

(یادداشت پژوهشی)

محاسبه خسارت محورهای فوق سنگین در راهها براساس عملکرد عمر روسازی های انعطاف پذیر*

حسن زیاری، استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

کیوان بمانا، وزارت راه و ترابری، تهران، ایران

E-mail: bimana@rahiran.ir

چکیده

هر ساله بودجه قابل توجهی صرف ساخت و نگهداری شبکه راهها می شود و بنابراین لازم است که در استفاده و حفاظت از لایه های گرانقیمت آسفالت دقت کافی مبذول شود. یکی از عوامل خرابی روسازی، عبور بارهای سنگین است که کنترل های لازم در این مورد باید صورت پذیرد. با عبور این بارها از راهها عمر روسازی کاهش یافته و راهها قبل از پایان عمر بهره برداری پیش بینی شده خود خراب می شوند. خرابیهای زودرس باعث اعمال هزینه های اضافی و پیش بینی نشده و عدم هماهنگی با برنامه پیش بینی شده بودجه ای برای نگهداری می شوند. بنابراین خسارت ناشی از عبور این بارها باید محاسبه شده تا متولیان راه بتوانند این هزینه های احتمالی را از محورهای فوق سنگین دریافت کنند. در این تحقیق به منظور تحلیل عملکرد روسازی در مقابل بارهای سنگین از نرم افزار تحلیلی *kenlayer* استفاده شده است و کاهش عمر روسازی بر حسب تعداد عبور مجاز و با توجه به کرنش های ناشی از عبور بارهای سنگین و بر اساس روابط انستیتو آسفالت برای خستگی و تغییر شکل دائم محاسبه شده و هزینه معادل این کاهش عمر به عنوان خسارت برای محورهای فوق سنگین عبوری در نظر گرفته شده است.

واژه های کلیدی: روسازی انعطاف پذیر، کرنش کششی و فشاری، خستگی، شیار شدگی، بار محوری.

1. مقدمه

نقل است. در کشور ما علاوه بر خصوصیات یادشده، شرایط جغرافیایی و همچنین ناکافی بودن شبکه ریلی، باعث اهمیت هر چه بیشتر شبکه حمل و نقل جاده ای شده است، به طوری که سهم حمل و نقل جاده ای از کل حجم حمل و نقل بار در کشور حدود

حمل و نقل در هر کشوری از پایه های مهم اقتصاد به شمار می رود و در تولید و ارایه خدمات نقش اساسی را ایفا می کند. در بخشهای مختلف حمل و نقل نیز، حمل و نقل جاده ای به دلیل انعطاف پذیری مطلوب و ویژه خود، متداول ترین شیوه حمل و

عبوری متفاوتند که مقادیر در نظر گرفته شده و سایر مشخصات بارگذاری برای بارهای مجاز در جدول 2 آمده است. فشار سطح تماس برای تمام بارها برابر 85 پوند بر اینچ مربع در نظر گرفته شده است و بنابراین با تغییر مقدار بار، شعاع تماس تغییر می‌کند و فشار ثابت است. برای محورهای دارای بار محوری بیش از مقادیر مجاز نیز، فواصل چرخها و محورها و فشار تماس برابر مقادیر جدول 2 در نظر گرفته شده است و با افزایش بار محوری، شعاع تماس تغییر می‌کند [4].

جدول 1. روسازی مورد استفاده در تحلیل (H ضخامت (Inch).

E مدول کشسانی (psi) و v ضریب پواسن)

نوع راه	لایه آسفالتی	اساس	زیراساس	خاک بستر
2 خطه	H=4 E=400000 v=35	H=6 =50000 E v=3	H=10 =20000 E v=3	E=7500 v=45
4 خطه	H=5 E=400000 v=35	H=8 =50000 E v=3	H=12 =20000 E v=3	E=7500 v=45
6 خطه	H=6 E=400000 v=35	H=10 =50000 E v=3	H=14 =20000 E v=3	E=7500 v=45

جدول 2. مشخصات بارهای مجاز مورد استفاده در تحلیل

نوع محور	بار مجاز (ton)	فاصله محورها (cm)	فاصله چرخها (cm)	فشار تماس (psi)
منفرد	13	-	35	85
مرکب	20	140	35	85

2-3 مدل تعیین عمر و معیار خرابی روسازی

شاخص تعیین عمر روسازی در این تحقیق، تعداد محورهایی است که در طول عمر روسازی می‌توانند از راه عبور کنند. این تعداد عبور از روی دو شاخص خستگی لایه آسفالتی و گودافتادگی مسیر چرخ تعیین می‌شوند. برای محاسبه این دو مقدار، مؤسسات مختلف روابطی پیشنهاد کرده‌اند که در این تحقیق از روابط انستیتو آسفالت برای محاسبه

89 درصد و سهم آن در جابه‌جایی مسافر حدود 93 درصد است [1]. با این تفاسیر مشخص است که شبکه راهها از بخش‌های حیاتی حمل‌ونقل در کشور بوده و با توجه به میزان سرمایه‌گذاری در احداث شبکه جاده‌ای ضروری است که در نگهداری از این سرمایه عظیم ملی نهایت دقت و جدیت مبذول شود. خرابی راهها، علاوه بر به اتلاف سرمایه فوق، باعث تحمیل هزینه‌های غیر مستقیم دیگر از جمله استهلاک بیشتر وسایل نقلیه، افزایش زمان سفر و تخریب محیط زیست خواهد شد. بنابراین به منظور جلوگیری از خرابی‌های زودرس در روسازی‌ها لازم است از عبور بارهای بسیار سنگین که از عوامل مهم در خرابی زودرس روسازی است، جلوگیری شود. متخلفین نیز باید متعهد به پرداخت خسارت‌های وارده بر شبکه راه شوند. برای محاسبه میزان خسارت، لازم است که میزان تخریب ناشی از عبور بارهای سنگین واقع‌بینانه برآورد شود.

2. مدل انتخابی و روش تحلیل

به دلیل ملاحظات اقتصادی، ضخامت و جنس لایه‌های روسازی متفاوت است. بنابراین در بررسی عملکرد روسازی در مقابل بارهای فوق سنگین از مدلهایی استفاده شده است که در عمل کاربرد دارند. رفتار روسازی کشسان خطی فرض شده است و در بررسی انجام‌شده، سه نوع مقطع مختلف راه برای سه نوع راه 2خطه، 4خطه و 6خطه در نظر گرفته شده و نتایج بررسی و تحلیل آنها مقایسه شده‌اند. شرایط بارگذاری نیز به گونه‌ای بوده که از بارهای سنگین بیش از مقادیر مجاز برای محورهای مختلف استفاده شده است.

1-2 مدل هندسی روسازی

مشخصات مدل‌های هندسی روسازی و ضخامت لایه‌های مختلف به همراه خصوصیات هر لایه در جدول 1 ارائه شده است [3].

2-2 مدل بارگذاری

در بارگذاری استفاده شده در این تحقیق از بارهای بیش از مقدار مجاز آیین نامه بارهای مجاز روسازی در ایران استفاده شده است. فاصله بین محورها و همچنین فاصله چرخها در محورهای

تعداد عبور مجاز بارهای محوری استفاده می‌شود. روابط 10 و 11 تعداد محورهای عبوری مجاز را به ترتیب برای جلوگیری از ایجاد ترک خستگی در لایه آسفالتی و محدود کردن «شیار شدگی مسیر چرخ» در روسازی را ارائه می‌کنند و مقدار کمتر به دست آمده ازدو رابطه فوق به عنوان تعداد عبور مجاز در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق در بعضی حالات و با بارهای مختلف یکی از دو رابطه فوق تعیین کننده بودند که در اکثر اوقات معیار کنترل کننده در تعیین تعداد محورهای عبوری مجاز، معیار کرنش فشاری روی خاک بستر و یا «شیارشدگی مسیر چرخ» بوده است.

روابط انستیتو آسفالت برای محاسبه عمر روسازی:

$$N_f = 0.0796 \times (\epsilon_r)^{-3.291} (E_1)^{-0.854} \quad (10)$$

$$N_d = 1.365 \times (\epsilon_c)^{-4.477} \quad (11)$$

در این روابط N_f ، تعداد تکرار مجاز بارگذاری برای جلوگیری از خستگی، N_d ، تعداد تکرار مجاز بارگذاری برای محدود کردن «گود افتادگی مسیر چرخ»، ϵ_r ، کرنش کششی زیر لایه آسفالتی، ϵ_c ، کرنش فشاری روی خاک بستر و E_1 ، مدول الاستیسیته لایه آسفالتی است.

3-1 برآورد ترافیک طرح

با استفاده از جدول آشتو برای ضرایب ترافیک خط طرح که در جدول 4 آمده است و با فرض اینکه ضریب توزیع جهتی برابر 50٪ فرض شود، تعداد کل محور عبوری که از خط طرح عبور خواهند کرد، برابر است با [5]:

الف- راههای دو خطه: $W_D = 0.5 W_T$ $W_T = 100\% \times 50\%$

ب- راههای چهار خطه: $W_D = 0.45 W_T$ $W_T = 90\% \times 50\%$

ج- راههای شش خطه: $W_D = 0.35 W_T$ $W_T = 70\% \times 50\%$

W_D ، W_D ترافیک عبوری از خط طرح و W_T کل ترافیک

تعداد خط عبور در هر جهت	1	2	3	4
ضریب توزیع ترافیک در خط طرح	100	80-100	60-80	50-75

عبوری از راه است.

جدول 4. ضرایب توزیع ترافیک در خط طرح بر حسب تعداد

خط عبور در هر جهت

4. تعیین مدل اخذ خسارت

اگر ضرایب توزیع ترافیک محور طرح در راههای 4 خطه و 6 خطه به ترتیب برابر 90 درصد و 70 درصد در نظر گرفته شوند، با توجه به W_D محاسبه شده برای راههای دوخطه، چهارخطه و شش خطه، در راههای دو خطه 50٪ قیمت راه از محورهای مجاز عبوری محاسبه شده اخذ می‌شود و این مقادیر در راههای 4خطه و 6 خطه به ترتیب برابر با 45٪ و 35٪ قیمت راه خواهد بود، زیرا بقیه محورهای عبوری نیز از بقیه باندهای راه می‌گذرند و بنابراین کل هزینه راه را باید از کل محورهای عبوری راه اخذ کرد، نه از محورهای عبوری از محور طرح.

4-1 راههای دو خطه

میزان بارهای مجاز عبوری برای بار مجاز 20 تن در محورهای مرکب و 13 تن برای محورهای منفرد محاسبه می‌شود و قیمت

3. قیمت گذاری راه

قیمت‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق، برای یک کیلومتر راه محاسبه شده‌اند. هزینه احداث یک کیلومتر راه در نقاط مختلف با توجه به عملیات مختلف از جمله تونل، پل و سایر ابنیه فنی و همچنین منطقه احداث راه و نوع منطقه از نظر وضعیت توپوگرافی و همچنین نوع و اهمیت راه متفاوت است. اگر قیمت راههای 2 خطه، 4 خطه و 6 خطه به نرخ امروز محاسبه شود، هزینه ساخت یک کیلومتر راه برای هر یک از این نوع راهها مطابق جدول 3 در نظر گرفته می‌شود.

جدول 3. هزینه متوسط احداث یک کیلومتر راه

(واحد: میلیون ریال) [1]

نوع راه	هزینه متوسط احداث یک کیلومتر راه
آزاد راه	6000
بزرگراه	3000
راه دوخطه	1000

زیاری و بمانا

1076700 = تعداد محور منفرد عبوری مجاز 13 تن

در نتیجه هزینه هربار عبور محورهای مجاز فوق از تقسیم هزینه ساخت راه بر تعداد عبور مجاز به ترتیب برابر با 670 و 1250 ریال به دست می‌آید. برای بارهای سنگین‌تر نیز به همین روش عمل می‌کنیم و میزان خسارت مانند روش قبل محاسبه می‌شود. میزان خسارت برای بارهای مختلف در جداول 7 و 8 آمده است.

جدول 5. نتایج محور منفرد در راه دوخطه

وزن (محور) (تن)	تعداد عبور مجاز	هزینه (ریال)	خسارت (ریال)
13	238320	2100	0
14	177020	2820	720
15	131090	3810	1710
16	99746	5010	2910
17	77022	6490	4390
18	60127	8320	6220
19	44562	11220	9120
20	34137	14650	12550

جدول 6. نتایج محور مرکب در راه دوخطه

وزن (محور) (تن)	تعداد عبور مجاز	هزینه (ریال)	خسارت (ریال)
20	611140	820	0
21	510200	980	160
22	400000	1250	430
23	332430	1500	680
24	273200	1830	1010
25	230400	2170	1350
26	189400	2640	1820
27	162300	3080	2260
28	134800	3710	2890
29	106800	4680	3860
30	86700	5770	4950

جدول 7. نتایج محور منفرد در راه چهارخطه

وزن (محور) (تن)	تعداد عبور مجاز	هزینه (ریال)	خسارت (ریال)
20	611140	820	0
21	510200	980	160
22	400000	1250	430
23	332430	1500	680
24	273200	1830	1010
25	230400	2170	1350
26	189400	2640	1820
27	162300	3080	2260
28	134800	3710	2890
29	106800	4680	3860
30	86700	5770	4950

محاسبه شده را بر تعداد این محورها تقسیم می‌کنیم تا هزینه عبور هر محور به دست آید، در این حالت:

$$= 50\% \times (100.0000.000) = 50.000.000$$

قیمت راه (تومان)

اگر تعداد عبور مجاز از روابط انستیتو آسفالت که قبلاً ذکر شد محاسبه شود، خواهیم داشت:

(از روابط 10 و 11)

$$= 611140 = \text{تعداد محور مرکب عبوری مجاز 20 تن}$$

(از روابط 10 و 11)

$$= 238320 = \text{تعداد محور منفرد عبوری مجاز 13 تن}$$

در نتیجه هزینه هربار عبور محورهای مجاز فوق از تقسیم هزینه ساخت راه بر تعداد عبور مجاز به ترتیب برابر با 820 و 2100 ریال به دست می‌آید. برای بارهای سنگین‌تر نیز به همین منوال عمل می‌کنیم و مقادیر به دست خواهند آمد. سپس با احتساب این نکته که از محورهای مجاز هیچ هزینه‌ای دریافت نمی‌شود، میزان هزینه اضافی و یا خسارت بارهای سنگین‌تر را از کسر هزینه بارهای مذکور محاسبه می‌کنیم. به عنوان مثال برای بار 21 تن محور مرکب داریم:

(از روابط 10 و 11 = تعداد عبور مجاز محور 21 تن (

$$= \text{هزینه هربار عبور محور 21 تن}$$

$$\text{ریال } 980 = (500.000.000 / 510.200)$$

ریال $160 = 980 - 820 =$ میزان خسارت محور 21 تن برای سایر بارها نیز خسارت به همین روش محاسبه می‌شود که نتایج آن در جداول 5 و 6 آمده است.

2-4 راههای چهارخطه (بزرگراهها)

همانند حالت قبل قیمت راه برای محاسبه خسارت حساب می‌شود:

$$= 135.000.000 = 45\% \times (300.0000.000) = \text{قیمت راه}$$

(تومان)

اگر تعداد عبور مجاز از روابط انستیتو آسفالت که قبلاً ذکر شد محاسبه شود، خواهیم داشت:

(از روابط 10 و 11)

$$= 2005700 = \text{تعداد محور مرکب عبوری مجاز 20 تن}$$

(از روابط 10 و 11)

محاسبه خسارت محورهای فوق سنگین در راهها براساس ...

3850	5100	264560	18
5550	6800	198570	19
7900	9150	147490	20

0	1250	1076700	13
490	1740	774080	14
1110	2360	572460	15
1860	3110	434410	16
2810	4060	332650	17

جدول 8. نتایج محور مرکب در راه چهارخطه

وزن محور(تن)	تعداد عبور مجاز	هزینه (ریال)	خسارت (ریال)
20	2005700	670	0
21	1791300	750	80
22	1558450	870	200
23	1363600	990	320
24	1153800	1170	500
25	991700	1360	690
26	845100	1600	930
27	697700	1930	1260
28	576900	2340	1670
29	465100	2900	2230
30	337100	4000	3330

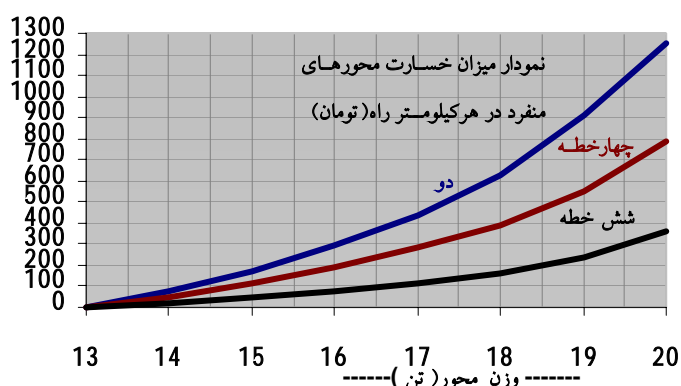
جدول 9. نتایج محور منفرد در راه شش خطه

زیاری و بمانا

وزن محور (تن)	تعداد عبور مجاز	هزینه (ریال)	خسارت (ریال)
20	3120300	670	0
21	2812500	750	80
22	2535200	830	160
23	2278500	920	250
24	1935500	1080	410
25	1682250	1250	580
26	1475400	1420	750
27	1267600	1660	990
28	1077800	1950	1280
29	918300	2290	1620
30	743800	2820	2150

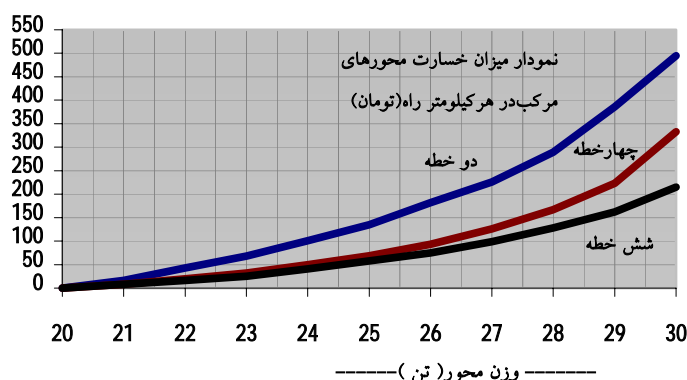
جدول 10. نتایج محور مرکب در راه شش خطه

وزن	تعداد عبور	هزینه	خسارت (ریال)
13	1455800	1440	0
14	1278000	1640	200
15	1095500	1920	480
16	955600	2200	760
17	819570	2560	1120
18	698460	3010	1570
19	549790	3820	2380
20	414050	5070	3630



پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهار

شکل 1. میزان خسارت در محورهای منفرد



شکل 2. میزان خسارت در محورهای مرکب

مقادیر خسارت محورهای مرکب و منفرد در راههای 2، 4 و 6 خطه در شکل های 1 و 2 ارایه شده است.

5. نتایج

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهند که هرچه جسم راه ضعیف تر باشد، اثر مخرب محورهای سنگین بر راه بیشتر خواهد بود. شاید در نگاه اول این گونه به نظر می رسد که هزینه عبور بارهای سنگین از بزرگراهها و آزادراهها بیش از راههای دوخطه باشد، ولی در عمل این چنین نیست.

مطابق مطالعاتی که در آمریکا و کانادا انجام شده است، هزینه های محورهای عبوری در محورهای با ترافیک کمتر (و بالطبع با روسازی ضعیف تر) ممکن است تا چندین برابر هزینه ها در راههای قوی تر باشد [6]. در نتیجه می توان گفت که اگر محورهای سنگین از بزرگراهها و آزادراهها عبور کنند، خسارت کمتری به روسازی وارد شده و از لحاظ اقتصادی باصرفه تر خواهد بود.

6. مراجع

1. علیخانی، محمد اسماعیل (1381) "خودکفایی بخش حمل و نقل"، نشریه جاده، شماره 46، پاییز 81، ص. 45-53.
2. Huang, Yang H. (1993) "Pavement analysis and design", New York: Prentice – Hall , pp.735-752
3. Suleiman, Nabil and Varma, Amiy (2002) "Methodology to assess impacts of alternative truck configurations on flexible highway pavement systems", Transportation Research Record, 1809, pp.148-159.
4. Zhang, Zhanmin Leidy, Joseph.P. (2000) "Impact of changing traffic characteristics and environmental conditions on flexible

6. Federal Highway Administration (2000) "Comprehensive truck weight and size (TS&W)", Vol. 2, Chapter 6. USA: Federal highway Administration.
5. AASHTO (1989) "AASHTO guide for design of pavement structures", Vol. 2, Washington D.C: AASHTO, pp. H1-H10.