

## ارائه مدل فنی - اقتصادی انتخاب قطار سریع بین شهری در ایران

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

صمد افکار، کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

E-Mail:saffar\_m@modares.ac.ir

### چکیده

در این مقاله، مدل فنی - اقتصادی برای انتخاب قطار سریع السیر بین شهری براساس شرایط و ویژگیهای کشور ایران ارائه شده است. مدل ارائه شده در این مقاله در شرایط متفاوت قابل استفاده است. در این مدل درآمدها و منافع آشکار و پنهان حمل و نقل ریلی سریع به صورت واقعی برآورد گردیده است. برای محاسبه درآمد مستقیم حمل و نقل ریلی سریع السیر، حجم مسافر به عنوان مهم ترین پارامتر در نظر گرفته شده و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه حجم ترافیک مسافری به کار گرفته شده است. متغیرهای در نظر گرفته شده برای محاسبه درآمد غیرمستقیم عبارتند از بهای واحد زمان، نرخ سوخت، سطوح سرویس، آلودگی و محیط زیست. درآمدهای غیرمستقیم، مستقیم و هزینه های این نوع سیستم با استفاده از روش ارزش خالص فعلی هموزن گردیدند تا قابل مقایسه باشند. برای تنظیم و ارزیابی مدل ارائه شده، مسیر تهران - اصفهان به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد.

کلید واژه‌ها: قطار سریع السیر، حمل و نقل بین شهری، مدل فنی - اقتصادی، انتخاب وسیله نقلیه

### ۱. مقدمه

حمل و نقل یکی از نیازهای اولیه انسان است که با توسعه اقتصادی و اجتماعی، دامنه بسیار گسترده‌ای یافته و امروزه یکی از مظاهر تمدن به شمار می‌رود. عقیده برخی بر این است که جهش اقتصادی کشورهای توسعه یافته، به دلیل اتخاذ روشهای صحیح حمل و نقل بوده است [۱]. یکی از مهم ترین عوامل زیربنایی برای توسعه هر کشور، وجود یک شبکه حمل و نقل کارا برای رفع نیازهای حمل و نقل آن کشور است [۲]. در گذشته، زمانی که برای اولین بار سیستم راه آهن مطرح شد، با استقبال بسیار زیادی همراه گردید. با ورود هواپیما و بزرگراهها، راه آهن، به تدریج جایگاه خود را از دست داد، اما با افزایش تراکم کریدورهای هوایی و بزرگراهها، کشورها به استفاده مجدد از راه آهن، برای استفاده از مزایای بسیار زیاد آن روی آوردند [۳].

### ۲. ضرورت و اهمیت انجام تحقیق

فناوری جدید سیستم‌های ریلی برای افزایش ضریب ایمنی، افزایش سرعت، جایگزین کردن انرژی برق به جای سوختهای فسیلی، کاهش حجم ترافیک خطوط و ... به کار گرفته می‌شود. استفاده از وسایل حمل و نقل سریع، ایمن و با صرفه اقتصادی، از جمله راه آهن سریع السیر، جهت پیشرفت برنامه‌های نوین حمل و نقل و دستیابی به اهداف آن، در آینده‌ای نزدیک ضروری و لازم است. بنابراین باید امکان استفاده و سطح استفاده از این وسیله، در ناوگان حمل و نقل کشور بررسی شود. اگر بتوان تا حد ممکن منافع و هزینه‌های واقعی این پروژه ریلی را به نقدبندی تبدیل کرد، آنگاه می‌توان با جمع‌بندی کلی این منافع و هزینه‌های واقعی و مقایسه آنها، بهترین گزینه را برای پروژه مورد نظر یافت.

در بخش نخست که به محاسبه درآمدها و عواید اختصاص دارد، درآمدهای مستقیم این پروژه، مورد بحث قرار می‌گیرند. همچنین عواید غیرمستقیم این گزینه حمل و نقل به صورت کمی، مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

#### ۴-۱- مطالعه درآمدها

در این بخش، به مطالعه موارد درآمدی پروژه پرداخته می‌شود. این موارد دربرگیرنده دو بخش عمده درآمدهای مستقیم و درآمدهای غیرمستقیم هستند [۵، ۶ و ۷]:

##### ۴-۱-۱-۱-۱ درآمد‌های مستقیم

مواردی که در این قسمت بررسی شده‌اند، مواردی هستند که باعث کسب مستقیم درآمد می‌شوند (شکل ۲).

##### ۴-۱-۱-۱-۲ درآمد ناشی از فروش بلیط

بی‌شک ملموس‌ترین درآمد پروژه، درآمد حاصل از فروش بلیط به مسافران است که برای محاسبه آن، دو پارامتر حجم مسافران (میزان تقاضا) و بهای بلیط، نقش تعیین‌کننده خواهند داشت. در این تحقیق، روش مورد استفاده در فرآیند تفکیک سفر، روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> (AHP) است که از خروجی آن در تابع انتخاب لوجیت استفاده شده است که شاید به نوعی یکی از تکنیک‌های جدید تفکیک سفر، به ویژه در رابطه با قطارهای سریع‌السیر باشد.

برای به دست آوردن حجم مسافران، با توجه به قیمت‌گذاری بلیط قطار سریع‌السیر در گذشته، این قیمت با توجه به نرخ تورم، به قیمت سال پایه تبدیل می‌گردد. این بها را باید یک مقدار اولیه برای یک معادله دو مجهولی دانست (چون بهای بلیط و حجم تقاضا با یکدیگر مرتبط هستند)، یعنی یک روند تکراری طی می‌شود تا به جوابهایی با خطای پایین برسیم.

##### الف) تعیین ساختار سلسله مراتبی

برای تعیین ساختار سلسله مراتبی، باید هدف از سلسله مراتب، معیارهای سلسله مراتب و گزینه‌های آن را تعیین نمود.

این هزینه‌ها و درآمدها، از دیدگاه یک سازمان دولتی و یک بنگاه اقتصادی خصوصی، کاملاً متفاوت خواهند بود.

### ۳. پیشینه پژوهش

در مورد قطارهای سریع، تنها مطالعه‌ای که در کشور صورت گرفته مربوط به مسیر تهران - اصفهان است.

- این مطالعه که در حقیقت توجیه فنی - اقتصادی اجرای این خط است توسط مهندسین مشاور ایمر انجام شده است.
- تحقیقی مشابه که مشترکاً توسط شرکت مترا و سیستم‌ترا انجام شده است، حاوی نکات زیر است:

- میزان تقاضا بر مبنای نسبت از کل برآورد شده و با درصدهای جذبی، از سایر روشهای حمل و نقل محاسبه گردیده است. در محاسبه این پارامترها هیچگونه توضیح مدلل یا مبنای آماری وجود ندارد.

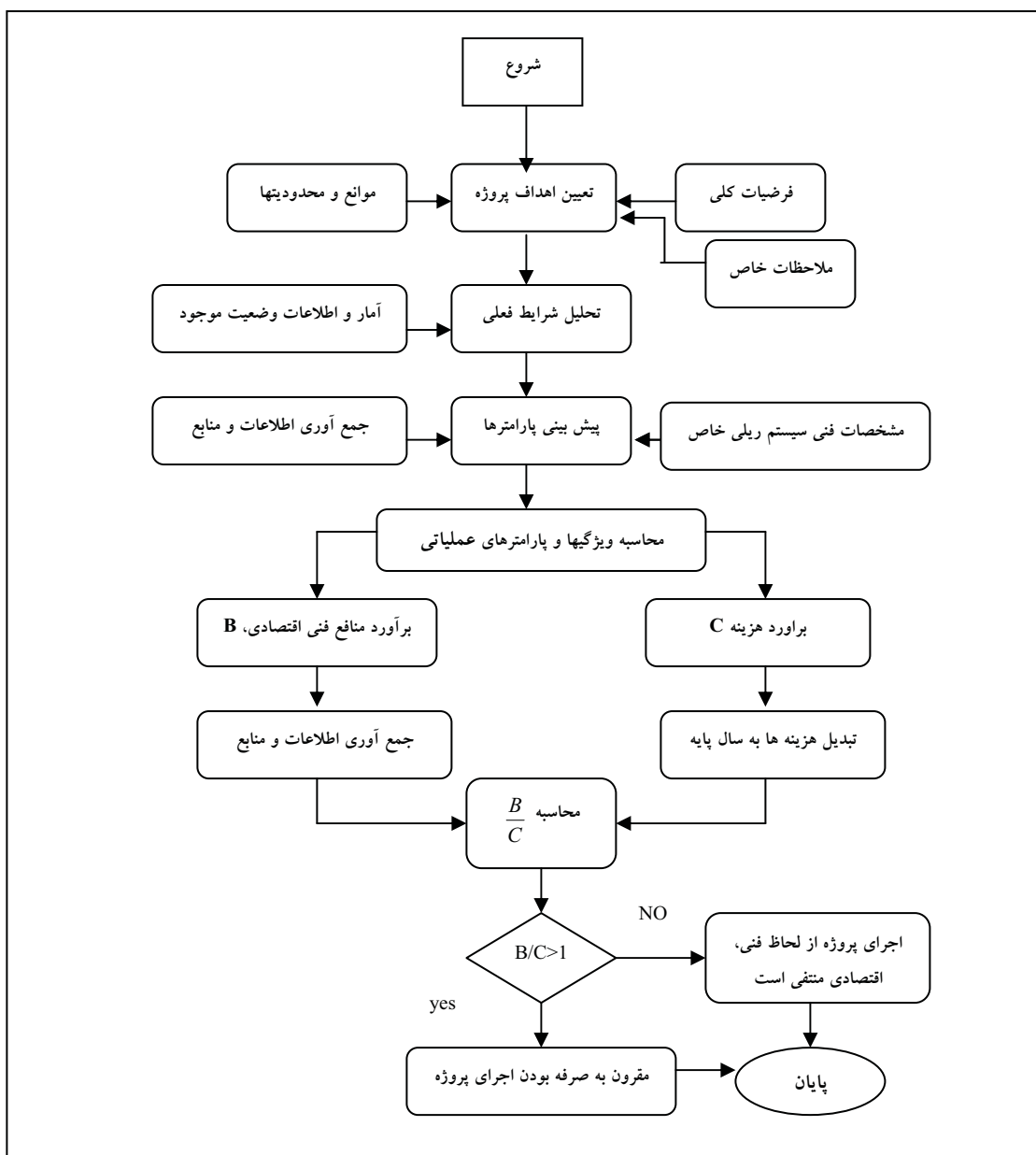
- در این مطالعات، به دو مسأله صرفه‌جویی در زمان و صرفه‌جویی ناشی از افزایش ایمنی توجه شده است، اما این موارد تنها به عنوان مزیت، به صورت ریالی مطرح شده‌اند و به علت نبودن ردیف بودجه‌ای برای این دو مورد، در گردش مالی پروژه منظور نشده‌اند؛ (در مقابل هر یک ساعت صرفه‌جویی در زمان مسافر، رقمی معادل یک سوم دستمزد ساعتی یک کارگر در نظر گرفته شده است).

### ۴. متدولوژی تحقیق

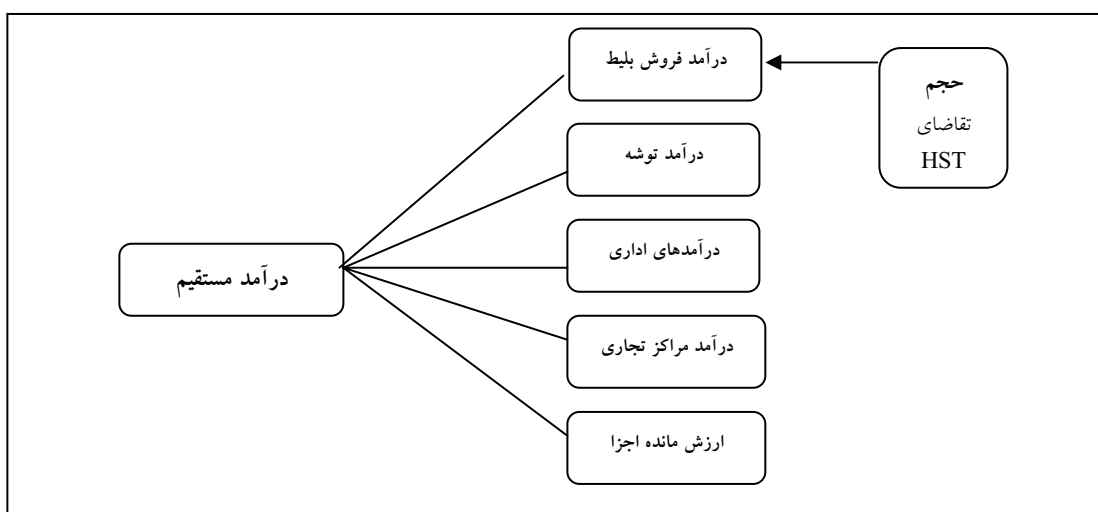
در این بخش، هزینه‌ها و فواید مهمی که احداث یک سیستم حمل و نقل ریلی سریع‌السیر برای جامعه به ارمغان می‌آورد، مورد بررسی و محاسبه ریالی قرار می‌گیرد و سپس به کمک روشهای اقتصاد مهندسی، این پروژه‌ها جهت اجرا ارزیابی می‌شوند. در این قسمت، روند مطالعه به دو بخش عمده تقسیم می‌گردد؛ بخش درآمدها و بخش هزینه‌ها (شکل ۱).

روند متعارف در مطالعه امکان‌سنجی پروژه‌های عمرانی، دربرگیرنده دو قسمت اصلی بررسی فواید (درآمدها) و هزینه‌ها است [۴].

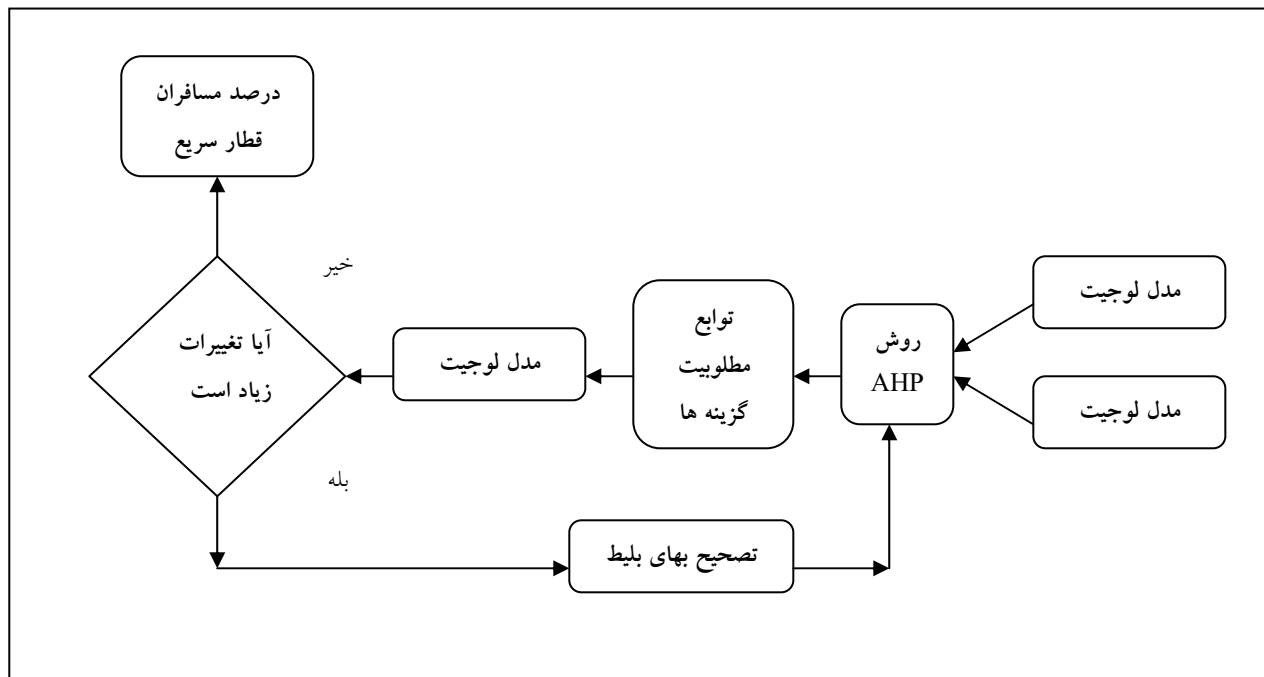
از این رو، در انجام این تحقیق نیز ساختار مورد نظر در بررسی مسائل اقتصادی دنبال می‌گردد و برای هر کدام از این موارد، معادل ریالی محاسبه می‌شود تا محاسبات درآمد و هزینه، واقعی‌تر گردد.



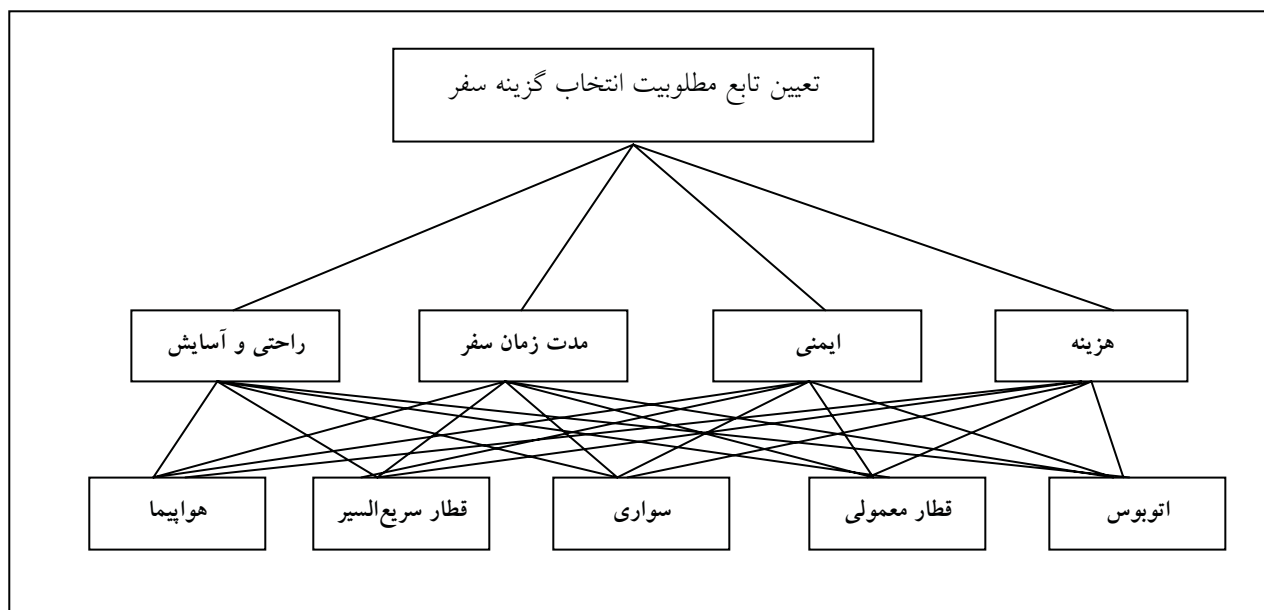
شکل ۱. متدولوژی تحقیق



شکل ۲. اجزای تشکیل دهنده درآمد مستقیم



شکل ۳. روند محاسبه بهای بلیط



شکل ۴. ساختار سلسله مراتبی سریع

### ب) انجام مقایسه‌های زوجی

سوی دیگر، برخی معیارها، معیارهای کیفی هستند و تعیین مقداری مشخص برای آنها غیرممکن است [۸]. به این منظور با استفاده از فرمهای نظرسنجی و تکمیل آن از سوی مسافران گزینه‌های مختلف (جاده‌ای، ریلی و هوایی)، اقدام به تعیین مقدار این پارامترها، با استفاده از روش مقایسه‌های زوجی بین سیستمهای مذکور شد.

در این قسمت می‌بایست با در نظر گرفتن معیارها و گزینه‌های مختلف، آنها را با یکدیگر مقایسه زوجی کرده و نتایج را برای استفاده در نرم افزار  $EC^2$ ، مورد استفاده قرار داد. برخی معیارها، به نظریات مسافران بستگی ندارند و مقادیری کمی هستند. از این رو می‌توان با استفاده از مقادیر واقعی آنها، اقدام به مقایسه‌های زوجی این معیار، بین سیستم‌های حمل و نقلی نمود. از

### ج) مدل لوجیت

مدل لوجیت بیشتر در گام سوم مطالعات چهارگانه حمل و نقل، یعنی تفکیک سفر کاربرد دارد. شکل این مدل به صورت زیر است [۹]:

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum_{i=1}^5 e^{U_i}} \quad (1)$$

$P_k$ : احتمال انتخاب گزینه  $k$  ام (درصد کاربران گزینه  $k$  ام)

$U_k$ : تابع مطلوبیت گزینه  $k$  ام

$U_i$ : تابع مطلوبیت گزینه  $i$  ام

### ه) مدل جابه جایی سفر

برای مدل جابه جایی سفر، از نتایج مطالعات انجام شده با عنوان «طرح جامع حمل و نقل کشور»، استفاده شده است [۱۰]. بنابراین برای درآمد فروش بلیط داریم:

(۲)

$$S_{TS} = \frac{P_{HST}}{100} \times (1.311 \times P_{des}^{0.557} \times P_{ori}^{0.509} \times d_{road}^{-1.284}) \times TP \times N_{WD}$$

که در آن:

$S_{TS}$ : درآمد حاصل از فروش بلیط

$P_{HST}$ : درصد مسافران قطار سریع السیر

$P_{des}$ : جمعیت مقصد

$P_{ori}$ : جمعیت مبدأ

$d_{road}$ : مسافت جاده‌ای بین دو نقطه

$TP$ : بهای بلیط

$N_{WD}$ : تعداد روزهای فعال سال

### ۴-۱-۱-۲ سایر درآمدهای مستقیم

این درآمدها بسته به نوع مسیر، حجم مسافران و ... متفاوت خواهند بود و عبارتند از؛ درآمد حاصل از فروش توشه مسافری، ارزش مانده پروژه (ارزش مانده اجزاء مختلف پروژه در انتهای طرح)، درآمد حاصل از مراکز تجاری متعلق به راه‌آهن و درآمدهای اداری.

### ۴-۱-۲ درآمدهای غیرمستقیم

این درآمدها، در واقع عوایدی هستند که بواسطه خصوصیات این روش حمل و نقل، کسب می‌شوند. درآمدهای غیرمستقیم، از وجوه اصلی تفاوت الگوهای "فنی- اقتصادی" و "اقتصادی" هستند.

### ۴-۱-۲-۱ صرفه جویی در زمان

زمان تنها سرمایه‌ای است که به صورت عادلانه در اختیار همه انسانها قرار دارد. با توجه به درآمد سالانه هر خانوار، ارزش یک ساعت سفر برای هر فرد به صورت زیر خواهد بود [۱۱]:

$$P_{IH} = \frac{S_f}{12 \times 180} \times f_t \times f_{ep} \quad (3)$$

که در آن:

$P_{IH}$ : ارزش ریالی یک ساعت سفر

$S_f$ : متوسط درآمد سالانه هر خانوار (مسافران)

$f_t$ : ضریب مربوط به هدف و نوع سفرها که با توجه هدف سفر

(کاری، یک سمت کاری و تفریحی) و ضرایب تصحیح ارزش

زمانی قابل محاسبه است.

$f_{ep}$ : ضریب مربوط به میزان اشتغال مسافران که بیانگر درصد

اختصاص درآمد است.

### ۴-۱-۲-۲ کاهش هزینه‌های تصادفات جاده‌ای

تصادفات ترافیکی از عوامل بسیار مهم مرگ و میر و صدمات شدید جانی و مالی هستند. برای انجام این محاسبات، نیاز به محاسبه دو کمیت داریم:

#### الف) جزئیات محاسبه میزان خسارات کنونی تصادفات جاده‌ای

اولین گام در محاسبه درآمد ناشی از صرفه جویی در تصادفات جاده‌ای، محاسبه میزان خسارات کنونی آن است. این هزینه‌ها به چند بخش تقسیم می‌شوند: هزینه تجهیزات و ماشین‌آلات صدمه دیده، هزینه جراحات، هزینه زمان تلف شده ناشی از تصادفات، هزینه‌های رسمی و اداری ناشی از تصادفات جاده‌ای و هزینه‌های پنهان آنها [۱۱].

#### ب) روند تغییرات تصادفات با تغییر ترافیک

با مشخص بودن هزینه کنونی تصادفات، لازم است برای محاسبه صرفه جویی ناشی از کاهش ترافیک، تابع تغییرات تصادفات نسبت به میزان تردد نیز محاسبه گردد. با استفاده از آمار این تابع هزینه تصادفات برحسب میزان تردد (نفر- کیلومتر)، برای این مسیر طبق رابطه ۴ محاسبه شده است [۱]

$$(Accident\ cost) = 10^{[-81.72 + 18.26 \times (\log kmp)]} \quad (4)$$

$$r = 0.9789$$

که در آن:

$kmp$ : میزان تردد برحسب نفر - کیلومتر.

$$S_{ED} = 6.65 \times d_{OD} \quad (5)$$

$d_{OD}$ : طول راه آهن جدیدالتأسیس (km)  
 $S_{ED}$ : درآمد حاصل از توسعه اقتصادی (میلیارد ریال)

#### ۲-۴ مطالعه هزینه‌ها

مطابق شکل ۷، هزینه‌های لازم برای استفاده از سیستم ریلی سریع‌السیر را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد؛ هزینه‌های طراحی و ساخت، هزینه‌های راه‌اندازی و بهره‌برداری [۶ و ۷].

#### ۳-۴ مقایسه هزینه‌ها و درآمدها و محاسبه بازدهی پروژه

با تعیین مقادیر مختلف هزینه‌ها و درآمدها، باید مقایسه‌ای بین این دو مقدار انجام شود. برای یکسان شدن این مقادیر، از روش ارزش خالص کنونی<sup>۴</sup> (NPV) استفاده شده‌است، به این ترتیب، بخشهای مختلف هزینه‌ها و درآمدها که به ارزش زمان سال شروع بهره‌برداری تبدیل شده‌اند، قابل مقایسه و تحلیل خواهند بود. برای همسنگ شدن مقادیر درآمدها و هزینه‌ها و محاسبه B/C (ضریب بازدهی پروژه)، می‌توان از رابطه ۶ استفاده کرد [۸] (پروژه‌های با  $\frac{B}{C}$  بزرگتر از ۱، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیرند) [۱۷]:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{k=0}^n B_k \left[ \frac{1}{(1+d)^k} \right]}{\sum_{k=0}^n C_k \left[ \frac{1}{(1+d)^k} \right]} \quad (6)$$

که در آن:

$C_0, B$ : ارزش خالص فعلی منافع و هزینه‌ها

$B_k, C_k$ : منافع و هزینه‌ها در سال  $k$  ام

$d$ : نرخ تنزیل

$n$ : دوره تحلیل (این دوره برای پروژه‌های ریلی، معمولاً ۳۰ سال است).

#### ۳-۲-۱-۴ صرفه‌جویی در هزینه‌های جاری خودروها

یکی از مهم‌ترین هزینه‌های کاربران جاده‌ها، هزینه استهلاک ناشی از بهره‌برداری از وسایل نقلیه شامل هزینه قطعات یدکی، هزینه لاستیک مصرفی، هزینه تعمیرات و هزینه سوخت و روغن مصرفی است. برای انجام این محاسبات، به دلیل نبود وجود یک مدل کالیبره شده برای کشور، از نتایج یک مطالعه که توسط TRL در مورد کشورهای در حال توسعه انجام شده استفاده گردیده است [۱۲ و ۱۳].

#### ۴-۲-۱-۴ کاهش استهلاک زمانی خودروها

استهلاک سرمایه، مقدار تنزل ارزش وسیله نقلیه طی زمان است که در اثر بهره‌برداری نکردن و افزایش عمر وسیله نقلیه، به تدریج از ارزش آن کاسته می‌شود. برای محاسبه این مقادیر، از فرمولهای محاسباتی HDM-4<sup>۳</sup> استفاده شده است [۱۴ و ۱۵ و ۱۶].

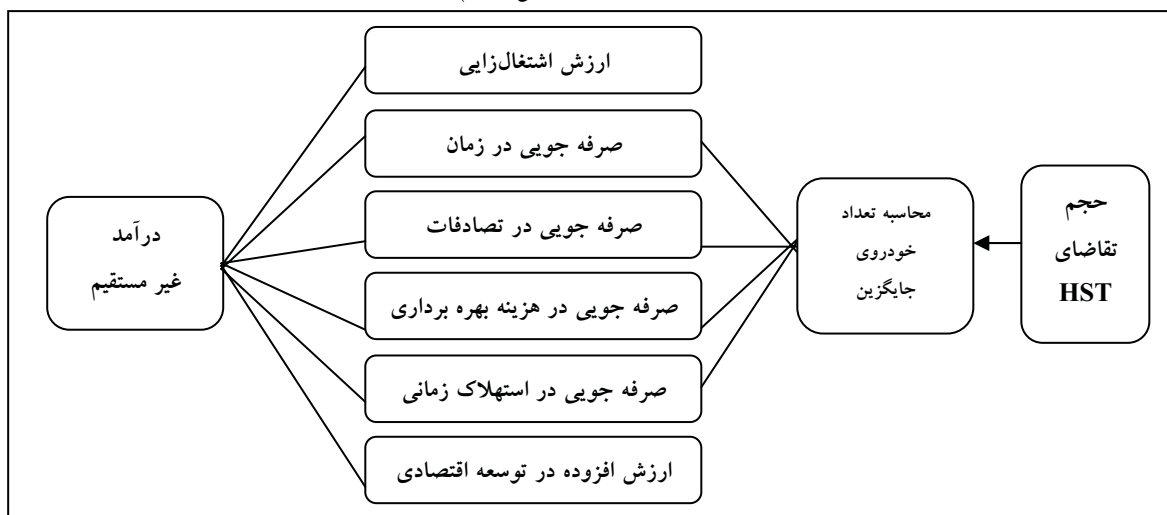
#### ۵-۲-۱-۴ درآمد حاصل از ایجاد اشتغال

ارزش اشتغال‌زایی هر پروژه، درآمدی است که این پروژه در سطح ملی کسب می‌کند و با در نظر گرفتن تعداد افراد شاغل در آن پروژه و متوسط هزینه‌ای که دولت باید برای ایجاد اشتغال هر فرد بیکار صرف کند، محاسبه می‌گردد.

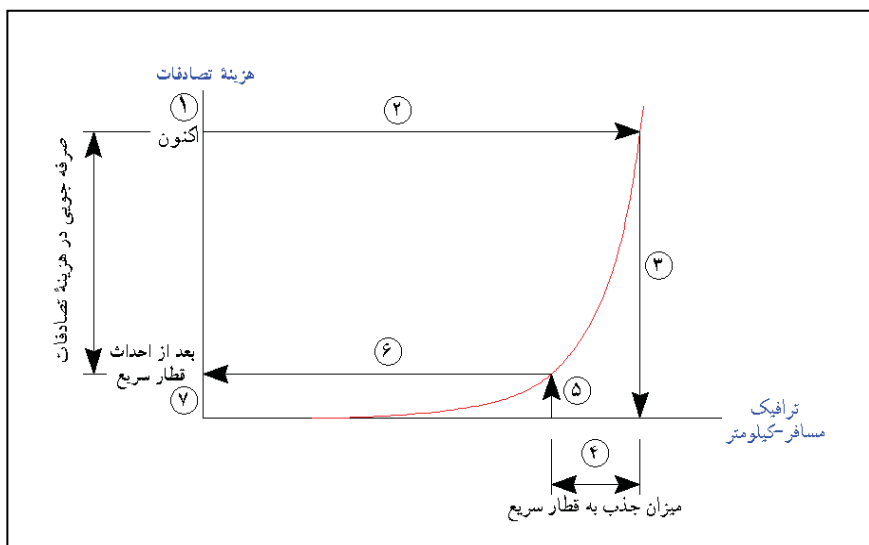
#### ۶-۲-۱-۴ ارزش افزوده ناشی از توسعه اقتصادی (اثرات

#### طرح در توسعه اقتصادی منطقه)

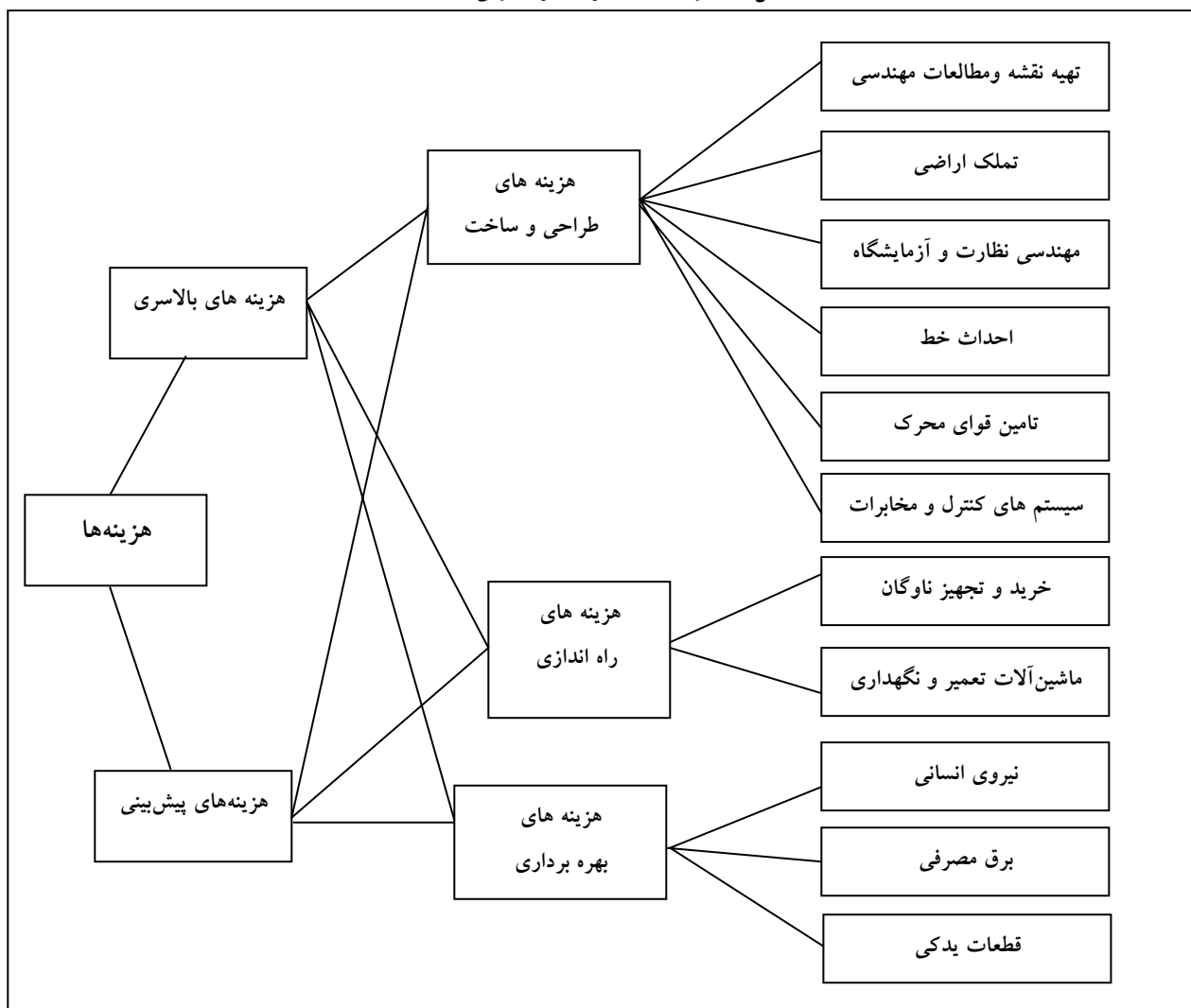
راه‌ها، چه ریلی و چه جاده‌ای، شاه‌رگ توسعه هستند و تأثیر آنها بر بهبود شرایط اقتصادی، غیرقابل انکار است. با افزایش  $d_{OD}$  کیلومتر در طول راه‌ها، ارزش افزوده این راه به قرار زیر خواهد بود [۴]:



شکل ۵. اجزاء درآمد غیر مستقیم



شکل ۶. نحوه محاسبه میزان صرفه‌جویی در تصادفات



شکل ۷. اجزای مختلف هزینه‌ها

### 5. ارزیابی مدل

با توجه به تاریخچه خطوط سریع‌السیر در ایران، محور تهران- اصفهان به علت در اختیار بودن گزارش‌های مالی پروژه، ارقام مربوط به هزینه‌های مختلف آن و پاره‌ای آمار موردنیاز، همچنین برخورداری این محور از پتانسیل ترافیک مناسب، برای ارزیابی مدل و مطالعه موردی برگزیده شد.

#### 5-1 حجم مسافران قطار سریع‌السیر تهران - اصفهان

برای پیش‌بینی اصولی حجم مسافران جذبی به قطار سریع‌السیر، یک نظرسنجی در سطح شهر تهران صورت گرفت. این آمارگیری از تعداد 509 نفر از مسافران گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل - با رعایت درصد کنونی استفاده از آنها - انجام شده است. در این آمارگیری، از سوال‌شوندگان در مورد اولویت معیارهای مختلف و همچنین مقایسه میان گزینه‌های مختلف در رابطه با معیار راحتی، سؤال شده و در مورد معیارهای کمی مثل هزینه سفر، زمان سفر و ایمنی، از اطلاعات موجود استفاده گردیده است. با توجه به فیزیولوژیک بودن معیار راحتی، از میان 509 نفر، شاخص ناسازگاری مربوط به پاسخ‌های 58 نفر بیشتر از 0/1 بود. از این رو این جداول غیر قابل قبول، از نظرسنجی معیار راحتی حذف شدند و از بین 451 جدول قابل قبول، با میانگین‌گیری هندسی از این آمار، جدول مقایسه‌های زوجی میان گزینه‌ها به صورت جدول 1 تشکیل شد که مبنای مقایسه زوجی در رابطه با معیار راحتی است:

جدول 1. نتایج نظرسنجی انجام شده (معیار راحتی)

	اتوبوس	قطار معمولی	قطار سریع	هوایما
سواری	3/4	↑ 1/6	↑ 2/2	4/5
اتوبوس		↑ 4/2	↑ 5	2/2
قطار معمولی			↑ 1/8	5/3
قطار سریع				6/3

نرم افزار EC، نرخ ناسازگاری این مقادیر را 0/02 محاسبه می‌کند که کمتر از 0/1 و قابل قبول است.

جهت تعیین وزن اهمیت معیارهای تصمیم‌گیری، می‌بایستی مقایسه‌های زوجی میان معیارهای تصمیم‌گیری را انجام داد که این امر نیز با ارایه فورم‌های پرسشنامه و نظرسنجی از مسافران انجام

گرفته است و با میانگین‌گیری هندسی از این نتایج، جدول زیر ارایه می‌گردد:

جدول 2. نتایج نظرسنجی انجام شده (مقایسه معیارها)

	زمان	ایمنی	راحتی
هزینه	5/1	5/3	4/3
زمان		1/1	↑ 1/7
ایمنی			↑ 1/9

نرخ ناسازگاری مقایسه‌های زوجی میان معیارها برای این مقادیر، 0/01 است. با ورود اطلاعات این جدول‌ها در نرم‌افزار EC2000، نتایج که عبارتند از وزن اهمیت سیستم‌های حمل‌ونقل از دیدگاه مسافران به دست می‌آید و با توجه به این که خروجی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تابع مطلوبیت استفاده از گزینه‌های حمل‌ونقل است، درصد استفاده کنندگان از هر یک از این سیستم‌ها، با بکاربردن مدل لوجیت محاسبه می‌شود که خلاصه نتایج آن در جدول شماره 3 قابل دیدن است.

جدول 3. مطلوبیت و درصد مسافران هریک از گزینه‌ها

وسیله	سواری	اتوبوس	قطار موجود	قطار سریع	هوایما
مطلوبیت	0/164	0/265	0/295	0/183	0/093
درصد مسافران	19/24	21/29	21/93	19/61	17/93

اگر این اطلاعات را یکبار دیگر و بدون در نظر گرفتن قطار سریع انجام دهیم، درصد مسافران هوایما چندین برابر درصد کنونی خواهد بود، یعنی اگرچه عمده مسافران قطار سریع از مسافران هوایما هستند، اما سهم هوایما از کل مسافران تغییر نمی‌کند.

از این رو در محاسبه درآمدهای غیرمستقیم پروژه می‌توان چنین فرض کرد که مسافران قطار سریع، مسافران قبلی سیستم‌های حمل‌ونقل جاده‌ای هستند.



بهره‌برداری ۳۰ ساله، کل هزینه‌های پروژه به قیمت سال ۱۳۸۸ برابر با ۱۱۱۱۲/۸ میلیارد ریال است.

جدول ۵. هزینه دوره بهره‌برداری

شرح هزینه های سالیانه	میلیارد ریال	میلیون دلار
نگهداری و تعمیرات	۳۱/۷۷	۱۰/۳۵
نیروی انسانی	۱۷/۶	--
نگهداری شبکه برق	۵/۳	۱/۴۱
نگهداری سیستمهای کنترل و مخابرات	۱۴/۲	--
قطعات یدکی قطار	--	۱۴/۳۶
قطعات یدکی ماشین آلات نگهداری خط	--	۰/۶
قطعات یدکی تجهیزات تعمیر ماشین آلات	--	۱/۷
برق مصرفی	۱۸/۳۷	--

### ۳-۵ مطالعه درآمدهای پروژه

عمده درآمدهای پروژه، درآمدهایی هستند که به صورت درآمدهای سالانه در دوره بهره‌برداری حاصل می‌شوند. از این رو این درآمدها برای سال شروع بهره‌برداری - به عنوان نمونه محاسبات - برآورد می‌شوند و مطالعات کل دوره با استفاده از نرم‌افزار TEPP-HST، محاسبه می‌گردند.

### ۱-۳-۵ درآمدهای مستقیم

درآمدهای مستقیم آن دسته از درآمدهایی هستند که به صورت نقد و مستقیماً عاید سرمایه‌گذار می‌شوند. مقادیر این درآمدها برای یک دوره طرح ۳۰ ساله در جدول ۶ آورده شده است:

جدول ۶. درآمدهای مستقیم پروژه [۱۸]

شرح درآمد	درآمد سالانه (میلیارد ریال)	درآمد (سال پایه) (میلیارد ریال)
فروش بلیط	۱۱۶/۴۵	۰
توشه مسافری	۳/۴۹	۰
مراکز تجاری + اداری	۴۴/۲	۰
ارزش مانده اجزاء پروژه	۰	۱۴۲۳/۸

### ۲-۳-۵ درآمدهای غیر مستقیم

در جدول ۷ مجموع درآمدهای غیر مستقیم این پروژه برای یک دوره ۳۰ ساله شرح داده شده است.

اکنون با مشخص بودن درصد مسافران قطار سریع و استفاده از فرمول، حجم مسافران سال پایه این گزینه حمل‌ونقل با توجه به جمعیت ۱/۵ میلیون نفری اصفهان، ۷/۵ میلیون نفری تهران و فاصله ۴۲۰ کیلومتری بین این دو شهر مشخص می‌شود: مسافران تهران - اصفهان، روزانه ۱۰۳۵ نفر و مسافران اصفهان - تهران، روزانه ۹۵۸ نفر هستند که مقدار میانگین این دو (۹۹۷ نفر در روز) ملاک محاسبات است.

### ۲-۵ مطالعه هزینه‌ها

با در نظر گرفتن استانداردها و پیش‌بینی‌های لازم برای این مسیر و با برآوردی که براساس این ملزومات صورت گرفته است، هزینه‌های لازم تا سال شروع بهره‌برداری به تفکیک در جدول ۴ (هزینه‌های ساخت و راه اندازی) و جدول ۵ (هزینه‌های دوره بهره‌برداری) ارائه شده است. (قیمتها بر مبنای سال شروع بهره‌برداری یعنی سال ۱۳۸۸ درج شده است، در عین حال می‌توان سال پایه را هر سال دلخواهی که اطلاعات آن وجود دارد انتخاب کرد).

### جدول ۴. هزینه های دوره طراحی و ساخت

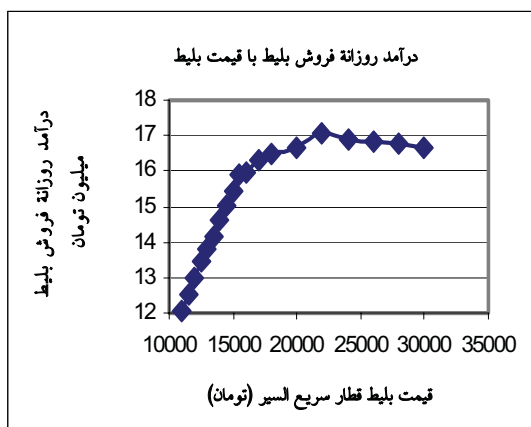
#### (هزینه‌های ساخت و راه اندازی)

شرح هزینه ها	میلیارد ریال
مطالعات اولیه مهندسی و مهندسی نظارت و آزمایشگاه	۱۸۰
هزینه زیرسازی	۴۴۶/۳
هزینه روسازی	۲۰۳۳/۵
هزینه ساخت ابنیه	۵۴۴/۱
تامین و توزیع برق مورد نیاز	۱۲۹۶/۴
سیستمهای کنترل و مخابرات	۹۴۶/۱
خرید ناوگان	۳۳۳
ماشین ابزار تعمیر و نگهداری خطوط و آلات ناقله	۶۳۹

با در نظر گرفتن هزینه بالاسری و هزینه‌های پیش‌بینی نشده، هزینه‌های واقعی انجام شده محاسبه می‌گردند: هزینه ساخت و راه‌اندازی، ۷۲۲۰/۶ میلیارد ریال و هزینه بهره‌برداری سال اول، ۳۸۵/۹ میلیارد ریال. با توجه به محاسبات انجام شده و با استفاده از روش ارزش خالص فعلی و با رویکرد همسنگ‌سازی مقادیر برای مقایسه آنها، با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۹/۵ درصد و دوره

## ۶-۱ بهای بلیط

در شکل ۸، روند تغییرات درآمد فروش بلیط با تغییر قیمت بلیط نمایش داده شده است:



شکل ۸. تغییر درآمد با افزایش بهای بلیط

براساس شکل ۸، درآمد حاصل از فروش بلیط، همواره با افزایش قیمت بلیط، افزایش نمی‌یابد و یک قیمت بهینه وجود دارد که در آن، درآمد حاصل از فروش بلیط، حداکثر می‌شود. این قیمت بهینه، برای مسیر تهران- اصفهان، مبلغ ۲۲۰۰۰۰ ریال است، یعنی سرمایه‌گذار می‌تواند برای افزایش درآمد مستقیم خود، بهای بلیط قطار سریع‌السیر را افزایش دهد.

اما این بدان معنی نیست که کل درآمد پروژه نیز افزایش خواهد یافت، بلکه ممکن است با توجه به کاهش تعداد مسافران، به دلیل افزایش بهای بلیط، کاهش شدیدی در میزان درآمد غیر مستقیم پروژه بروز کند.

## ۶-۲ نرخ تنزیل

در شکل ۱۰، روند تغییرات میزان بازدهی سیستم با تغییر نرخ تنزیل نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقدار B/C با افزایش نرخ تنزیل، کاهش می‌یابد. دلیل این امر تفاوت زمانی هزینه‌ها و درآمدهاست؛ عمده هزینه‌ها در ابتدای ارزیابی انجام شده‌اند، حال آن‌که اغلب درآمدها به صورت سالانه به دست آمده‌اند و به همین دلیل، درآمدها از تغییرات نرخ تنزیل تأثیر بیشتری می‌پذیرند و سقوط شدیدتری خواهند داشت. این پروژه، با نرخ تنزیل بیشتر از ۱۲/۵ درصد مقرون به صرفه نخواهد بود.

این درآمدها صرفاً درآمدهایی هستند که با در نظر گرفتن منافع کلان و ملی نمود پیدا می‌کنند و در زمره درآمدهای یک مؤسسه صرفاً اقتصادی نمی‌گنجد.

جدول ۷. درآمدهای غیر مستقیم پروژه

شرح درآمد	درآمد سالانه (میلیارد ریال)	درآمد (سال پایه) (میلیارد ریال)
صرفه جویی در زمان	۱۰/۷۹	۰/۰۰
صرفه جویی در هزینه جاری خودروها	۵۲/۰۷	۰/۰۰
صرفه جویی در هزینه استهلاک خودروها	۱۸/۴۰	۰/۰۰
صرفه جویی در هزینه تصادفات جاده ای	۱۶۰/۰۳	۰/۰۰
ارزش اشتغالزایی پروژه	۱۵۱/۶۰	۰/۰۰
ارزش افزوده پروژه در توسعه اقتصادی	۰/۰۰	۲۷۹۳/۰۰

با توجه به آنچه در مورد درآمد پروژه محاسبه گردید و نظر به تغییر این مقادیر در طول سالهای بهره‌برداری، بایستی محاسبات مربوط به درآمد پروژه برای سالهای مختلف بهره‌برداری محاسبه شود. کل درآمد پروژه با در نظر گرفتن شرایط پایه مذکور، نرخ تنزیل ۹/۵ درصد و دوره بهره‌برداری ۳۰ ساله، ۱۲۹۶۸/۶ میلیارد ریال است.

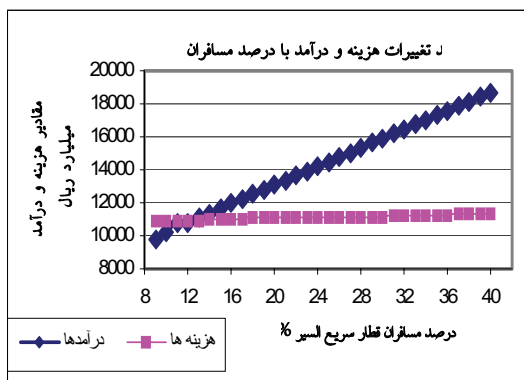
## ۵-۴ تحلیل فنی- اقتصادی پروژه قطار سریع‌السیر

## تهران - اصفهان

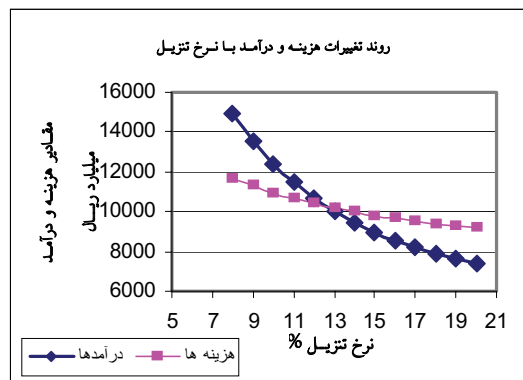
براساس محاسباتی که در بخشهای قبلی انجام گرفت و براساس مقادیر محاسبه شده برای هزینه و درآمد کل، برای نسبت فایده به هزینه آن داریم:  $B/C = 1/167$ . بنابراین این پروژه با توجه به نسبت B/C بزرگتر از یک، از دیدگاه ملی، کاملاً توجیه‌پذیر و مقرون به صرفه خواهد بود.

## ۶. تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترها

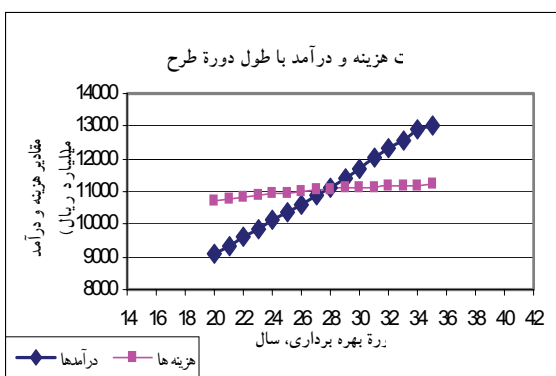
با توجه به نیاز به پویایی و انعطاف‌پذیری هر سیستم حمل و نقل بین‌شهری، لازم است که یک محدوده تغییرات منطقی برای هر یک از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شود تا علاوه بر حساسیت سنجی نتایج نهایی، بهینه‌ترین مقدار هر یک از این پارامترها مشخص گردد.



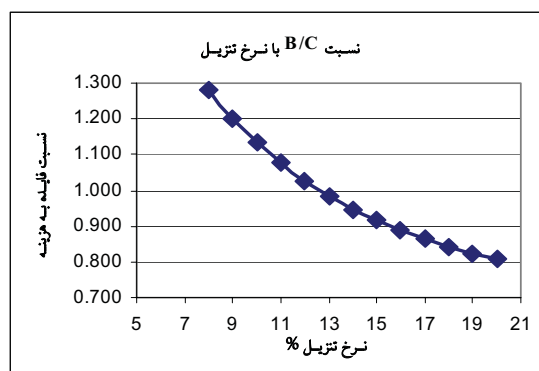
شکل ۱۱. تغییر هزینه و درآمد پروژه با درصد مسافران



شکل ۹. تغییر هزینه و درآمد پروژه با تغییر نرخ تنزیل



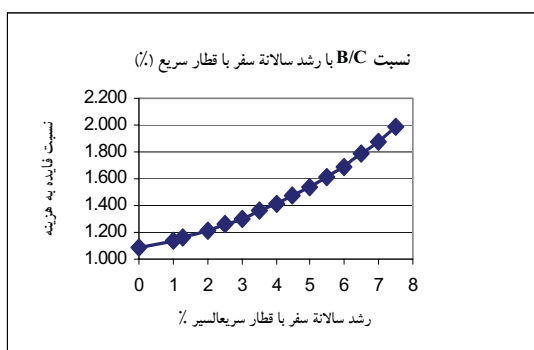
شکل ۱۲. نسبت هزینه و درآمد پروژه با دوره بهره‌برداری



شکل ۱۰. تغییر نسبت فایده به هزینه، با تغییر نرخ تنزیل

### ۵-۶ درصد رشد مسافران قطار سریع‌السیر

در محاسبات، نرخ رشد مسافران به صورت تابعی از رشد جمعیت و برابر ۱/۳ درصد در نظر گرفته شده است. در نمودار شکل ۱۳، روند تغییرات نسبت فایده به هزینه با تغییر درصد رشد مسافران قطار سریع‌السیر نمایش داده شده است:



شکل ۱۳. تغییر نسبت فایده به هزینه با رشد سالانه سفر

### ۳-۶ درصد مسافران قطار سریع (به کل مسافران)

در شکل ۱۱، روند تغییرات درآمد و هزینه با تغییر درصد مسافران قطار سریع به کل مسافران نمایش داده شده است. با تغییر درصد مسافران، هزینه‌ای که به گونه‌ای عمده تغییر می‌یابد، تعداد قطار مورد نیاز است. برعکس، در مورد درآمدها، چون تغییر حجم مسافران بر عمده پارامترهای مرتبط، مؤثر است و با توجه به ثابت بودن نسبی هزینه‌ها و تغییرات خطی درآمدها، روند تغییرات B/C نیز خطی است.

### ۴-۶ طول دوره بهره‌برداری

در نمودار شکل ۱۲، روند تغییرات هزینه و درآمد با تغییر طول دوره بهره‌برداری نمایش داده شده است [۱۸]. با توجه به نمودار، سوددهی پروژه، از سال بیست‌وهشتم بهره‌برداری آغاز می‌شود.

۲- نتایج تحلیل در مورد درصد مسافران جذبی در مسیر تهران - اصفهان، مؤید این نکته است که در این سیستم، به طور میانگین با افزایش حجم مسافران به میزان ۱ درصد، ۲/۱ در صد به درآمد پروژه افزوده می شود، حال آنکه هزینه تحمیلی اضافه شده، در حدود ۰/۱۱ درصد خواهد بود. از این جا می توان به اهمیت شناساندن صحیح سیستم از راههای مختلف مانند تبلیغات، تشویق و تخفیف های ویژه، ارائه خدمات بهتر و ... پی برد. مطمئناً با شناساندن صحیح مزایای قطار سریع، درصد مسافران جذب شده از سایر گزینه ها خصوصاً هواپیما و قطار موجود، افزایش خواهد یافت. بدون شک بسیاری از این روشها از جمله آموزش عوامل خدماتی، دسترسی آسان به بلیط و ایستگاه، مهیا کردن برخی خدمات در قطارها و ایستگاهها، نیاز به هزینه های بسیار کمی دارند.

۳- ملاک تعیین بهای بلیط، نه درآمد مستقیم و نه درآمد کل پروژه، بلکه نسبت  $B/C$  بزرگتر است.

۴- بهبود شرایط اقتصادی، از دو دیدگاه، سود بیشتری را عاید این پروژه می کند:

- از طریق افزایش قدرت خرید مردم که باعث کم رنگ تر شدن مشکلات مالی برای مسافران می شود.

- از طریق کاهش نرخ تنزیل، ارزش درآمدهای سالهای آینده پروژه افزایش می یابد.

۵- باید توجه داشت که پروژه قطار سریع تهران - اصفهان، تنها در سایه انجام مطالعات فنی - اقتصادی و با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مهندسی ارزش، مقرون به صرفه است، در حالی که احداث این پروژه در شرایط کنونی، توجیه اقتصادی ندارد.

افزایش حجم مسافران، برخلاف تأثیر اندک بر هزینه ها، تأثیر زیادی بر درآمدها دارد، تا آنجا که مقدار  $B/C$  تا ۲ افزایش می یابد. علت این امر، زیاد بودن نسبت درآمد ناشی از فروش بلیط از کل درآمدها و کم بودن نسبی هزینه خرید ناوگان است.

## ۷. نتیجه گیری

انجام مطالعات اقتصادسنجی قبل از سرمایه گذاری در هر پروژه ای، از ضرورت های غیر قابل انکار است که این امر در پروژه های کلان مانند پروژه های ملی به جهت مصرف منابع عظیم مالی و زمانی، اهمیت بسیاری می یابد. با توجه به تنوع سیستم های حمل و نقل بین شهری و هزینه های هنگفت اجرای هر یک از این سیستمها، انتخاب و تعیین گزینه برتر برای رسیدن به فواید بیشتر، از اهمیت ویژه ای برخوردار می شود. در این میان، داشتن یک چارچوب معین و قابل اعتماد می تواند راهی برای بهبود شرایط فعلی باشد.

در تکمیل تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی حساسیت پارامترهای مؤثر، در الگوی ارزیابی فنی - اقتصادی قطار سریع در مسیر تهران - اصفهان می توان به نتایج دست یافته ذیل اشاره نمود:

۱- با توجه به نسبت  $B/C=1/167$  برای حالت پایه تحلیل، این سیستم از لحاظ ملی، یک سیستم سودده است. از این رهگذر، سازمانهای مربوطه می توانند با پرداخت یارانه و تشویق سرمایه گذاری، قسمتی از هزینه های مرتبط را واگذار کنند و با این کار، هم در جهت خصوصی سازی و ایجاد رقابت گامی بردارند و هم شرایطی فراهم سازند که بخش کمتری از بودجه عمومی مصرف شود.

## ۸. مراجع

۱- سالنامه آماری حمل و نقل جاده ای کشور، سازمان حمل و نقل پایانه های کشور، تهران، سالهای ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۲.

۲- صفارزاده، محمود، "مهندسی ترابری و ترافیک" دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۱.

3- Hance, George, Bichler, Rush "High speed Rail transportation", R.T.R Magazine, Vol. 58, 7P., 1996.

۴- شرکت مهندسی مشاور مترا. "چشم اندازهای صنعت ریلی سریع السیر"، "برگزیده مقالات سیستم حمل و نقل سریع السیر ریلی"، گزارش ۳۷۶۶ الف، تهران، آبانماه ۱۳۸۰.

5-Litman, T. (2004) "Comprehensive evaluation of rail transit benefits", Victoria Transport Policy Institute, Canada.

6- Litman, T. (2004) "Evaluating public transit benefits and costs", Victoria Transport Policy Institute, Canada.

- 13- Small, K.A. (2003) "Road pricing and public transport", University Of California, Irvine.
- 14-Murphy, J.and Delucchi, M. (1997) "Review of some of the literature on the social cost of motor-vehicle use", the annualized social cost of motor-vehicle use in The United States, USA, California.
- 15- Bennet, C.R. (1996a).1995 "HDM-4 Workshop on Road User Effects. Implementation of recommendation, Report to the International Study of Highway and Management Tools", Birmingham, University of Birmingham.
- 16- Hide, H. (1984) "Vehicle operating costs in developing countries, results of a survey of vehicle operators", TRRL, Report 1031.
- ۱۷- اسکونزاد، م، "اقتصاد مهندسی"، چاپ نوزدهم، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۳۸۳.
- ۱۸- افکار، صمد "ارائه الگوی فنی - اقتصادی انتخاب قطار سریع السیر بین شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده فنی - مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴.
- 7-Brand, D., Kiefer, M.R., Parody, T.E., and Mehndireatta, Sh.R. (2001) "Application of benefit - cost analysis to the proposed California high-speed rail system", Transportation Research Record, 1742, 11P.
- ۸- قدسی پور، سید حسن، "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۱.
- 9- Papacostas, C.S. (1990) "Fundamentals of transportation engineering", J.S.Publication, New Delhi.
- ۱۰- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه، "مجموعه گزارشات طرح مطالعه جامع حمل و نقل کشور"، تهران، اسفند ۱۳۷۱.
- ۱۱- آیتی، اسماعیل، "هزینه تصادفات ترافیکی ایران"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۱۳۸۱.
- 12- Levinson, D.M. and Gillen, D. (1997)"The full cost of intercity highway transportation", Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley.

#### پانویس ها

- 1- Analytical Hierarchy Process
- 2- Expert Choice
- 3- Highway Development and Maintenance
- 4- Net Present Value

# **Development of a Techno – Economic Model for Selection of Intercity High Speed Rail Transportation**

*M. Sasffarzadeh, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran , Iran*

*S. Afkar, MSc. Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
E-mail: saffar\_m@modares.ac.ir*

## **ABSTRACT**

In this paper a techno – economic model for selection of intercity high speed rail transportation based on the specific characteristics of the country is presented. Costs and benefits of high speed railway system has been estimated on the actual data. To estimate the passenger traffic volume of the route as the main variable to evaluate direct benefit. The Analytical Hierarchical Process was applied. To estimate the indirect benefits some variables such as the value of time, energy saving and level of service are taken into account. Costs and benefits of the system were compared based on the Net Present Value Method. To evaluate the proposed model, the Tehran – Isfahan high speed rail which is at the early stage of construction was selected as the case study.

**Keywords:** High speed, AHP, B/C, rail transport.