
۲۰	۱.۲ پروتکل‌ها و استانداردهای آزمون
۲۰	۱.۱.۲ تعیین مشخصات مصالح در آزمایشگاه
۲۲	۲.۱.۲ تعیین مشخصات مصالح/ لایه‌ی روسازی در محل
۲۲	۲.۲ مشخصات فنی مصالح
۲۲	۳.۲ شیوه‌ها و اصطلاحات توصیه شده
۲۳	۴.۲ اسناد مرجع
۲۶	فصل سوم / اهمیت و استفاده از روش مکانیستیک- تجربی
۲۶	۱.۳ شاخص‌های عملکرد پیش‌بینی شده توسط روش مکانیستیک- تجربی
۲۷	۲.۳ روش طراحی کلی روش مکانیستیک- تجربی
۲۹	۳.۳ استراتژی‌های طراحی روسازی انعطاف‌پذیر جدید و روکش آسفالتی برای استفاده با روش مکانیستیک- تجربی
۳۰	۴.۳ روسازی صلب جدید، روکش بتنی و روش‌های طراحی روسازی صلب قابل اجرا برای استفاده با روش مکانیستیک- تجربی
۳۵	۵.۳ ویژگی‌های طراحی و عواملی که در فرآیند روش مکانیستیک- تجربی لحاظ نشده است.
۳۸	فصل چهارم / اصطلاحات و تعریف واژه‌ها
۳۸	۱.۴ اصطلاحات عمومی
۴۰	۲.۴ سطوح ورودی سلسله‌مراتبی
۴۱	۳.۴ اصطلاحات ترافیک کامیون
۴۱	۴.۴ همواری
۴۲	۵.۴ اصطلاحات مربوط به خرابی‌ها یا شاخص‌های عملکرد(روسازی‌های با رویه آسفالتی)
۴۳	۶.۴ اصطلاحات مربوط به خرابی‌ها یا شاخص‌های عملکرد- روسازی‌های با رویه بتنی
۴۵	فصل پنجم / روش‌های پیش‌بینی شاخص عملکرد
۴۵	۱.۵ ضرایب کالیبراسیون موجود در روش مکانیستیک- تجربی
۴۶	۲.۵ معادلات پیش‌بینی خرابی برای روسازی‌های انعطاف‌پذیر و روکش‌های مخلوط آسفالتی
۴۶	۱.۲.۵ بررسی روش محاسباتی برای پیش‌بینی خرابی
۴۸	۲.۲.۵ عمق شیار
۵۱	۳.۲.۵ ترک خوردگی مرتبط با بار
۵۵	۴.۲.۵ ترک خوردگی غیرمرتبط با بار- ترک عرضی



۵۸	۵.۲.۵ ترک انعکاسی در روکش‌های آسفالتی
۷۰	۶.۳.۵ سوراخ‌شدگی (پانچینگ) CRCP
۷۲	۷.۳.۵ همواری - روسازی بتنی پیوسته
۷۵	۸.۳.۵ همواری - CRCP
۷۷	<b>فصل ششم / سطوح ورودی سلسله‌مراتبی - تصمیم‌گیری در مورد سطح ورودی</b>
۷۷	۱.۶ مقدمه‌ای بر سطوح ورودی سلسله‌مراتبی
۷۷	۲.۶ هدف سطوح ورودی سلسله‌مراتبی
۷۸	۳.۶ انتخاب سطح ورودی
۸۰	<b>فصل هفتم / اطلاعات کلی پروژه</b>
۸۰	۱.۷ عمر طراحی / تجزیه و تحلیل
۸۰	۲.۷ تاریخ‌های تکمیل احداث و باز شدن ترافیک
۸۲	<b>فصل هشتم / انتخاب معیارها و سطح قابلیت اطمینان طراحی</b>
۸۲	۱.۸ معیارهای عملکرد طراحی توصیه شده
۸۳	۲.۸ قابلیت اطمینان
۸۷	<b>فصل نهم / تعیین شرایط و ضرایب در محل سایت</b>
۸۷	۱.۹ ترافیک کامیون
۸۹	۱.۱.۹ ورودی‌های مختص جاده
۹۰	۲.۱.۹ ورودی‌های استخراج شده از داده‌های WIM
۹۴	۳.۱.۹ ورودی‌های ترافیک کامیون که در داده‌های وزن حرکتی خودرو گنجانده نشده‌اند
۹۵	۲.۹ شرایط آب و هوایی (اقلیم)
۹۵	۳.۹ فونداسیون و خاک‌های بستر
۹۵	۱.۳.۹ تحقیقات زیرسطحی برای طراحی روسازی
۹۷	۲.۳.۹ آزمون‌های آزمایشگاهی و کارگاهی خاک‌ها برای طراحی روسازی
۹۸	۴.۹ روسازی‌های موجود
۱۰۱	<b>فصل دهم / ارزیابی روسازی برای طرح مقاوم‌سازی</b>
۱۰۱	۱.۱۰ ارزیابی وضعیت کلی و گروه‌های تعریف مسئله
۱۰۴	۲.۱۰ جمع‌آوری داده‌ها برای تعریف ارزیابی وضعیت
۱۰۷	۱.۲.۱۰ ارزیابی اولیه‌ی روسازی
۱۰۸	۲.۲.۱۰ تهیه‌ی طرح ارزیابی میدانی (پایکار)
۱۰۸	۳.۲.۱۰ انجام پیمایش وضعیت یا پیمایش بصری
۱۱۱	۴.۲.۱۰ پیمایش رادار نفوذی زمین
۱۱۲	۵.۲.۱۰ پالایش طرح آزمون میدانی
۱۱۲	۶.۲.۱۰ انجام آزمون‌های حوضچه‌ی افت و خیز
۱۱۴	۷.۲.۱۰ بازیابی مغزه‌ها و گمانه‌زنی برای روسازی موجود (نمونه‌گیری و آزمون مخرب)
۱۱۷	۸.۲.۱۰ آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین مشخصات مصالح روسازی‌های موجود
۱۱۹	۳.۱۰ تجزیه و تحلیل داده‌های ارزیابی روسازی برای ملاحظات طرح مقاوم‌سازی
۱۱۹	۱.۳.۱۰ پیمایش بصری خرابی برای تعیین کیفیت سازه‌ای

۱۲۰	۲.۳.۱۰ محاسبه‌ی بازگشتی مقادیر مدول لایه‌ای
۱۲۴	۳.۳.۱۰ تشخیص از بین رفتن تکیه‌گاه
۱۲۴	۴.۳.۱۰ راندمان انتقال بار درز
۱۲۴	۵.۳.۱۰ تغییرپذیری و تنوع در طول یک پروژه
<b>۱۲۵</b>	<b>فصل یازدهم / تعیین ویژگی‌های مصالح برای مصالح روسازی جدید</b>
۱۲۵	۱.۱۱ ورودی‌های مصالح و مفهوم ورودی سلسله‌مراتبی
	۲.۱۱ مخلوط‌های آسفالتی (از جمله آسفالت درشت دانه) لایه‌های اساس بهسازی شده یا تثبیت شده با قیر، مخلوط‌های
۱۲۶	اساس نفوذپذیر بهسازی شده با قیر
۱۳۳	۳.۱۱ مخلوط‌های روسازی بتنی، بتن مگر و لایه‌های اساس بهسازی شده با سیمان
۱۳۷	۴.۱۱ مصالح تثبیت شده به صورت شیمیایی، از جمله بتن مگر و لایه‌های اساس بهسازی شده با سیمان
۱۴۰	۵.۱۱ مصالح اساس سنگ دانه‌ای غیرچسبنده و خاکریزهای طراحی شده
<b>۱۴۷</b>	<b>فصل دوازدهم / استراتژی‌های طراحی روسازی</b>
۱۴۷	۱.۱۲ استراتژی‌های طراحی روسازی انعطاف‌پذیر جدید
۱۴۸	۱.۱.۱۲ آیا لازم است که خاک بستر مقاوم‌سازی یا بهسازی شود؟
۱۵۰	۲.۱.۱۲ آیا یک لایه‌ی صلب یا سفره‌ی آب وجود دارد؟
۱۵۱	۳.۱.۱۲ آیا خاکریز متراکم یا لایه‌ی بستر بهسازی شده وجود دارد؟
۱۵۱	۴.۱.۱۲ آیا لازم است که یک لایه‌ی زهکشی در استراتژی طراحی لحاظ شود؟
۱۵۲	۵.۱.۱۲ برای طراحی سازه‌ای، از یک بستر تثبیت شده استفاده شود یا از یک برنامه‌ی ساخت و ساز؟
۱۵۲	۶.۱.۱۲ آیا لازم است که از یک لایه‌ی اساس یا زیراساس سنگدانه‌ای استفاده شود؟
۱۵۳	۷.۱.۱۲ لایه‌های آسفالتی - چه نوع و چند لایه؟
۱۵۴	۸.۱.۱۲ میزان همواری اولیه چقدر است؟
۱۵۵	۲.۱۲ استراتژی‌های طراحی روسازی صلب جدید
۱۵۵	۱.۲.۱۲ سازه - نوع لایه‌ی آزمایشی، ضخامت و ویژگی‌های طراحی
۱۵۶	۲.۲.۱۲ طراحی روسازی بتنی درزدار
۱۵۹	۳.۲.۱۲ طراحی روسازی بتنی پیوسته
۱۶۱	۴.۲.۱۲ همواری اولیه‌ی روبه
<b>۱۶۳</b>	<b>فصل سیزدهم / استراتژی‌های طرح مقاوم‌سازی</b>
۱۶۳	۱.۱۳ بررسی کلی طرح مقاوم‌سازی با استفاده از روش مکانیستیک - تجربی
۱۶۵	۲.۱۳ طرح مقاوم‌سازی با روکش‌های آسفالتی
۱۶۵	۱.۲.۱۳ بررسی کلی
۱۶۶	۲.۲.۱۳ تجزیه و تحلیل روکش آسفالتی و طرح مقاوم‌سازی آزمایشی
۱۶۶	۳.۲.۱۳ تعیین وضعیت روسازی موجود
۱۶۸	۴.۲.۱۳ تصمیم‌گیری در مورد بهسازی قبل از روکش
۱۷۱	۵.۲.۱۳ تعیین مدول آسیب‌دیده‌ی لایه‌های چسبنده و اصطکاک بین لایه‌ای کاهش یافته
۱۷۲	۶.۲.۱۳ گزینه‌های روکش آسفالتی روسازی‌های موجود
۱۷۳	۷.۲.۱۳ روکش‌های آسفالتی روسازی‌های آسفالتی موجود، از جمله روسازی‌های نیمه‌صلب
۱۷۹	۸.۲.۱۳ روکش آسفالتی روسازی‌های بتنی فرسوده
۱۸۵	۳.۱۳ طرح نوسازی با روکش‌های بتنی



۱۸۵	۱.۳.۱۳ بررسی کلی
۱۸۷	۲.۳.۱۳ پارامترهای تجزیه و تحلیل منحصر بفرد برای مقاوم سازی
۱۸۸	۳.۳.۱۳ برآورد خرابی گذشته
۱۹۱	۴.۳.۱۳ طرح مقاوم سازی روسازی بتنی درزدار
۱۹۸	۵.۳.۱۳ طرح مقاوم سازی CRCP
۲۰۲	۶.۳.۱۳ ملاحظات دیگر برای مقاوم سازی با روسازی بتنی
۲۰۳	<b>فصل چهاردهم / تفسیر و تجزیه و تحلیل طرح آزمایشی</b>
۲۰۳	۱.۱۴ خلاصه‌ی ورودی‌ها برای طرح آزمایشی
۲۰۳	۲.۱۴ قابلیت اطمینان طرح آزمایشی
۲۰۵	۳.۱۴ اطلاعات تکمیلی (مدول لایه‌ای، کاربردهای کامیون، و سایر عوامل)
۲۰۶	۴.۱۴ مقادیر عملکرد پیش‌بینی شده
۲۰۸	۵.۱۴ قضاوت در مورد قابلیت پذیرش طرح آزمایشی
۲۱۲	پیوست

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرماً از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



نشر نوآور

تلفن: ۰۲۱-۸۴۱۹۱۰۶۶۴

[www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com)

[info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com)

این مرجع، به شرح یک روش طراحی روسازی می‌پردازد که مبتنی بر مکانیک مهندسی بوده و اعتبار آن، با داده‌های عملکردی حاصل از آزمون جاده‌ای مورد تأیید قرار گرفته است. این روش، طراحی روسازی مکانیستیک-تجربی (M-E) نامیده شده و در عمل نشانگر یک تغییر عمده در روش‌های طراحی روسازی امروزی است.

از اوایل سال ۱۹۶۰ تا سال ۱۹۹۳، تمام نسخه‌های راهنمای طراحی ساختارهای روسازی انجمن ادارات حمل و نقل و بزرگراه‌های ایالتی آمریکا (آشتو)، مبتنی بر معادلات عملکرد تجربی محدودی بودند که در آزمون جاده‌ای AASHTO در اواخر سال ۱۹۵۰ توسعه یافته بودند. زمانی که راهنمای طراحی ساختارهای روسازی آشتو در سال ۱۹۸۶ به تصویب رسید، نیاز به یک روش طراحی روسازی مبتنی بر قوانین مکانیک (مکانیستیک) و مزایای آن به رسمیت شناخته شده بود. به منظور رفع این نیاز، گروه مشترک روسازی‌های آشتو، در همکاری با برنامه‌ی تحقیقات ملی مشارکت بزرگراهی (NCHRP) و اداره‌ی بزرگراه فدرال (FHWA)، از توسعه‌ی روش طراحی روسازی M-E تحت پروژه‌ی NCHRP 1-37A حمایت نمودند.

یکی از اهداف کلیدی اصلی پروژه‌ی NCHRP 1-37A (توسعه‌ی راهنمای طراحی ساختارهای روسازی جدید و بازسازی شده در سال ۲۰۰۲: فاز دوم)، توسعه‌ی یک راهنمای طراحی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر قوانین مکانیک در طراحی روسازی بود. این راهنما، بایستی تمام مسائل طراحی جدید (از جمله بازسازی خط) و بازسازی را مخاطب قرار داده و یک اساس طراحی منصفانه برای تمام انواع روسازی ارائه می‌نمود.

راهنمای طراحی روسازی مکانیستیک-تجربی (روش مکانیستیک-تجربی) در شکل فعلی آن، در سال ۲۰۰۴ تکمیل شد و برای بررسی و ارزیابی توسط عموم منتشر گردید. یک بررسی رسمی از تولیدات حاصل از پروژه‌ی 1-37A، توسط NCHRP تحت پروژه‌ی 1-40A صورت گرفت. در نتیجه‌ی این بررسی، پیشرفت‌هایی حاصل گردید که بسیاری از آنها در روش مکانیستیک-تجربی تحت پروژه‌ی NCHRP 1-40D گنجانده شده است. حاصل پروژه‌ی 1-40D، نسخه‌ی 1.0 نرم‌افزار روش مکانیستیک-تجربی و یک سند راهنمای طراحی به‌روز بوده است.

در آوریل سال ۲۰۰۷، نسخه‌ی 1.0 نرم‌افزار به عنوان یکی از استانداردهای موقت آشتو، برای بررسی بیشتر به NCHRP، FHWA و AASHTO ارائه گردید و در حال حاضر، تلاش‌هایی جهت ارائه‌ی نسخه‌ی 2.0 نرم‌افزار در دست اقدام است. به طور همزمان، گروهی از سازمان‌های ایالتی که ایالات Lead نامیده می‌شوند، برای به اشتراک‌گذاری دانش مربوط به روش مکانیستیک-تجربی و تسریع اجرای آن تشکیل شد. در حال حاضر، ایالات پیشگام و سایر سازمان‌های علاقمند، فعالیت‌های اجرایی در حیطه‌ی آموزش کارکنان، جمع‌آوری داده‌های ورودی (کتابخانه‌ی مواد، کتابخانه‌ی ترافیک، و غیره)، تهیه‌ی تجهیزات آزمون، و راه‌اندازی بخش‌های صحرائی برای کالیبراسیون محلی را آغاز نموده‌اند.

این کتابچه‌ی راهنما، اطلاعات لازم برای مهندسان طراحی روسازی برای شروع استفاده از روش طراحی و تجزیه و تحلیل روش مکانیستیک-تجربی را ارائه می‌دهد. FHWA، دارای وب‌سایتی (<http://knowledge.fhwa.dot.gov>) برای تبادل دانش در رابطه با روش مکانیستیک-تجربی است.



از گذشته تا به امروز روسازی‌ها به دو دسته صلب و انعطاف پذیر تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های طراحی روسازی آسفالتی و بتنی بطور چشمگیری در چند سال گذشته تغییر یافته و روش‌های معمول و قدیمی طراحی روسازی بیشتر بر مبنای روابط و اصول تجربی بوده و تئوری نقش کم‌رنگی در این روش‌ها داشته است. روش طراحی مکانیستیک-تجربی تلفیقی از روابط تئوری بر مبنای اصول تجربی است که به معرفی روش‌هایی جهت طراحی عملکردی روسازی و بررسی انواع خرابی بر مبنای خصوصیات مصالح می‌پردازد. این روش جهت طراحی و تحلیل روسازی آسفالتی، بتنی و انواع روکش‌ها بکار می‌رود.

در سال ۱۹۹۳ روشی موثر و کارآمد برای طراحی روسازی به عنوان "راهنمای مکانیستیک-تجربی طراحی روسازی" (MEPDG) ارائه گردید. این راهنما با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار بر عملکرد روسازی از قبیل ترافیک، آب و هوا، ساختار روسازی و خصوصیات مصالح پاسخ‌های بحرانی روسازی (تنش، کرنش و افت و خیز در نقاط مختلف مقاطع روسازی) را پیش بینی می‌کند و از آن پاسخ‌ها برای محاسبه خرابی در طول زمان استفاده می‌گردد. طراحی روسازی با استفاده از روش مکانیستیک-تجربی، یک فرآیند تکراری و تجربی است که تفاوت آن با روش‌های معمول طراحی روسازی (اشتو) این است که نتایج حاصل از این روش طراحی، خرابی و همواری روسازی هستند و ضخامت لایه‌های روسازی نیستند.

روش مکانیستیک-تجربی، برای ارزیابی یک طرح آزمایشی و از پیش تعریف شده (ترکیبی از انواع لایه‌ها، ضخامت لایه‌ها و ویژگی‌های طرح) و برای شرایط محلی پروژه و معیارهای خرابی، در سطح مشخصی از قابلیت اطمینان و پس از انجام یک فرآیند سعی و خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش شامل توابع انتقال و معادلاتی است که شاخص‌های عملکرد روسازی را پیش بینی می‌نماید. معادلات ارائه شده در این روش توسط بیشمار داده‌های واقعی استخراج شده، کالیبره و معتبرسازی شده‌اند. در خاتمه طرح نهایی هنگامی انتخاب می‌شود که ضخامت‌های فرضی برای روسازی، قابلیت اطمینان مورد نیاز را برای هر نوع خرابی تامین نماید.

این کتاب در چهارده فصل با هدف تشریح کامل روش مکانیستیک-تجربی گردآوری و تدوین گردیده و سعی شده است که در فصل‌های اول تا دهم به بررسی خصوصیات و ویژگی‌های مصالح بکار رفته در سازه روسازی و ارزیابی مدل‌های خرابی برای معیارهای مختلف شکست پرداخته شود. در فصل دهم تا سیزدهم با استفاده از مدل‌های خرابی طراحی انواع روسازی آسفالتی، بتنی و روکش بیان خواهد شد. در فصل چهاردهم یک مثال عملی و کاربردی از طراحی روسازی با ذکر جزئیات کافی و دقیق با استفاده از روش مکانیستیک-تجربی ارائه شده است. این روش نوین و کاربردی طراحی روسازی به زبانی ساده و کاربردی در اختیار مهندسين و دانشجویان حوزه راه و ترابری قرار گیرد.

امید است که این اثر گامی کوچک در راستای پیشرفت و اعتلای دانش مهندسين حوزه روسازی در کشور عزیزمان ایران برداشته باشد. پر واضح است که هیچ کتاب فنی خالی از اشکال نیست، لذا امید است خوانندگان گرامی رهنمودهایی جهت اغنای مطالب و اصلاح چاپ‌های آینده به مولفین ارسال فرمایند.

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هرگونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤذرعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

**خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،**

**از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.**

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۲-۰۲۱ ۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس [info@noavarpub.com](mailto:info@noavarpub.com) و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت [www.noavarpub.com](http://www.noavarpub.com) به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

## فصل اول

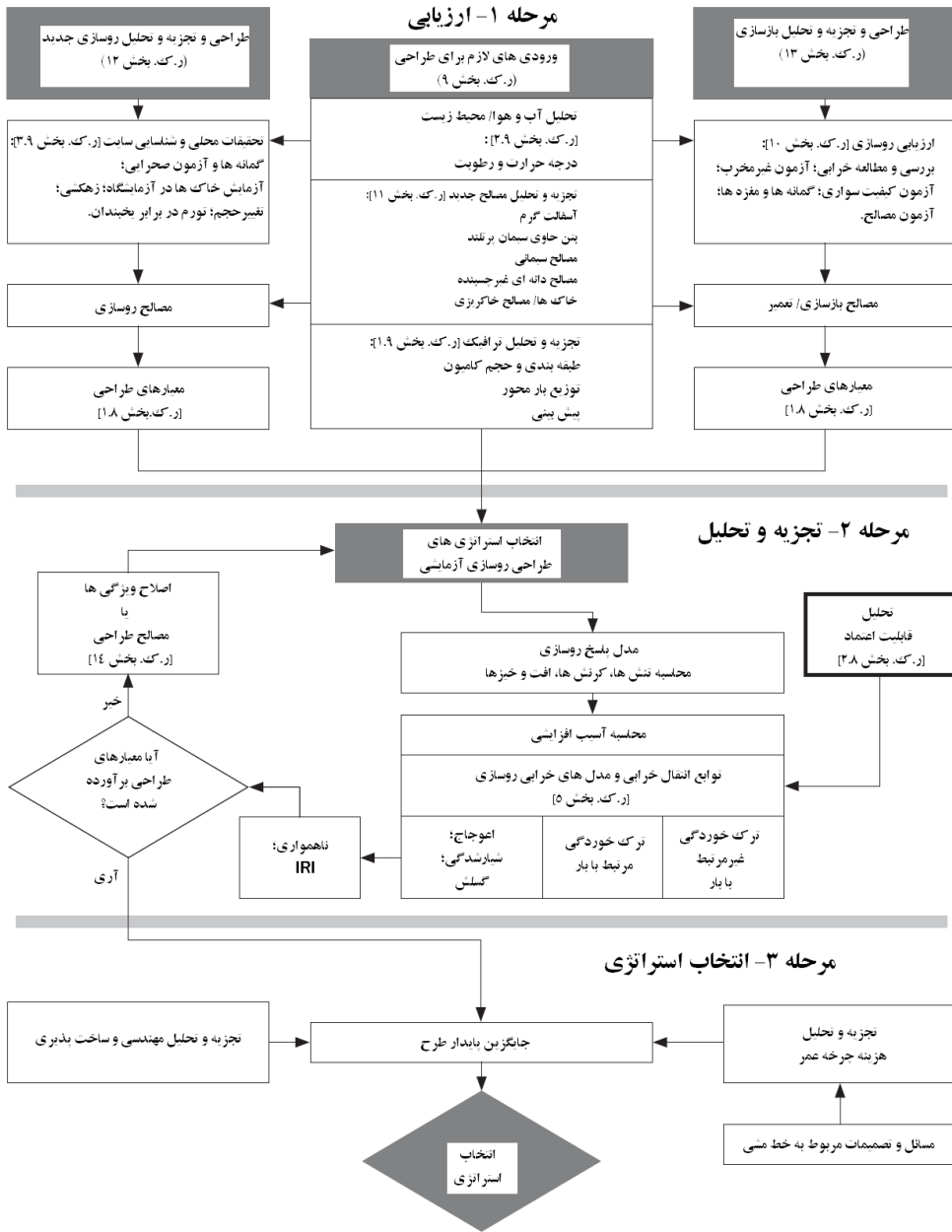
### مقدمه

هدف کلی راهنمای طراحی روسازی مکانیستیک- تجربی (MEPDG)، ارائه‌ی روش‌های فناوری کنونی به جامعه‌ی بزرگراه برای طراحی و تجزیه و تحلیل ساختارهای روسازی جدید و بازسازی شده، بر اساس اصول مکانیستیک- تجربی (M-E) است. این بدان معناست که در این روش طراحی و تجزیه و تحلیل، پاسخ‌های روسازی (تنش‌ها، کرنش‌ها، و افت و خیزها) محاسبه شده و از آن پاسخ‌ها برای محاسبه‌ی خرابی در طول زمان استفاده می‌گردد. این روش، خرابی‌های تجمعی و آسیب‌های مشاهده شده در روسازی را به صورت تجربی با هم مرتبط می‌سازد. این روش مبتنی بر M-E، به صورت نمودار در تصویر ۱-۱ نشان داده شده است. "روش مکانیستیک- تجربی" به صورتی که در این راهنما استفاده شده است، به اسناد و بسته‌ی نرم‌افزاری اشاره دارد (NCHRP، 2007.a).

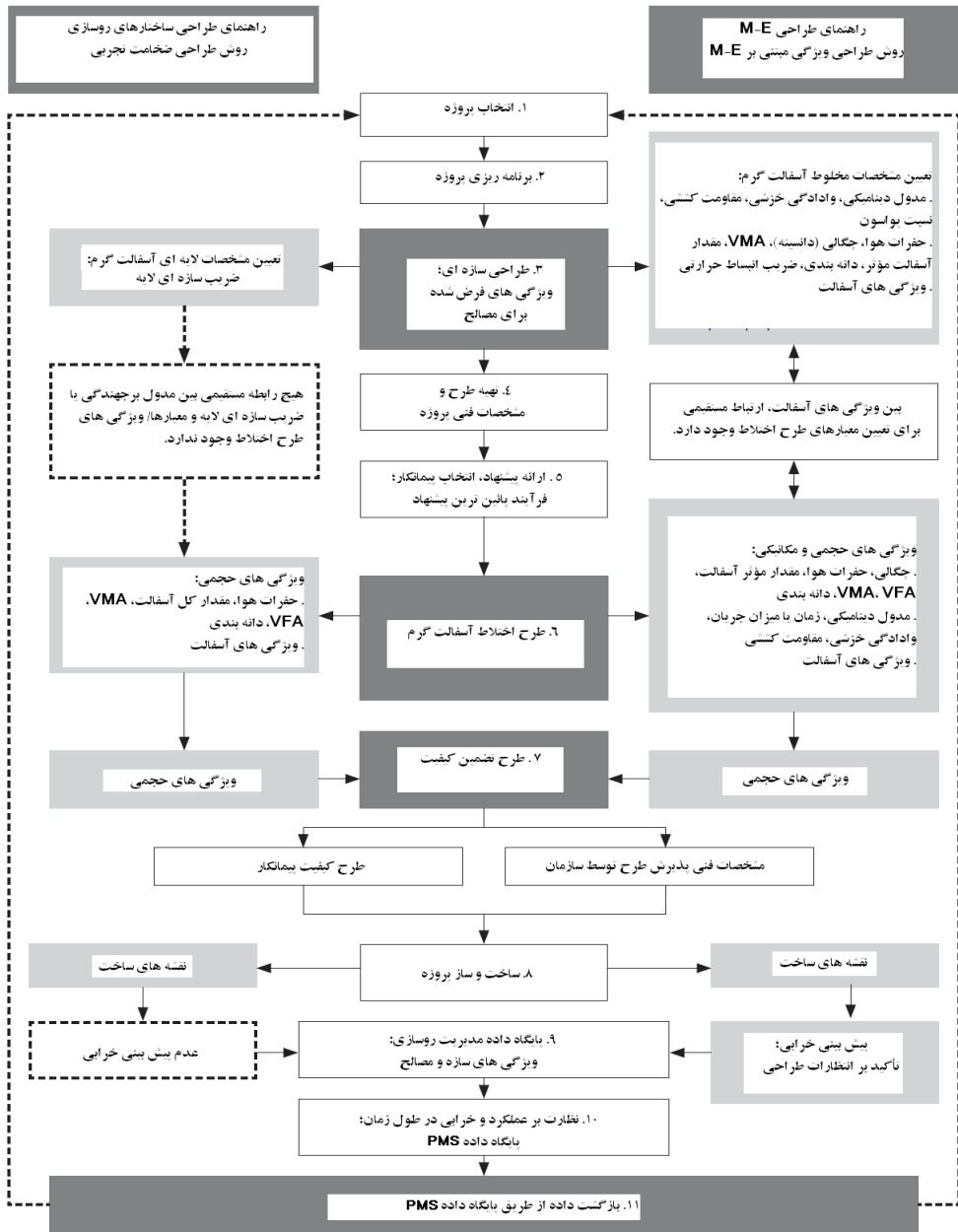
روش مکانیستیک- تجربی، نشان دهنده‌ی تغییرات بزرگی است که در روش طراحی روسازی صورت می‌گیرد. دو اختلاف اساسی بین راهنمای طراحی ساختارهای روسازی (AASHTO، ۱۹۹۳) و روش مکانیستیک- تجربی، آن است که روش مکانیستیک- تجربی، شاخص‌های عملکردی چندگانه (ر.ک. تصویر ۱-۱) را پیش‌بینی می‌کند و بین مصالح، طراحی سازه‌ای، ساخت و ساز، آب و هوا، ترافیک، و سیستم‌های مدیریت روسازی رابطه‌ی مستقیمی برقرار می‌کند. تصاویر ۱-۲ و ۱-۳، نمونه‌هایی از روابط بین این فعالیت‌ها، برای مخلوط آسفالت گرم (HMA)<sup>۱</sup> و روسازی بتنی حاوی سیمان پرتلند (PCC)<sup>۲</sup> هستند.

---

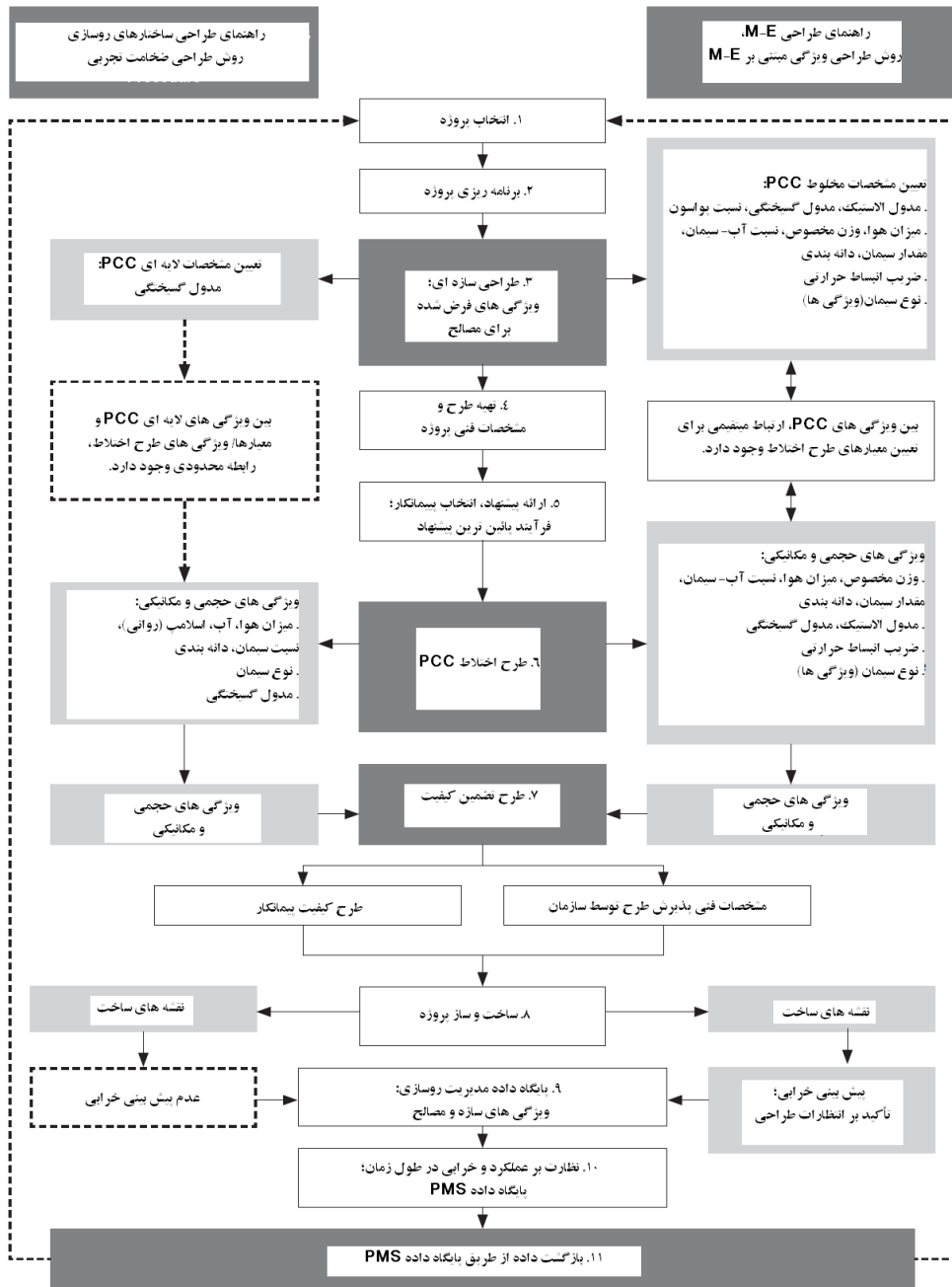
1. Hot Mix Asphalt  
2. Portland Cement Concrete



تصویر ۱-۱. نمودار مفهومی فرآیند سه مرحله‌ای طراحی - تجزیه و تحلیل برای روش مکانیستیک- تجربی



تصویر ۱-۲. تفاوت های معمول بین روش های طراحی تجربی و سیستم طراحی یکپارچه مکانیستیک-تجربی، از نظر تعیین مشخصات مخلوط آسفالت گرم



تصویر ۱-۳. تفاوت های معمول بین روش های طراحی تجربی و سیستم طراحی یکپارچه مکانیستیک-تجربی،

از نظر تعیین مشخصات روسازی بتنی

## ۱.۱ هدف کتابچه راهنما

هدف این راهنمای عملی ارائه‌ی اطلاعاتی برای راهنمایی مهندسين طراحی روسازی در تصمیم‌گیری و استفاده از روش مکانیستیک- تجربی برای طراحی روسازی جدید و بازسازی روسازی است. این کتابچه‌ی راهنما، در رابطه با ضرایب کالیبراسیون منطقه‌ای یا محلی برای پیش‌بینی خرابی و همواری روسازی رهنمودی ارائه نمی‌دهد. در سند مجزای دیگری با عنوان شیوه‌ی استاندارد پارامترهای کالیبراسیون محلی یا منطقه‌ای برای روش مکانیستیک- تجربی، برای تعیین ضرایب کالیبراسیون محلی برای هر ۲ نوع روسازی مخلوط آسفالتی گرم و روسازی بتنی، دستورالعمل‌هایی ارائه شده است (NCHRP، 2007.b).

## ۲.۱ مروری بر روش طراحی روش مکانیستیک- تجربی

طراحی روسازی با استفاده از روش مکانیستیک- تجربی، یک فرآیند تکراری است- خروجی‌های حاصل از این روش خرابی‌ها و همواری روسازی هستند و ضخامت لایه‌های روسازی نیستند. طراح، در پیشنهاد یک طرح آزمایشی برای یک روسازی جدید یا بازسازی شده، ابتدا شرایط سایت (یعنی ترافیک، آب و هوا، بستر و شرایط روسازی موجود برای بازسازی) را مورد توجه و بررسی قرار می‌دهد. سپس کفایت طرح آزمایشی در برابر معیارهای عملکردی و مقادیر قابلیت اطمینان از طریق پیش‌بینی خرابی‌ها و همواری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر طرح معیارهای عملکرد موردنظر را در قابلیت اطمینان مشخص شده برآورده نکند، مورد اصلاح و تجدیدنظر قرار می‌گیرد و فرآیند ارزیابی در صورت لزوم تکرار می‌شود. بنابراین طراح به طور کامل درگیر فرآیند طراحی بوده و به منظور بررسی ویژگی‌ها و مصالح مختلف برای ارضا و تأمین معیارهای عملکردی مربوط به شرایط سایت دارای انعطاف‌پذیری است.

روش M-E، امکان بهینه‌سازی طراحی را فراهم نموده و این اطمینان را ایجاد می‌کند که در عمر طراحی سازه‌ی روسازی انواع خرابی‌ها به مقادیر کمتر از معیارهای شکست محدود می‌شوند. مراحل اصلی گنجانده شده در فرآیند طراحی روش مکانیستیک- تجربی، به شرح زیر بوده و در فرم نمودار در تصاویر ۱-۴ و ۱-۵ ارائه شده‌اند. مراحل نشان داده شده در تصاویر ۱-۴ و ۱-۵، به بخش‌های مربوطه در این راهنما اشاره دارند.

۱. انتخاب استراتژی طرح آزمایشی. ممکن است طراح روسازی برای تعیین مقطع عرضی طرح آزمایشی، از راهنمای طراحی ساختارهای روسازی (AASHTO، ۱۹۹۳) یا روش طراحی ویژه‌ی آژانس جاده‌ای استفاده کند.

۲. انتخاب معیارهای شاخص عملکردی مناسب (مقدار حد تحمل) و سطح قابلیت اطمینان طراحی برای پروژه. معیارهای شاخص طراحی یا عملکرد، باید شامل مقادیر اصلی خرابی‌ها و همواری روسازی باشند. این معیارها، می‌توانند بخشی از سیاست‌های یک آژانس جاده‌ای برای تصمیم‌گیری در خصوص موعد مقاومت‌سازی یا بازسازی باشند.

۳. بدست آوردن تمام ورودی‌ها برای طرح آزمایشی روسازی تحت بررسی. این مرحله ممکن است وقت‌گیر باشد، اما متمایز کننده‌ی روش مکانیستیک- تجربی از سایر روش‌های طراحی است.

روش مکانیستیک- تجربی این اجازه را به طراح می‌دهد که ورودی‌ها را با استفاده از یک ساختار سلسله مراتبی که در آن تکرار لازم برای تعیین کمیت یک ورودی معین، بر اساس اهمیت پروژه، اهمیت ورودی و منابع در دسترس کاربر، انجام شود. ورودی مورد نیاز برای اجرای نرم‌افزار ممکن است با استفاده از یکی از سه سطح تلاش حاصل گردد و لازم نیست که با تمام ورودی‌ها در یک طرح معین سازگار باشد. سطوح ورودی سلسله مراتبی در بخش‌های ۴ و ۶ تعریف می‌شوند. ورودی‌ها تحت شش موضوع گسترده گروه‌بندی می‌شوند- اطلاعات کلی پروژه، معیارهای طراحی، ترافیک، اقلیم، لایه‌بندی ساختار، و ویژگی‌های مصالح (شامل ویژگی‌های طرح).<sup>۱</sup>

**۴. اجرای نرم‌افزار روش مکانیستیک- تجربی و بررسی ورودی‌ها و خروجی‌ها برای معقول بودن طرح.** این نرم‌افزار تغییرات در مشخصات لایه، آسیب وارده، خرابی‌های اصلی، و شاخص ناهمواری بین‌المللی (همواری) را در طول عمر طراحی محاسبه می‌کند. زیر بخش‌های مرحله‌ی ۴ عبارتند از:

الف) بررسی خلاصه‌ی ورودی برای اطمینان از این که ورودی‌ها صحیح و موردنظر طراح هستند. این گام ممکن است پس از هر اجرا تا زمانی که طراح با برنامه و وردی‌های آن آشنایی بیشتری پیدا کند، تکمیل شود.

ب) بررسی خروجی‌هایی که فرآیند میانی را تشکیل می‌دهند- پارامترهای خاص، مانند مقادیر مربوط به آب و هوا، مقادیر راندمان انتقال بار عرضی ماهانه برای تجزیه و تحلیل روسازی صلب، مقادیر مدول لایه‌ای ماهانه برای تجزیه و تحلیل روسازی انعطاف‌پذیر و صلب به منظور تعیین منطقی بودن آنها و شاخص‌های عملکرد (خرابی‌های روسازی و همواری). محاسبه می‌شود. این گام ممکن است پس از هر اجرا تا زمانی که طراح با برنامه آشنایی بیشتری پیدا کند، تکمیل شود. بررسی فرآیندها و مراحل میانی مهم در بخش ۱۴ ارائه شده است.

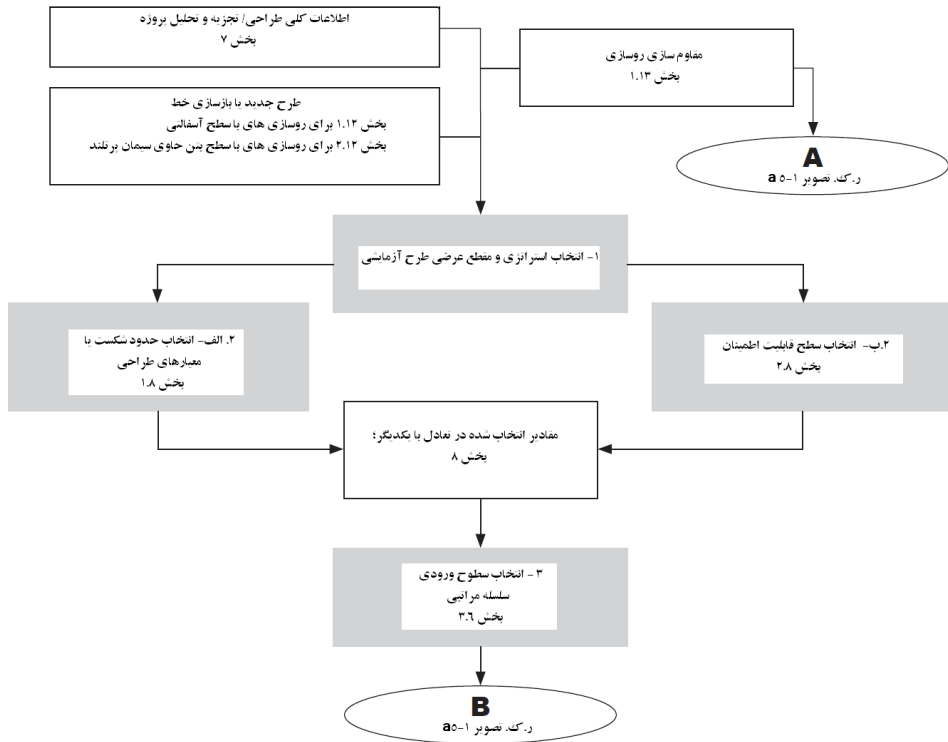
ج) ارزیابی این موضوع که آیا طرح آزمایشی هر یک از معیارهای شاخص عملکرد را در سطح قابلیت اطمینان طراحی انتخاب شده برای پروژه برآورده نموده است یا خیر. همان‌طور که در بالا اشاره شد همواری یک پارامتر خروجی پیش‌بینی شده در طول زمان و معیاری از همواری سطح است. همواری، از سایر پیش‌بینی‌های خرابی (ر.ک. تصویر ۱-۱)، ضرایب سایت و همواری اولیه محاسبه می‌شود.

د) در صورتی که هیچ‌یک از معیارها برآورده نشده باشند، بایستی تعیین نمود که چگونه می‌توان با تغییر مصالح مورد استفاده، لایه‌بندی مصالح، ضخامت لایه‌ای یا سایر ویژگی‌های طراحی این کمبود را اصلاح نمود.

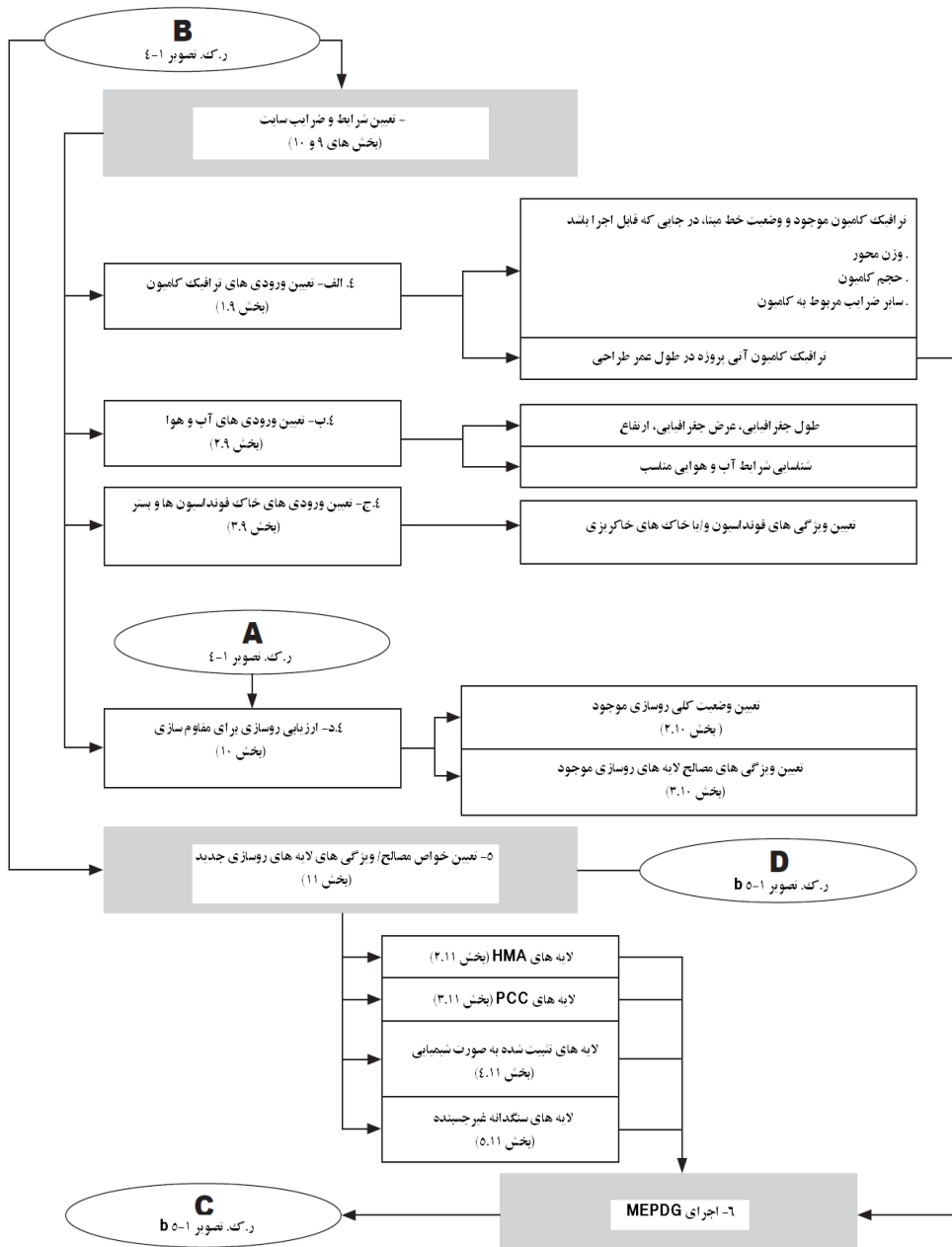
**۵) تجدیدنظر در طرح آزمایشی در صورت لزوم.** اگر طرح آزمایشی دارای خطاهای ورودی و خروجی مصالح نامتعارف باشد یا از معیارهای شکست در سطح قابلیت اطمینان معین تجاوز نموده است، ورودی‌های طرح آزمایشی تحت تجدید نظر قرار گرفته و برنامه مجدداً اجرا می‌شود و تا زمانی که معیارهای عملکردی برآورده شوند، تکرار انجام می‌شود. زمانی که معیارهای عملکردی برآورده شدند، طرح آزمایشی به یک طرح عملی و ممکن تبدیل می‌گردد.

۱. هشدار برای طراح- برخی از پارامترهای ورودی با هم مرتبط هستند؛ تغییر یک پارامتر ممکن است بر مقدار برخی از پارامترهای ورودی دیگر تأثیر بگذارد. طراح باید در ایجاد تغییرات در پارامترهای منفرد، با احتیاط عمل کند.





تصویر ۴-۱. نمودار مراحل که با تصمیم‌گیری‌های کلی مرتبط هستند و برای تکمیل تجزیه و تحلیل استراتژی یک طرح آزمایشی لازم و ضروری هستند.



تصویر ۱-۵. نمودار مراحل موردنیاز برای تکمیل تجزیه و تحلیل استراتژی یک طرح آزمایشی



## فصل دوم

### اسناد و استانداردهای مرجع

این بخش، شامل فهرستی از پروتکل‌های آزمون آزمایشگاهی و صحرایی در رابطه با مصالح مختلف روسازی، شیوه‌های توصیه شده، مشخصات فنی مصالح و اسناد مرجع مورد نیاز برای استفاده از روش روش مکانیستیک - تجربی است.

#### ۱.۲ پروتکل‌ها و استانداردهای آزمون

از پروتکل‌های آزمون ذکر شده در این بخش لازم است که طراح تنها پروتکل‌های مربوط به سطوح ورودی سلسله مراتبی انتخاب شده را اجرا کند. در مورد تعریف سطوح ورودی سلسله مراتبی، می‌توانید به بخش ۴ مراجعه کنید. فهرست روش‌های آزمون در دو زیربخش سازماندهی شده است: تعیین مشخصات مصالح در آزمایشگاه و تعیین مشخصات مصالح لایه‌های روسازی در محل.

#### ۱.۱.۲ تعیین مشخصات مصالح در آزمایشگاه

##### مصالح و خاک‌های غیرچسبنده

AASHTO T 88 تجزیه و تحلیل اندازه‌ی ذرات خاک‌ها

AASHTO T 89 تعیین حد روانی خاک‌ها

AASHTO T 90 تعیین حد پلاستیک (خمیری) و شاخص خمیری خاک‌ها

AASHTO T 99 روابط رطوبت- دانسیته‌ی خاک‌ها با استفاده از یک چکش ۲/۵ کیلوگرمی (۵/۵ پوند) و ارتفاع سقوط ۳۰۵ میلیمتر (۱۲ اینچ)

AASHTO T 100 وزن مخصوص خاک‌ها

AASHTO T 180 روابط رطوبت- دانسیته‌ی خاک‌ها با استفاده از یک چکش ۴/۵۴ کیلوگرمی (۱۰ پوند) و ارتفاع سقوط ۴۵۷ میلیمتر (۱۸ اینچ)

AASHTO T 190 تعیین ضریب مقاومت R و فشار تورمی خاک‌های متراکم شده

AASHTO T 193 نسبت باربری کالیفرنیا (تعیین CBR خاک در آزمایشگاه)

AASHTO T 206 آزمایش نفوذ و نمونه‌گیری از خاک‌ها با لوله‌ی شکاف‌دار (نمونه‌گیر دوکفه‌ای)

AASHTO T 207 نمونه‌گیری از خاک‌ها با لوله‌ی جدار نازک

AASHTO T 215 نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای (هد ثابت)

AASHTO T 258 شناسایی خاک‌های منبسط شونده

AASHTO T 265 تعیین میزان رطوبت خاک‌ها در آزمایشگاه

AASHTO T 307 تعیین مدول برجهندگی خاک‌ها و مصالح سنگی

- ASTM D 2487 طبقه‌بندی خاک‌ها برای اهداف مهندسی  
 مصالح / خاک‌های بهسازی شده و تثبیت شده  
 AASHTO T 220 تعیین مقاومت مخلوط‌های خاک-آهک  
 ASTM C 593 استفاده از خاکستر بادی و سایر پوزولان‌ها برای تثبیت خاک با آهک  
 ASTM D 1633 مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای مخلوط خاک-سیمان
- قیر**
- AASHTO T 49 نفوذ مصالح قیری  
 AASHTO T 53 نقطه‌ی نرمی قیر (دستگاه حلقه و گلوله)  
 AASHTO T 170 بازیابی قیر از محلول با روش آبسون<sup>۱</sup>  
 AASHTO T 201 تعیین ویسکوزیته‌ی سینماتیک قیرها  
 AASHTO T 202 تعیین ویسکوزیته‌ی قیرها به وسیله‌ی ویسکومتر لوله‌ی موئین خلأ  
 AASHTO T 228 تعیین وزن مخصوص مصالح قیری نیمه‌جامد  
 AASHTO T 315 تعیین ویژگی‌های رئولوژی قیر با استفاده از دستگاه رئومتر برش دینامیکی (DSR)  
 AASHTO T 316 تعیین ویسکوزیته‌ی قیر با استفاده از ویسکومتر چرخشی  
 AASHTO T 319 استخراج و بازیابی قیر از مخلوط‌های آسفالتی  
 آسفالت گرم و مخلوط‌های آسفالتی بهسازی شده/ تثبیت شده  
 AASHTO T 27 دانه‌بندی مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به وسیله‌ی الک  
 AASHTO T 84 وزن مخصوص و جذب آب مصالح ریزدانه  
 AASHTO T 85 وزن مخصوص و جذب آب مصالح درشت‌دانه  
 AASHTO T 164 استخراج قیر از مخلوط آسفالت گرم  
 AASHTO T 166 تعیین وزن مخصوص مخلوط‌های آسفالتی گرم متراکم از طریق نمونه‌های اشباع شده با سطح خشک  
 AASHTO T 209 حداکثر وزن مخصوص و چگالی نظری مخلوط‌های روسازی آسفالت گرم  
 AASHTO T 269 تعیین درصد فضاهای خالی در مخلوط‌های آسفالتی متراکم با دانه‌بندی پیوسته و باز  
 AASHTO T 308 تعیین میزان قیر مخلوط آسفالت گرم با استفاده از روش احتراق  
 AASHTO T 312 آماده‌سازی و تعیین چگالی نمونه‌های آسفالت گرم با استفاده از دستگاه مترکم کننده چرخشی (Superpave Gyrotory Compactor)  
 AASHTO T 322 تعیین نرمی خزشی و مقاومت آسفالت گرم با استفاده از دستگاه آزمایش کشش غیرمستقیم  
 AASHTO TP 62 تعیین مدول دینامیکی مخلوط آسفالت گرم  
 روسازی بتنی و مخلوط‌های اساس بهسازی شده/ تثبیت شده با سیمان  
 AASHTO T 22 تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتن  
 AASHTO T 97 مقاومت خمشی بتن (با استفاده از تیر ساده با بارگذاری سه‌نقطه‌ای)  
 AASHTO T 121 M/T 121 تعیین چگالی، عملکرد، و میزان هوای بتن (روش وزنی)

AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993.

Applied Pavement Technology, Inc., *HMA Pavement Evaluation and Rehabilitation—Participant's Workbook*, NHI Course No. 131063, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2001.a.

Applied Pavement Technology, Inc. *روسازی بتنی Pavement Evaluation and Rehabilitation—Participant's Workbook*. NHI Course No. 131062. National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2001.b.

Barker, W. R. and W. N. Brabston. *Development of a Structural Design Procedure for Flexible Airport Pavements*. FAA Report Number FAA-RD-74-199. United States Army Waterways Experiment Station, Federal Aviation Administration, Washington, DC, September 1975.

Cambridge Systematics, Inc., et al., *Traffic Data Collection, Analysis, and Forecasting for Mechanistic Pavement Design*. NCHRP Report 538. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board—National Research Council, National Academy Press, Washington, DC, 2005.

FHWA. *مجموعه عملکرد طولانی مدت روسازی Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements: Operational Field Guidelines, Version 4*. Publication Number FHWA-HRT-06-132. Federal Highway Administration, Washington, DC, Dec. 2006.

FHWA. *Review of the Long-Term Pavement Performance (مجموعه عملکرد طولانی مدت روسازی) Backcalculation Results*. Publication No. FHWA-HRT-05-150. Federal Highway Administration, Washington, DC, 2006.

FHWA. *Distress Identification Manual for Long Term Pavement Performance Program (Fourth Revised Edition)*. Publication No. FHWA-RD-03-031. Federal Highway Administration, Washington, DC, 2003.

FHWA. *Guide to روسازی مدت طولانی عملکرد Traffic Data Collection and Processing*. Publication No. FHWA-PL-01-021. Federal Highway Administration, Washington, DC, 2001.

Gillespie, T. D., et al. *Methodology for Road Roughness Profiling and Rut Depth Measurement*. Report No. FHWA-RD-87-042. Federal Highway Administration, Washington, DC, 1987.

Holtz, R. D., B. R. Christopher, and R. R. Berg. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines, Participant Notebook*, NHI Course No. 13214, FHWA Publication No. FHWA-HI-95-038. Federal Highway Administration, Washington, DC, 1998.

Khazanovich, L., S. D. Tayabji, and M. I. Darter. *Backcalculation of Layer Parameters for مجموعه*