Archive of SID

مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس
شمارهٔ ۳۶، تابستان ۱۳۸۸
«ویژه‌نامهٔ مهندسی عمران»

**«یادداشت تحقیقاتی»**

# تأثیر افزایش سرعت ناشی از بهسازی راههای برون‌شهری بر سودها و هزینه‌های اقتصادی

**اسماعیل آیتی[۱*]، حمیدرضا بهنود[۲]**

۱- استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

***مشهد، صندوق پستی ۱۱۱۱- ۹۱۷۷۵**

**esmaeel@ayati.co.uk**

(دریافت مقاله: آذر ۱۳۸۵، پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۶)

**چکیده-** پروژه‌های بهسازی راه در قالب دو دسته عملیات بهسازی رویه و بهسازی مشخصه‌های هندسی مسیر, آثاری قابل توجه را بر سبد سودها و هزینه‌های وابسته به کاربران راه بر جای می‌گذارد. یکی از مهمترین عوامل انتقال این آثار اقتصادی، افزایش سرعتی است که در پی بهبود کیفیت تردد، به‌طور متوسط برای وسایل نقلیه ایجاد می‌شود. افزایش سرعت متوسط وسایل نقلیه، اثری چندبُعدی است و می‌تواند در محیط ارزیابی آثار اقتصادی، دیدگاه‌های متفاوتی را برانگیزد. مهمترین بخش آثار اقتصادی مزبور را می‌توان در چارچوب آثار مستقیم کاربران که سه عنصر مربوط به سود و هزینه را در برمی‌گیرد، بررسی کرد. این سه عنصر شامل اثر ایمنی، زمان سفر و هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه می‌شود. در مبحث ایمنی، به‌دنبال مقدار مشخصی از افزایش سرعت متوسط وسایل نقلیه، نوعی هزینه را که شامل افزایش تصادفات جاده‌ای می‌شود، می‌توان مشاهده کرد. از سوی دیگر، همین مقدار افزایش سرعت منجر به پیمایش سریع‌تر مسیر توسط وسایل نقلیه و در نتیجه ایجاد سود حاصل از کاهش زمان متوسط سفر می‌شود. در مبحث هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه، بدیهی است که به‌دنبال بهبود کیفیت سطح رویه راهها، بر اثر کاهش زبری و وارد شدن تنشهای کمتری بر لاستیک و بدنه وسایل نقلیه، هزینه‌های مزبور نیز کاهش می‌یابد. اما از طرفی افزایش سرعت ناشی از همین بهبود سطح رویه همراه با افزایش سرعت ناشی از اصلاح مشخصه‌های هندسی مسیر، می‌تواند به افزایش این نوع هزینه‌ها و به‌خصوص هزینه سوخت وسایل نقلیه منجر شود. بدین‌ترتیب، افزایش سرعت ناشی از بهسازی راهها می‌تواند طیف گسترده‌ای از سودها و هزینه‌ها را ایجاد کند که قرار دادن این عناصر سود و هزینه در روشهای ارزیابی اقتصادی به‌منظور تخصیص بهینه منابع در این‌گونه پروژه‌ها، اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، روابط محاسبه کمیتهای مربوط به سه دسته سود و هزینه مزبور ارائه شده است.

**کلید واژگان**: بهسازی، سرعت، سود و هزینه، ایمنی، زمان سفر، هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه.



www.SID.ir

Archive of SID



## ۱- مقدمه

در پروژه‌های بهسازی راه، در پی بهبود شرایط رویه راه و مشخصه‌های هندسی مسیر، افزایشی در سرعت متوسط وسایل نقلیه می‌توان مشاهده می‌شود. رانندگان معمولاً سرعت خود را بر اساس آشنایی و شناخت خود نسبت به منطقه پیش‌روی خود، نشانه‌های بصری موجود در محیط راه و میزان توجه به محدودیت سرعت اعلام شده انتخاب می‌کنند. پس از آنکه قطعه‌ای از راه روکش می‌شود، کیفیت عبور ارتقا یافته و اختلاف‌منظر ایجاد شده توسط علامت‌گذاری‌های روی روکش جدید بر روی سطح آسفالتی نرم وجود راه ایمن‌تری را در ذهن راننده القا می‌کند که به او جرأت می‌دهد تا با سرعت بیشتری حرکت کند. همچنین، کیفیت مطلوب‌تر مشخصه‌های هندسی پس از بهسازی مسیر، شرایط بهتری را برای عملکردهای ترافیکی، کاهش تداخل ترافیکی و انجام مانورهای حرکتی وسایل نقلیه فراهم می‌سازد که این نیز به‌نوبه خود می‌تواند به انتخاب سرعتهای بالاتر توسط رانندگان منجر شود. در این مقاله، ضمن بررسی و محاسبه مقدار افزایش سرعتهای مزبور، تأثیر این افزایش بر آثار اقتصادی وارد شده بر کاربران راه در قالب هزینه‌های تصادفات افزایش یافته، سود کاهش زمان سفر، و سود حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه ارزیابی می‌شود.

## ۲- مروری مطالعات گذشته

به‌دلیل گستردگی ابعاد اثر سرعت در سودها و هزینه‌های اقتصادی، در هر مبحث می‌توان طیفی از مطالعات و نتایج تحقیقاتی ارائه شده در گذشته را به‌کار برد. بدین‌دلیل، در این بخش در زمینه هر یک از مباحث مشروح در این مقاله، تحقیق به‌کار رفته برای تشکیل یا اصلاح روابط و مدلهای مربوط معرفی می‌شود.

در بخشی از گزارش NCHRP ٤٨٦[1] [۱] که در سال ۲۰۰۳ توسط TRB[2] ارائه شده، تأثیر بهبود کیفیت رویه در پروژه‌های روکشی بر افزایش سرعت متوسط وسایل نقلیه مطالعه شده است. همین گزارش با استفاده از نتایج به‌دست آمده توسط هاور، تری و گریفیت[3] [۲]، رابطه‌ای را برای محاسبه هزینه ناشی از تصادفات افزایش یافته در پی افزایش سرعتها ارائه کرده است. در گزارش مزبور همچنین سود حاصل از کاهش زمان سفر در پی افزایش سرعت ناشی از عملیات روکشی مسیر، به کمیّت معادل تبدیل شده است. در مقاله حاضر، با استفاده از معیارهای راهنمای گنجایش راهها (HCM[4]، ویرایش سال ۲۰۰۰) [۳] و گنجاندن تأثیر اصلاح مشخصه‌های هندسی بر افزایش سرعتها، مدل مزبور برای محاسبه سود حاصل از کاهش زمان، بازنگری شده است.

در مبحث محاسبه هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه، مطالعات گوناگونی در گذشته ارائه شده است که بیشتر آنان رابطه مستقیمی را بین این نوع هزینه‌ها و سرعت عملکردی وسایل نقلیه نشان می‌دهد. در میان این مطالعات می‌توان به گزارش TRRL ٢٢٦[5] در سال ١٩٦٨ [٤]، گزارش ٤٥٦ NCHRP در سال ۲۰۰۱ [۵] و مطالعه انجام شده توسط یانگ و اسکونفلد[6] [٦] در سال ۱۹۹۹ اشاره کرد.

## ۳- فرضیات و اهداف

در زمینه ارزیابی آثار اقتصادی برخاسته از اجرای پروژه‌های نگهداری راه، بدون شک جامعترین مدل ارائه شده، مدل HDM-٤[7] و مدلهای مشابه، نظیر مدل RED[8] برای راههای کم تردد روستایی است که پیش از این توسط بانک جهانی ارائه شده [۷، ۸]. در این‌گونه مدلها، با بهره‌گیری از روشهای

1. National Cooperative Highway Research Program

2. Hauer, Terry and Griffith
3. Transportation Research Board
4. Highway Capacity Manual
5. Transportation and Road Research Laboratory
6. Jong and Schonfeld
7 . Highway Development and Management
8. Roads Economic Decision Model



www.SID.ir

Archive of SID



ارزیابی و تحلیل اقتصادی – نظیر روش مازاد مصرف‌کننده[1] و تحلیل منفعت – هزینه[2]– فرایندهای مربوط به شرایط و هزینه‌های وارد شده در طول زمان و برای راهبردهای گوناگون نگهداری توسط کاربر شبیه‌سازی می‌شود. اما آنچه در این مطالعه، بررسی می‌شود، ارائه رویکردی کلی‌نگر در قالب فعالیتهای سبک و کم‌هزینه برای بهسازی راه‌های آسفالته است. بدین‌ترتیب، با در پیش گرفتن دو دسته محدودیت به شرح زیر در فعالیتهای بهسازی، مدلهایی بسیار ساده‌تر و ارزان‌تر برای کاربرد در تحلیلهای اقتصادی در اختیار تصمیم‌گیران و مدیران نگهداری راهها قرار می‌گیرد:

۱– در این تحقیق، فقط آن دسته از عملیات بهسازی راه که فعالیتهای سبک و کم‌هزینه اصلاح رویه و مشخصه‌های هندسی مسیر را شامل می‌شود، موردنظر است. این‌گونه پروژه‌ها که در مطالعات اخیر با عنوان پروژه‌های روکشی، بازیابی و بازسازی (3R)[3] نامیده می‌شود [۱، ۹، ۱۰]، فعالیتهای بزرگی نظیر بازسازی کامل سازه روسازی، افزودن خطوط تردد، تعبیه دوربرگردان و احداث تقاطعهای هم‌سطح را در برنمی‌گیرد.

۲–افزایش سرعتی که در این مقاله به‌دنبال بهبود کیفیت رویه مورد استناد قرار گرفته، فقط برای روکش کردن راههای آسفالته براورد شده و تقویت و آسفالت کردن راههای شنی و خاکی را شامل نمی‌شود.

## ٤– محاسبه مقدار افزایش سرعت

در این مطالعه، افزایش سرعت وسایل نقلیه بر اثر بهسازی راهها، در چارچوب دو دسته عملیات روکشی راه و بهسازی سطح رویه و عملیات بهسازی مشخصه‌های هندسی مسیر بررسی می‌شود. پروژه بهسازی راه می‌تواند در طیفی از فعالیتهای ساده روکشی آسفالت تا ترکیبی از تمامی فعالیتهای ارتقای کیفیت تردد شامل روکشی و اصلاح انواع مشخصه‌های هندسی نظیر تعریض خطوط تردد و شانه‌ها و اصلاح کنارهای راه قرار گیرد.

### ٤–۱– افزایش سرعت بر اثر اجرای روکشی راه

در کنار فعالیتهای منجر به گزارش NCHRP٤٨٦ [۱]، تلاشهایی در راستای جمع‌آوری و تحلیل مجموعه‌ای از دادها به‌منظور بررسی تأثیر روکش شدن آسفالت بر افزایش سرعت حرکت متوسط وسایل نقلیه انجام شود. این مطالعه با جمع‌آوری داده‌های سرعت برای قبل و بعد از عملیات روکشی مسیر در ۳۹ محل واقع در راههای دوخطه برون‌شهری انجام شد. در هر یک از این ۳۹ محل، داده‌های سرعت نقطه‌ای در موقعیتهای هموار، مستقیم و به اندازه کافی دور از تقاطعها و مسیرهای فرعی برداشت شد. مرحله اول برداشت این داده‌ها در دو ماه پیش از روکش کردن سطح راه و مرحله بعد در ۲ تا ٤ ماه پس از آن انجام شد.

مقایسه نتایج به‌دست آمده از این مطالعات سرعت برای محلهای منفرد نشان داد که تفاوت بین سرعتهای قبل و بعد از روکشی مسیرها از ۷ مایل بر ساعت افزایش، تا ٤ مایل بر ساعت کاهش، تغییر می‌کرد که میانگینی معادل ۱ مایل بر ساعت افزایش را نشان می‌داد. در تحقیق حاضر، از همین نتیجه برای منظور کردن تأثیر روکشی مسیر بر افزایش سرعت وسایل نقلیه (معادل ۱/٦ کیلومتر بر ساعت) استفاده شده است.

### ٤–۲– افزایش سرعت ناشی از اصلاح مشخصه‌های هندسی مسیر

در ادامه مبحث حاضر، محاسبه مقدار افزایش سرعت ناشی از اصلاحات هندسی بر اساس روابط و خط مشی‌های ارائه شده در راهنمای ظرفیت راه HCM (ویرایش سال ۲۰۰۰) [۳] ارائه می‌شود.

1. Consumer Surplus Approach
2. Cost-Benefit Analysis
3. Resurfacing, Restoration and Rehabilitation Projects



www.SID.ir

Archive of SID



در این راهنما، سرعت جریان آزاد برای مسیری مشخص در راه دو یا چندخطه با استفاده از مقادیر تطبیقی منسوب به مشخصاتی از راه مانند عرض خط و شانه، وضعیت کنارها، وجود میانه و تعدد نقاط دسترسی جانبی راه تعیین می‌شود. اکنون می‌توان تغییرات سرعت پروژه اصلاحی را به تغییرات هندسی به‌کار رفته در آن پروژه نسبت داد. در اینجا باید توجه داشت که در راهنمای HCM فقط سرعت جریان آزاد را از طریق به‌کارگیری پارامترهای هندسی می‌توان به‌دست آورد. اما با توجه به حجم نسبتاً کم (ADT کمتر از ۵۰۰۰ وسیله نقلیه در روز) و وجود شرایط جریان آزاد در اغلب راههای برون‌شهری، اختلاف سرعت متوسط وسایل نقلیه را برابر با اختلاف سرعت جریان آزاد آنها می‌توان درنظر گرفت. در راهنمای HCM برای تعیین سرعت جریان آزاد در راههای دوخطه و چندخطه از دو رابطه جداگانه استفاده شد که در ادامه آورده شده است:

راههای دوخطه : $FFS = BFFS - f_{Ls} - f_A$ (۱)

راههای چندخطه : $FFS = BFFS - f_{Lw} - f_{Lc} - f_M - f_A$ (۲)

در این روابط:

BFFS= سرعت جریان آزاد پایه،

$f_{Ls}$= مقدار تطبیقی برای عرض خط و عرض شانه در راههای دوخطه (جدول۱)،

$f_A$= مقدار تطبیقی برای نقاط دسترسی در راه (جدول۲)،

$f_{Lw}$= مقدار تطبیقی برای عرض خط در راههای چندخطه (جدول۳)،

$f_{Lc}$= مقدار تطبیقی برای وضوح دید جانبی کنار راه (جدول٤)،

$f_M$= مقدار تطبیقی برای نوع میانه (جدول۵).

**جدول ۱** مقادیر تطبیقی $f_{Ls}$ برای عرض خط و شانه در راههای دوخطه (کاهش در FFS) بر حسب کیلومتر بر ساعت [۳]

| عرض خط (m) | عرض شانه (m) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ≥۰/۰<۰/٦ | ≥۰/٦<۱/۲ | ≥۱/۲<۱/۸ | ≥۱/۸ |
| ۲۷<۳/۰ | ۱۰/۳ | ۷/۷ | ۵/٦ | ۳/۵ |
| ≥۳/۰<۳/۳ | ۸/۵ | ۵/۹ | ۳/۸ | ۱/۷ |
| ≥۳/۳<۳/٦ | ۷/۵ | ٤/۹ | ۲/۸ | ۰/۷ |
| ≥۳/٦ | ٦/۸ | ٤/۲ | ۲/۱ | ۰/۰ |

**جدول ۲** مقادیر تطبیقی $f_A$ برای تراکم نقاط دسترسی بر حسب کیلومتر بر ساعت [۳]

| تعداد نقاط دسترسی در هر کیلومتر | کاهش در FFS |
|---|---|
| ۰ | ۰/۰ |
| ٦ | ٤/۰ |
| ۱۲ | ۸/۰ |
| ۱۸ | ۱۲/۰ |
| ۲٤ و بیشتر | ۱٦/۰ |

**جدول ۳** مقادیر تطبیقی $f_{Lw}$ برای عرض خط در راههای چندخطه بر حسب کیلومتر بر ساعت [۳]

| عرض خط (m) | کاهش در FFS |
|---|---|
| ۳/٦ | ۰/۰ |
| ۳/۵ | ۱/۰ |
| ۳/٤ | ۲/۱ |
| ۳/۳ | ۳/۱ |
| ۳/۲ | ۵/٦ |
| ۳/۱ | ۸/۱ |
| ۳/۰ | ۱۰/٦ |



www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ٤** مقادیر تطبیقی $f_{Lc}$ برای وضوح دید جانبی کنارهای راه بر حسب کیلومتر بر ساعت [۳]

| راههای چهارخطه | | راههای شش خطه | |
|---|---|---|---|
| دید جانبی (m) | کاهش در FFS | دید جانبی (m) | کاهش در FFS |
| ۳/٦ | ۰/۰ | ۳/٦ | ۰/۰ |
| ۳/۰ | ۰/٦ | ۳/۰ | ۰/٦ |
| ۲/٤ | ۱/٥ | ۲/٤ | ۱/٥ |
| ۱/۸ | ۲/۱ | ۱/۸ | ۲/۱ |
| ۱/۲ | ۳/۰ | ۱/۲ | ۲/۷ |
| ۰/٦ | ٥/۸ | ۰/٦ | ٤/٥ |
| ۰/۰ | ۸/۷ | ۰/۰ | ٦/۳ |

**جدول ٥** مقادیر تطبیقی $f_M$ برای نوع میانه بر حسب کیلومتر بر ساعت [۳]

| نوع میانه | کاهش در FFS |
|---|---|
| راههای جدا نشده | ۲/٦ |
| راههای جدا شده | ۰/۰ |

اکنون با توجه به برابری تغییر سرعت متوسط با تغییر سرعت جریان آزاد، داریم:

$$\Delta S_g = \Delta FFS = FFS_2 - FFS_1 \qquad (3)$$

برای راههای دوخطه:

$$\Delta S_g = (BFFS - f_{Ls,2} - f_{A,2}) - (BFFS - f_{Ls,1} - f_{A,1}) = (f_{Ls,1} - f_{Ls,2}) + (f_{A,1} - f_{A,2}) \qquad (4)$$

و برای راههای چندخطه:

(۵)

$$\Delta S_g = (BFFS - f_{Lw,2} - f_{Lc,2} - f_{M,2} - f_{A,2}) - (BFFS - f_{Lw,1} - f_{Lc,1} - f_{M,1} - f_{A,1}) = (f_{Lw,1} - f_{Lw,2}) + (f_{Lc,1} - f_{Lc,2}) + (f_{M,1} - f_{M,2}) + (f_{A,1} - f_{A,2})$$

### ٤-۳- مقدار کل افزایش سرعت

مقدار افزایش کل سرعت وسایل نقلیه با توجه به نتایج بر گرفته از مطالعات گذشته و رویکردهای مورد اشاره در این تحقیق از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\Delta S = \Delta S_r + \Delta S_g \qquad (6)$$

$\Delta S$ = مقدار کل افزایش سرعت،

$\Delta S_r$ = مقدار افزایش سرعت ناشی از روکشی راه (=۱/٦ کیلومتر بر ساعت)،

$\Delta S_g$ = مقدار افزایش سرعت ناشی از اصلاح مشخصه‌های هندسی با استفاده از روابط (٤) و (٥).

## ٥- تأثیر افزایش سرعت بر سود حاصل از کاهش زمان سفر

زمان سفر یکی از مهمترین هزینه‌های حمل و نقل است و در بعضی مواقع صرفه‌جویی در زمان، بزرگترین سود اصلاحات ترافیکی راهها را در برمی‌گیرد. در اندازه‌گیری ارزش کل زمان صرفه‌جویی شده (یا تلف شده) همواره با دو کمیت عمده روبه‌رو هستیم:

۱) محاسبه ارزش کمی هر ساعت از زمان سفر،

۲) اندازه‌گیری کل زمانهای صرفه‌جویی شده (یا تلف شده) بر اثر عوامل تغییردهنده زمان سفر.

در ادامه با توجه به دو کمیت مهم فوق و همچنین شرایط موجود در ایران، روشهای محاسبه و اندازه‌گیری مقادیر کمی این دو پارامتر بررسی می‌شود.

### ٥-۱- محاسبه ارزش کمّی یک ساعت زمان سفر

در هر جابه‌جایی مشخص، عوامل متعددی بر ارزش زمان سفر تأثیر می‌گذارد که برخی از آنها عبارت است از نوع و هدف سفر، ترجیحات مسافر، شرایط سفر و مشخصات وسیله نقلیه. با افزایش سطح دستمزدها، ارزش زمان سفر نیز بیشتر می‌شود و برای کودکان و افراد بازنشسته یا بیکار، این ارزش کاهش می‌یابد [۱۱]. بدین‌ترتیب، ارزش زمان را می‌توان به‌صورت نسبتی از دستمزد متوسط نشان داد.



www.SID.ir

Archive of SID



سابرمن [۱۲] در این زمینه می‌گوید: بر طبق تعریف، میانگین درامدها در مناطق در حال توسعه کمتر از درامد مناطق دارای اقتصاد توسعه یافته است، ازاین‌رو ارزش متوسط منسوب به صرفه‌جویی زمان کاربران نیز باید کمتر باشد. در مقاله حاضر، ارزش یک ساعت زمان سفر بر اساس درامدهای سالیانه خانوار در ایران (در سال مبنای ۱۳۸۳) مطالعه می‌شود. در این روش که برای تعیین زمان تلف شده بر اثر تصادفات جاده‌ای نیز به‌کار رفته است [۱۳]، ارزش یک ساعت زمان سفر به‌صورت درصدی از دستمزد ساعتی افراد و بر اساس ماهیت سفر افراد سنجیده می‌شود. یکی از تحقیقات بانک جهانی [۱۳، ۱٤] در مورد زمان صرفه‌جویی شده یا ازدست رفته و ارزش آن، همانطورکه در جدول ٦ نشان داده شده، نشانگر به‌کارگیری دو مقدار مختلف برای ارزش واحد زمان در مورد کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه است.

**جدول ٦** تخمین بانک جهانی برای ارزش زمان در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه [۱۳]

| ماهیت سفر | درصد دستمزد متوسط در ساعت | |
|---|---|---|
| | توسعه‌یافته | در حال توسعه |
| کار به کار | ۵۰ – ۱۰۰ | ۵۰ |
| خانه به کار | ۲۵ – ۵۰ | ۲۵ |
| تفریحی | ۰ – ۲۵ | صفر |

حال با فرض اینکه ۵۵٪ از مسافرتهای روی جاده را مسافرتهای کاری، ۳۵٪ از منزل به محل کار و بعکس و ۱۰٪ را تفریحی درنظر بگیریم، ضریب پیشنهادی بانک جهانی در مورد ایران برابر است با (با پذیرفتن ایران به‌عنوان کشوری در مرز توسعه یافتگی و حد واسط بین دو طبقه مزبور) [۱۳]:

(٪۵۵×۰/۷۵)+(٪۳۵×۰/۳۷۵)+(٪۱۰×۰/۱۲۵)=۰/۵۵٦

همچنین با استفاده از اطلاعات برگرفته از مرکز آمار ایران [۱۵]، درامدهای پولی و غیرپولی خانوارهای شهری و روستایی ایران به شرح جدول ۷ و بر طبق سرشماری اداره آمار اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران [۱٦]، تعداد افراد خانوار در سال ۱۳۸۳ برابر ٤/۱۳ نفر بوده است. بدین‌ترتیب، ارزش متوسط تقریبی یک ساعت زمان سفر برای هر نفر در این سال برابر است با:

$$TC = \frac{۳۷/۰۷٤ / ۸۵۳ \times ۰/۵۵٦}{۱۲(\text{months}) \times ۱۸۰(\text{hours}) \times ٤/۱۳(\text{persons})} = ۲۳۱۱$$

ریال بر ساعت

**جدول ۷** درامد خانوارهای شهری و روستایی در سال ۱۳۸۳ [۱٤]

| درآمدهای خانوار | | ۱۳۸۳ |
|---|---|---|
| شهری | درامدهای پولی | ۳٤٫۵۵۹٫۵۱۳ |
| شهری | درامدهای غیرپولی | ۱۲٫٦٦۷٫۹۷۲ |
| روستایی | درامدهای پولی | ۲٤٫٤۹۵٫٦۹۵ |
| روستایی | درامدهای غیرپولی | ۳٫۳۸۷٫۹٦۲ |
| درامد مؤثر در زمان سفر خانوار شهری* | | ریال۳٤۵۵۹۵۱۳+۰/۳×۱۲٦۷۷۹۷۲=۳۸۳۵۹٦۰۵ |
| درامد مؤثر در زمان سفر خانوار روستایی* | | ریال۲٤٤۹۵٦۹۵+۰/۳×۳۳۸۷۹٦۲=۲۵۵۱۲۰۸٤ |
| میانگین درامد مؤثر در زمان سفر** | | ریال۳۷۰۷٤۸۵۳=۰/۹×۳۸۳۹۵٦۰۵+۰/۱×۲۵۵۱۲۰۸٤ |

* در محاسبه ارزش یک ساعت زمان سفر، کل درامدهای پولی و فقط ۳۰٪ از درامدهای غیرپولی درنظر گرفته می‌شود.

** با توجه به اینکه خانواده‌های شهری بخش عمده‌ای از کاربران راهها را تشکیل می‌دهند، در تعیین درامد متوسط کاربران راه، ۹۰٪ خانواده‌های شهری و ۱۰٪ خانواده‌های روستایی منظور می‌شود.

## ۵-۲- اندازه‌گیری زمان صرفه‌جویی شده

به‌طورکلی، زمان صرفه‌جویی شده حاصل از هر گونه اصلاحات در مسیر را می‌توان از اختلاف بین زمان طی شده در قبل و بعد از اصلاحات به‌دست آورد، به‌طوری



www.SID.ir

Archive of SID



که اگر سرعت متوسط وسایل نقلیه در قبل و بعد از اصلاح به‌ترتیب برابر $S_1$ و $S_2$ و طول مسیر نیز برابر L باشد، زمان صرفه‌جویی شده برابر است با:

$$T_{saved} = \frac{L}{S_1} - \frac{L}{S_2} \qquad (۷)$$

$$S_2 = S_1 + \Delta S \qquad (۸)$$

در رابطه (۸) مقدار $\Delta S$ همان افزایش سرعت معرفی شده در رابطه (٦) است. در نتیجه با استفاده از رابطه (۷) کل زمان صرفه‌جویی شده برای هر نفر از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$T_{saved} = L(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2}) = L(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_1 + \Delta S_g + 1/6})$$

$$T_{saved} = \frac{L(\Delta S_g + 1/6)}{S_1(S_1 + \Delta S_g + 1/6)} \qquad (۹)$$

در این رابطه:

$T_{saved}$= زمان صرفه‌جویی شده (ساعت)،

L= طول مسیر راه (کیلومتر)،

$\Delta S_g$ = افزایش سرعت بر اثر اصلاحات هندسی (کیلومتر بر ساعت)،

$S_1$= سرعت متوسط اولیه (کیلومتر بر ساعت)،

۱/۶= افزایش سرعت بر اثر اصلاح رویه (کیلومتر بر ساعت).

### ۵-۳- محاسبه سود حاصل از کاهش زمان سفر

مدت زمان تأثیر افزایش سرعت معرفی شده در بخش ٤-۱ این مقاله برای اثر روکشی مسیر، بر طبق [۱] معادل ۳۰ ماه تعیین شده است. در تحقیق حاضر، مدت دوام تأثیر افزایش سرعت برای اصلاح مشخصه‌های هندسی مسیر نیز برابر همین دوره ۳۰ ماهه تعریف می‌شود. در نتیجه با توجه به ارزش ساعتی زمان سفر برای هر کاربر راه - که در بخش ۵-۱ به‌دست آمد - ارزش پولی کل هزینه‌های صرفه‌جویی شده در ۳۰ ماه (زمان تحت تأثیر پروژه اصلاحی) و برای تمامی وسایل نقلیه با تعداد سرنشین متوسط c در هر وسیله برابر است با:

$$TB_{pv} = \left[\frac{L \cdot \Delta S}{S_1 \cdot (S_1 + \Delta S)}\right] \times ADT \times ۳۶۵ \times TC \times c \times [(P/F,i,1) + (P/F,i,2) + \frac{1}{2}(P/F,i,3)] \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه:

$TB_{pv}$= ارزش فعلی منافع حاصل از کاهش زمان سفر (ریال)،

$S_1$= سرعت متوسط فعلی وسایل نقلیه (کیلومتر بر ساعت)،

L= طول پروژه (کیلومتر)،

$\Delta S$ = مجموع افزایش سرعت ناشی از روکشی (۱/٦ کیلومتر بر ساعت) و اصلاح هندسی ( $\Delta S_g$ ) راه (کیلومتر بر ساعت)،

ADT= تردد متوسط روزانه (وسیله در روز)،

TC= ارزش یک ساعت زمان سفر صرفه‌جویی شده برای سرنشینان وسایل نقلیه (= ۲۳۱۱ ریال بر ساعت)،

c= تعداد متوسط سرنشینان وسایل‌نقلیه،

(P/F, i, ۱)= ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال اول به ارزش فعلی،

(P/F, i, ۲)= ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال دوم به ارزش فعلی،

(P/F, i, ۲) ۱/۲= ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان ۳۰ ماه به ارزش فعلی.

### ٦- تأثیر افزایش سرعت بر هزینه ناشی از افزایش تصادفات

در آن دسته از پروژه‌های بهسازی راه که فقط شامل روکشی و اصلاح سطح رویه آسفالت می‌شود، به‌دلیل فقدان تدابیر لازم برای بهبود وضعیت هندسی و ایمنی مشخصه‌های راه، در پی افزایش سرعت وسایل نقلیه، افزایشی را در تعداد تصادفات می‌توان مشاهده کرد. تحقیق انجام شده توسط هاور، تری و



www.SID.ir

Archive of SID



گریفیت [۲] نشان داده است که چنین اثری از روکشی بر ایمنی دوره‌ای نسبتاً کوتاهی دارد (۳۰ ماه برای تصادفات غیرتقاطعی و ۱۲ ماه برای تصادفات تقاطعی). بر طبق این تحقیق، مقدار به‌دست آمده برای اثر روکشی عبارت است از: افزایشی در تصادفات غیرتقاطعی به‌اندازه ۲۱ درصد در طی ۳۰ ماه اول پس از روکشی و افزایشی در تصادفات تقاطعی به‌اندازه ۳۵ درصد در طی ۱۲ ماه اول پس از روکشی. هرگاه اصلاحات هندسی همزمان با پروژه روکشی انجام شود، این زیان برابر صفر درنظرگرفته می‌شود. ارزش فعلی این زیان توسط معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$SC_{pv}=\left[\cdot/۲۱\sum_{s=۱}^{۳}N_{۱s}\cdot AC_s+\cdot/۳۵\sum_{s=۱}^{۳}N_{۲s}\cdot AC_s\right](P/F,i,۱) \quad (۱۱)$$
$$+(\cdot/۲۱\sum_{s=۱}^{۳}N_{۱s}\cdot AC_s)(P/F,i,۲)$$
$$+(\cdot/۱۰۵\sum_{s=۱}^{۳}N_{۱s}\cdot AC_s)(P/F,i,۳)$$

که در آن:

$SC_{pv}$= ارزش فعلی زیان ایمنی کوتاه‌مدت برای روکشی بدون انجام اصلاحات ایمنی،

$N_{۱s}$ و $N_{۲s}$= فراوانی تصادفات سالیانه مورد انتظار در سطوح شدت s به‌ترتیب برای موقعیتهای غیرتقاطعی و تقاطعی،

$AC_s$= هزینه هر تصادف در سطح شدت s (s=۱: فوتی، s=۲: جرحی و s=۳: خسارتی)،

(P/F ,i ,n) = ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال nاُم به ارزش فعلی.

## ۷- تأثیر افزایش سرعت بر هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه

یکی از منافع کاربران که بر اثر تغییر در شرایط راه و در پی آن افزایش سرعت وسایل نقلیه روی می‌دهد، کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه است. صرفه‌جویی در هزینه‌های کارکرد وسیله نقلیه (VOC) [1] از ارتقای شرایط راه و در نتیجه کاهش تنشهای وارد شده به وسایل نقلیه حاصل می‌شود.

### ۷-۱- بررسی مدلهای موجود

در بیشتر مطالعات گذشته، سرعت وسایل نقلیه به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر بر هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه و به‌خصوص مصرف سوخت آنها معرفی شده است. در یکی از مطالعات TRRL در سال ۱۹٦۸ [٤]، مصرف سوخت برای خودروی سواری معمولی از رابطه زیر براورد می‌شود:

$$C=٦/۱۱+\frac{۲۰۹}{V}+\cdot/\cdot\cdot\cdot٤V^{۲} \quad (۱۲)$$

که در آن C مصرف سوخت بر حسب لیتر در هر ۱۰۰ کیلومتر و V سرعت سواری متوسط بر حسب کیلومتر بر ساعت است. بر اساس این رابطه مشاهده می‌شود که در سرعتهای کمتر از ٦٤ کیلومتر بر ساعت، با افزایش سرعت وسیله، مصرف سوخت کاهش می‌یابد، اما در سرعتهای بالای ٦٤ کیلومتر بر ساعت، افزایش سرعت باعث زیاد شدت مصرف سوخت می‌شود. در گزارش NCHRP٤٥٦ [٥] مدلی ارائه شده که در آن هزینه‌های عملکرد وسایل نقلیه بر حسب سرعت متوسط وسایل داده شده است. در این مدل برای سرعتهای کمتر از ۵۰ مایل بر ساعت:

$$VOC=C+D/V_s \quad (۱۳)$$

که در آن C و D ثابتهای مربوط به نوع وسیله نقلیه، $V_s$ سرعت متوسط حرکت وسیله بر حسب مایل بر ساعت و VOC هزینه کارکرد وسیله بر حسب سنت بر مایل است. همچنین برای سرعتهای بالاتر از ۵۰ مایل بر ساعت:

$$VOC=a_{\cdot}+a_{۱}V_s+a_{۲}V_s^{۲} \quad (۱٤)$$

1. Vehicle Operating Costs



www.SID.ir

Archive of SID



که در این رابطه $a_0$، $a_1$ و $a_2$ ضرایب ثابت مربوط به نوع وسیله نقلیه است. برای مثال برای خودروهای متوسط داریم:

$$V_s < 50: VOC = 25/3 + 84/5 / V_s \quad (15)$$

$$V_s \geq 50: VOC = 29/7 - 0/051\ V_s + 0/00026\ V_s^2 \quad (16)$$

یانگ و اسکونفلد [۶] نیز در سال ۱۹۹۹ مدلی را ارائه کردند که هزینه‌های مصرف سوخت وسایل نقلیه را به‌صورت تابعی از سرعت حرکت وسایل نقلیه و شیب کلی راه تعیین می‌کند. در این مدل سرعت حرکت متوسط وسایل نقلیه به‌صورت تابعی از شرایط هندسی و ترافیکی قطعه راه مشخص تعریف می‌شود. شیب کلی راه، از تقسیم اختلاف ارتفاع دو نقطه انتهایی راه بر کل طول آن به‌دست می‌آید. مدل مزبور برای سواریهای متوسط، کامیونهای تک‌قطعه‌ای دومحوره و کامیونهای دیزلی 3-S2 به‌ترتیب زیر بیان شده است:

$$F_{MC}(G, V) = 171/3978 + 9/8565G - 2/5314\ V + 0/0219\ V^2 \quad (17)$$

$$F_{2A}(G, V) = 620/5076 + 30/9489G - 9/0353V + 0/061V^2 \quad (18)$$

$$F_{2S}(G, V) = 1198/906 + 70/226\ G - 14/4698V + 0/081V^2 \quad (19)$$

$F_{MC}(G, V)$= مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰۰ کیلومتر) برای سواری متوسط،

$F_{2A}(G, V)$= مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰۰ کیلومتر) برای کامیون تک‌قطعه‌ای دومحوره،

$F_{2S}(G, V)$= مصرف سوخت (لیتر بر ۱۰۰۰ کیلومتر) برای کامیون دیزلی 3-S2،

G= شیب کلی قطعه راه مورد نظر (درصد)،

V= سرعت حرکت وسایل نقلیه (کیلومتر بر ساعت)،

در این مدل، فقط هزینه‌های سوخت وسایل نقلیه قابل محاسبه است و سایر هزینه‌ها مانند فرسودگی لاستیک، مصرف روغن، مصرف قطعات یدکی و هزینه‌های تعمیری در آن گنجانده نشده است.

## ۷-۲- ارائه مدل مناسب بر حسب داده‌های موجود در ایران

در ایران سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه شامل هزینه‌های سوخت، روغن موتور، لاستیک و تعمیر و نگهداری را در نشریه ۲۹۶ این سازمان بررسی کرده است [۱۷]. در این نشریه، هزینه سوخت وسایل نقلیه در راههای برون شهری، هزینه مصرف روغن موتور، هزینه استهلاک لاستیک و هزینه تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه در هر ۱۰۰۰ کیلومتر مسافت در جدولهای جداگانه‌ای ارائه شده است. مجموع هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه نیز به‌دست آمده که در جدول ۸ آورده شده است.

**جدول ۸** هزینه کارکرد وسایل نقلیه در راههای برون شهری در سال ۱۳۷۸ (ریال در هر ۱۰۰۰ کیلومتر) [۱۷]

| PCI / سرعت کارکرد Km/h | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ | ۹۰ | ۱۰۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۶۰ | ۲۳۰۲۱۵ | ۲۰۴۴۹۷ | ۱۷۸۷۸۰ | ۱۳۰۵۳۹ | ۱۰۹۳۲۷ | ۱۰۱۶۲۹ | ۹۳۹۳۱ | ۸۶۲۳۲ | ۷۸۵۳۳ | ۷۰۸۰۳ |
| ۹۰ | ۲۹۹۸۹۱ | ۲۶۳۳۲۹ | ۲۳۰۷۳۱ | ۱۶۹۹۷۷ | ۱۴۳۰۱۰ | ۱۳۲۹۳۶ | ۱۲۲۸۶۱ | ۱۱۲۷۸۷ | ۱۰۲۷۱۲ | ۹۲۵۸۷ |
| ۱۲۰ | ۳۶۴۴۲۱ | ۳۲۴۶۲۴ | ۲۸۵۰۰۶ | ۲۱۱۶۰۲ | ۱۷۸۷۴۲ | ۱۶۶۱۵۲ | ۱۵۳۵۶۲ | ۱۴۰۹۷۳ | ۱۲۸۳۸۵ | ۱۱۵۷۲۷ |



www.SID.ir

Archive of SID



همان‌طور که مشاهده می‌شود، در جدول ۸ هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه بر حسب شاخص وضعیت روسازی PCI[1] و سرعت کارکرد وسایل نقلیه نشان داده شده است، به‌طوری که با زیاد شدن سرعت و کم شدن شاخص PCI، مقدار هزینه‌های کارکرد بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به توصیه‌های نشریه مزبور برای انواع بهسازی‌ها، حداقل حدود کیفی PCI برای انجام روکش تقویتی روسازیهای انعطاف‌پذیر به‌شرح جدول ۹ توصیه می‌شود.

**جدول ۹** حدود PCI پیشنهادی برای انجام روکش تقویتی [۱۷]

| نوع راه | حدود حداقل PCI برای انجام روکش | حدود PCI پیشنهادی در برنامه ۵ ساله طرح روکش |
|---|---|---|
| آزادراه | ۶۵-۶۰ | ۸۰-۶۰ |
| بزرگراه | ۶۰-۵۵ | ۷۵-۵۵ |
| راه اصلی | ۵۵-۵۰ | ۷۰-۵۰ |
| راه فرعی | ۵۰-۴۵ | ۶۵-۴۵ |
| راه روستایی | ۴۵-۴۰ | ۶۰-۴۰ |

بدین‌ترتیب با توجه به میانگین حدود حداقل PCI برای انجام روکش در بزرگراهها، راههای اصلی و راههای فرعی، مقدار PCI برای زمان قبل از انجام روکشی برابر ۵۲/۵ واحد محاسبه می‌شود. اکنون در صورتی‌که PCI پس از روکشی را حد واسط بین آستانه شرایط بسیار خوب و حد نهایی شرایط عالی یعنی بین ۷۰ تا ۱۰۰ درنظر بگیریم، میانگینی برابر ۸۵ =PCI به‌دست می‌آید که این مقدار را به شرایط پس از روکشی اختصاص می‌دهیم. در نهایت با مقادیر PCI برابر ۵۲/۵ و ۸۵ به‌ترتیب برای قبل و پس از فعالیت روکشی و با درونیابی خطی مقادیر جدول ۸ مقادیر هزینه کارکرد وسایل نقلیه بر حسب PCI و سرعت به شکل جدول ۱۰ خلاصه می‌شود.

**جدول ۱۰** هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه در شرایط قبل و پس از روکشی برای سرعتهای مختلف در سال ۱۳۷۸ (ریال در هر ۱۰۰۰ کیلومتر)

| PCI | قبل از روکش (۵۲/۵) | بعداز روکش (۸۵) |
|---|---|---|
| سرعت کارکرد (kmh) | | |
| ۶۰ | ۱۰۷۴۰۲/۵ | ۸۲۳۸۲/۵ |
| ۹۰ | ۱۴۰۴۹۱/۵ | ۱۰۷۷۴۹/۵ |
| ۱۲۰ | ۱۷۵۵۹۴/۵ | ۱۳۴۶۷۹ |

اکنون با استفاده از داده‌های جدول ۱۰ و با استفاده از درونیابی غیرخطی روابطی را برای تعیین هزینه‌های کارکرد در هر سرعتی بین ۶۰ تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت به‌دست می‌آوریم.

برای شرایط قبل از انجام روکش (PCI =۵۲/۵ ):

(۲۰)

$$VOC_{before}=۴۷۲۶۶/۵+۹۳۵/۱۳۳۳V_{before}+۱/۱۱۸۹V_{before}^{۲}$$

همچنین برای شرایط پس از روکش کردن (PCI=۸۵):

(۲۱)

$$VOC_{after}=۳۶۳۳۶/۰۲+۷۱۵/۳۵۸۳V_{after}+۰/۸۶۸۱\ \ V_{after}^{۲}$$

که در آن:

$V_{before}$ و $V_{after}$= سرعت سفر متوسط به‌ترتیب برای قبل و پس از انجام پروژه (کیلومتر بر ساعت).

$VOC_{before}$ و $VOC_{after}$= هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه در هر ۱۰۰۰ کیلومتر مسافت، به‌ترتیب برای شرایط قبل و پس از انجام پروژه (ریال).

در روابط فوق $V_{before}$ و $V_{after}$ به‌ترتیب سرعتهای متوسط حرکت وسایل نقلیه در قبل و پس از فعالیتهای بهسازی است

1. Pavement Condition Index



www.SID.ir

Archive of SID



که از نظر مقدار به‌ترتیب برابر همان مقادیر $S_1$ و $S_2$ معرفی شده در بند ٤ است. لازم است یادآوری شود که $S_2$ برابر $S_1$ به‌علاوه افزایش سرعت ناشی از اصلاح رویه و اصلاحات هندسی است که در بند ٤ به‌طور کامل بررسی شد.

اکنون با توجه به فرضیات قبلی در زمینهٔ تأثیر ۳۰ ماهه بهبود شرایط راه پس از انجام عملیات بهسازی، در اینجا نیز کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای همین مدت محاسبه می‌شود.

هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای هزینه‌های مصرف سوخت، مصرف روغن موتور، هزینه استهلاک لاستیک و هزینه تعمیر و نگهداری وسایل نقلیه در هر ۱۰۰۰ کیلومتر از مسافت راههای برون شهری در سال ۱۳۷۸ بیان شده است. در نتیجه در اینجا به اعمال تبدیل‌هایی برای محاسبه هزینه‌های کارکرد برای طول مسیر موردنظر و سال مبنا (۱۳۸۳) نیاز است. بدین دلیل مقدار سود حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه برای طول پروژه L (بر حسب کیلومتر) و با توجه به نرخ تورم سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ جدول ۱۱ [۱۸] در ۳۰ ماه دوره تأثیر بهسازی به شرح زیر خواهد بود:

**جدول ۱۱** نرخ تورم سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ به درصد (هر سال نسبت به سال قبل) [۱۸]

| سال | ۱۳۷۸ | ۱۳۷۹ | ۱۳۸۰ | ۱۳۸۱ | ۱۳۸۲ | ۱۳۸۳ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| نرخ تورم | ۲۰/۱ | ۱۲/٦ | ۱۱/٤ | ۱۵/۸ | ۱۵/٦ | ۱۵/۲ |

$$VOCB_{pv} = ADT \times ۳٦۵ \times (\frac{۱/۹۳}{۱۰۰۰}) \times (۰/۲۵۰۸ S_۱^۲ + ۲۱۹/۷۷ S_۱ - ۰/۸٦۸۱ \Delta S^۲ - ۷۱۵/۳۵۸۳ \Delta S - ۱/۷۳٦۲ \quad (۲۲)$$
$$S_۱ \times \Delta S + ۱۰۹۳۰/٤۸) \times [(P/F,i,۱) + (P/F,i,۲) + \frac{۱}{۲}(P/F,i,۳)]$$

در این رابطه:

$VOCB_{pv}$= ارزش فعلی کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه در طی ۳۰ ماه پس از بهسازی راه (ریال)،

ADT= ترافیک متوسط روانه (وسیله در روز)،

$S_۱$ = سرعت عملکردی متوسط وسایل نقلیه در قبل از بهسازی (کیلومتر بر ساعت)،

$\Delta S$ = افزایش سرعت وسایل نقلیه ناشی از تدابیر اصلاحی در پروژه بهسازی (کیلومتر بر ساعت)،

(P/F, i, ۱)= ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال اول به ارزش فعلی،

(P/F, i, ۲)= ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سال دوم به ارزش فعلی،

۱/۲(P/F, i, ۲) = ضریب تبدیل ارزش زمان کاهش یافته در پایان سی ماه به ارزش فعلی.

## ۸- بررسی نتایج حاصل از تغییرات افزایش سرعت

در انتهای این تحقیق، با فرض در اختیار داشتن داده‌های مشخصی از یک قطعه راه دوخطه به مسافت ۱۰ کیلومتر، تأثیر گزینه‌های بهسازی مختلف بر افزایش سرعت وسایل نقلیه و آثار اقتصادی مطرح شده در این تحقیق بررسی می‌شود. داده‌های مفروض به شرح زیر بیان می‌شود:

سرعت فعلی = $S_۱$ = ۸۰ کیلومتر بر ساعت، طول راه = L = ۱۰ کیلومتر، تردد روزانه = ADT = ۲۵۰۰ وسیله در روز، ارزش زمان = TC = ۲۳۱۱ ریال بر ساعت، تعداد متوسط سرنشینان وسایل نقلیه = c = ٤ نفر، نرخ تنزیل = i = ۷ درصد، (P/F, i, ۱) = ۰/۹۳، (P/F, i, ۲) = ۰/۸۷، (P/F, i, ۳) = ۰/۸۲،

**جدول ۱۲** مشخصات تعداد و شدت تصادفات

| سطح شدت تصادف | هزینه هر تصادف (ریال) | تعداد تصادف غیرتقاطعی | تعداد تصادف تقاطعی |
|---|---|---|---|
| فوتی | ۵/۲×۱۰$^۹$ | ۲ | ۰ |
| جرحی | ۲/۷×۱۰$^۸$ | ۷ | ۲ |
| خسارتی | ٤/٦×۱۰$^۷$ | ٦ | ۲ |

همچنین داده‌های مربوط به هر دسته از اصلاحات وابسته به هر گزینه همراه با پاسخهای به‌دست آمده از تأثیر افزایش سرعت منسوب به هر یک، بر آثار اقتصادی مزبور در جدول ۱۲ ارائه شده است.



www.SID.ir

Archive of SID



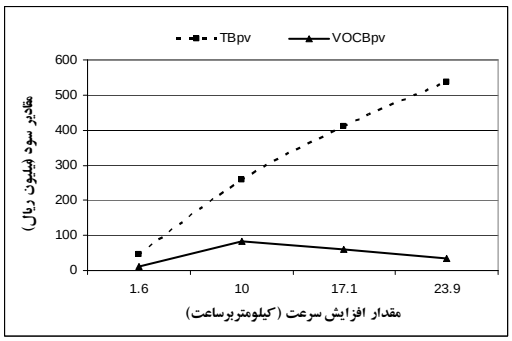
**جدول ۱۳** گزینه‌های بهسازی و تأثیر آنها بر افزایش سرعت و تغییرات سود و هزینه

| گزینه‌های بهسازی | عرض خط (m) | عرض شانه (m) | تراکم نقاط دسترسی | $\Delta S_g$ (km/h) | $\Delta S$ (km/h) | $TB_{pv}$ (میلیون ریال) | $SC_{pv}$ (میلیون ریال) | $VOCB_{pv}$ (میلیون ریال) | $NB_{pv}$ (میلیون ریال) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فقط روکشی | ۲/۵۸ | ۰/۳ | ۲۱ | ۰ | ۱/٦ | ٤٥/۷ | -٦۰۳۷/٦ | ۱۱۱/۹ | -٥۸۸۰/۰ |
| گزینه ۱ | ۳/۱٥ | ۰/۹ | ۱٥ | ۸/٤ | ۱۰ | ۲٥۸/۹ | - | ۸۳/٦ | ۳٤۲/٥ |
| گزینه ۲ | ۳/٤٥ | ۱/٥ | ۹ | ۱٥/٥ | ۱۷/۱ | ٤۱۰/٤ | - | ٥۹/٤ | ٤٦۹/۸ |
| گزینه ۳ | ۳/٦٥ | ۲/۱ | ۳ | ۲۲/۳ | ۲۳/۹ | ٥۳٦/۰ | - | ۳٥/۸ | ٥۷۱/۸ |

هم‌چنان‌که در جدول ۱۳ مشاهده می‌شود، به هر یک از گزینه‌های بهسازی موردنظر، مقدار مشخصی از افزایش سرعت تعلق می‌گیرد. اما آنچه اهمیت بیشتری دارد، تغییرات مقدار این افزایش به‌دنبال تغییر حجم فعالیتهای اصلاحی مشخصه‌های هندسی راه است. همچنین تغییرات به‌دست آمده در مقدار افزایش سرعت، به ارائه طیف متغیری از آثار اقتصادی مورد بررسی منجر شده است. به‌طوری که با ارتقای رویکردهای موردنظر در هر یک از گزینه‌ها، مقادیر افزایش سرعت سیری صعودی می‌یابد و به‌دنبال آن، آثار متفاوتی در روند تغییرات آثار اقتصادی منسوب به هر گزینه، به شرح زیر مشاهده می‌شود:

- با رشد مقدار افزایش سرعت، سود حاصل از کاهش زمان سفر افزایش می‌یابد (شکل ۱)،
- تنها در گزینه روکشی و فاقد اصلاحات هندسی مسیر هزینه بالای ناشی از افزایش تصادفات به‌دنبال افزایش سرعت مشاهده می‌شود،
- با ارتقای فعالیتهای بهسازی در حوزه اصلاح مشخصه‌های هندسی، افزایش سرعت منجر به سیر نزولی روند تغییرات سود حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه می‌شود (شکل ۱).

در انتها یادآوری می‌شود که محاسبات انجام شده در این بخش برای مقادیر مشخصی از داده‌های پیش‌فرض منسوب به قطعه راه دوخطه ارائه شده و با توجه به طیف گسترده رویکردهای گوناگون در اجرای فعالیتهای بهسازی راه، می‌توان پاسخهای پراکنده‌ای را که هر یک مختص یک گزینه بهسازی است، به‌دست آورد.




**شکل ۱** روند تغییرات سود برای مقادیر مختلف افزایش سرعت

با استفاده از چنین تحلیلهایی می‌توان انواع روشهای ارزیابی اقتصادی و به‌دنبال آن فرایندهای تخصیص بهینه منابع در پروژه‌های بهسازی راه را توسعه داد و دورنمای دقیق‌تری را از آینده اقتصادی و بازگشت سرمایه در این‌گونه پروژه‌ها ترسیم کرد. به‌عنوان نمونه کاملی از این‌گونه فعالیتها، روند تخصیص منابع را در پروژه‌های 3R [۱] می‌توان نام برد که به‌تازگی با بهره‌گیری از مباحث این مقاله به‌عنوان بخشی از اضافات پیشنهادی و



www.SID.ir

Archive of SID



همچنین با توجه به شرایط موجود در ایران مورد بازنگری و توسعه قرار گرفته است [۱۰].

## ۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از مطالعات گذشته و همچنین مباحث بنیادی ارائه شده در راهنمای گنجایش راه، تعیین مقدار کل افزایش سرعت بر اثر اجرای فعالیتهای سبک و نسبتاً کم هزینهٔ بهسازی راهها مطالعه شده است. با به‌دست آوردن رقم مربوط به این کمّیت، روابطی برای تعیین سودها و هزینه‌های اقتصادی قابل مشاهده در طی ۳۰ ماه پس از اتمام بهسازی راه ارائه شده است. این سودها و هزینه‌ها شامل آثار مستقیم وارد شده به کاربران راه می‌شود که عبارت است از: کاهش زمان سفر، افزایش تصادفات و تغییر هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه. در طی بررسی نمونه‌ای از محاسبات انجام شده با استفاده از روابط ارائه شده در این تحقیق، نتایج زیر به‌دست آمده است:

- با رشد مقدار افزایش سرعت، سود حاصل از کاهش زمان سفر افزایش می‌یابد،
- تنها در گزینه روکشی و فاقد اصلاحات هندسی مسیر، هزینه بالای ناشی از افزایش تصادفات بر اثر افزایش سرعت مشاهده می‌شود،
- با گسترش فعالیتهای بهسازی در حوزه اصلاح مشخصه‌های هندسی، افزایش سرعت، منجر به سیر نزولی روند تغییرات سود حاصل از کاهش هزینه‌های کارکرد وسایل نقلیه می‌شود.

این نتایج برای مقادیر مشخصی از داده‌های پیش‌فرض منسوب به یک قطعه راه دوخطه به‌دست آمده و با توجه به طیف گسترده رویکردهای گوناگون در اجرای فعالیت‌های بهسازی راه، می‌توان پاسخ‌های پراکنده‌ای را که هر یک، مختص یک گزینه بهسازی است، به دست آورد.

## ۱۰- منابع

[1] Harwood, D. W., Rabbani, E. R., Richard, K. R., McGee, H. W., Gittings, G. L., "Systemwide Impact of Safety and Traffic Operations Design Decisions for 3R Projects", NCHRP Report 486, Transportation Research Board, Washington D. C. 2003.

[2] Hauer, E., Terry, D., and Griffith, M. S., "Effect of Resurfacing on the Safety of Two-Lane Rural Roads in New York State", in Transportation Research Record 1467, Transportation Research Board, National Research Council, 1994.

[3] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, 2000.

[4] Everall, P. F., "The Effect of Road and Traffic Conditions on Fuel Consumption", TRRL Report LR 226, 1968.

[5] Forkenbrock, D. J., Weibrod, G. E., "Guidebook for Assessing the Social and Economic Effects of Transportation Projects", NCHRP Report 456, Transportation Research Board, 2001.

[6] Jong, J. C., Schonfeld, P., "Cost Functions for Optimizing Highway Alignments", Transportation Research Record 1659, 1999.



www.SID.ir

Archive of SID



[7] International Study of Highway Development & Management, "HDM-4 Product Information Brochure", the University of Birmingham, 2000.

[8] Archondo-Callao R., "The Roads Economic Decision Model (RED) for the Economic Evaluation of Low Volume Roads", Software User Guide & Case Studies, Version 3.2, Africa Region, The World Bank, July 2004.

[9] Special Report 214, "Designing Safer Roads, Practices for Resurfacing, Restoration and Rehabilitation", Transportation Research Board, National Research Council, Washington D. C. 1987.

[۱۰] بهنود، ح. ر.، «ارتقاء الگوریتم تخصیص بهینه منابع در پروژه‌های روکشی، بازسازی و بازیابی و ارتقاء نرم‌افزار RSRAP»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، شهریور ۱۳۸۵.

[11] Litman, T., "Transportation Cost Analysis: Techniques, Estimates and Implications", Victoria Transportation Policy Institute, June 2002.

[12] Howe, J. D. G. F., "The Value of Time Saving from Road Improvements: A Study in Kenya", RRL Report LR372, 1971.

[۱۳] آیتی اسماعیل، «هزینه تصادفات ترافیکی ایران»، انتشارات دانشگاه فردوسی، شماره ۳٤٥، چاپ دوم، پاییز ۱۳۸۱.

[14] Cengiz Yusef, N., IBRD Study, "A Survey of the Theories and Investigations of the Value of Travel Time Savings", Paper No. 199, 1975.

[۱٥] مرکز آمار ایران، «سالنامه آماری کشور»، ۱۳۸۳.

[۱٦] بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، «نتایج بررسی بودجه خانوار در مناطق شهری ایران»، مدیریت کل آمارهای اقتصادی، آذر ماه ۱۳۸۳.

[۱۷] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی جمهوری اسلامی ایران، «راهنمای بهسازی رویه‌های آسفالتی و شنی»، نشریه شماره ۲۹٦، ۱۳۸۳.

[۱۸] بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، «خلاصه تحولات اقتصادی کشور ۱۳۸۳»، اداره بررسیها و سیاستهای اقتصادی، تیرماه ۱۳۸٤.



www.SID.ir