

تحلیل اقتصادی پارامترهای مؤثر در انتخاب نوع روسازی تونل‌های کشور

ابوالفضل حسینی

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

جواد سوداگری

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

حامد معتمدی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد راه و ترابری - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۸۴/۱/۱۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۴/۱۸، تاریخ تصویب ۸۴/۵/۸)

چکیده

روسازهای بتنی به علت توان باربری و دوام زیاد، دارای مزایای بیشتر و هزینه‌های ثانویه کمتری در مقایسه با روسازهای آسفالتی هستند، که این موضوع هنگام تصمیم‌گیری در مورد انتخاب نوع روسازه، بویژه در محل‌های حساسی مثل تونل‌ها اهمیت بیشتری می‌یابد. زیرا در تونل‌ها، به علت شرایط خاص و متفاوت آنها با محیط باز خارج، ایجاد هر نوع منطقه عملیاتی مستلزم مسدود کردن تونل است. این مسأله موجب پیدایش هزینه‌های اضافی برای استفاده‌کنندگان از راه خواهد شد. در این تحقیق بر اساس یک فرآیند منطقی و علمی، استفاده از روسازه مناسب در تونل‌ها مورد ارزیابی اقتصادی و فنی قرار گرفته است. ابتدا یک روسازی آسفالتی و سه نوع روسازه بتنی بر اساس شرایط بستر و نوع ترافیک تعریف شده در تونل‌ها، طراحی شده است. سپس هزینه‌های مربوط به ساخت، ترمیم، نگهداری، استفاده‌کنندگان از مسیر و محیط زیست برای هر یک از روسازها مورد محاسبه قرار گرفته‌اند. در مرحله بعد به منظور مقایسه هزینه‌های بدست آمده در طول دوره تحلیل، از روش هزینه خالص کنونی با نرخهای تنزیل متفاوت استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که هزینه در طول عمر روسازهای بتنی در تونل‌ها در شرایط یکسان از هزینه روسازهای آسفالتی کمتر است، که این تفاوت با افزایش ترافیک و یا طول مسیر اضافه شده در اثر بستن تونل به منظور فعالیت‌های ترمیمی افزایش بیشتری می‌یابد، همچنین هر چه نرخ تنزیل سرمایه کمتر باشد، کاربرد روسازهایی که دارای دوره‌های ترمیم و نگهداری کمتر و کوتاهتری هستند، توجیه اقتصادی بیشتری می‌یابد.

واژه های کلیدی: هزینه در طول عمر، تونل، روسازی، هزینه کاربر، ترمیم و نگهداری

مقدمه

متر پرداخته می‌شود. محدوده‌های تعریف شده برای هر پارامتر در جدول (۱) آورده شده‌اند. لازم به توضیح است که این محدوده‌ها با توجه به نمودارهای طراحی و شرایط موجود در تونل‌های خارج از ایران تعیین شده‌اند [۱].
روسازهای آسفالتی و بتنی به ترتیب به روش نشریه ۲۳۴ [۲] ایران و آشتو [۳] طراحی شده‌اند که نتایج آن در جداول (۲) تا (۷) آورده شده‌اند.

در این مقاله سعی شده است روسازهای آسفالتی و بتنی بر اساس شرایط مختلف جغرافیایی، زمین‌ساختی و ترافیکی موجود در تونل‌های کشور طرح و هزینه‌ها از طریق روش WLC^۱ مورد محاسبه قرار گیرد. در نهایت نتایج بدست آمده به روش هزینه خالص کنونی (NPC)^۲ برای انواع روسازها محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که نمودارهای مربوط به آنها در ادامه آورده خواهند شد.

تحلیل اقتصادی

در این مقاله به منظور مقایسه طرح‌ها از روش هزینه در طول عمر استفاده شده است. هزینه در طول عمر روشی برای محاسبه کل هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم یک پروژه در طول عمر آن است.

طرح روسازهای مورد بحث

به منظور تجزیه و تحلیل اقتصادی روسازها ابتدا نیاز است که آنها را از لحاظ فنی طراحی کرد، به همین دلیل در این بخش به طرح روسازهای رایج در تونل‌های ایران و دیگر کشورها برای تونل مفروضی به طول ۱۰۰۰

جدول ۱: مشخصات خاک بستر CBR.

تیپ	نوع بستر	CBR
۱	متوسط	۱۰
۲	خوب	۲۵

جدول ۲: مشخصات ترافیکی.

تیپ	نوع ترافیک	ESAL
I	متوسط	10^6
II	سنگین	30×10^6

جدول ۳: حالت‌های مختلف با توجه به نوع ترافیک و جنس بستر روسازی (تعریف تیپ‌های مختلف روسازه).

نوع روسازه	نوع ترافیک	نوع بستر	
		متوسط	خوب
انعطاف پذیر متداول (آسفالتی) (Common Flexible Pavement-CFP)	متوسط	A _{I-1}	A _{I-2}
	سنگین	A _{II-1}	A _{II-2}
بتنی ساده درزدار (Jointed Plain Concrete Pavement-JPCP)	متوسط	C _{I-1}	C _{I-2}
	سنگین	C _{II-1}	C _{II-2}
بتنی مسلح درزدار (Jointed Reinforced Concrete Pavement-JRCP)	متوسط	C _{I-1}	C _{I-2}
	سنگین	C _{II-1}	C _{II-2}
بتنی مسلح پیوسته (Continues Reinforced Concrete Pavement-CRCP)	متوسط	C _{I-1}	C _{I-2}
	سنگین	C _{II-1}	C _{II-2}

جدول ۴: مشخصات روسازه‌های انعطاف پذیر [۱].

نوع روسازه	ضخامت زیر اساس (cm)	ضخامت اساس (cm)	ضخامت بیندر (cm)	ضخامت توپکا (cm)	ضخامت روکش مرحله ۱ (سال ۱۵) (cm)	ضخامت روکش مرحله ۲ (سال ۲۴) (cm)
A _{I-1}	-	۱۵	۷	۵	۹	-
A _{I-2}	-	۱۵	۷	۵	۹	-
A _{II-1}	۱۵	۱۵	۱۵	۵	۹	۱۲
A _{II-2}	-	۱۵	۱۵	۵	۹	۱۲

جدول ۵: مشخصات روسازه‌های بتنی ساده درزدار [۱].

نوع روسازه	طول دال (m)	عرض دال (m)	ضخامت زیر اساس (cm)	ضخامت دال (cm)	داول بار		تای بار	
					Φ	س	Φ	س
C _{I-1}	۶	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۲۰@۳۰	۳۵	Φ ۱۰@۱۲۰	۷۵
C _{I-2}	۶	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۲۰@۳۰	۳۵	Φ ۱۰@۱۲۰	۷۵
C _{II-1}	۶	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۳۰@۳۰	۵۰	Φ ۱۰@۱۰۰	۷۵
C _{II-2}	۶	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۳۰@۳۰	۵۰	Φ ۱۲@۱۰۰	۷۵

جدول ۶: مشخصات روسازه‌های بتنی مسلح درزدار [۱].

نوع روسازه	طول دال (m)	عرض دال (m)	ضخامت زیر اساس (cm)	ضخامت دال (cm)	آرماتور عرضی	آرماتور طولی	داول بار و
							تای بار
C _{I-1}	۱۵	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۶@۴۰	Φ ۶@۲۵	جدول (۵)
C _{I-2}	۱۵	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۶@۴۰	Φ ۶@۲۵	جدول (۵)
C _{II-1}	۱۵	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۶@۲۵	Φ ۱۰@۳۵	جدول (۵)
C _{II-2}	۱۵	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۶@۲۵	Φ ۱۴@۳۵	جدول (۵)

جدول ۷: مشخصات روسازه‌های بتنی مسلح پیوسته [۱].

نوع روسازه	عرض دال	ضخامت زیر اساس	ضخامت دال	آرماتور عرضی	آرماتور طولی	تای بار	
						نوع	طول
C _{I-1}	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۶@۴۰	Φ ۱۴@۳۵	Φ ۱۰@۱۲۰	۷۵
C _{I-2}	۳,۶۵	۱۵	۱۶	Φ ۶@۴۰	Φ ۱۴@۳۵	Φ ۱۰@۱۲۰	۷۵
C _{II-1}	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۶@۲۵	Φ ۱۴@۱۵	Φ ۱۲@۱۰۰	۷۵
C _{II-2}	۳,۶۵	۱۵	۲۶	Φ ۶@۲۵	Φ ۱۴@۱۵	Φ ۱۲@۱۰۰	۷۵

$$NPC = W_1 + \sum_{k=1}^n W_{2k} \left[\frac{1}{(1+i)^k} \right] +$$

$$\sum_{j=1}^n W_{3j} \left[\frac{1}{(1+i)^j} \right]$$

(۱)

W_1 : هزینه اولیه

W_{2k} : هزینه تعمیرات و نگهداری در سال k .

W_{3j} : هزینه‌های کاربر در سال j .

i : نرخ تنزیل سرمایه،

n : دوره سرمایه‌گذاری (سال) [۴].

$$NPC = \left(\frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i} \right) AEC$$

(۲)

هزینه‌های محاسبه شده در این پروژه شامل سه گروه زیرند:

- هزینه مربوط به کارفرما،
- هزینه مربوط به کاربر،
- هزینه‌های زیست محیطی.

هزینه‌های مربوط به کارفرما عبارتند از:

- هزینه‌های ساخت،
- هزینه‌های نگهداری و ترمیم،
- ارزش اسقاطی^۳.

هزینه‌های مربوط به کاربر شامل موارد زیرند:

- هزینه‌های زمان،
- هزینه‌های خودرو.

روش مورد استفاده برای مقایسه NPC است.

ارزش اسقاطی

ارزش اسقاطی در پروژه‌های راهسازی در انتهای دوره تحلیل شامل ارزش عمر باقیمانده پس از آخرین عملیات ترمیمی است [۶]. در این مقاله بجز عملیات احیاء اصطحکاک سطحی در روسازه‌های بتنی تمام فعالیت‌های ترمیمی در انتهای دوره تحلیل (۳۰ سال) پایان می‌یابند. [۱]

هزینه‌های مربوط به کاربر

یکی از سه گروه هزینه‌های مطرح در سیستم WLC، هزینه کاربر است که شامل هزینه‌های مالی، روحی و جسمی وارد بر استفاده کنندگان از مسیر در اثر هر نوع فعالیت ساخت، ترمیم یا نگهداری است [۷]. هزینه‌های کاربر به سه دسته هزینه‌های زمان، خودرو و تصادفات تقسیم می‌شوند. در محاسبات، هزینه‌ها برای هر روز - ۱۰ کیلومتر (منظور از هر روز - ۱۰ کیلومتر هزینه‌های اعمال شده بر کاربران به ازای هر روز بسته شدن (به منظور تعمیرات) و طی مسافتی به طول ۱۰ کیلومتر است) محاسبه می‌شوند، که در نهایت با توجه به تعداد روز بسته بودن تونل و مقدار افزایش طول مسیر (کنار گذر)، اعداد تعدیل می‌گردند (منظور از روز در اینجا یک روز کاری است).

هزینه‌های تأخیر در سفر

برای انجام فعالیت‌های ترمیمی نیاز به بستن تونل و در نتیجه گذر ترافیک از مسیرهای انحرافی است. در این مقاله ارزش مدت زمانی که از کاربران مسیر در اثر افزایش طول مسیر گرفته می‌شود، محاسبه می‌گردد.

روش مورد استفاده در این پروژه استفاده از نرخ دستمزد ساعتی است که یکی از عمومی‌ترین روش‌ها برای محاسبه ارزش زمان است [۸]. در این روش اثر هدف سفر، نوع وسیله نقلیه و نوع درآمد اعمال گشته است، سفرها به ۳ دسته تقسیم می‌شوند.

۱- سفرهای کاری،

۲- سفرهای تفریحی،

۳- سفرهای از محل کار به منزل و برعکس.

منظور از نوع وسیله نقلیه تفاوت قایل شدن برای ارزش زمان برای راننده یک وسیله نقلیه سنگین (راننده حرفه‌ای) و راننده یک وسیله نقلیه سبک است [۱].

AEC: هزینه معادل سالیانه،

NPC: هزینه خالص کنونی،

i: نرخ تنزیل سرمایه،

n: طول عمر [۵].

در این مقاله از دو نرخ تنزیل ۰.۳٪ و ۰.۵٪ در طول دوره تحلیل (۳۰ سال) استفاده شده است (عمر روسازی آسفالتی ۳۰ سال است).

هزینه‌های مربوط به کارفرما

همانطور که در بخش قبلی آورده شد، هزینه‌های متحمل شده توسط کارفرما شامل هزینه‌های ساخت، هزینه‌های نگهداری و ترمیم و ارزش اسقاطی روسازی بعد از اتمام دوره تحلیل است.

هزینه‌های ساخت

به منظور انجام تحلیل‌های لازم ابتدا هزینه ساخت انواع روسازه‌ها (که مشخصات آن‌ها در جداول (۴) تا (۷) ارائه شده است)، براساس فهرست بهای سال ۱۳۸۲ رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن محاسبه شده است [۱].

هزینه‌های ترمیم و نگهداری

در این مقاله فرض بر این است که کیفیت روسازه (شاخص PSI) همیشه در محدوده قابل قبول باشد و نیز روسازه‌های آسفالتی بعد از هر بار روکش به کیفیت حداکثر خود یعنی ۴/۲ برسند.

هزینه‌های نگهداری سالیانه در روسازه‌های آسفالتی ۵ درصد هزینه ساخت و در روسازه‌های بتنی نصف این مقدار (هزینه نگهداری سالیانه روسازه‌های آسفالتی) است [۹][۱].

ترمیم در روسازه‌های آسفالتی شامل انجام روکش مرحله‌ای در سال‌های ۱۵ و ۲۴ عمر روسازه برای ترافیک سنگین و در سال ۱۷ برای ترافیک متوسط صورت می‌گیرد (عمر روسازه آسفالتی ۳۰ سال می‌باشد).

در روسازه‌های بتنی فعالیت‌های ترمیمی شامل احیای اصطحکاک (ایجاد زبری سطح) هر ۱۸ سال یکبار و پاکسازی و پر کردن درزها در دوره ۳ ساله انجام می‌شود [۱].

به کار گرفته شده است، روش محاسبه ارزش ساعتی است [۱].

هزینه‌های زیست‌محیطی

در این تحقیق از هزینه‌های زیست‌محیطی تنها به محاسبه هزینه‌های ناشی از تولید گازهای آلاینده پرداخته شده است. به منظور محاسبه این هزینه‌ها ابتدا نیاز است که مقدار تولید آلاینده‌ها برای وسایل نقلیه سبک و سنگین محاسبه گردد.

خودروهای سبک

به منظور برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید آلاینده‌ها ابتدا متوسط تولید آنها برای خودروهای در حال تردد محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهند که متوسط مقدار تولید گازهای آلاینده خودروهای در حال تردد ۳ برابر حدود مجاز تعیین شده در استاندارد ECE 1504 است.

وسایل نقلیه سنگین

در این زمینه تحقیقات کاملی در داخل کشور انجام نگرفته‌اند. به همین دلیل در این مورد از منابع خارجی استفاده شده است (نتایج تحقیقات هنری پرکینز^۶). به این صورت که ابتدا تولید آلاینده‌ها توسط وسایل نقلیه سنگین محاسبه شده و سپس با داشتن هزینه مربوط به آلودگی هر تن آلاینده، هزینه کلی ناشی از تولید این آلاینده‌ها محاسبه و اعمال شده است [۱].

تحلیل نهایی

در نهایت با داشتن هزینه‌های ساخت، ترمیم، نگهداری، کاربران و دیگر هزینه‌های اضافی به بررسی اثر افزایش طول مسیر، جنس خاک و نوع ترافیک در تعیین طرح اقتصادی‌تر بر اساس شاخص NPC (هزینه خالص کنونی) پرداخته شده است. به منظور مقایسه هزینه‌های طرح‌های مختلف، همانطور که در بخش تحلیل اقتصادی آورده شد، از روش هزینه خالص کنونی (رابطه (۱)) و برای تبدیل هزینه‌های نگهداری سالیانه به هزینه خالص کنونی (رابطه (۲)) استفاده می‌شود.

هزینه عملکردی خودرو

هزینه عملکردی خودرو شامل دو هزینه مصرف سوخت و استهلاک وسیله نقلیه است [۸]، که در اینجا نیز هزینه‌ها برای هر ۱۰ کیلومتر اضافه مسیر در اثر بستن تونل محاسبه می‌شوند.

هزینه مصرف سوخت

هزینه مصرف سوخت با توجه به نوع وسیله نقلیه و هزینه تمام شده و بدون یارانه برای هر لیتر سوخت محاسبه شده است.

هزینه استهلاک

هزینه‌ای که رانندگان وسایل نقلیه در ازای نقل و انتقال مسافر، کالا و یا هر چیز دیگری اخذ می‌کنند، را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد. یکی هزینه خودرو که شامل هزینه‌ای است که صاحب خودرو مستقیماً می‌پردازد، مانند استهلاک لاستیک‌ها، لنت‌های ترمز، قطعات یدکی، تعمیرات خودرو، مصرف سوخت، روغن، روان‌کننده‌ها و غیره.

دسته دوم هزینه‌ها، استهلاک سرمایه خودرو (کاهش قیمت خودرو با ریال ثابت) در طول عمر آن است که مشمول گذشت زمان می‌گردد. در اینجا چون هزینه استهلاک در مدت زمان گذر از مسیر انحرافی محاسبه می‌شود (این مدت ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شده است) و بدلیل اینکه این مدت زمان در مقابل طول عمر خودروها (بیش از ۱۵ سال) قابل صرف‌نظر کردن است در نتیجه از محاسبات مربوط به این قسمت خودداری می‌شود (این مطلب در صورتی که تونل برای مدت زیادی بسته نبوده و تعداد خودروها نیز زیاد نباشد، صادق است).

سومین مورد، هزینه دستمزد یا ارزش ساعتی کار راننده است و چون مشخص نیست که راننده‌ای که متحمل اتلاف وقت شده است، در ساعت کاری حین رفتن یا برگشتن از محل کار و یا در حال تفریح بوده است، بنابراین در نظر گرفتن ۱۰۰ درصد نرخ دستمزد^۵ ساعتی صحیح نبوده و باید تمام حالات بالا را در نظر گرفت.

به منظور برآورد هزینه استهلاک وسایل نقلیه به ازای هر ۱۰ کیلومتر افزایش طول مسیر، ابتدا هزینه متوسط هر وسیله نقلیه برای طی ۱۰ کیلومتر را بدست آورده، سپس هزینه سوخت و دستمزد راننده یا رانندگان از آن کم می‌شود. روشی که برای محاسبه دستمزد راننده

جدول ۸: برآورد هزینه‌ها در طول عمر بر حسب NPC برای روسازی‌های مختلف بر حسب پارامتر طول مسیر انحرافی تونل (L) [۱].

هزینه خالص کنونی (میلیون ریال)		نوع روسازی	نوع شرایط
۵ درصد	۳ درصد		
۶۶۰,۶۲۷+۱۸,۹۵۶L	۷۰۰,۳۷۲+۲۳,۴۲۲L	CFP	ترافیک متوسط و بستر متوسط
۵۰۹,۶۶۶	۵۵۰,۶۶۷	JPCP	
۵۵۸,۱۹۴	۵۹۸,۲۷۶	JRCP	
۶۲۳,۰۲۷	۶۶۰,۰۴۰	CRCP	
۶۶۰,۶۲۷+۱۸,۹۵۶L	۷۰۰,۳۷۲+۲۳,۴۲۲L	CFP	ترافیک متوسط و بستر خوب
۵۰۹,۶۶۶	۵۵۰,۶۶۷	JPCP	
۵۵۸,۱۹۴	۵۹۸,۲۷۶	JRCP	
۶۲۳,۰۲۷	۶۶۰,۰۴۰	CRCP	
۹۰۸,۶۰۴+۹۱۸,۷۵۶L	۱۱۰۴,۲۵۷+۱۳۷۶,۳۳۶L	CFP	ترافیک سنگین و بستر متوسط
۷۷۹,۱۱۷+۶۳۰,۵۹۸L	۸۳۲,۳۰۰+۸۴۱,۴۶۰L	JPCP	
۸۵۰,۰۸۲۷+۳۱۵,۲۲۹L	۹۰۱,۵۱۵+۴۲۰,۷۳۰L	JRCP	
۱۰۰۶,۹۹۵	۱۰۵۳,۳۹۴	CRCP	
۸۶۷,۱۳۸+۹۱۸,۷۵۶L	۱۰۵۷,۶۶۰+۱۳۷۶,۳۳۶L	CFP	ترافیک سنگین و بستر خوب
۷۷۹,۱۱۷+۶۳۰,۵۹۸L	۸۳۲,۳۰۰+۸۴۱,۴۶۰L	JPCP	
۸۵۰,۰۸۲۷+۳۱۵,۲۲۹L	۹۰۱,۵۱۵+۴۲۰,۷۳۰L	JRCP	
۱۰۰۶,۹۹۵	۱۰۵۳,۳۹۴	CRCP	

است (نتایج در نمودارهای (۱) تا (۸)) [۱].

همانطور که از نمودارها بر می‌آید، هرچقدر طول مسیر انحرافی بیشتر باشد هزینه‌های مربوط به کاربر در اثر بستن تونل به منظور انجام فعالیت‌های ترمیمی افزایش می‌یابد که این مقدار افزایش نیز چشمگیر است. در روسازه‌هایی که نمودار مربوط به افزایش هزینه خالص کنونی به ازای افزایش طول مسیر انحرافی دارای رشد کم یا صفر است به این معنا است که آن روسازه نیاز به تعمیر و نگهداری کم دارد یا اینکه عملیات ترمیم و نگهداری آن با توجه به شدت ترافیک بدون مسدود کردن تونل قابل انجام بوده است.

بررسی اثر کیفیت بستر و نوع ترافیک

نمودارهای (۹) و (۱۰)، آنالیز حساسیت را به

هزینه‌ها در سیستم WLC بر حسب متغیر L (که معرف مقدار افزایش طول مسیر به ازای هر ۱۰ کیلومتر به دلیل مسدود شدن تونل به منظور انجام عملیات ترمیمی است) برای روسازه‌های مختلف انجام گرفته و در نهایت با توجه به نرخ‌های تنزیل ۳ درصد و ۵ درصد بر حسب ارزش خالص کنونی محاسبه شده‌اند. خلاصه محاسبات بر اساس شاخص NPC برای شرایط مختلف در جدول (۸) آورده شده است.

بررسی اثر افزایش طول مسیر

به منظور بررسی اثر افزایش طول مسیر (در اثر بستن تونل) بر روی هزینه در طول عمر انواع روسازه‌ها در شرایط متفاوت، تحلیل حساسیت شاخص NPC بر حسب پارامتر L برای نرخ‌های تنزیل مختلف انجام گرفته

بررسی اثر نرخ تنزیل

با توجه به نمودارهای ترسیم شده برحسب نرخ‌های تنزیل مختلف و بررسی روند آنها می‌توان تأثیر نرخ تنزیل را در برآورد نهایی هزینه‌ها و انتخاب طرح‌های مختلف تعیین کرد. همانگونه که از مقایسه نمودارهای (۱) تا (۴) و (۵) تا (۸) مشخص می‌شود، هرچه نرخ تنزیل سرمایه کمتر باشد، روسازی‌هایی که دارای هزینه ساخت اولیه بیشتر و ترمیم و نگهداری کمتر هستند، توجیه اقتصادی بیشتری می‌یابند [۱].

منظور بررسی اثر کیفیت بستر (۱۰ و ۲۵ = CBR) و نوع ترافیک (10^6 و 30×10^6) بر روی شاخص NPC نمایش می‌دهند (در اینجا L به طور متوسط برابر با ۰,۵ کیلومتر) در نظر گرفته شده است [۱].

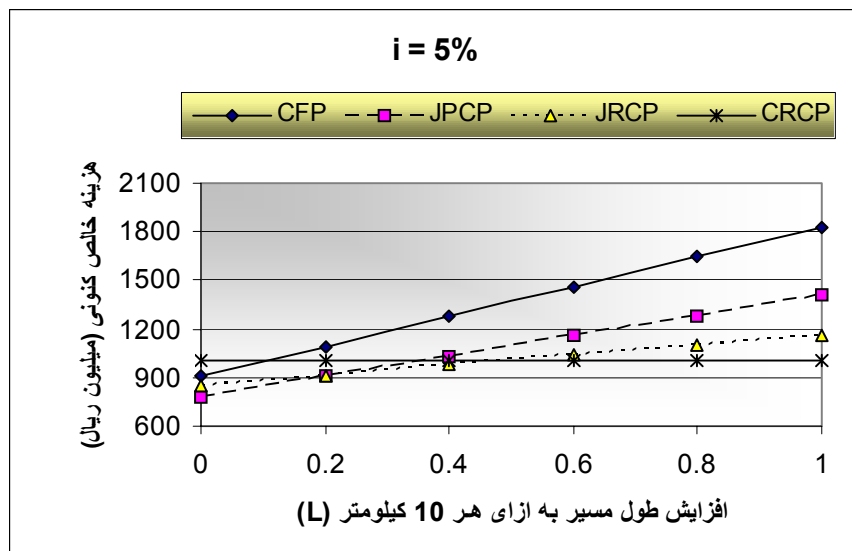
نتایج نشان می‌دهند که اثر ترافیک به ویژه در روسازه‌هایی که نیاز به تعمیرات بیشتری دارند، از تأثیر جنس بستر بسیار بیشتر است.

راهنمای نمودارها:

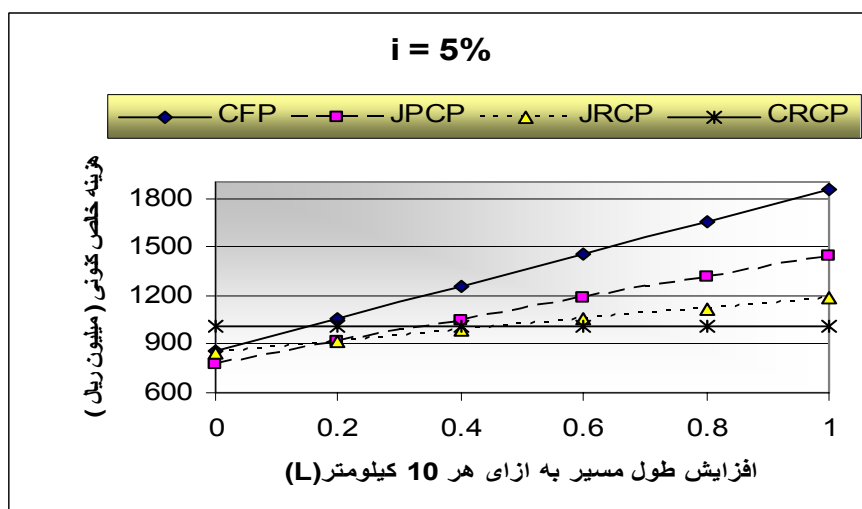
i: نرخ تنزیل سرمایه

NPC: هزینه خالص کنونی (هزینه در طول عمر هر کیلومتر تونل بر حسب میلیون ریال)

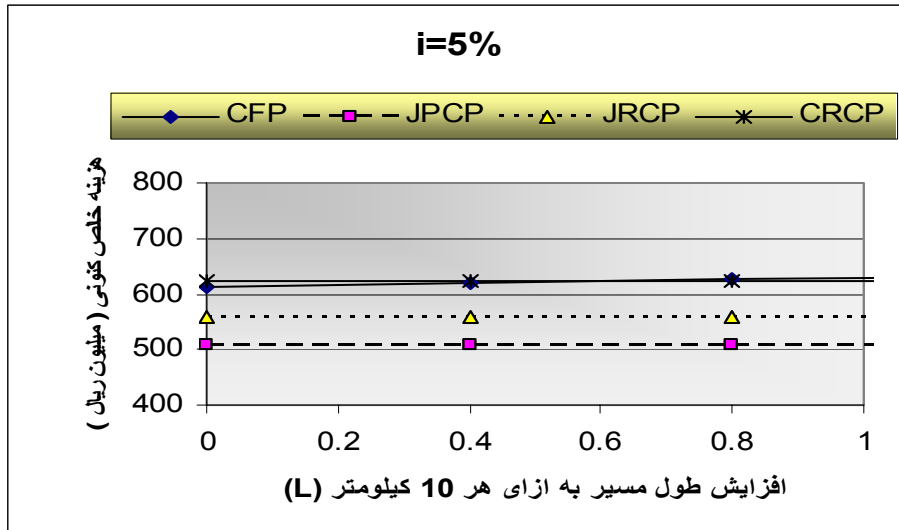
L: افزایش طول مسیر عبور در اثر مسدود شدن تونل به ازای هر ۱۰ کیلومتر (طول مسیر انحرافی)



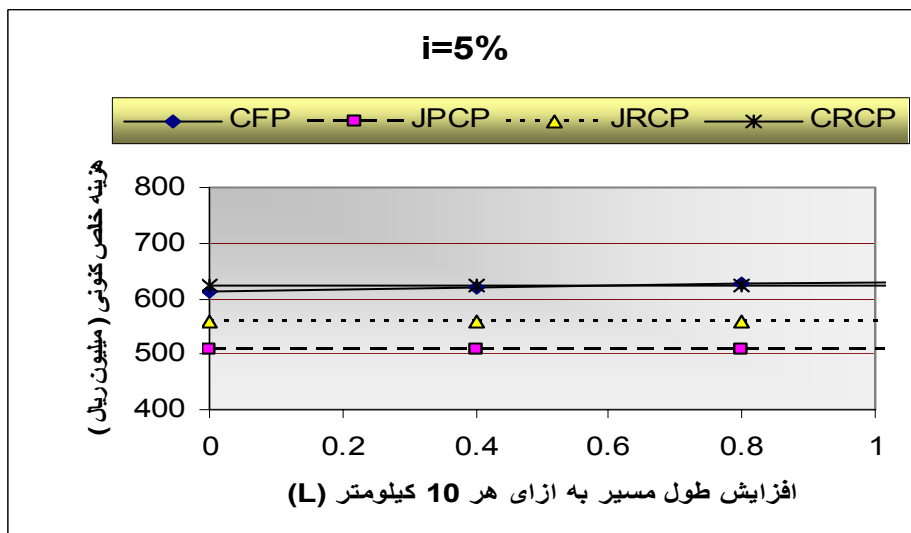
نمودار ۱: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک سنگین - بستر متوسط.



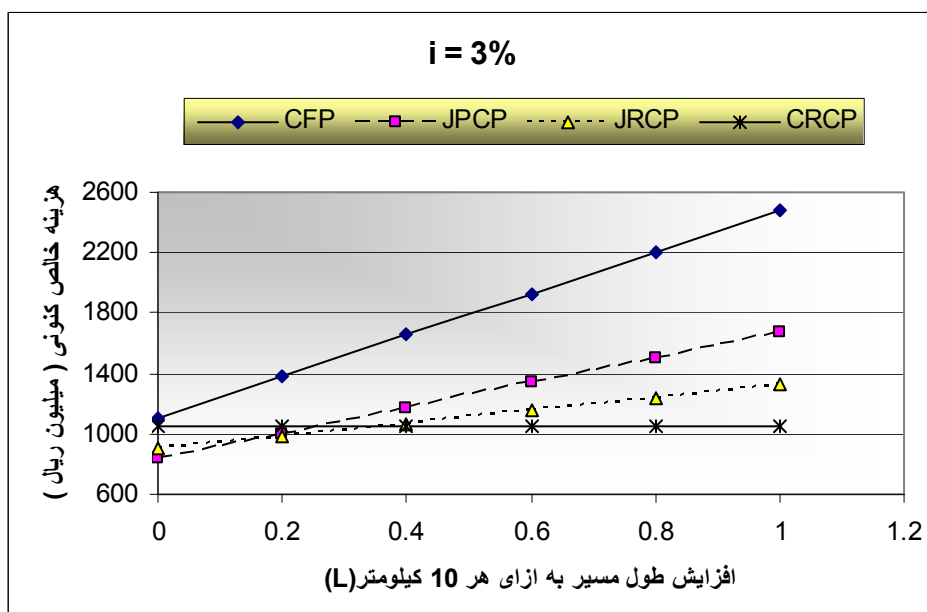
نمودار ۲: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک سنگین - بستر خوب.



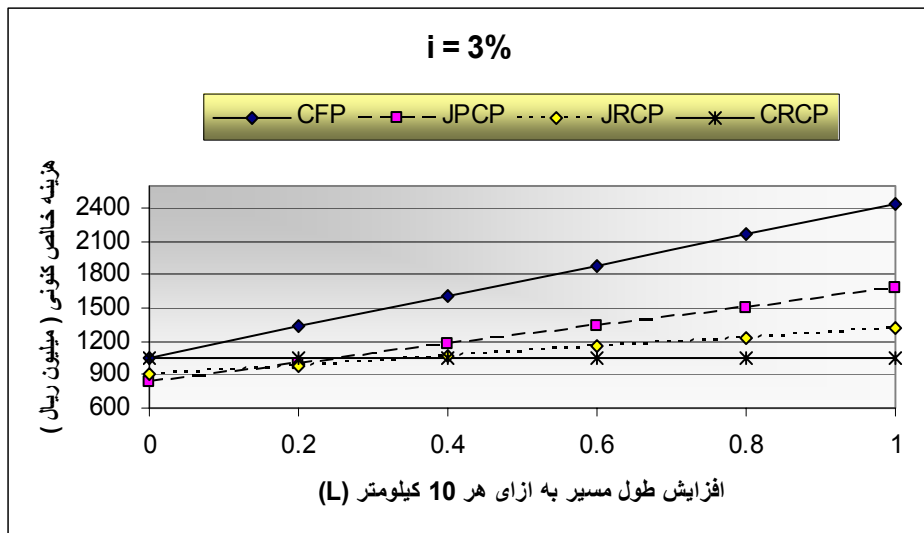
نمودار ۳: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک متوسط - بستر متوسط.



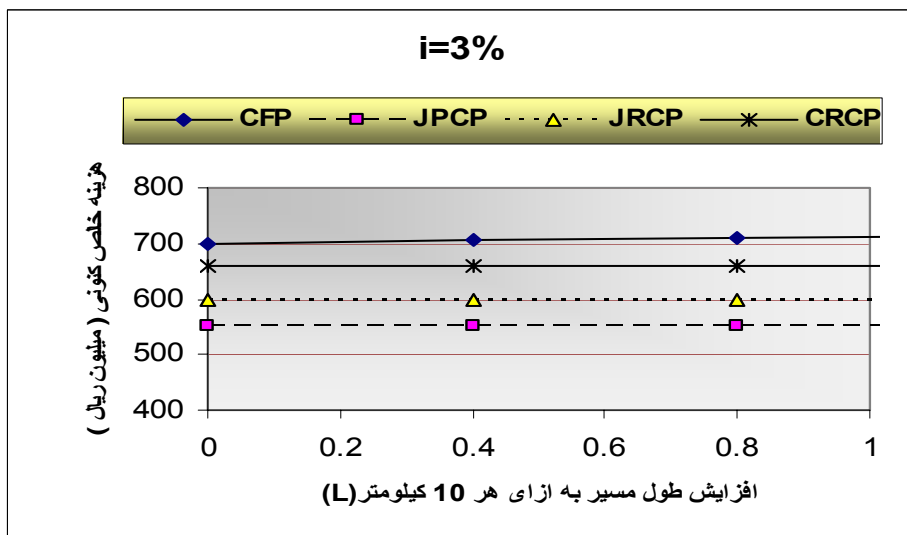
نمودار ۴: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک متوسط - بستر خوب.



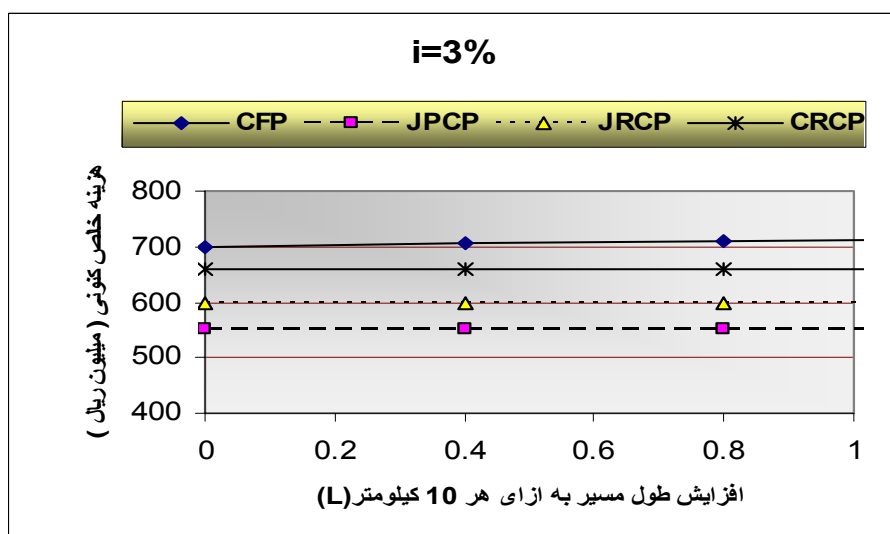
نمودار ۵: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک سنگین - بستر متوسط.



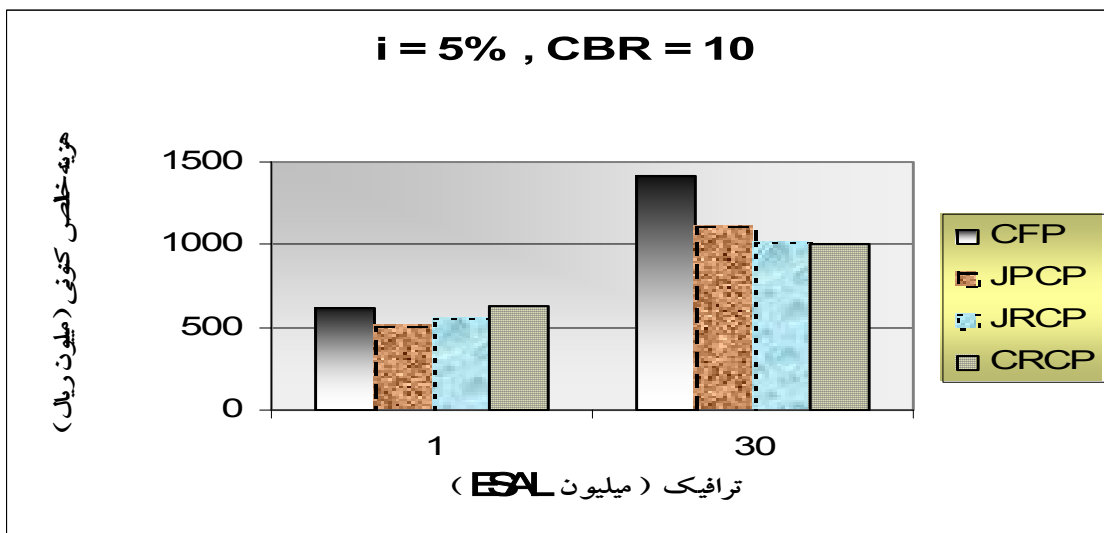
نمودار ۶: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک سنگین - بستر خوب.



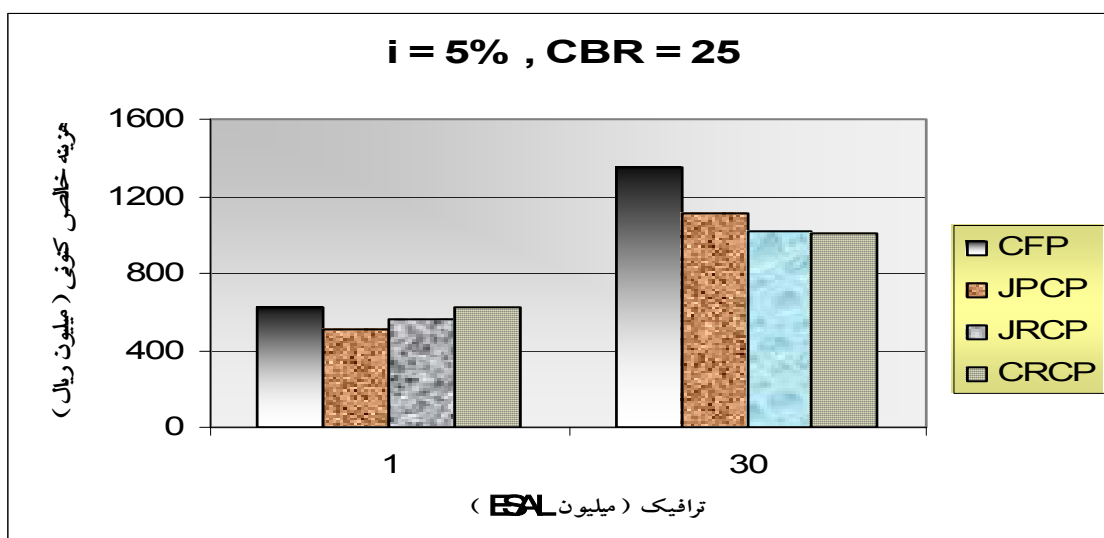
نمودار ۷: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک متوسط - بستر متوسط.



نمودار ۸: تحلیل حساسیت در شرایط ترافیک متوسط - بستر خوب.



نمودار ۹: نمودار هزینه - ترافیک در شرایط بستر متوسط.



نمودار ۱۰: نمودار هزینه - ترافیک در شرایط بستر خوب.

نتیجه گیری

مقادیر هزینه کاربر و متعاقباً هزینه در طول عمر پروژه افزایش می‌یابد، تا جائیکه در تونل‌های دارای مسیر انحرافی طولانی نقشی تعیین کننده بازی می‌کند. ۳- به دلیل مقاومت زیاد بستر اکثر تونل‌های کشور، تأثیر این پارامتر (با این شرایط) در برآورد هزینه‌ها ناچیز است. ولی به طور کلی با مطالعه نمودارهای طراحی هر دو نوع روسازه می‌توان به این نتیجه رسید که به دلیل اینکه تأثیر کیفیت بستر بر روی ضخامت لایه‌های روسازه آسفالتی بیشتر از روسازه‌های بتنی است (به طور کلی روسازه‌های بتنی به علت پخش بار در سطح گسترده‌تر، کمتر تحت تأثیر بستر هستند)، بنابراین مقاومت کف تونل‌ها هر چقدر کمتر باشد، هزینه ساخت روسازه‌های آسفالتی در مقایسه با روسازه‌های بتنی افزایش بیشتری می‌یابد.

در این مقاله هزینه فعالیت‌های مختلف ساخت، ترمیم، نگهداری، هزینه‌های کاربر ناشی از این فعالیت‌ها را در سیستم WLC محاسبه شده و قابلیت انواع روسازه‌ها را در شرایط مختلف مورد آزمون قرار گرفته، که در نهایت نتایج زیر بدست آمده‌اند:

۱- نتایج نشان می‌دهند که هزینه در طول عمر روسازه‌های بتنی تونل‌ها در شرایط یکسان از روسازه‌های آسفالتی کمتر است، که این تفاوت با افزایش ترافیک و یا طول مسیر اضافه شده در اثر بستن تونل به منظور فعالیت‌های ترمیمی افزایش بیشتری می‌یابد.

۲- هزینه‌های کاربر با شدت ترافیک و طول مسیر انحرافی رابطه مستقیم دارد، به طوریکه با افزایش این

• به علت سنگین بودن ترافیک اکثر تونل‌های کشور، از لحاظ فنی و مسائل ایمنی، استفاده از روسازه بتنی به دلیل طول عمر بیشتر، مقاومت بهتر در برابر شرایط جوی و محیطی و در نهایت استحکام و دوام بیشتر در برابر بارهای زیاد و سنگین به جای روسازه آسفالتی توصیه می‌شود. از بین روسازه‌های بتنی نیز به ترتیب اولویت روسازه‌های مسلح پیوسته، مسلح درزدار و ساده درزدار به دلیل نیاز کمتر به ترمیم و نگهداری و آسایش بیشتر هنگام حرکت بر روی آنها، پیشنهاد می‌شوند.

• از لحاظ اقتصادی در هر مورد با توجه به شرایط موجود در تونل مورد نظر باید به نمودار مربوطه مراجعه کرده و مقایسه طرح‌ها را بر اساس آن انجام داد. ولی به طور کلی در تونل‌های دارای مسیر انحرافی طولانی و ترافیک سنگین به ترتیب روسازه‌های بتنی مسلح پیوسته (CRCP)، بتنی مسلح درزدار (JRCP)، بتنی غیر مسلح درزدار (JPCP)، و انعطاف‌پذیر (آسفالتی) متداول (CFP) و همچنین برای ترافیک متوسط به ترتیب روسازه‌های بتنی غیر مسلح درزدار (JPCP)، بتنی مسلح درزدار (JRCP) و انعطاف‌پذیر (آسفالتی) متداول (CFP) توصیه می‌شوند.

۴- هر چه طول مسیر انحرافی و یا شدت ترافیک افزایش یابد، هزینه در طول عمر روسازه‌هایی که نیاز به ترمیم و نگهداری بیشتری دارند، افزایش می‌یابد.

۵- در صورتیکه هزینه‌های استفاده‌کنندگان از راه در انتخاب طرح مهم نباشد، هزینه‌های ساخت و اجرای اولیه اهمیت می‌یابند.

۶- هرچه نرخ تنزیل سرمایه کمتر باشد، روسازه‌هایی که هزینه ساخت اولیه بیشتر و ترمیم و نگهداری کمتر دارند، توجیه اقتصادی بیشتری می‌یابند.

۷- هزینه حمل مصالح تأثیر چشمگیری در هزینه ساخت روسازه‌ها دارد. از این رو در انتخاب نوع روسازه‌ها باید به نزدیکی منابع، معادن و کارخانه‌های تولید مصالح مورد نیاز توجه کرد. به عنوان مثال احداث کارخانه آسفالت برای پروژه‌هایی با حجم عملیات کم مثل تونل‌ها از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست. در نتیجه به حمل آسفالت نیاز است که باید تأثیر این هزینه حمل در برآوردها مورد توجه ویژه‌ای قرار گیرد.

با توجه به مطالب بالا به طور کلی از لحاظ فنی و اقتصادی می‌توان نتایج زیر را بیان کرد:

مراجع

- ۱- معتمدی، ح. "تحلیل فنی و اقتصادی روسازی مناسب در تونلها." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۳).
- ۲- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. "آیین‌نامه روسازی آسفالتی راههای ایران." نشریه شماره ۲۳۴، چاپ اول، (۱۳۸۱).
- 3 - AASHTO, (2000) "Guide for Design of Pavement Structures." *Part II, Rigid Pavement Design, American Associated of state Highway and Transportation Officials.*
- ۴- اسکونژاد، م. "اقتصاد مهندسی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۷۱).
- 5 - Helbech, H. (1998). "A Comparison of Life Cycle Cost of Asphalt and Concrete Pavements by Computer Modeling." *8th International Symposium on Concrete Roads, Theme 3, Portugal, Lisbon, PP. 274-282.*
- 6 - Jasienski, A. (2003). "Continuously Reinforced Concrete Pavement in a Tunnel." *9th International Symposium on Concrete Roads, Theme 3, PP. 43-51.*
- 7 - Huastig, A. (1998). "Whole Life Costing." *8th International Symposium on Concrete Roads, Theme 3, Portugal, Lisbon, PP. 247-252.*
- ۸- آیتی، ا. "هزینه تصادفات ترافیکی ایران"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، (۱۳۸۱).
- ۹- حسنی، ابوالفضل. "بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی روبه‌های بتنی و آسفالتی"، پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری، (۱۳۸۳).

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Whole Life Cost	2 - Net Present Cost	3 - Salvage Value
4 - Discount Rate	5 - Wage Rate	6 - Henry Perkins