

## مقایسه و ارزیابی مدل‌های احتمالی آرایش رفتار الاستیک خطی و غیرخطی مصالح

### در قشرهای روسازی آسفالتی به روش مکانیستیک-تجربی

#### مقاله پژوهشی

پرهام حیاتی، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

نیلوفر صالحی‌پور باورصاد\*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mn.salehipourbavarsad@gmail.com

دریافت: ۹۸/۰۴/۲۷ - پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۵

صفحه ۹۰-۸۱

#### چکیده

تاکنون مدل رفتاری ثابتی طراحی نشده است که توانایی توصیف کامل رفتار پیچیده مصالح، نظیر مصالح سنگی را در تمامی شرایط دارا باشد. لایه‌های روسازی‌های آسفالتی معمولاً به دلیل ملاحظات اقتصادی از جنس‌های متفاوت و در ضخامت‌های گوناگون ساخته می‌شوند. در این مقاله به منظور بررسی تأثیرگذاری نوع رفتار مصالح لایه‌ها بر عمر روسازی‌های آسفالتی، ۶ مدل روسازی با آرایش رفتاری متفاوت در مدل ۱، بستر و زیراساس الاستیک خطی و اساس الاستیک غیرخطی، در مدل ۲، اساس و بستر خطی و زیراساس غیرخطی، در مدل ۳ اساس و زیراساس خطی و بستر غیرخطی، در مدل ۴ اساس و زیراساس غیرخطی و بستر خطی، در مدل ۵ بستر و زیراساس غیرخطی و اساس خطی، در مدل ۶ بستر و اساس غیرخطی و زیراساس خطی با نرم‌افزار Kenlayer طراحی شده است. در تمامی مدل‌ها رفتار لایه آسفالتی، ویسکوالاستیک است. به منظور بهره‌مندی از شرایط اقتصادی در اجراء، هر مدل در ۲ نوع مصالح درشت‌دانه / ریزدانه و تغییر ضخامت لایه‌ها بررسی شده است. بهترین مدل در محدوده عمر ۱۲ الی ۲۵ سال مربوط به مدل ۳ و ۵ با عمرهای ۱۸ و ۱۹ و ۲۴ و ۲۹ سال و بدترین مربوط به مدل ۱ و ۲ است. ۶.۴.۲۰ در حالت ریزدانه با عمرهای ۵ و ۶ سال است. بنابر نوع آرایش رفتار مصالح و ضخامت لایه‌ها، عامل مخرب روسازی بین دو نسبت آسیب با معیار کرنش کششی افقی زیرلایه آسفالت و کرنش فشاری قائم بالای خاک بستر متغیر است. تغییر ضخامت لایه‌ها سبب ایجاد نتایج متفاوتی در مدل‌ها شده است. با افزایش ضخامت لایه زیراساس و کاهش ضخامت لایه اساس در مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۳ و ۱۱ سال افزایش عمر حاصل شده است که می‌توان طرح را از لحاظ هزینه نیز بهبود داد ولی در مدل‌های ۳ و ۵، هر ۲ حالت افزایش و کاهش عمر را نشان می‌دهد و در مدل ۴ تأثیر محسوسی ایجاد نشده است.

واژه‌های کلیدی: روسازی‌های آسفالتی، الاستیک خطی، الاستیک غیرخطی، ویسکوالاستیک، نرم‌افزار Kenlayer

#### ۱-مقدمه

(et al,2014)، شیوهی اجرا و نگهداری حتی در زمان بهره برداری است. همه این عوامل بر چگونگی نوع رفتار مصالح مؤثر است و در مجموع عملکرد مناسب روسازی آثار مثبت یا منفی می‌گذارد و موجب بروز رفتارهای متمایز لایه‌های روسازی از لایه قبلی و بعدی یک سیستم روسازی می‌شوند. سهم تأثیر مصالح بر روسازی انعطاف پذیر از عوامل دیگر بیشتر است زیرا موارد دیگر برخواص و در نتیجه رفتار

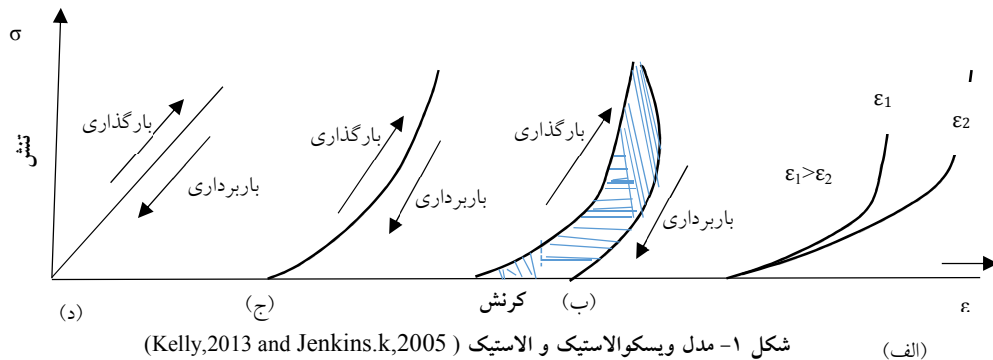
طراحی روسازی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد (Selvi,2014 and Ameri and Khavandi,2009) از جمله رفتار مصالح در لایه‌های روسازی که کمتر به آن پرداخته شده است. تعیین دقت نوع رفتار مصالح و بررسی اثر این رفتارها در نتایج طراحی بسیار حائز اهمیت است تا جایی که یکی از ارکان اصلی در ساخت و طراحی یک روسازی مطلوب دقت و توجه به نوع مصالح (Ghadimi.B)

مقایسه نرم افزارهای طراحی روسازی ( Muniandy et al,2013)، مقایسه روش آشتو و مکانیستیک-تجربی و تحلیل فرسودگی و شیارشدگی روسازی تثبیت شده برای منطقه ناگاپاتیم واقع در سواحل شرقی در کشور هندوستان (Selvi,2014)، به منظور سهولت در کار و رسیدن به نتیجه مورد نظر سیستم طراحی را الاستیک خطی در نظر گرفته اند و در برخی همچون بررسی کاربرد تئوری لایه ها در آنالیز روسازی (Nihidi et al,2013) و طراحی روسازی آسفالتی با در نظر گرفتن رفتارهای خطی و غیرخطی (کاووسی و بابازاده، ۱۳۸۷)، فقط به مقایسه مقاومت دو سیستم با رفتار کاملاً الاستیک خطی و یا الاستیک غیر خطی در طراحی روسازی پرداخته شده است. در این مقاله، با توجه به عدم پاسخگویی مناسب و وجود محدودیت در روش های تجربی و آزمایشگاهی، از روش مکانیستیک-تجربی برای روند مدل سازی (Muniandy et al,2013) استفاده شده است. در این روش برخلاف طراحی تجربی، می توان تغییرات و پیشرفت هایی که در مواد و مصالح به وجود می آید را در طراحی لحاظ نمود. روش "مکانیستیک-تجربی" توسط اتحادیه رسمی راه و ترابری بزرگراه های ایالتی آمریکا AASHTO، به منظور جایگزینی با راهنمای AASHTO، برای طراحی مقاطع پیشنهاد گردیده است (Michigan department of transportation,2015). به همین منظور با استفاده از نرم افزار kenlayer به تأثیرات رفتار مصالح لایه ها بر عمر روسازی بر پایه نسبت آسیب بدست آمده با معیار خستگی و گودافتادگی های ایجاد شده با عمل توصیف/مقایسه پرداخته شده است. بنابر اطلاعات موجود و فرضیه پژوهش نمی توان گفت یک سیستم روسازی آسفالتی در زمان بهره بردای مطلقاً الاستیک خطی یا الاستیک غیر خطی است و تمام معیارهای طراحی بر این ۲ نظریه استوار گردد. مدل های رفتاری مورد بحث مصالح لایه های روسازی آسفالتی در ۳ دسته ی الاستیک خطی، الاستیک غیرخطی، و ویسکو الاستیک معرفی شده است. رفتار الاستیک می تواند به صورت خطی و یا غیر خطی باشد. مصالح با سختی بیشتر عموماً دارای رفتار الاستیک خطی و مصالح با درجه سختی کمتر دارای رفتار الاستیک غیر خطی

مصالح در لایه های روسازی انعطاف پذیر تأثیر مستقیمی دارند. عملکرد مناسب روسازی آسفالتی یعنی توزیع و کنترل مناسب تنش و کرنش حاصل از بارهای ترافیکی اعمالی بر سطح روسازی در طول مدت معین شده که همان عمر روسازی تلقی می شود. شناخت نوع رفتار مصالح دانه ای غیرچسبنده در لایه زیراساس و اساس که بخش عمده ای از شیارشدگی روسازی متأثر از این لایه ها است و می تواند به کاهش خرابی های ناشی از این لایه ها و به تبع آن روسازی کمک کند (کاووسی و علیار، ۱۳۹۴). در یک سیستم روسازی انعطاف پذیر، هر لایه بنا به نوع مصالح کاربردی از قبیل: درشت دانه/ ریزدانه سنگ طبیعی یا شکسته / مواد افزودنی نظیر سیمان، آهک و... (Jenkins.k,2005) دارای رفتارهای متفاوتی است. تنها ساختارهای بسیار ناچیزی از روسازی ها هستند که در آنها تمامی لایه ها از الگوی رفتاری یکسانی پیروی می کنند (Nihidi et al,2013). تأکید بر این نکته لازم است که هیچ مدل رفتاری موجود نیست که توانایی توصیف کامل رفتار پیچیده مصالح نظیر خاکها، در تمامی شرایط را دارا باشد (یزدانی و ولیزاده، ۱۳۹۴). بنابراین در اغلب روسازی ها به منظور دستیابی به دقت بیشتر در طراحی روسازی، لازم است ترکیبی از رفتارهای متفاوت برای لایه های مختلف روسازی در نظر گرفته شود. به طور مثال سیمان و بتن عموماً دارای رفتار الاستیک بوده، مصالح دانه ای رفتار الاستو پلاستیک و مصالح قیری رفتار ویسکو الاستیک از خود نشان می دهند (Jenkins.k,2005). آسفالت نیز اغلب دارای رفتار ویسکو الاستیک می باشد. در اکثر پروژه های روسازی راه، با این باور عملیات روسازی اجرا می شود که تحت تکرار بار ناشی از ترافیک اکثر تغییر شکل های روسازی برگشت پذیر بوده است و این تغییر شکل ها را می توان ارتجاعی در نظر گرفت و علت این موضوع را اعمال بار سنگین ناشی از غلظت زنی روسازی در مرحله ساخت بیان کرده اند در صورتی که ماهیت اصلی مصالح، غیرخطی است و مصالحی از جنس خاک و سنگ پس از مدتی از رفتار الاستیک خارج و دچار رفتار پلاستیک می شوند که خود نشان دهنده ی ایجاد تغییر شکل دائمی در آنها است. در پژوهش های دیگر نظیر، بررسی دقت و

شکل دهد، ویژگی های آن به صورت ترکیبی از مواد الاستیک و ویسکوالاستیک در نظر گرفته می شود.

می باشند. هنگامی که مصالح رفتاری شبیه مایعات از خود نشان می دهند، دارای رفتار ویسکو الاستیک می باشند. در صورتی که جسمی بتواند بین دو حالت جامد و مایع تغییر



شکل ۱- مدل ویسکوالاستیک و الاستیک (Kelly,2013 and Jenkins.k,2005)

(الف) تأثیر نرخ متفاوت کشش، (ب) بارگذاری و باربرداری با احتمال تغییر شکل دائمی، تأثیر نرخ متفاوت کشش، (ج) مدل الاستیک غیر خطی، (د) مدل الاستیک خطی

## ۲- معرفی نرم افزار KENLAYER

نرم افزار Kenlayer در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه کنتاکی طراحی گردید و توسط Huang توسعه یافت. از قابلیت این نرم افزار در به کارگیری مدل های مختلف مصالح (الاستیک خطی، الاستیک غیر خطی، ویسکوالاستیک و یا ترکیبی از رفتارهای یاد شده)، توسط کاربر می توان اشاره نمود (صالحی پور باورصاد و همکاران، ۱۳۹۵).

۱-۲ پارامترهای ورودی: برخی از مهم ترین آنها عبارتند از: تعداد لایه های روسازی، رفتار هر یک از لایه ها (الاستیک خطی، الاستیک غیرخطی، ویسکوالاستیک)، تعداد دوره های مختلف آب و هوایی در طول یک سال، نوع بارگذاری (محور منفرد، محور منفرد با چرخ زوج، محورهای تاندم و تردم)، فاصله مرکز به مرکز میان چرخ های زوج و فاصله مرکز به مرکز بین دو محور (Muniandy,2013).

۲-۲ توابع انتقال: توابع انتقال به عنوان حلقه رابط عکس العمل های سازه ای روسازی و خرابی های ایجاد شده در آن، عامل اصلی اختلاف روش های مکانیستیک-تجربی طراحی روسازی محسوب می گردند (Gedafa,2006). دو معیار غالب روش های طراحی عبارتند از: ۱- معیار خستگی (خرابی خستگی یکی از شایع ترین خرابی ها در روسازی های

آسفالتی است که تحت تاثیر مشخصات سیستم روسازی است (داریانی و شیخابگم قلعه، ۱۳۹۷). ۲- معیار تغییر شکل دائمی (گودافتادگی و شیارشدگی مسیر چرخ ها).

۲-۳ پارامترهای خروجی: ضمن تعیین کرنش کششی در زیر لایه آسفالتی و کرنش فشاری در قسمت فوقانی خاک بستر، از طریق پاسخ های سازه ای و توابع انتقال، تعداد تکرار مجاز مربوط به هر یک از گروه های بارگذاری در طول دوره طرح روسازی قابل برآورد خواهد بود. نسبت خرابی محاسبه شده، معکوس این نسبت به عنوان عمر واقعی روسازی قابل برآورد خواهد بود (Muniandy,2013).

### مدل های آسیب در نرم افزار:

۲-۴ مدل های ترک خوردگی روسازی: تفاوت اصلی میان روش های مختلف طراحی ناشی از تفاوت در توابع انتقالی است که ارتباط میان تنش کششی ایجاد شده در آسفالت با تعداد تکرار مجاز برای بارگذاری را نشان می دهند. تعداد تکرار مجاز بارگذاری ( $N_f$ ) با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-f_2} (E)^{-f_3} \quad (1)$$

### ۳- مدل سازی با استفاده از Kenlayer

در این مقاله برای بررسی چگونگی اثر گذاری رفتار های مختلف لایه زیراساس و اساس بر عمر روسازی انعطاف پذیر و کرنش کششی افقی زیر لایه آسفالتی و کرنش فشاری قائم روی لایه خاک بستر با استفاده از نرم افزار kenlayer و با در نظر گرفتن شرایط معمول روسازی، مدل سازی انجام شده است. در بخش ۱۰۳ الی ۳۰۳ مشخصات مدل های ساخته شده در نرم افزار ارایه شده است. تمامی داده های مقاله مطابق با مقادیر پیشنهادی موسسه آسفالت و نشریه ۲۳۴ ایران است.

#### ۳-۱- هندسه مدل

در رابطه (۱)،  $\epsilon_t$  برابر با تنش کششی در زیر لایه آسفالت بوده و  $E$  مدول الاستیسیته لایه آسفالتی می باشد.  $f_1, f_2, f_3$  و  $f$  مقادیر ثابتی هستند که از طریق کالیبراسیون تعیین می شوند.

۲۰۴۰۲ مدل های شیارشدگی: به منظور محدود ساختن

کرنش فشاری قائم در بالای بستر روسازی مورد استفاده قرار می گیرند. رابطه میان تعداد تکرار مجاز بارگذاری ( $N_d$ ) برای محدود ساختن میزان شیارشدگی، با تنش فشاری قائم وارد بر روی خاک بستر ( $\epsilon_c$ ) به صورت رابطه (۲) بیان می گردد:

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (2)$$

$f_4$  و  $f_5$  مقادیر کالیبره شده می باشند که از طریق تخمین زدن و یا مشاهدات میدانی تعیین می شوند. (Gedafa, 2006).



شکل ۲. شماتیک کلی طرح های روسازی آسفالتی

جدول ۱. طراحی لایه های روسازی آسفالتی

نوع مصالح لایه ها		رفتار مصالح لایه ها		مدل
نوع لایه				
بستر	زیراساس	اساس	آسفالت	
خطی	خطی	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	ویسکوالاستیک	۱
خطی	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	خطی	ویسکوالاستیک	۲
غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	خطی	خطی	ویسکوالاستیک	۳
خطی	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	ویسکوالاستیک	۴
غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	خطی	ویسکوالاستیک	۵
غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	خطی	غیر خطی / درشت دانه - ریز دانه	ویسکوالاستیک	۶

### ۲-۳- مشخصات مصالح

اند (Zhang et al, 2015). در نرم افزار kenlayer داده های مورد نیاز رفتار الاستیک خطی تعریف شده است و برای رفتار الاستیک غیرخطی بنابر نوع مصالح از نظر درشت دانه و ریز دانه متفاوت است. طبق نظریه ی (Allen, 1973)، ظرفیت  $K_1$  در محدوده ی ۱۲۴۲۰ الی ۵۵۲۰۰ کیلو پاسکال و  $K_2$  در محدوده ی ۰,۳۲ الی ۰,۷۰ می باشد.  $K_0$  ضریب فشار زمین در حالت سکون است.

بنابر اطلاعات و آزمایشات فراوان انجام شده رفتار ویسکوالاستیک به رفتار واقعی لایه آسفالتی نزدیک تر است (Junior et al, 2005). لازم به ذکر است که بر اساس پژوهش های سال های اخیر می توان گفت هیچ یک از مدل های مکانیکی استاتیک موجود قادر نیستند تاثیر تکرار بارهای ترافیکی بر روسازی را به خوبی منعکس نمایند و فقط بر پایه مدل ویسکوالاستیک کلونین به منظور پیش بینی خرابی روسازی های آسفالتی مورد استفاده قرار گرفته-

جدول ۲. مشخصات عمومی لایه آسفالت/اساس/ زیر اساس/ بستر/ضرایب ثابت مصالح/ زاویه اصطکاک داخلی (Huang, 2010)

شماره لایه	نام لایه	مدول الاستیک (kpa)	ضریب ضریب پواسون	ضخامت لایه (cm)	وزن لایه (kn/m <sup>2</sup> )	$\phi$	$K_4$	$K_3$	$K_0$
۱	آسفالت	۳۴۵۰۰۰۰	۰/۴	۱۷	۲۲/۸	-	-	-	-
۲	اساس	۲۰۷۰۰۰۰	۰/۳۵	۲۰	۲۱/۲	۴۰	-	۱۱۱۰	۰/۸۵
۳	زیراساس	۱۳۸۰۰۰۰	۰/۳۵	۳۰	۲۱/۲	۳۴	-	۱۱۱۰	۰/۸۵
۴	بستر	۴۴۱۶۰	۰/۴۵	$\infty$	۱۹/۶	۴۰	۱۷۸	۱۱۱۰	۰/۶
		۶۹۰۰۰							
		۵۱۷۵۰							
		۱۰۳۵۰۰							

در ۱۱ زمان متفاوت در محدوده ۰,۰۱ تا ۱۰۰ ثانیه پیشنهاد داده شده است. جهت نمایش رفتار ویسکوالاستیک مخلوط آسفالتی در دمای مرجع  $C^0$  ۲۱,۱ از ضریب  $\beta$  با مقدار ۰,۲۰۳۴ استفاده شده است. مشخصات نوع بارگذاری در این مقاله در جدول ۶ نشان داده شده است.

برای نشان دادن خواص مواد ویسکوالاستیک از نرمی خزشی در زمان های متفاوت استفاده شده است. نرمی خزشی مصالح ویسکوالاستیک از آزمایش خزش بدست می آید. یک آزمایش خزش با نرمی اندازه گرفته شده در روش کلوشن

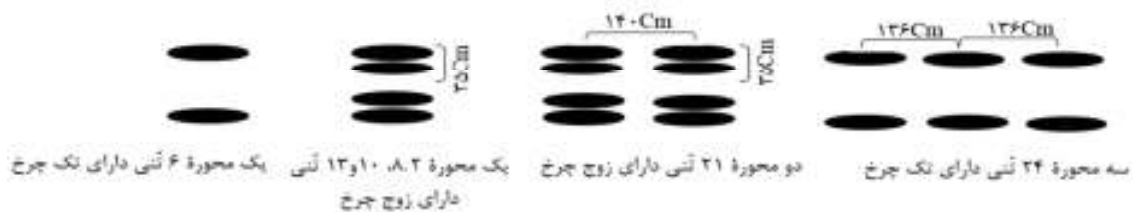
جدول ۳. اطلاعات مربوط به وضعیت رفتار ویسکوالاستیک (Huang, 2010)

زمان های سنجش خزش (s)	۰,۰۰۱	۰,۰۰۳	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۱	۰,۳	۱	۳	۱۰	۳۰	۱۰۰
خزش در هر زمان (kpa)	۵,۳۶۶	۷,۵۴۲	۱,۲۴۷	۲,۱۰۳	۳,۶۲۵	۵,۸۰۱	۸,۹۹۲	۱,۲۴۷	۱,۷۴	۲,۳۲۱	۲,۷۵۶
	$E_{-0.8}$	$E_{-0.8}$	$E_{-0.7}$	$E_{-0.7}$	$E_{-0.7}$	$E_{-0.7}$	$E_{-0.7}$	$E_{-0.6}$	$E_{-0.6}$	$E_{-0.6}$	$E_{-0.6}$
											$E$

### ۳-۳- بارگذاری

داده است که بارهای سنگین در جاده های ایران، عمدتاً شامل محورهای نشان داده شده در شکل ۳ می باشند.

در روش طراحی مکانیستیک-تجربی با استفاده از نرم افزار Kenlayer بارهای ترافیکی به صورت تعداد عبور انواع محورها (ساده/تاندم/تریدم) تعیین شده است. بررسی ها نشان



شکل ۳. بارهای محوری و مشخصات چرخ های وسایل نقلیه در جاده های روسازی شده ایران (Ameri and Khavandi, 2009)

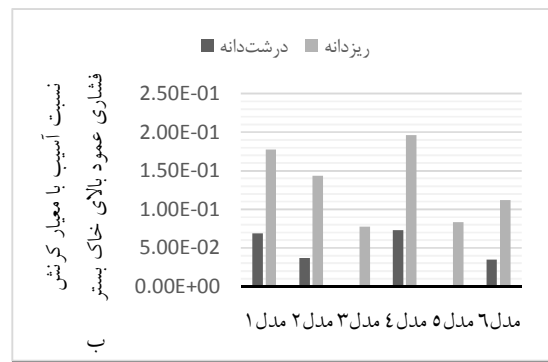
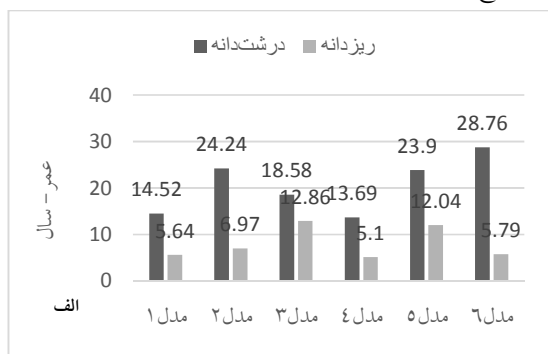
تعداد دوره سالی	نوع محور/نوع چرخ	CR (cm)	CP (kp)	YW (cm)	XW (cm)	نقاط مورد بررسی (cm)
۴	ساده/منفرد ۶ تنی	۱۵/۲۴	۶۵۰	۰	۰	۰
	ساده/زوج ۱۰، ۱۳ تنی	۱۸/۸	۶۵۰	۳۵	۰	۱۷/۵ و ۸/۷۵۰
	تاندم/زوج ۱۶ تنی	۱۸/۸	۶۵۰	۳۵	۱۴۰	۱۷/۵ و ۸/۷۵۰
	تربند/منفرد ۲۴ تنی	۱۵/۲۴	۶۵۰	۰	۱۳۶	۰

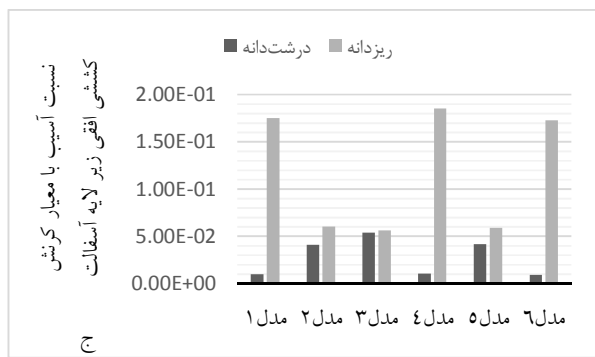
جدول ۴. مشخصات محورهای مدل شده طرح (Huang, 2010)

#### ۴- یافته ها

لایه های روسازی با دیدگاه اقتصادی شدن مدل های فرضی در شکل ۵ نمایش داده شده است.

یافته های حاصل از طراحی مدل های فرضی در شکل ۴ نمایش داده شده است و همچنین بررسی نتایج تغییر ضخامت

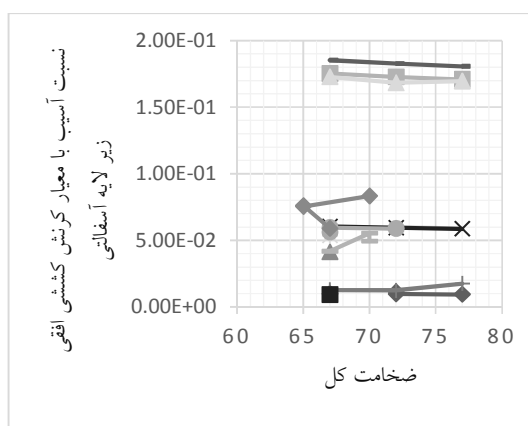
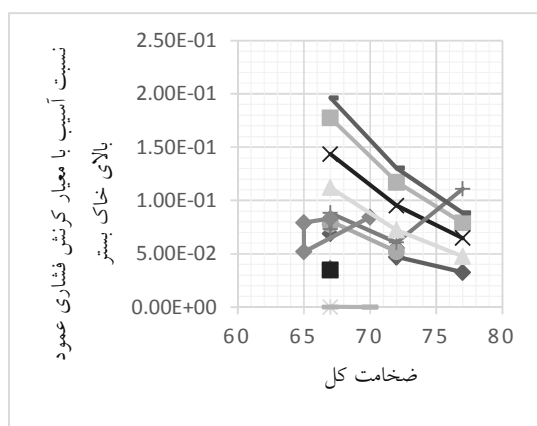
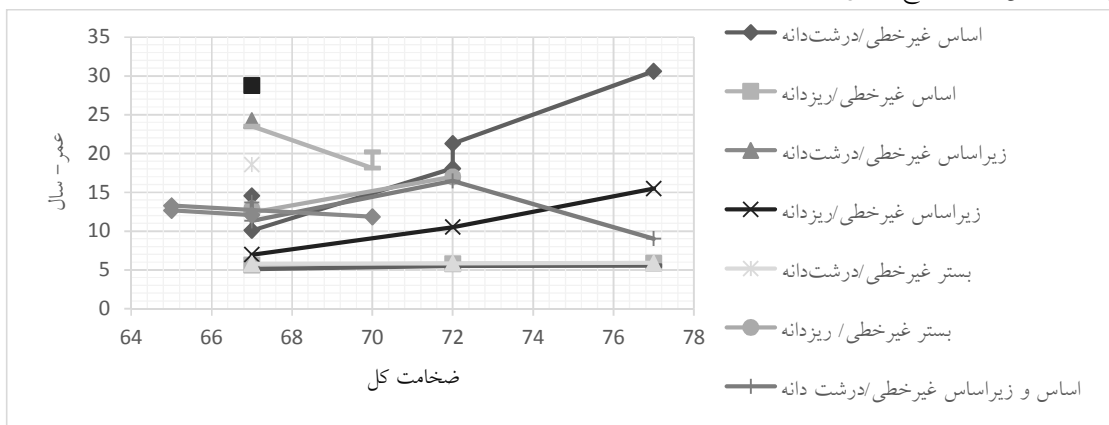




شکل ۴. بررسی تأثیر رفتار و نوع مصالح سنگی بر عمر و عوامل خرابی روسازی در ۶ مدل طراحی شده

حداکثر نسب آسیب در هر نوع روسازی بنا بر رفتار مصالح مصرفی در هر لایه از روسازی آسفالتی است. به طور مثال در مدل ۱ حالت درشت‌دانه حداکثر نسبت آسیب با معیار کرنش فشاری افقی زیر لایه آسفالتی مورد سنجش قرار گرفته است در حالی که در مدل ۲ اینگونه نیست.

همانطور که در شکل ۴-الف قابل مشاهده است رفتار و نوع مصالح در هر لایه از روسازی آسفالتی بر عمر روسازی بسیار تأثیرگذار است. این تأثیرگذاری در دو حالت مثبت و منفی نشان داده شده است، به گونه‌ای که در ۶ مدل طراحی محدودی از عمرهای متفاوت بدست آمده است. مدل ۶ بیشترین و مدل ۴ (ریزدانه) کمترین عمر روسازی را نشان می‌دهند. شکل ۴-ب و ج حاکی از معیار متفاوت سنجش



شکل ۵. بررسی تأثیر تغییر ضخامت جهت اقتصادی کردن ۶ مدل طراحی شده

نشان‌دهنده اثرات متفاوت تغییر ضخامت بر عمر روسازی و عوامل مخرب آن در هر مدل بنا بر نوع جنس و رفتار مصالح در هر لایه است.

شکل ۵-الف، ب و ج به وضوح معلوم کننده تأثیرات مثبت، منفی و حتی خنثی تغییر ضخامت مدل‌ها از نظر افزایش و کاهش در عمر روسازی‌ها است که البته در نظر گرفتن شرایط اقتصادی مناسب از لحاظ ضخامت لایه اساس و زیراساس ملاحظه شده است. نمودارهای حاصل شده

## ۵- نتیجه‌گیری

-در مدل ۵، عمرهای محاسبه شده مناسب است و جهت اقتصادی کردن طرح می‌توان ضخامت لایه آسفالت و لایه اساس را کاهش و ضخامت لایه زیراساس را افزایش داد.  
-در مدل ۶، بیشترین عمر با ۲۸,۷۶ سال محاسبه شده است که حداکثر نسبت آسیب با معیار کرنش عمودی بالای خاک بستر سنجیده شده است و با کاهش ۲ سانتی‌متری و ۵ سانتی‌متری از ضخامت لایه‌های آسفالت و اساس و افزایش ضخامت لایه زیراساس جهت کاهش هزینه‌های روسازی اقدام کرد. اگر از مصالح ریزدانه استفاده شود تغییر ضخامت‌ها تأثیر چندانی بر عملکرد طراحی ندارد.

-در مدل ۱، با استفاده از مصالح درشت‌دانه عمر قابل قبولی محاسبه شده است و نسبت آسیب با معیار کرنش فشاری عمود بر خاک بستر تأثیر بیشتری بر کم یا زیاد شدن عمر روسازی دارد که این مقدار با حداکثر نسبت آسیب برابر است.

-در مدل ۲، با استفاده از مصالح درشت دانه ماکزیمم عمر روسازی حاصل شده و متأثر از نسبت آسیب با معیار کرنش کششی افقی زیر لایه آسفالتی است ولی با مصرف مصالح ریزدانه نتیجه مطلوبی محاسبه نشده است و کرنش فشاری عمود بالای خاک بستر به عنوان حداکثر نسبت آسیب در طرح معرفی شده است. در این حالت با کاهش لایه اساس و افزایش لایه زیراساس عمر روسازی ۳ الی ۵ سال افزایش یافته و از لحاظ مصرف مصالح مرغوب، طرح اقتصادی می‌شود.

-در مدل ۳، نسبت آسیب با معیار کرنش کششی افقی در دو حالت استفاده از مصالح درشت‌دانه و ریزدانه تقریباً مشابه است و عمر محاسبه شده در دو حالت قابل قبول است. برای صرفه جویی در مصرف مصالح لایه اساس در حالتی که لایه بستر ریزدانه است، ضخامت لایه اساس را به ۱۵ سانتی‌متر و لایه زیراساس را به ۳۵ سانتی‌متر تغییر داد.

-در مدل ۴، استفاده از مصالح ریزدانه مناسب نیست و تغییر ضخامت لایه‌ها تقریباً تأثیر خنثی بر افزایش عمر روسازی دارد و طرح مردود و غیراقتصادی است و نباید در واقعیت چنین حالتی پدیدار شود چون باعث خرابی‌های زودهنگام و غیرقابل پیش‌بینی می‌شود با فرض مصالح درشت‌دانه برای لایه اساس می‌توان عمر روسازی را به حدود ۱۴ سال رساند و طرح را تا حدودی بهینه کرد.

## ۶-مراجع

- کاووسی، الف، بابازاده ع.، (۱۳۸۷)، "طراحی روسازی آسفالتی با استفاده از نرم افزار Kenlayer براساس رفتار خطی و غیر خطی لایه‌های روسازی"، چهارمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

- کاووسی الف، علیار، (۱۳۹۴)، "ارزیابی رفتار تغییرشکل پذیری دانه‌ای غیرچسبنده به وسیله دستگاه شیارشدگی چرخ"، کنفرانس سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست، تهران.

- صالحی‌پور باورصاد ن.، نصری نصرآبادی ن.، شعبانی، ش.، (۱۳۹۵)، "معرفی و آموزش نرم‌افزارهای مدیریت و طراحی روسازی، سیمای دانش، تهران، ایران"، ص. ۹۱-۱۰۹.

- یزدانی، م.، ولیزاده قره آغازچی، م.، (۱۳۹۴)، "مروری بر مدل‌های رفتاری پایه و جدید در علم ژئوتکنیک، کنفرانس



- Junior, FE, Junior. EP, Soares. JB, (2005), "Viscoelastic And Elastic Structural Analysis of Flexible pavements, CILAMCE 2005-ABMEC & AMC, Guarapari, Espirito Santo, Brazil.
- Kelly, P., (2013), "Solid Mechanics Lecture Notes", The University of Auckland, www.e-booksdirectory.com.
- Michigan Department of Transportation, (2015), Michigan DOT User Guide for Mechanistic\_Empirical Pavement Design.
- Muniandy.R, Aburkaba.E, Thamer.N., (2013), "Comparison of Flexible Pavement performance Using Kenlayer and chev Pc Software Program , Australian Journal Of Basic And Applied Sciences, 7(9), pp.112-119.
- Nidhi, M. Nagakumar. M. S., (2013), "Applications of Layered Theory for The Analysis of Flexible pavements, International Journal of Research in Engineering and technology", IC-RICE Conference, pp.197-200.
- Selvi, P., (2014), "Fatigue and Rutting Strain Analysis on lime Stabilized Subgrades to Develop A Pavement Design Chart", doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.11.001>.
- Zhang, L. Zhang. X. Liu, X., and Luo., y., (2015), Viscoelastic Model Of Asphalt Mixtures under Repeater Load, J.Mater.Civ.Eng,10.1061/(ASCE)MT, pp.1943-5533.
- سالانه تحقیقات در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی و محیط زیست، تهران.
- عفتی داریانی، م. ب.، شیخابگم قلعه، الف.، (۱۳۹۷)، "توجیه فنی بکارگیری نقش مشخصات بار و مصالح در افزایش عمر خستگی روسازی آسفالتی"، فصلنامه علمی - ترویجی جاده.
- Ameri, M. Khavandi, A, (2009), "Development of mechanistic-Empirical Flexible pavement Design in Iran", Journal of Applied Sciences 9(2), pp.354-359.
- Asian Network for Scientific Information, (2009), ISSN 1812-5654.
- Behzad Ghadimi, Hamid Nikraz and Colin Leek, (2014), "A Comparison of Different Approaches in Numerical Modeling of Pavement Granular Material, Journal of Civil Engineering and Architecture", Vol. 8, No. 4, Serial No. 77 ,ISSN 1934-7359, USA, pp. 446-455.
- Gedafa,Daba S., (2006), "Comparison of Flexible pavement performance using kenlayer and HDM-4, Fall student Confrence, Midwest Transportation Consortium, Ames, Iowa.
- Huang. Y.H., (2010), Kenpave software.
- Jenkins Kim, (2005), Hitchhiker's Guide to Pavement Engineering, 5, pavements Materials, pp.1-44.

# **A Comparison and Evaluation of Probabilistic Models of Arrangement of Linear and Nonlinear Elastic Behavior of Material in Asphalt Pavement Layers with Mechanistic-Empirical Method**

*P. Hayati, Assistant Professor, Faculty Member of Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran.*

*N. Salehipour Bavarsad, M.Sc. Civil Engineering, PNU University, Tehran, Iran.*

*E-mail: mn.salehipourbavarsad@gmail.com*

Received: June 2019- Accepted: December 2019

## **ABSTRACT**

So far, there has not been a fixed behavioral model capable of fully describing the complex behavior of materials such as aggregates in all conditions. Because of economic considerations, asphalt pavements layers are usually made of different materials and thicknesses. This study, 6 pavement models were designed, aiming to examine the effects of different material behavior on the lifespan of asphalt pavements, using KENLAYER software. These models were: 1.linear elastic sub-base and subgrade and nonlinear elastic base; 2.linear subgrade and base and nonlinear sub-base; 3.linear base and sub-base and nonlinear subgrade; 4.nonlinear sub-base and base and linear subgrade; 5.nonlinear subgrade and sub-base and linear base; 6.nonlinear base and subgrade and linear sub-base. In all models, the behavior of Asphalt layer was viscoelastic. In order to benefit from economic conditions in implementation, each model was examined with fine-grained/granular material and with different layer thickness. The best models with lifespan of 12 to 25 years were models 3, 5, 6 with 18, 19, 24, 29 years respectively; the worst were models 1, 2, 4, 6 in fine-grained mode with a lifespan of 5, 6, 7 years. Based on the type of material behavior and layer thickness, the factor destructive to pavements varied between two damage rates, with horizontal tensile strain criterion bottom the asphalt layer and vertical compressive strain top the subgrade. With changes in the layer, thickness the models different results. Increasing the thickness of sub-base and decreasing the thickness of the base layer in model 1 and 2 increased the lifespan 3 and 11 years respectively, which can improve the plan in terms of cost. However, in models 3, 5, 6 it showed both increase and decrease in the lifespan; it had no tangible effects on model 4.

**Keywords:** Flexible Pavements, Kenlayer Software, Linear Elastic, Nonlinear Elastic, Viscoelastic Behavior