



## توسعه مدل بهینه طراحی روسازی انعطاف پذیر به روش مکانیستیک-تجربی

سید علی صحاف<sup>۱</sup>، محمد دارینی<sup>۲</sup>، عماد سروری<sup>۳</sup>

1- استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

2- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد

2- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد

emad.soroori@stu.um.ac.ir

### خلاصه

امروزه برای طراحی روسازی های آسفالتی یکی از روش های مورد توجه روش مکانیستیک-تجربی می باشد، در این روش معیارهای ترک خستگی و تغییر شکل دائمی از مهم ترین معیارهای طراحی می باشند. از جمله عوامل مؤثر در معیارهای ذکر شده و عمر روسازی می توان به ضخامت لایه های رویه و اساس اشاره کرد. این ضخامت ها به شکل معناداری در تعیین زمان رسیدن به ترک خستگی و تغییر شکل های دائم دخیل هستند. در این تحقیق در ابتدا رابطه ضخامت های رویه و اساس با معیارهای دخیل در عمر روسازی بررسی شده سپس سعی شده با توجه به این رابطه ها، ضخامت ها به گونه ای طراحی شوند تا بتوان از حداکثر ظرفیت روسازی تا زمان خرابی استفاده کرد. در این بررسی برای تحلیل روسازی ها از برنامه تحلیلی kenlayer استفاده شده است.

واژه های کلیدی: روسازی انعطاف پذیر، طراحی مکانیستیک، طراحی بهینه، نظریه چندلایه ای ارتجاعی، مدل سازی خطی

### 1. مقدمه

روش مکانیستیک-تجربی، طراحی مبتنی بر مکانیک مصالح است. در این روش پس از تعیین مشخصات لایه های روسازی به آن ها بارگذاری اعمال می گردد و پس از تحلیل روسازی می توان مقادیر کرنش و تنش را در نقاط مختلف محاسبه کرد و در نهایت با استفاده از این مقادیر عمر روسازی را پیش بینی کرد.

محققین نشان داده اند برای محاسبه عمر خستگی روسازی می توان از کرنش کششی در زیر لایه آسفالتی استفاده کرد و همچنین برای تعیین عمر روسازی تا رسیدن به خرابی تغییر شکل های دائم می توان از کرنش فشاری روی بستر استفاده کرد. در این تحقیق بر مبنای همین فرضیه ها سعی شده تا رابطه ی ضخامت های مختلف لایه های رویه و اساس را با خرابی های روسازی بدست آورد و از آن برای بهینه سازی طراحی که هدف این تحقیق است کمک گرفت.

### 2. مکانیزم های خرابی:

همان طور که اشاره شد دو مکانیزم خرابی وجود دارد: 1- خرابی بر اثر ترک های خستگی

2- خرابی بر اثر تغییر شکل های دائمی

### 1.2. خرابی بر اساس ترک های خستگی

در این معیار تعداد تکرار بار مجاز برای جلوگیری از رسیدن رویه به ترک های خستگی از رابطه ی صفحه ی بعد بدست می آید:

<sup>1</sup> استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>2</sup> کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>3</sup> کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه فردوسی مشهد



$$N_f = f_1(\varepsilon_t)^{-f_2}(E_1)^{-f_3} \quad (1)$$

که در این رابطه  $N_f$  تعداد مجاز تکرار بار برای جلوگیری از ترک خستگی،  $\varepsilon_t$  کرنش کششی در تار پایینی لایه آسفالت،  $E_1$  مدول الاستیسیته رویه آسفالتی و  $f_1$ ،  $f_2$  و  $f_3$  ثابت‌هایی هستند که از آزمایش خستگی بدست می‌آیند. در رابطه‌ای که توسط موسسه آسفالت ارائه شده به ترتیب از مقادیر 0/0796، 3/291 و 0/894 استفاده گردیده. کمپانی شل نیز از مقادیر 0/0658، 5/671 و 2/363 استفاده کرده است [1].

## 2.2. خرابی بر اساس تغییر شکل‌های دائمی

در این معیار تعداد تکرار بار مجاز برای جلوگیری از رسیدن روسازی به تغییر شکل‌های دائمی از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

که در این رابطه  $N_d$  تعداد مجاز تکرار بار برای جلوگیری از تغییر شکل دائمی،  $\varepsilon_c$  کرنش فشاری روی خاک بستر (سابگرید) و  $f_4$  و  $f_5$  ثابت‌هایی هستند که از آزمایش راه یا عملکرد میدانی بدست می‌آیند. در رابطه‌ای که توسط موسسه آسفالت ارائه شده به ترتیب از مقادیر  $1/365 \times 10^{-9}$  و 4/477 استفاده شده است. کمپانی شل به ترتیب از مقادیر  $1/13 \times 10^{-6}$  و 3/571 استفاده کرده است [1].

## 3. برنامه تحلیلی kenlayer

در این تحقیق برای ارزیابی و آنالیز خرابی روسازی از نرم‌افزار kenlayer استفاده شده است. نرم‌افزار kenlayer قابل اعمال روی نیم فضای همگن می‌باشد (قابل ذکر است جواب بدست آمده از kenlayer مشابه حل بوسینسک در نیم فضای همگن می‌باشد). این نرم‌افزار قابل استفاده برای روسازی‌های انعطاف پذیر بدون درز و لایه صلب می‌باشد. فرایند حل مسئله در kenlayer بر اساس سیستم چندلایه‌ای الاستیک تحت بار دایره‌ای است. این نرم‌افزار قابل استفاده در سیستم‌های لایه‌ای چرخ تکی، زوج چرخ، زوج چرخ تاندم و زوج چرخ تردیم با رفتار متفاوت لایه‌ها مانند الاستیک خطی، الاستیک غیرخطی و یا ویسکوالستیک می‌باشد [2].

توابع انتقال: توابع انتقال به عنوان حلقه‌ی رابط عکس‌العمل‌های سازه‌ی روسازی و خرابی‌های رخ داده در روسازی بوده و همچنین عامل اصلی اختلاف روش‌های مکانیستی-تجربی طراحی روسازی می‌باشد [3 و 4] و نیز همان‌طور که اشاره شد دو معیار عمده در روش‌های طراحی کرنش خستگی و شیار شدگی هستند.

در این نرم‌افزار آنالیز خرابی مبتنی بر کرنش افقی کشش در تار پایین لایه اول و یا همان لایه آسفالتی و همچنین مبتنی بر کرنش فشاری روی آخرین لایه یا همان خاک بستر می‌باشد. در این نرم‌افزار بجای قرائت مختصات Z، با مشخص کردن تعداد لایه‌هایی که از پایین تحت کشش‌اند (NLBT)، تعداد لایه‌هایی که از بالا تحت فشارند (NLTC)، شماره لایه‌هایی که از پایین تحت کشش است (LNBT)، شماره لایه‌هایی که از بالا تحت فشار است (LNTC) و مختصات Z برای تمام نقاط محاسبه می‌شود.

## 4. روش‌شناسی

به‌طور خلاصه مراحل انجام تحقیق بصورت زیر بیان می‌شود:

ابتدا روسازی با ضخامت‌های مختلف (مطابق با آنچه در قسمت مشخصات روسازی آمده است) تعریف می‌شود و سپس بارگذاری (مطابق با آنچه در قسمت بارگذاری آمده) اعمال می‌گردد. حال روسازی‌های مختلف تحلیل گشته و کرنش‌ها و تنش‌ها بدست می‌آید بدین ترتیب با مشخص بودن کرنش کششی زیر لایه آسفالتی و کرنش فشاری روی بستر، تعداد تکرار مجاز بار برای جلوگیری از ترک خستگی و نیز شیار شدگی (تغییر شکل دائم) بدست می‌آید.

حال با استفاده از نمودارهای حاصل از نتایج تحلیل‌ها، نقاط بهینه (بر اساس ضخامت) به نحوی بدست می‌آید که استفاده از تمام ظرفیت روسازی برای مقابله با خستگی و شیار شدگی تضمین گردد. در واقع در این مرحله، ضخامت‌هایی به‌عنوان مقادیر بهینه گزارش می‌شود که تعداد تکرار مجاز برای رسیدن به ترک‌های خستگی و شیار شدگی برابر گردد. به بیان دیگر، خرابی ناشی از ترک‌های خستگی و شیار شدگی هم‌زمان اتفاق افتد.



و در نهایت به عنوان خروجی تحقیق، مکانیزمی ارائه خواهد شد که به کمک آن، به ازای تعداد تکرار دلخواه بار محور تکی هم‌ارز (ESAL)، ضخامت‌هایی که منجر به بهینه شدن طراحی می‌شود ارائه گردد به عبارت دیگر به ازای بارگذاری به عنوان ورودی، ضخامت‌ها به عنوان خروجی بدست می‌آید که در واقع همان مختصات نقاط بهینه‌اند.

## 5. مشخصات روسازی

مشخصات روسازی مورد بررسی به شرح ذیل می‌باشد:

- در این تحقیق رفتار مصالح بصورت الاستیک خطی فرض شده است. همان‌طور که می‌دانیم اکثر مصالح روسازی غیرخطی‌اند و مقداری تغییر شکل دائمی بعد از هر بارگذاری را تجربه می‌کنند. به هر حال اگر بار وارده در مقایسه با مقاومت مصالح کوچک باشد و برای مدتی تکرار شود تغییر شکل تحت هر تکرار بارگذاری تقریباً برگشت‌پذیر خواهد بود و می‌توان آن را الاستیک در نظر گرفت [1].

- روسازی در نظر گرفته شده، شامل سه لایه‌ی رویه‌ی آسفالتی، اساس و بستر می‌باشد که به ترتیب مدول الاستیسیته 500000psi، 30000psi و 8500psi برای آن‌ها در نظر گرفته شده است.

- ضخامت لایه‌های رویه‌ی آسفالتی و اساس برای بدست آوردن نقاط بهینه (ضخامت‌های بهینه)، متغیر می‌باشند.

- نسبت پواسون برای رویه آسفالتی، اساس و بستر به ترتیب 0/35، 0/3 و 0/4 فرض شده است.

- مرز بین لایه‌های روسازی نیز بصورت پیوسته (Bonded) در نظر گرفته شده است.

## 6. بارگذاری

ترافیک مهم‌ترین فاکتور طراحی روسازی می‌باشد. ملاحظات بارگذاری بایستی شامل بزرگی، شکل و تعداد تکرار بار باشد. سه روش مختلف جهت لحاظ کردن تأثیرات وسایل نقلیه و ترافیک در طراحی روسازی وجود دارد: ترافیک ثابت، وسیله ثابت و ترافیک و وسیله متغیر.

- ترافیک ثابت:

در ترافیک ثابت ضخامت روسازی بر اساس بار چرخ تکی طراحی می‌شود و تعداد تکرار بارگذاری به‌عنوان متغیر لحاظ نمی‌شود. اگر روسازی در معرض چرخ چندگانه قرار داشته باشد بایستی آن را به یک بار چرخ تکی هم‌ارز (ESWL) تبدیل کرد. در این حالت می‌توان روش طراحی مبتنی بر چرخ تکی را استفاده نمود.

- وسیله ثابت:

در روش وسیله ثابت ضخامت روسازی توسط تکرار بارگذاری و یا محور استاندارد بار که معمولاً بار محور تکی 18kip(80KN) است، تعیین می‌گردد. اگر بار محور 18kip(80KN) نباشد و یا شامل محور تاندموم و یا تریدم باشد بایستی توسط ضریب بار محور هم‌ارز (EALF) به بار محور تکی تبدیل شود. تعداد تکرار تحت بار محور تکی و یا چندگانه بایستی در (EALF) ضرب شود تا اثر معادل مبتنی بر بار محور تکی 18kip(80KN) بدست آید. مجموع اثرات معادل برای کل محور بارها در طول دوره طراحی، بار محور تکی هم‌ارز (ESAL) را نتیجه می‌دهد. که یک پارامتر طراحی برای اهداف طراحی است. به دلیل تنوع بسیار زیاد محورهای بار و حجم ترافیک و اثرات متعدد آن‌ها روی کارایی روسازی امروزه اکثر روش‌های طراحی بر اساس روش وسیله ثابت است [1].

- ترافیک و وسیله متغیر:

برای حالت وسیله نقلیه و ترافیک متغیر، ترافیک و وسیله را بصورت انفرادی در نظر می‌گیریم به گونه‌ای که نیازی به اختصاص ضریب معادل برای هر محور بار نباشد. بارها را می‌توان به تعدادی گروه تقسیم کرد که تنش‌ها و کرنش‌ها و نشست‌ها تحت هر گروه بار به صورت مجزا محاسبه می‌شود و برای اهداف طراحی بکار می‌روند.

قابل ذکر است در این تحقیق برای سهولت در استفاده از نتایج بدست آمده برای سایر کاربران، برای بارگذاری از روش وسیله ثابت استفاده شده است تا بتوان تمامی بارگذاری‌های متفاوت (چه از نظر تکرار و چه از نظر ترکیب) را به قالب مشخصی تبدیل کرد و بتوان آن‌ها را برای استفاده از نتایج این تحقیق بکار گرفت. لذا بارگذاری در این پروژه بر مبنای بار محور تکی 18kip(80KN) خواهد بود.

## 7. آنالیز حساسیت

پس از تعریف مشخصات لایه‌های روسازی و نحوه‌ی بارگذاری، با در نظر گرفتن رفتار الاستیک خطی برای مصالح به تحلیل آن‌ها توسط نرم‌افزار kenlayer اقدام شده و از گزارش خروجی، مقادیر کرنش کششی و کرنش فشاری در نظر گرفته می‌شود و در نهایت نتایج جدول (1) حاصل می‌گردد. در ادامه‌ی کار مطابق با روابط (1) و (2) و با در نظر گرفتن ضرایب ثابت مطابق با آنچه موسسه آسفالت گزارش داده، طول عمر خستگی و شیارشدگی بدست می‌آید. نتایج این مرحله در جدول (2) آمده است.

جدول 1- نتایج بدست آمده برای کرنش کششی و کرنش فشاری برای ضخامت h2 و h1

ε	h1(in) h2(in)		1	2	4	6	8	10
	t	9	2/09×10 <sup>-4</sup>	4/21×10 <sup>-4</sup>	3/28×10 <sup>-4</sup>	2/26×10 <sup>-4</sup>	1/60×10 <sup>-4</sup>	1/17×10 <sup>-4</sup>
c	1/94×10 <sup>-3</sup>		1/49×10 <sup>-3</sup>	8/77×10 <sup>-4</sup>	5/64×10 <sup>-4</sup>	3/91×10 <sup>-4</sup>	2/87×10 <sup>-4</sup>	
t	12	2/04×10 <sup>-4</sup>	4/05×10 <sup>-4</sup>	3/14×10 <sup>-4</sup>	2/18×10 <sup>-4</sup>	1/54×10 <sup>-4</sup>	1/13×10 <sup>-4</sup>	
c		1/30×10 <sup>-3</sup>	1/05×10 <sup>-3</sup>	6/72×10 <sup>-4</sup>	4/56×10 <sup>-4</sup>	3/27×10 <sup>-4</sup>	2/46×10 <sup>-4</sup>	
t	15	2/05×10 <sup>-4</sup>	3/98×10 <sup>-4</sup>	3/06×10 <sup>-4</sup>	2/12×10 <sup>-4</sup>	1/50×10 <sup>-4</sup>	1/10×10 <sup>-4</sup>	
c		9/16×10 <sup>-4</sup>	7/69×10 <sup>-4</sup>	5/28×10 <sup>-4</sup>	3/74×10 <sup>-4</sup>	2/77×10 <sup>-4</sup>	2/13×10 <sup>-4</sup>	
t	18	2/08×10 <sup>-4</sup>	3/95×10 <sup>-4</sup>	3/02×10 <sup>-4</sup>	2/08×10 <sup>-4</sup>	1/48×10 <sup>-4</sup>	1/08×10 <sup>-4</sup>	
c		6/77×10 <sup>-4</sup>	5/84×10 <sup>-4</sup>	4/24×10 <sup>-4</sup>	3/12×10 <sup>-4</sup>	2/37×10 <sup>-4</sup>	1/85×10 <sup>-4</sup>	
t	25	2/13×10 <sup>-4</sup>	3/94×10 <sup>-4</sup>	2/97×10 <sup>-4</sup>	2/03×10 <sup>-4</sup>	1/44×10 <sup>-4</sup>	1/05×10 <sup>-4</sup>	
c		3/82×10 <sup>-4</sup>	3/42×10 <sup>-4</sup>	2/71×10 <sup>-4</sup>	2/13×10 <sup>-4</sup>	1/70×10 <sup>-4</sup>	1/39×10 <sup>-4</sup>	
t	28	2/15×10 <sup>-4</sup>	3/94×10 <sup>-4</sup>	2/96×10 <sup>-4</sup>	2/02×10 <sup>-4</sup>	1/43×10 <sup>-4</sup>	1/04×10 <sup>-4</sup>	
c		3/11×10 <sup>-4</sup>	2/82×10 <sup>-4</sup>	2/29×10 <sup>-4</sup>	1/84×10 <sup>-4</sup>	1/50×10 <sup>-4</sup>	1/24×10 <sup>-4</sup>	

- h1: ضخامت رویه آسفالتی
- h2: ضخامت لایه اساس
- t: کرنش کششی زیر لایه آسفالتی
- c: کرنش فشاری روی لایه اساس

جدول 2- نتایج حاصل شده برای تکرار بار مجاز برای جلوگیری از ترک خستگی و تغییر شکل دائم

ESAL	h1(in) h2(in)		1	2	4	6	8	10
	f	9	8/30×10 <sup>5</sup>	8/25×10 <sup>4</sup>	1/88×10 <sup>5</sup>	6/34×10 <sup>5</sup>	1/98×10 <sup>6</sup>	5/57×10 <sup>6</sup>
r	1/91×10 <sup>3</sup>		6/23×10 <sup>3</sup>	6/64×10 <sup>4</sup>	4/79×10 <sup>5</sup>	2/47×10 <sup>6</sup>	9/86×10 <sup>6</sup>	
f	12	8/95×10 <sup>5</sup>	9/39×10 <sup>4</sup>	2/16×10 <sup>5</sup>	7/22×10 <sup>5</sup>	2/23×10 <sup>6</sup>	6/21×10 <sup>6</sup>	
r		1/16×10 <sup>4</sup>	3/00×10 <sup>4</sup>	2/18×10 <sup>5</sup>	1/24×10 <sup>6</sup>	5/47×10 <sup>6</sup>	1/97×10 <sup>7</sup>	
f	15	8/79×10 <sup>5</sup>	9/93×10 <sup>4</sup>	2/34×10 <sup>5</sup>	7/88×10 <sup>5</sup>	2/44×10 <sup>6</sup>	6/74×10 <sup>6</sup>	
r		5/46×10 <sup>4</sup>	1/20×10 <sup>5</sup>	6/43×10 <sup>5</sup>	3/01×10 <sup>6</sup>	1/16×10 <sup>7</sup>	3/76×10 <sup>7</sup>	
f	18	8/45×10 <sup>5</sup>	1/02×10 <sup>5</sup>	2/46×10 <sup>5</sup>	8/37×10 <sup>5</sup>	2/59×10 <sup>6</sup>	7/18×10 <sup>6</sup>	
r		2/11×10 <sup>5</sup>	4/08×10 <sup>5</sup>	1/72×10 <sup>6</sup>	6/81×10 <sup>6</sup>	2/33×10 <sup>7</sup>	6/96×10 <sup>7</sup>	

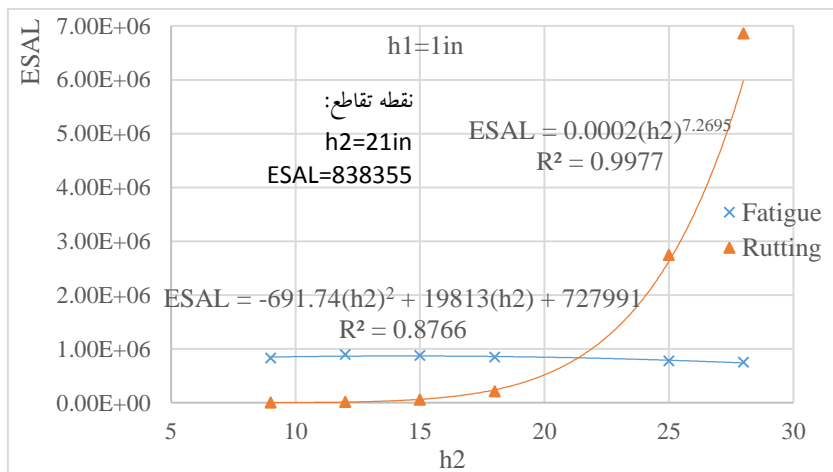
جدول ادامه دارد

جدول 2

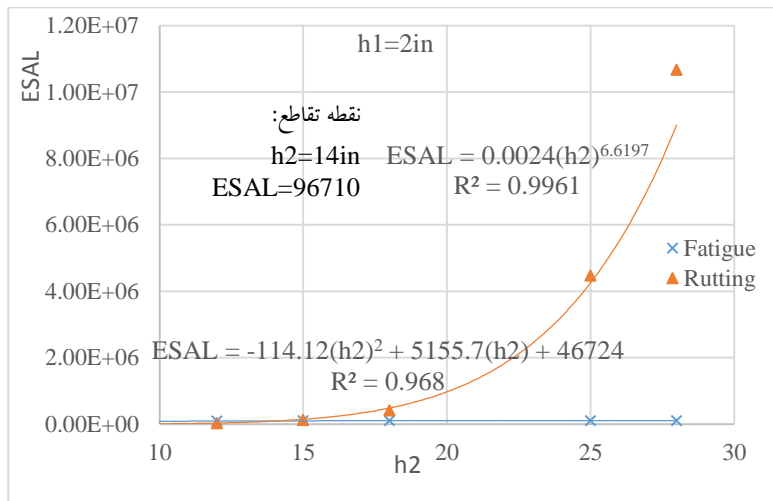
f	25	$7/76 \times 10^5$	$1/03 \times 10^5$	$2/60 \times 10^5$	$9/04 \times 10^5$	$2/84 \times 10^6$	$7/92 \times 10^6$
r		$2/75 \times 10^6$	$4/47 \times 10^6$	$1/28 \times 10^7$	$3/73 \times 10^7$	$1/02 \times 10^8$	$2/57 \times 10^8$
f	28	$7/53 \times 10^5$	$1/03 \times 10^5$	$2/63 \times 10^5$	$9/20 \times 10^5$	$2/91 \times 10^6$	$8/15 \times 10^6$
r		$6/86 \times 10^6$	$1/07 \times 10^7$	$2/72 \times 10^7$	$7/15 \times 10^7$	$1/81 \times 10^8$	$4/29 \times 10^8$

- $h_1$ : ضخامت رویه آسفالتی
- $h_2$ : ضخامت لایه اساس
- $f$ : تعداد تکرار مجاز برای جلوگیری از ایجاد ترک خستگی
- $r$ : تعداد تکرار مجاز برای جلوگیری از تغییر شکل دائم (شیارشده گی)

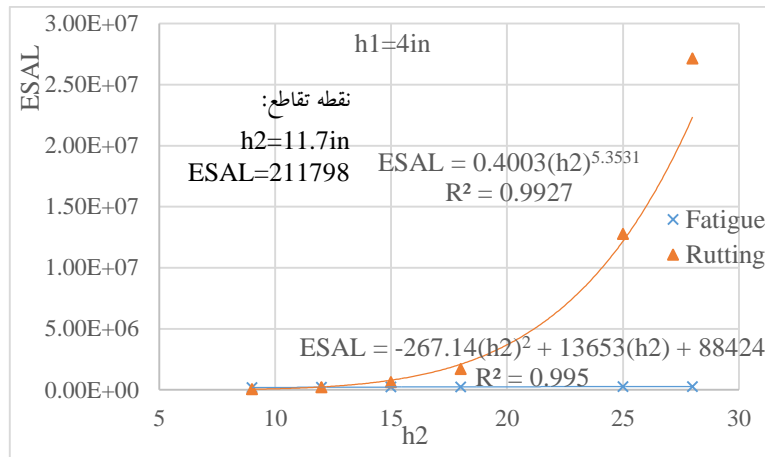
با داشتن نتایج حاصل از تحلیل روسازی با ضخامت‌های مختلف، می‌توان منحنی تغییرات عمر خستگی و شیارشده گی روسازی را با توجه به تغییرات ضخامت لایه‌ها رسم کرد. حال نقطه‌ی بهینه، نقطه‌ای تعریف می‌شود که دو منحنی یکدیگر را قطع می‌کنند [4] که در واقع نشان‌دهنده‌ی حالتی است که عمر خستگی و شیارشده گی روسازی برابر می‌شود. به منظور بدست آوردن این نقطه، نیاز به برآزش منحنی برای نقاط حاصله می‌باشد.



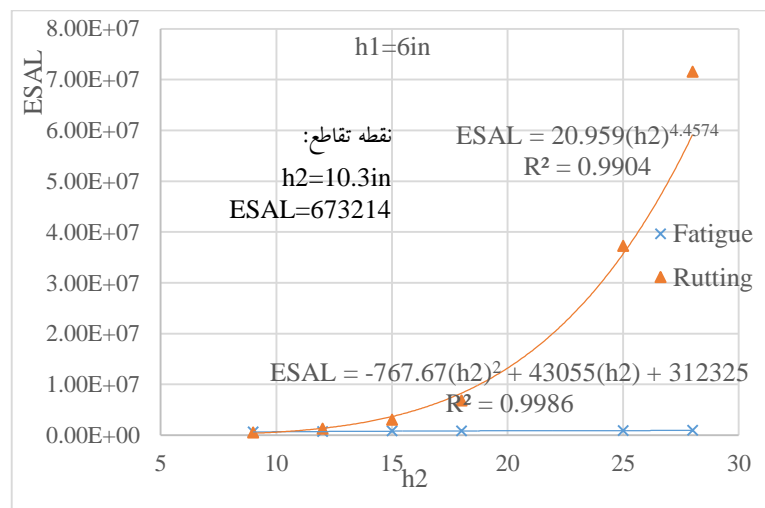
شکل 1: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 1 اینچ برای رویه آسفالتی



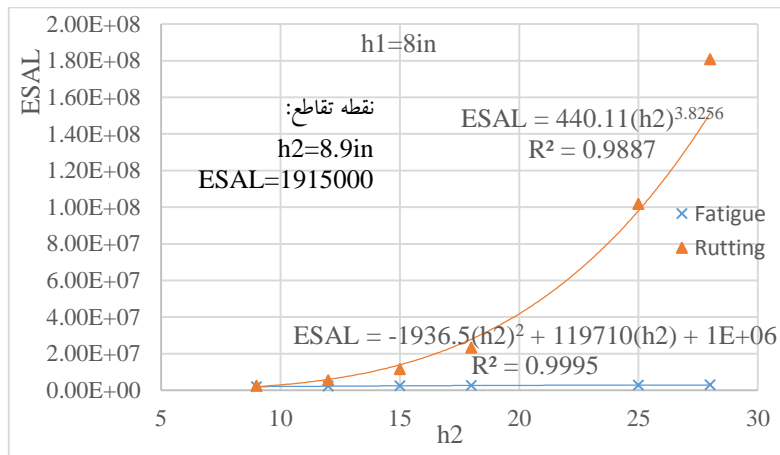
شکل 2: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 2 اینچ برای رویه آسفالتی



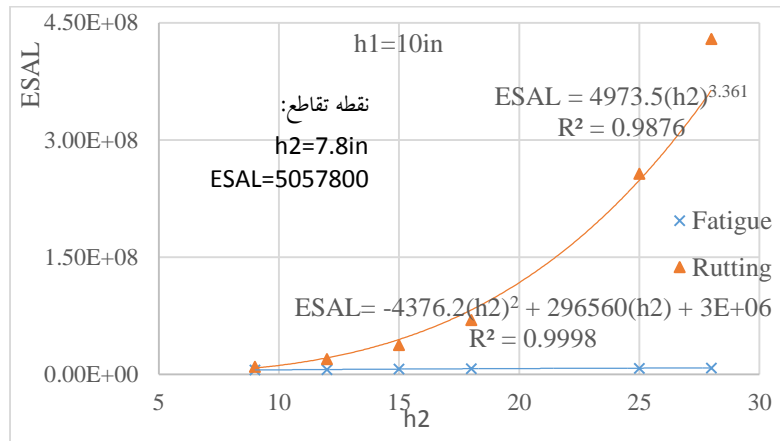
شکل 3: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 4 اینچ برای رویه آسفالتی



شکل 4: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 6 اینچ برای رویه آسفالتی



شکل 5: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 8 اینچ برای رویه آسفالتی



شکل 6: تغییر عمر روسازی در مقابل تغییر ضخامت اساس با در نظر گرفتن ضخامت 10 اینچ برای رویه آسفالتی

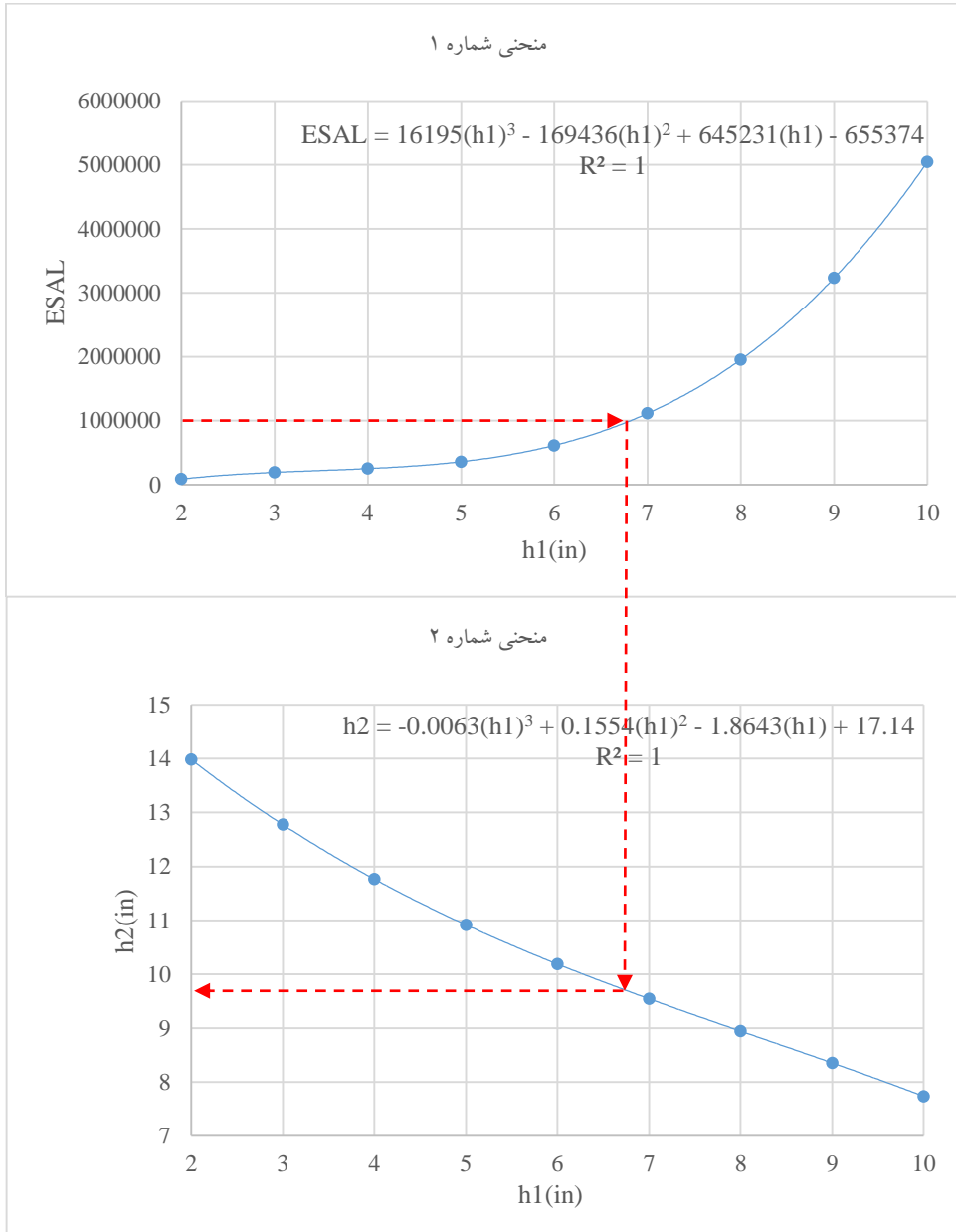
با توجه به منحنی‌های رسم شده و مشخصات نقاط تقاطع حاصل از آنها، نقاط ایتیمم به شرح زیر بدست می‌آید:

جدول (3): مشخصات نقاط ایتیمم

نقاط ایتیمم بدست آمده		
ضخامت رویه آسفالتی	ضخامت اساس	ESAL
1	21	838355
2	14	96710
4	11/7	211798
6	10/3	673214
8	8/9	1915000
10	7/8	5057800

حال با مشخص شدن ضخامت‌های بهینه‌ی طراحی، و برازش منحنی‌های ذیل می‌توان از آنها برای بهینه‌سازی طراحی روسازی سه لایه استفاده کرد. لازم به ذکر است نقطه‌ی متناظر با ضخامت یک اینچ برای رویه‌ی آسفالتی را از لیست نقاط برازش شده حذف شده است.

دلیل آن نیز به خاطر رفتار غیرمنطقی روسازی در این نقطه می باشد چراکه ضخامت لایه ی رویه در این حالت بسیار کم بوده و در واقع داده ی پرت به حساب می آید.



شکل 7: منحنی های برازش شده به منظور بهینه نمودن طراحی

برای استفاده از منحنی های بالا کافی است ابتدا از منحنی شماره 1، مقدار ESAL مورد نظر انتخاب شده، سپس خطی افقی رسم نموده تا به منحنی شماره 1 برسد. سپس از نقطه ی بدست آمده بصورت عمودی به سمت پایین خطی رسم و تا محور افقی ادامه داده می شود. این نقطه ضخامت لایه ی آسفالتی را مشخص می کند، حال برای بدست آمدن ضخامت بهینه ی اساس، خط عمودی را تا منحنی شماره 2 ادامه داده تا آن را قطع کند. از این نقطه به صورت افقی خطی رسم شده تا محور عمودی را قطع کند و ضخامت بهینه ی اساس را مشخص نماید.





## 8. نتیجه گیری

طبق آنچه در شکل های 1 تا 6 مشاهده می شود با افزایش ضخامت رویه ی آسفالتی نقطه ی بهینه به سمت چپ حرکت کرده و این مسئله نشان دهنده ی آن است که با افزایش ضخامت رویه ی آسفالتی، ضخامت لایه ی اساس برای بهینه شدن طراحی کاهش می یابد. با بررسی شکل های 1 تا 6 و با توجه به موقعیت نقاط بهینه می توان این گونه نتیجه گرفت که برای ضخامت مشخصی از رویه ی آسفالتی، هر چه ضخامت اساس بیشتر از حالت بهینه انتخاب شود، خرابی ناشی از ترک های خستگی سریع تر رخ داده و به تبع آن با اختیار کردن مقادیر کمتر از حالت بهینه خرابی ناشی از تغییر شکل های دائم سریع تر اتفاق می افتد. بایستی به این نکته نیز اشاره کرد که افزایش ضخامت اساس تأثیر قابل ملاحظه ای بر عمر خستگی روسازی ندارد اما تأثیر قابل توجهی در افزایش عمر شیارشدگی روسازی دارد. با توجه به شکل 7 این نتیجه حاصل می شود که با افزایش حجم ترافیک طرح، برای طرح بهینه ی روسازی، بایستی در جهت افزایش ضخامت رویه ی آسفالتی و کاهش ضخامت اساس گام برداشت (لازم به ذکر است این روند برای ضخامت رویه ی آسفالتی همواره صعودی و برای کاهش ضخامت اساس همواره نزولی است). و در نهایت می توان شکل 7 را به عنوان راهنمایی برای طراحی بهینه تر روسازی های سه لایه استفاده کرد و همچنین بایستی متذکر شد در صورتی می توان از این شکل بهره برد که مدول های برجهندگی طرح مورد نظر با مقادیر اتخاذ شده در این پژوهش برابر باشد هر چند برای سایر دستگاه های روسازی نیز می توان همین روند را برای طراحی بهینه پیش گرفت.

## 9. مراجع

- [1]Huang, Y.H. (2004). "Pavement Analysis and Design". Pearson/Prentice Hall.
- [2] Huang, Y. H. (2004), KENPAVE: A Computer Package for Pavement Analysis and Design, University of Kentucky, USA.
- [3]Timm, D., Birgisson, B., & Newcomb, D. "Development of Mechanistic-Empirical Pavement Design in Minnesota", Transportation Research Record 1629, Transportation Research Board, pp. 181-188. 1998.
- [4] کاووسی، الف، بابازاده، ع. (1387). "طراحی روسازی های آسفالتی با استفاده از نرم افزار Kenlayer بر اساس رفتار خطی و غیرخطی لایه های روسازی". چهارمین کنگره ی ملی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تهران، 17-19 اردیبهشت
- [5]Abu El,A,E. and Behiry, E. (2005), "mechanistic-empirical study of sensitivity of truck tire pressure to asphalt pavement thickness in egypt". Journal of Engineering Research and Applications, pp 1760-1771.