قیمت‌گذاری عوارض آزادراه‌ها با توسعه مدل‌های اقتصادی در شرایط عدم‌قطعیت

علمی – پژوهشی

وحید برادران*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
امیررضا کاظم‌پور فرد، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران- مهندسی حمل و نقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: V_Baradaran@iau-tnb.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱
صفحه ۱۰۴-۸۳

چکیده

استفاده از سرمایه بخش خصوصی، راه‌حل پایدار و مناسب برای توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل به خصوص آزادراه‌ها است. تحلیل اقتصادی احداث آزادراه‌ها در مرحله برنامه‌ریزی و تعیین نرخ اقتصادی عوارض در آنها لازمه جلب اطمینان سرمایه‌گذاران در این بخش است. اطلاع از نرخ عوارض در نقطه سربه‌سر اقتصادی و محاسبه دقیق شاخص‌های اقتصادی احداث آزادراه‌ها، ریسک سرمایه‌گذاری را برای سرمایه‌گذار خصوصی کم می‌کند. شناسایی موارد هزینه‌ای و درآمدی احداث آزادراه‌ها و تعریف رویکردی مشخص برای محاسبه نرخ عوارض با درنظرگرفتن ارزش زمانی پولی و عدم قعطیت هزینه‌ها و درآمدها، یکی از چالش‌های پیشروی دولت در این صنعت است. در این مقاله، بر اساس اسناد مطالعه تعدادی آزادراه در کشور، موارد هزینه‌ای و درآمدی ساخت یک آزادراه شناسایی و به صورت سلسله مراتبی دسته‌بندی شده است. یکی از روش‌های تعیین نرخ عوارض در نقطه سربه‌سر، روش‌های اقتصاد مهندسی است. عموماً در این روش‌ها، موارد هزینه‌ای و درآمدی طرح ثابت و قطعی فرض می‌شوند. در حالیکه در واقعیت این مقادیر پیش‌بینی‌شده و غیرقطعی‌اند. در این مقاله، مدل‌های اقتصاد مهندسی در شرایط تصادفی‌بودن درآمدها و هزینه‌ها تحت توزیع آماری بتا توسعه داده شده‌اند. دو مدل اقتصاد مهندسی برای تحلیل اقتصادی و تعیین نرخ عوارض آزادراه‌ها تحت قطعیت و عدم قطعیت درآمدها و هزینه‌ها و بر اساس ساختار شکست آنها ارایه شده است. جهت اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی، نرخ اقتصادی عوارض در یکی از آزادراه‌های در حال احداث و بر اساس داده‌های مرحله مطالعاتی آن تعیین شده است. نتایج تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد که تعیین نرخ عوارض به صورت سنتی برای سرمایه‌گذار بخش خصوصی جذابیتی ندارد و پیشنهاد می‌شود از رویکرد ارائه‌شده به جای رویکرد سنتی در تحلیل اقتصادی و قیمت‌گذاری عوارض استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آزادراه، اقتصاد مهندسی، تحلیل اقتصادی تصادفی، نرخ عوارض اقتصادی، قیمت‌گذاری عوارض

۱- مقدمه

یکی از ملاک‌های توسعه و پیشرفت در هر کشوری گسترش شبکهٔ راه‌های آن کشور است (Eshtehardian et al., 2015). راه از عناصر مهم توسعه و ایجادکننده زمینه‌های رشد اقتصادی و بالابردن کیفیت زندگی جوامع است. همزمان با رشد شهرنشینی، پیدایش شهرهای بزرگ و افزایش تقاضای سفر، موضوع احداث و توسعه انواع راه‌ها نیز بیشتر احساس می‌شود. پروژه‌های راه به دلیل نوع و اندازه دارای دامنه وسیعی از آثار مثبت و منفی بر اقتصاد است. در میان انواع راه‌ها، آزادراه‌ها به دلیل وسعت (از نظر طول و پهنا)، اتصال‌دهنده شهرهای بزرگ و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا از اهمیت

بالاتری دارند و آثار آن نیز نسبت به سایر انواع راه‌ها ملموس‌تر و مشهودتر است. شناسایی این اثرات قبل از اجرای پروژه‌های راه می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران را در انتخاب پروژه‌هایی که دارای بیشترین آثار مثبت و کمترین آثار منفی است کمک کند. در کنار پیامدهای زیست محیطی، معیارهای اقتصادی راه‌ها نیز از جمله مهمترین معیارهای قابل تأمل در تصمیم‌گیری است (Findley et al., 2016; Theisen, 2020). تأمین منابع مالی برای احداث آزادراه‌ها به خصوص برای بخش خصوصی زمانی جذاب خواهد بود که برگشت سرمایه آنها در مدت زمان معینی تضمین شود. اخذ عوارض در آزادراه‌ها در کنار منافع مادی و معنوی حاصل از احداث آنها مانند کاهش مصرف سوخت و یا کاهش هزینه‌های تصادفات، مهمترین منبع درآمد و منفعت برای سرمایه‌گذاری در آنها است. در صورتیکه قبل از احداث آزادراه مطالعه دقیقی برای تعیین نرخ عوارض انجام نشود، ممکن است احداث آزادراه برای سرمایه‌گذار توجیه اقتصادی نداشته باشد. از طرف دیگر بالابودن نرخ عوارض برای رانندگان جذابیت نخواهد داشت و ممکن است راه احداث‌شده حداقل در سال‌های اول بهره‌برداری مورد اقبال قرار نگیرد. در صورتی که با دقت و خطای معینی نقطه سربه‌سر اقتصادی عوارض آزادراهی (کمتر از آن سرمایه‌گذاری توجیه اقتصادی ندارد) به کمک مدل‌های علمی تعیین شود، ریسک‌های احداث آزادراه‌های جدید کاهش می‌یابند. در کنار روش‌های مختلفی که برای قیمت‌گذاری عوارض مانند بر اساس مسافت، پویا و ... وجود دارد (Murali et al., 2022)، قیمت‌گذاری از منظر سرمایه‌گذار نیز اهمیت دارد. یکی از چالش‌های دولت در بخش توسعه آزادراه‌ها عدم اطمینانِ بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری و بازگشت سرمایه در این بخش است (Chen et al., 2021). اهمیت ارایه مدل مناسب قیمت‌گذاری عوارض آزادراهی که منجر به قیمت‌گذاری کارامد عوارض آزادراهی شود، ضمن کاهش ریسک سرمایه‌گذاری، مطلوبیت سرمایه‌گذاران را افزایش خواهد داد. لذا هدف اصلی این مقاله ارائه فرایند و مدل علمی و بومی برای تعیین نرخ اقتصادی عوارض در آزادراه‌ها و کمک به سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری صحیح در توسعه آزادراه‌ها در کشور است. احداث یک آزادراه به منزله انجام یک پروژه سرمایه‌گذاری است که در آن سرمایه‌گذار (بخش خصوصی، دولت و ...) با تأمین سرمایه احداث آن به مدت عمر آن از آن بهره‌برداری می‌کند. یقیناً علاوه بر هزینه سرمایه، سالانه هزینه‌های نگهداری و ... نیز بر آن تحمیل می‌شود. در کنار هزینه‌ها، درآمدهایی نیز برای سرمایه‌گذار مانند درآمد حاصل از فروش عوارض کسب می‌شود. شناسایی هزینه‌های سرمایه‌گذاری یک آزادراه در کنار هزینه‌های سالانه آن می‌تواند مبنایی برای تعیین نقطه سربه‌سر اقتصادی درآمدهای سالانه و یا به عبارتی تعیین نرخ اقتصادی عوارض باشد. تغییر ارزش زمانی پول در دوره‌های آینده بر تعیین نرخ اقتصادی عوارض و تحلیل اقتصادی احداث یک آزادراه اثر می‌گذارد. رویکرد پیشنهادی این مقاله برای تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها، استفاده از مدل‌های اقتصاد مهندسی است. این مدل‌ها با درنظر گرفتن ارزش زمانی پول، از مقایسه خالص ارزش فعلی درآمدها و هزینه‌های یک طرح، اقتصادی‌بودن آن را بررسی می‌کنند. البته تصمیم‌گیری در مورد احداث یک آزادراه تنها وابسته به معیار اقتصادی‌بودن یا نبودن طرح نیست (Findley et al., 2016). در بسیاری از مواقع، دولت‌ها برای ایجاد رفاه اجتماعی و یا عمل به تعهدات خود با اطلاع از غیراقتصادی‌بودن راه جدید، اقدام به احداث آن می‌کنند و یا می‌دانند که درآمدهای پنهان احداث یک آزادراه مانند کاهش مصرف سوخت، کاهش تصادفات و ... به اندازه کافی احداث یک آزادراه را توجیه می‌کند. اما از دید سرمایه‌گذار خصوصی که به دنبال کسب منفعت خود به ازای تأمین سرمایه طرح است، توجه به سایر منافع پنهان مادی و معنوی حاصل از احداث یک راه جدید چندان اهمیتی ندارد. اما در هر دو شکل سرمایه‌گذاری خصوصی و دولتی، تحلیل اقتصادی و محاسبه شاخص‌های اقتصادی احداث یک آزادراه در کنار سایر معیارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از آنجا که رویکرد دولت‌های جمهوری اسلامی ایران در توسعه آزادراه‌ها استفاده از توان و ظرفیت مالی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی است (Eshtehardian et al., 2015)، لذا، در این مقاله، تحلیل اقتصادی احداث یک آزادراه از منظر سرمایه‌گذار خصوصی مورد بررسی قرار گرفته که البته نتایج آن قابل کاربرد برای مواقعی باشد که دولت قصد دارد در یک آزادراه سرمایه‌گذاری کند. لازمه تحلیل اقتصادی احداث یک آزادراه، شناسایی و برآورد موارد هزینه‌ای و درآمدی آن (پارامترهای مدل) در عمر بهره‌برداری است. یکی دیگر از چالش‌ها در تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها، عدم شناسایی موارد هزینه‌ای و درآمدی احداث

آزادراه‌ها است. در این مقاله، درآمدها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از آزادراه‌ها در عمر آنها بر اساس مطالعه اسناد و مدارک تعدادی از پروژه‌های احداث آزادراه در کشور شناسایی شده و به صورت سلسله مراتبی دسته‌بندی شده است. برخی از موارد درآمدی و هزینه‌ای به ویژگی‌ها و مشخصات راه بستگی دارد. به عنوان مثال هزینه احداث پل‌ها وابسته به مطالعات امکان‌سنجی (مطالعه فاز صفر و یک) است و برخی دیگر مانند درآمد حاصل از عوارض تابعی از تقاضای سفر در آزادراه جدید است. از آنجا که تحلیل‌های اقتصادی قبل از احداث طرح انجام می‌شوند، برخی از پارامترهای مدل مانند تقاضا و یا هزینه‌ها به طور قطعی قابل براورد نیستند و عدم قطعیتی در آنها وجود دارد. لذا تحلیل اقتصادی احداث یک آزادراه با درنظرگرفتن عدم دقیق برآورد موارد هزینه‌ای و درآمدی یک ضرورت می‌باشد.

روش پیشنهادی جهت تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها براساس موارد هزینه‌ای و درآمدی شناسایی‌شده و تعیین نرخ اقتصادی عوارض، استفاده از مدل‌های ریاضی اقتصادی مهندسی است که در آنها ارزش زمانی پول لحاظ می‌شود. عموماً اجزای درآمدی و هزینه‌ای این مدل‌ها قطعی فرض می‌شوند، در حالیکه در واقعیت این پارامترها غیرقطعی و تصادفی‌اند. در این مقاله، مدل پایه اقتصاد مهندسی با پارامترهای تصادفی تحت توزیع بتا توسعه داده شده و از آن برای تعیین نرخ عوارض اقتصادی آزادراه‌ها استفاده شده است. دو مدل پیشنهادی (تحت قطعیت و عدم قطعیت پارامترها) برای قیمت‌گذاری عوارض یکی از آزادراه‌های در حال احداث استفاده شده است. ضمن تحلیل حساسیت نتایج، اعتبارسنجی مدل‌ها از طریق مقایسه نتایج با روش سنتی بررسی شده است.

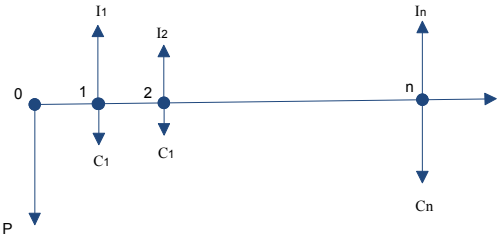
۲- پیشینه تحقیق

این بخش شامل مروری بر مبانی ریاضی مدل‌های اقتصاد مهندسی در شرایط عدم قطعیت پارامترهای مدل و پیشینه تحقیق قیمت‌گذاری عوارض آزادراهی شده است.

۲-۱- مدل‌های اقتصاد مهندسی

روش‌های اقتصاد مهندسی از جمله روش‌های اقتصادی است که برای تحلیل مالی یک سرمایه‌گذاری توسعه داده شده‌اند (Saffazadeh et al., 2005؛ Mansourkhaki et al., 2017). این روش‌ها با استفاده از رویکرد ریاضی و توجه به ارزش زمانی پول، اقتصادی‌بودن یا نبودن یک طرح مالی را بررسی می‌کند. همچنین به کمک این روش‌ها سرمایه‌گذارن قادرند از میان پروژه‌های مالی متفاوت، طرحی را انتخاب کنند که نرخ و دوره بازگشت سرمایه آن بالاتر و یا به اصطلاح ریسک سرمایه‌گذاری آن کمتر است.

برای تحلیل اقتصادی یک طرح باید اجزای جریان مالی آن مطابق شکل ۱ تعیین شوند. محور افقی در این شکل زمان را نشان می‌دهد که به دوره‌های مساوی مانند سال یا ماه تقسیم شده است. n معرف دوره عمر مفید یا دوره برنامه‌ریزی طرح است که می‌تواند محدود یا نامحدود باشد. در این نمودار هزینه‌ها با فلش‌های رو به پایین با مقدارهای C_i و درآمدها (دریافتی‌ها یا برداشت‌ها) با فلش‌های رو به بالا با مقادیر I_i نشان داده می‌شوند.



شکل ۱. نمایی از جریان نقدی یک طرح سرمایه‌گذاری

خالص ارزش فعلی[1] یا به اختصار NPV یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است. در واقع خالص ارزش فعلی تفاوت بین ارزش فعلی جریان‌های نقدی هزینه‌ای و ارزش فعلی جریان‌های نقدی درآمدی است. در این روش با توجه به ارزش زمانی پول و رابطه (۱)، درآمدها و هزینه‌های یک طرح اقتصادی با نرخ حداقل نرخ جذب‌کننده[2] (MARR) به سال مبنا (عموماً سال شروع سرمایه‌گذاری) منتقل می‌شود (Oskounejad, 2010).

$$NPV = -P + \sum_{i=1}^{n} \frac{(I_i - C_i)}{(1 + MARR)^i} \qquad (۱)$$

اگر برای یک پروژه سرمایه‌گذاری، خالص ارزش فعلی پروژه مثبت باشد، آن طرح از دیدگاه آن سرمایه‌گذار اقتصادی خواهد بود و در صورت وجود تعدادی طرح اقتصادی، طرحی برای یک سرمایه‌گذار مناسب‌تر خواهد بود که خالص ارزش فعلی آن بزرگ‌تر باشد. دو مفهوم نرخ بازگشت سرمایه[3] (ROR) و حداقل نرخ جذب‌کننده نیز از جمله مفاهیمی هستند که شباهت‌هایی با نرخ بهره دارند. نرخ بازگشت سرمایه و نرخ بهره مربوط به پروژه سرمایه‌گذاری است. اگر سرمایه‌گذاری در طرحی ۱۰۰ واحد پولی سرمایه‌گذاری

کند و مبلغ ۱۰۵ واحد پولی برداشت کند، نرخ بازگشت سرمایه آن طرح ۵ درصد خواهد بود. هرچند هر دو شاخص نرخ بهره و نرخ بازگشت سرمایه از نظر رابطه مشابه هم هستند، اما نرخ بهره برای طرح‌های وام استفاده می‌شود اما نرخ بازگشت سرمایه برای هر طرح سرمایه‌گذاری قابل محاسبه است (Blank and Tarquin, 2017).

اما حداقل نرخ جذب‌کننده مربوط به خصوصیات فرد سرمایه‌گذار است و به طرح اقتصادی ارتباطی ندارد. حداقل نرخ جذب‌کننده یک فرد، کمترین نرخ بهره یا بازگشت سرمایه‌ای است که بدون ریسک و زحمت توسط سرمایه‌گذار قابل وصول است. به این معنی که هر فرد فرصتی مانند سرمایه‌گذاری در بانک یا پروژه‌ای را می‌شناسد که بدون زحمت و ریسک می‌تواند سود یا بهره کسب کند. حداقل نرخ جذب‌کننده به ازای هر فرد متفاوت است و برابر نرخ بهره (اگر شخص در بانک سرمایه‌گذاری کند) یا نرخ بازگشت سرمایه (اگر شخص در طرح مالی سرمایه‌گذاری کند) مشروط به سهل‌الوصول‌بودن آن است. بنابراین حداقل نرخ جذب‌کننده یک فرد حداقل به اندازه نرخ بهره بانکی در کشور است. این نرخ مبنای اقتصادی‌بودن یا غیراقتصادی‌بودن یک طرح برای یک فرد سرمایه‌گذار است (Sinha and Labi, 2007).

همانطور که اشاره شد، حداقل نرخ جذب‌کننده برای هر فرد متفاوت است و بستگی به خصوصیات فرد (ریسک‌پذیری فرد) و موقعیت‌های او بستگی دارد. لذا مقدار NPV از نظر یک سرمایه‌گذار ممکن است مثبت و طرح برای او موجه باشد. اما برای سرمایه‌گذار دیگری غیرموجه باشد.

موضوع اخذ عوارض در حوزه حمل و نقل عمومی و جاده‌ها موضوع جدیدی نیست و سابقه طولانی حداقل در ایالات متحده آمریکا، شهرهای بزرگ اروپا، آسیا دارد (Dong et al., 2012). سابقه اخذ عوارض به اخذ عوارض از پارک در خیابان‌ها به سال ۱۹۳۰ و یا اخذ عوارض در جاده‌ها به قبل از جنگ جهانی دوم بر می‌گردد. بعد از جنگ جهانی دوم تقریباً در تمامی کشورها اخذ عوارض از بزرگراه‌ها با دو هدف تامین بخشی از هزینه‌های توسعه، نگهداری راه‌ها و مدیریت ترافیک توسعه یافت (Falcocchio and Levinson, 2015; Dong et al., 2012). بیشتر تحقیقات قیمت‌گذاری عوارض مسیرها مربوط به مناطق شهری و با هدف دوم یعنی مدیریت ترافیک انجام شده است. عوارض در این موارد به دلیل هزینه‌های زیادی به جوامع بابت ترافیک تحمیل می‌شود، ابزار کنترلی مناسب است. با تعریف پرداخت عوارض مسافران رفتار حمل و نقلی خود را با کاهش تعداد سفرها (کاهش سفرهای غیرضروری)، تغییر مقصد و زمان شروع سفر، انتخاب سیستم حمل و نقل مناسب و یا انتخاب مسیرهای مناسب، اصلاح می‌کنند. پیامد این اصلاح الگو، مدیریت تقاضا و کاهش شلوغی و هزینه‌های تحمیلی به دولت‌ها است (Lindsey, De Palma and 2011). برآورد می‌شود ۱/۵ درصد تولید ناخالص داخلی (GDP) در بریتانیا (Nash et al., 2003) هزینه‌های سالانه ترافیک است. این رقم در فرانسه و المان به ترتیب، ۱/۳ و ۰/۹ تخمین زده شده است. دیپالما و لیندسی[۴] (۲۰۱۱) مروری جامع بر روش‌های قیمت‌گذاری عوارض با هدف مدیریت ترافیک و شلوغی انجام دادند. آنها روش مختلفی را در ادبیات برای تعیین عوارض مطالعه کردند. از آن جمله پرداخت عوارض بر اساس استفاده از تأسیسات و زیرساخت‌های خاص یک مسیر (استفاده از یک تونل، پل و ...)[۵]، عوارض برای محدودهایی از شهر یا یک مسیر[۶] و طرح‌های مبتنی بر زمان و مسافت (عوارض تابع زمان استفاده، طول زمانی و مسافتی استفاده از مسیر) است (Guo et al., 2017). پرز[۷] و همکاران (۲۰۱۲) گزینه‌های مختلف قیمت‌گذاری عوارض را مطابق جدول ۱ دسته‌بندی کردند. روش‌های دیگری نیز برای محاسبه نرخ عوارض آزادراهی معرفی شده است مانند پرداخت بر اساس مسافت و pay-as-you drive insurance (Cambridge Systematics and Resource Systems Group, 2008).

جدول ۱. دسته‌بندی روش‌های قیمت‌گذاری عوارض

معیار	دسته‌بندی
زمان و ساعت شلوغی	ثابت در طول روزهای مختلف یا متغیر بر اساس میزان شلوغی مسیر
نوع وسیله نقلیه	یکسان برای همه وسایل، هزینه بیشتر برای وسایل نقلیه آلاینده‌تر، بر اساس تعداد محور وسایل نقلیه
محل زندگی راننده وسیله نقلیه	برای ساکنین مناطقی که از جاده و یا خیابان می‌گذرند هزینه کمتری اخذ می‌شود.
روش پرداخت	نقدی یا الکترونیکی
روز هفته	ایام شلوغ هزینه بیشتری دریافت می‌شود
فصل سال	برخی فصول (پاییز و تابستان) هزینه بیشتر از سایر فصول سال است
مسافت	هزینه ثابت یا تابع مسافت طی شده در بزرگراه

دانگ[۸] و همکاران (۲۰۱۲) مسئله تعیین نرخ عوارض در آزادراه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس مطالعه آنها، دو شیوه کلی برای تعیین نرخ عوارض استفاده می‌شود: (۱) پوشش هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از آزادراه و (۲) کنترل شلوغی و ازدحام در آزادراه. آنها بر اساس روش پوشش هزینه‌ها در یک آزادراه، فرض کردند که یک آزادراه شامل تعداد ورودی و تعداد خروجی است که هر وسیله نقلیه می‌تواند از یک ورودی وارد و از یک خروجی، خارج شود. نرخ عوارض برای هر یک از وسایل نقلیه بر اساس آنکه از کدام ورودی وارد و از کدام خروجی خارج می‌شود، متغیر است. روش پیشنهادی آنها بر این اساس است که جمع درآمدهای حاصل از اخذ عوارض در یک بخش (یک ورودی و یک خروجی در بزرگراه را یک بخش تشکیل می‌دهد) برابر هزینه‌های بخش مربوطه در یک دوره زمانی ثابت مثل یک سال باید باشد. آنها ارزش زمانی پول را در تحلیل خود وارد نکردند و اقتصادی بودن استفاده از بزرگراه را تنها در یک دوره بررسی کرده‌اند. به طور کلی بیشتر تحقیقات پیرامون تعیین نرخ عوارض بر رویکرد استفاده از عوارض برای کاهش شلوغی و ازدحام در مسیرهاست. یلدیریم و هیرن[۹] (۲۰۰۶) و رووِندال و ورهوف[۱۰] (۲۰۰۶) ادبیات مسئله تعیین نرخ عوارض را براساس تأثیر آن بر کاهش شلوغی در مسیرهای برون شهری بررسی کردند. نرخ عوارض در یک مسیر عموماً به نحوی تعیین می‌شود تا از امکانات و تسهیلات سیستم‌های حمل و نقل بهره‌ورانه استفاده شود به نحوی که اثرات منفی آن بر سایر ذینفعان و استفاده‌کنندگان مسیر درنظر گرفته شود.

گیبسون و کارنوال[۱۱](۲۰۱۵) تأثیر نرخ عوارض در خیابان‌های درون شهری را بر کاهش شلوغی و آلایندگی محیط زیست بررسی کردند. آنها با مطالعه شلوغی و میزان آلایندگی در محیط‌های شهری (مطالعه سیستم حمل و نقل شهر میلان ایتالیا) نشان دادند که یکی از اثرات مثبت تعیین نرخ عوارض در بزرگراه‌ها و محدوده‌های ترافیک شهری، کاهش ترافیک و آلایندگی هوا است. به طور مشابه اگروال[۱۲] و همکاران (۲۰۱۵) اثر قمیت گذاری و عوارض ورود به نواحی شلوغ در سنگاپور را مورد مطالعه قرار دادند. جنگ[۱۳] و همکاران (۲۰۱٤) راهبرد تعیین نرخ عوارض پویا و متغیر در طول زمان را به جای نرخ عوارض ثابت در یک بزرگراه که خط ویژه دارد، پیشنهاد دادند. آنها به منظور کنترل ترافیک و کاهش شلوغی در یک مسیری که در کنار خطوط عادی دارای خط ویژه نیز هست، راهکار تعیین نرخ عوارض که در طول زمان میزان تقاضا تغییر می‌کند را ارایه کردند. روش پیشنهادی تعیین نرخ عوارض بر اساس رویکرد کاهش شلوغی است و موضوع تحلیل اقتصادی مسیر نیست. فان[۱٤] و همکاران (۲۰۱٦) نیز به طور مشابه از تعیین بهینه نرخ عوارض به صورت پویا برای کنترل ترافیک و شلوغی مسیرها استفاده کردند. چن[۱۵] و همکاران (۲۰۱۵) از ابزار شبیه‌سازی برای تعیین نرخ عوارض در بزرگراه‌ها استفاده کردند. آنها استراتژی‌های مختلف تعیین عوارض در آزادراه‌ها را با شبیه‌سازی شبکه حمل و نقل ارزیابی و بهترین استراتژی را برای یک مسیر انتخاب کردند. چن و دی (۲۰۲۱) ملی برای قیمت‌گذاری خودروهای اشتراکی ارایه کردند. همچنین مدلی پویا برای نرخ‌گذاری عوارض بر اساس میزان ترافیک ارائه شده است (Swami et al., 2021). نیشابوری و یوسفی‌عطاری[۱٦] (۲۰۱۲) و افندی‌زاده[۱۷] و همکاران (۲۰۱۱) نیز مسئله قیمت‌گذاری معابر محدوده طرح ترافیک را با الگوریتم ژنتیک بررسی کردند. آنها نیز مانند سایر تحقیقات این حوزه مسئله را در شرایط اثرات اقتصادی بر سایر استفاده‌کنندگان بررسی کردند. به عنوان یک نتیجه‌گیری از مطالعه پیشینه تحقیق اینکه تقریباً تمام تحقیقات انجام شده پیرامون تعیین نرخ عوارض در مسیرهای حمل و نقل اعم از خیابان‌ها و جاده‌ها درون‌شهری و برون‌شهری، با هدف مدیریت ترافیک و تقاضا انجام شده است. کمتر تحقیقی از منظر سرمایه‌گذاری و تحلیل اقتصادی به موضوع قیمت‌گذاری عوارض جاده‌های برون شهری پرداخته است. لذا این تحقیق می‌تواند در این حوزه نوآوری لازم را داشته باشد. از طرفی دیگر، در حال حاضر از دو روش متوسط کشوری و آزادراه همسان در محاسبه میزان عوارض آزادراه‌ها در کشور استفاده می‌شود که روش محاسباتی دقیقی با توجه به اینکه هر پروژه مشخصات خاص خود را دارد، موجود نمی‌باشد. با توجه به رشد آزادراه‌ها و نیاز به تأمین منابع مالی توسط بخش خصوصی نیاز به ارایه مدلی کارامدی جهت تعیین نرخ عوارض ضروری است تا سرمایه‌گذاران با اطمینان بیشتری در این امر مشارکت کنند.

۳- فرایند مالی احداث و بهره‌برداری آزادراه‌ها

احداث آزادراه‌ها مانند اجرای هر پروژه زیربنایی نیاز به انجام مطالعه قبل از اجرا دارد. در مرحله مطالعه اساساً به ضرورت اجرای طرح و دو سوال امکان‌پذیری فنی و اقتصادی پاسخ داده

می‌شود. اینکه یک آزادراه چرا باید ساخته شود و چه شیوه و فناوری برای اجرا باید انتخاب شود و چگونه طرح عملیاتی شود از سوالات کلیدی است که در این مرحله پاسخ داده می‌شود. اما موضوع اقتصادی سوال کلیدی دیگری است که اگر پاسخ داده نشود ممکن است ریسک بزرگی به سرمایه‌گذار و بهره‌بردار تحمیل کند. آیکام[۱۸](۲۰۱۸)، فرایند برنامه‌ریزی و مطالعه احداث یک آزادراه را شامل مراحل تعریف، امکان‌سنجی فنی، انتخاب، برآوردها و طراحی تفصیلی معرفی می‌کند. این مراحل را می‌توان در سه مرحله زیر مطابق آنچه در فرایند مطالعه راه‌ها در ایران انجام می‌شود خلاصه کرد: مرحله مطالعه ترافیکی یا ضرورت احداث راه، مرحله مطالعه امکان‌سنجی فنی و مرحله تحلیل اقتصادی. مرحله مطالعه ترافیکی در پاسخ به سوال ضرورت احداث راه انجام می‌شود. مهمترین خروجی این مرحله برآورد تقاضا و پیش‌بینی آن در آینده در یک مسیر است. آمار تردد‌شماری محورهای تأثیرگذار بر محور مورد مطالعه، رشد سالانه ترافیک در طول دوره طرح برای راه موجود بر اساس آمار ترافیک سال‌های قبل آن و برای راه جدید بر اساس جایگاه راه مورد مطالعه در شبکه ملی و منطقه‌ای، از طریق مطالعات ترافیکی مانند مطالعه میدانی مبدأ- مقصد و آمار ترافیک راه‌های مجاور موجود یا منطقه مورد نظر تعیین می‌شود. پس از تحلیل آمارهای سال‌های گذشته، میزان درصد رشد ترافیک برای انواع وسایل نقلیه به تفکیک به دست می‌آید و سپس این درصد رشد به سال‌های بعد نیز تعمیم داده می‌شود (Findley et al., 2016). برای تعیین نرخ رشد ترافیک باید حداقل یک دوره ۱۰ ساله از داده‌های ترافیکی در دسترس باشد. برای تعیین رشد ترافیک می‌توان از نتایج آمارگیری ارائه شده توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استفاده کرد. برای راه جدید علاوه بر استفاده از نتایج آمارگیری محورهای موجود در محدوده پروژه، می‌توان با استفاده از مدل‌های مناسب حمل و نقل، رشد ترافیک سالانه را محاسبه کرد. چنانچه آمار لازم در دوره ۱۰ ساله وجود نداشته باشد و یا آمار موجود دارای دامنه تغییرات غیرقابل قبول باشد، باید ضمن ارایه دلایل مستند لازم با بررسی طرح‌های توسعه منطقه‌ای و کشور، نرخ رشد سالانه ترافیک را بر اساس شرایط واقعی تعیین شود. در مرحله مطالعه فنی تحلیل‌گر به دنبال بررسی مشخصات فنی مسیر و طراحی هندسی راه است. از جمله خروجی‌های این مرحله، برآورد مسافت، نوع روسازی، تعداد پل‌ها و سایر مشخصات فنی مسیر است. در واقع بخشی از این مشخصات به برآورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه راه مربوط می‌شوند. پس از آنکه در دو مرحله قبل (مطالعه ترافیکی و مطالعه فنی) ضرورت احداث راه، میزان تقاضا در یک مسیر به همراه مشخصات فنی آن تعیین شد، آخرین مرحله از فاز مطالعه، تحلیل اقتصادی است. ارزشیابی اقتصادی در واقع تحلیل و مقایسه هزینه و فایده یک طرح به منظور تصمیم‌گیری درباره اجرا کردن و یا نکردن آن است. تعیین نرخ عوارض نیز در این مرحله انجام می‌شود. تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها از دو منظر سرمایه‌گذار دولتی و خصوصی قابل تأمل است. مهمترین تفاوت این دو دیدگاه نوع درآمدهای حاصل از اجرای طرح است. زمانی که سرمایه‌گذار دولت باشد، به جز درآمدهای مستقیم که از طریق عوارض کسب می‌شود، منافع غیرمستقیم احداث یک آزادراه مانند صرفه‌جویی در سوخت، زمان و همچنین کاهش استهلاک و تصادفات نیز باید در تحلیل‌های اقتصادی درنظر گرفته شود. فرض اساسی این مقاله، انجام تحلیل اقتصادی احداث آزادراه‌ها از منظر بخش خصوصی است که انتظار بازگشت سرمایه خود در مدت زمانی مشخص و به صورت مستقیم دارد. به عبارت دیگر منافع غیرمستقیم حاصل از احداث منفعتی برای سرمایه‌گذار بخش خصوصی ندارد.

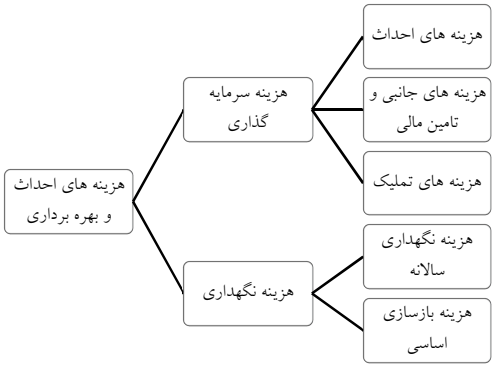
در صورت غیراقتصادی‌بودن طرح‌ها در این شرایط، دولت باید به واسطه کسب منافع غیرمستقیم حاصل از اجرای طرح به بخش خصوصی کمک کند.

برای تحلیل اقتصادی طرح احداث آزادراه‌ها با ابزارهای اقتصاد مهندسی مانند هر پروژه سرمایه‌گذاری باید اجزای جریان مالی آن مانند شکل ۱ شامل دوره سرمایه‌گذاری، موارد هزینه‌ای و درآمدی طرح شناسایی شوند. در زیربخش‌های بعدی این مقاله ساختار درآمدی و هزینه‌ای احداث یک آزادراه براساس بررسی اسناد مراحل مطالعاتی تعدادی آزادراه در کشور ارایه شده است.

۳-۱- ساختار شکست هزینه‌های یک آزادراه

هزینه‌های احداث یک راه به طور کلی از منظر هزینه‌کرد به دو دستهٔ هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های نگهداری و بازسازی تقسیم می‌شود (Brockenbrough, 2009). هزینه‌های سرمایه‌گذاری عموماً در سال‌های اولیه طرح باید تأمین شوند. اما هزینه‌های نگهداری و بازسازی متناسب با

تعداد آمد و شد در آزادراه براورد می‌شود. شکل ۲ ساختار درختی هزینه‌های احداث و بهره‌برداری یک آزاد راه را نشان می‌دهد.

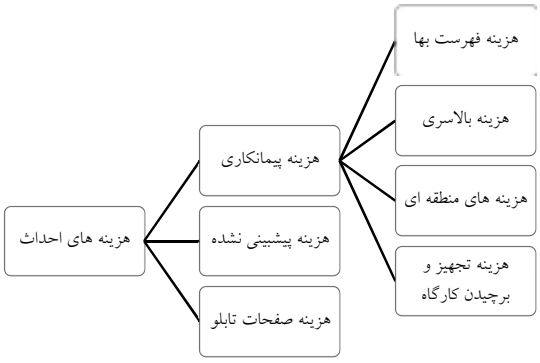


شکل ۲. اجزا هزینه‌ای احداث و بهره‌برداری یک آزادراه

۳-۱-۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری

هزینه احداث یک راه جدید یا توسعه یک راه موجود شامل یک هزینه‌کرد مستقیم به مبلغ قابل توجه و در مدت زمان نسبتاً کوتاه است. این هزینه اولیه مبلغی را تشکیل می‌دهد که معمولاً به عنوان هزینه اولیه یا سرمایه‌گذاری اصلی از آن یاد می‌شود و معمولاً شامل بخش‌های زیر می‌باشد:

الف- هزینه‌های احداث سازه فیزیکی راه: مهمترین مورد هزینه‌ای در بخش سرمایه‌گذاری، هزینه‌های مربوط به پیمانکاری و ساخت راه است.



شکل ۳. ساختار هزینه‌های احداث آزادراه

آیکام (۲۰۱۸)، موارد ریز هزینه‌های احداث آزادراه‌ها را معرفی کرده که این اجزا به طور کلی مطابق شکل ۳ در سه بخش هزینه‌های پیمانکاری، پیش‌بینی نشده و صفحات تابلویی خلاصه می‌شود. دسته‌بندی ارایه شده در شکل ۳ اجزای هزینه‌ای معرفی‌شده در پژوهش پژوهشکده حمل و نقل با عنوان "تدوین راهنمای مطالعات و توجیه فنی و اقتصادی پروژه‌های جاده‌ای و ریلی" شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم عملیات، تملک زمین و پرداخت خسارت، هزینه برپایی و برچیدن کارگاه، مصالح و غیره (JDTMU, 2008) را نیز شامل می‌شود. اساس براورد هزینه‌های احداث، برآوردهایی است که در مرحله مطالعه فنی انجام شده است. در این مرحله مشخصات و ویژگی‌های راه مانند طول مسیر، تعداد خطوط رفت و برگشت مسیر، طبقه‌بندی منطقه به لحاظ توپوگرافی، شیب مسیر، تعداد تونل‌ها و مشخصات آنها، تعداد پل‌ها و ویژگی‌های آنها و ... مشخص می‌شود. با توجه به احجام مشخص‌شده در اسناد طراحی یک آزادراه مشخص در مرحله مطالعه فنی و با استفاده از جداول فهرست بهاء، ارزش ریالی اجراء برآورد می‌شود. به برآورد هزینه‌های اجراء، هزینه‌های بالاسری، هزینه‌های خاص منطقه اجرای طرح و هزینه‌های تجهیز و برچیدن کارگاه نیز باید اضافه شود (JDTMU, 2008). هر یک از این اجزاء، درصدی از هزینه‌های برآوردشده بر اساس فهرست‌بها است. به عنوان مثال هزینه بالاسری، ۲۰ درصد، هزینه‌های منطقه‌ای بسته به منطقه مورد اجراء بین صفر تا ۲۰ درصد است. اما هزینه‌های تجهیز و برچیدن کارگاه ٤ درصد هزینه‌های اجراء که بر اساس مشخصات فنی راه و مبالغ فهرست‌بها مشخص می‌شود، تخمین زده می‌شود. جمع هزینه‌های احجام، بالاسری، منطقه‌ای و تجهیز و برچیدن کارگاه، اصطلاحاً هزینه‌های پیمانکاری گفته می‌شود. از آنجا که در مرحله اجراء مسائلی پیش می‌آید که در مرحله برنامه‌ریزی پیش‌بینی نشده، علاوه بر هزینه‌های پیمانکاری ضریبی حدود ۹ درصد از کل هزینه پیمانکاری در حالت هزینه‌های قطعی به عنوان هزینه پیش‌بینی‌نشده در نظر گرفته می‌شود. این هزینه بخشی از عدم قطعیت هزینه‌ها است که قابل بیان به صورت متغیر تصادفی است. در این مقاله این عدم قطعیت‌ها با توزیع‌های آماری در مدل تحلیل اقتصادی وارد می‌شوند. یعنی هزینه‌های احداث به جای آنکه درصدی از هزینه‌ها به عنوان هزینه پیش‌بینی نشده در مدل وارد شوند، به صورت یک متغیر تصادفی با توزیع آماری مشخص درنظر گرفته می‌شوند. بخش دیگری از هزینه‌های احداث، شامل هزینه‌های صفحات تابلو (فاکتوری) است. این هزینه با ضریب داده شده در فهرست بهای مربوطه اعمال می‌شود.

ب- هزینه‌های جانبی و تامین مالی: بخشی دوم هزینه‌های احداث یک راه که جدای از هزینه‌های پیاده‌سازی و اجرا است،

هزینه‌های مربوط به مهندسی، طراحی و نظارت طرح به اضافه هزینه‌های مالیات، ارزش افزوده و حقوق مربوط به انواع بیمه‌های پروژه است (AECOM, 2018). این گروه از هزینه‌ها نیز تابعی (درصدی) از هزینه‌های احداث راه می‌باشد. هزینه مهندسی طرح شامل مطالعه، نظارت و کنترل کیفی معادل ۳/۵ درصد و هزینه مالیات‌ها و بیمه نیز به ترتیب ۹ و ۵/۱ درصد هزینه‌های کل ساخت تخمین زده می‌شود. کل هزینه‌های جانبی و تامین مالی، ۱۷/٦ درصد کل هزینه‌های ساخت است.

ج- هزینه‌های تملک حریم راه: یکی از خروجی‌های تحلیل‌های فنی، مقدار و هزینه‌های تملک اراضی است که راه جدید باید از آنها عبور کند. این اراضی باید از مالکین آنها خریداری و در اختیار پروژه قرار گیرد (Mansourkhaki et al., 2017). پس از پیش‌بینی هزینه‌های تصرف اراضی مسیر، به نسبت مشخص (بسته به برنامه زمان‌بندی اجرای طرح) در دوره احداث راه تقسیم می‌شود. به عنوان مثال اگر هزینه تملک اراضی ٤٠ واحد پولی در طول سه سال ساخت پروژه باشد و براساس برنامه زمان‌بندی باید ٦٠ درصد آن در سال شروع (سال صفر) و ٤٠ درصد در سال اول هزینه شود، آنگاه این هزینه‌ها به جریان مالی پروژه اضافه می‌شود.

۳-۲-۲- هزینه‌های نگهداری و بازسازی راه

علاوه بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری که در ابتدای پروژه احداث راه به سرمایه‌گذار تحمیل می‌شود، هزینه‌های دیگری شامل هزینه‌های نگهداری و بازسازی نیز وجود دارند که در دوران استفاده و بهره‌برداری پرداخت شوند (Brockenbrough, 2009). یقیناً در نظر گرفتن این بخش از هزینه‌ها نیز بر شاخص‌های اقتصادی راه تأثیرگذار خواهند بود. مقدار و زمان هزینه‌کرد این نوع هزینه‌ها بسته به نوع هزینه مانند تعمیرات و نگهداری، روکش آسفالت و ... متغیر است. در ادامه هر دو این هزینه‌ها توصیف می‌شوند.

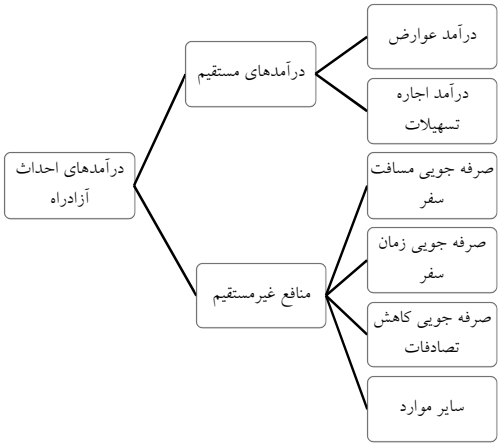
الف- هزینه‌های تعمیر و نگهداری: بدون شک، بدون نگهداری کافی و به موقع، بزرگراه‌ها و راه‌های برون‌شهری به شدت دچار زوال و تخریب خواهد شد که این امر منجر به بیشترشدن هزینه بهره‌برداری وسیله نقلیه، افزایش تعداد تصادفات و کاهش اعتماد به خدمات حمل و نقل می‌شود. وقتی عملیات تعمیر و نگهداری به موقع انجام نشود، نیاز به بهسازی و حتی بازسازی گسترده‌ای خواهد بود که اغلب هزینه‌ای بیشتر از تعمیر و نگهداری ساده‌ای که می‌توانست زودتر انجام شود، در بر خواهد داشت. مراقبت از شبکه موجود و نگهداری آن در شرایط مطلوب امر مهمی بوده و اغلب در تخصیص بودجه‌های جدید دارای اولویت می‌باشد. طبق تعریف مجمع جهانی راه (PIARC) نگهداری راه شامل مجموعه فعالیت‌هایی از قبیل نگهداری روسازی، شانه‌ها، شیب‌ها، تسهیلات زهکشی و دیگر ابنیه فنی در حدی است که راه را به شرایط اولیه ساخت آن نزدیک می‌کند. راه‌ها از جمله سرمایه‌های عمده ملی هر کشور محسوب می‌شوند و براساس معیارهای بین‌المللی اعتباری که به امر نگهداری راه‌ها تعلق می‌گیرد معادل ۲ تا ٦ درصد ارزش روز راه‌ها می‌باشد که این درصد بر حسب عمر مفید راه معین می‌شود (Tabatabaee and Rahman, 2009). طبق یک رویه در وزارت راه و شهرسازی، هزینه سالانه برای نگهداری یک آزاد راه ٦ درصد هزینه عملیات اجرایی (هزینه‌های سرمایه‌گذاری) است. در برخی از مطالعات، هزینه‌های نگهداری یک آزادراه شامل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات سالانه و هزینه اخذ عوارض ۲۰ درصد درآمدهای حاصل از عوارض در سال براورد می‌شود.

ب- هزینه بازسازی اساسی راه: علاوه بر هزینه‌های سالانه نگهداری آزادراه‌ها، به طور متوسط هر ۱۲ سال از زمان بهره‌برداری نیاز به تعویض روکش آسفالت و تعمیرات اساسی زیرسازی و ابنیه آن است. این هزینه‌ها برخلاف هزینه‌های نگهداری که هزینه‌های تکراری[۱۹] سالانه خوانده می‌شوند، به هزینه‌های غیرتکراری[۲۰] معروف‌اند (Brockenbrough, 2009). طبق آنچه در حال حاضر برای برآورد هزینه‌های فوق در ایران انجام می‌شود، در سال ۱۲ام به میزان ۲۰ درصد هزینه ساخت هزینه بازسازی اساسی راه در جریان نقدی پروژه بابت هزینه تعویض روکش درنظر گرفته می‌شود.

۳-۳- ساختار شکست درآمدهای یک آزادراه

برای تکمیل جریان مالی سرمایه‌گذاری، در این بخش درآمدهای حاصل از طرح احداث آزادراه به همراه اجزای آن معرفی می‌شوند. شکست درآمدهای طرح این کمک را به تحلیل‌گر اقتصادی می‌کند تا دقیق‌تر بتواند جریان نقدی پروژه را شناسایی و با ابزارهای اقتصادی مانند روش‌های اقتصاد مهندسی، اقتصادی‌بودن یا نبودن آن را مطالعه کند. درآمدهای حاصل از احداث یک آزادراه را می‌توان به دو دسته

درآمدهای مستقیم و منافع غیرمالی مطابق شکل ٤ دسته‌بندی کرد.



شکل ٤. ساختار شکست درآمدی‌های آزادراه

۳-۳-۱- درآمدهای مستقیم

درآمدهای مستقیم یک آزادراه شامل مبالغ ریالی است که در دوران بهره‌برداری از استفاده‌کنندگان آزادراه اخذ می‌شود. دو بخش اصلی درآمدی شامل درآمد حاصل از اخذ عوارض از وسایل نقلیه عبوری و اجاره تسهیلاتی مانند پمپ بنزین، مجتمع‌های خدماتی و غیره است. نحوه محاسبه این دو بخش در ادامه تشریح شده است.

الف-فروش عوارض: درآمد ریالی که از فروش عوارض سالانه کسب می‌شود، تابع نرخ عوارض (متغیر تصمیم این مقاله)، مسافت طی‌شده توسط وسایل نقلیه و تقاضا (تعداد انواع وسایل نقلیه عبوری در سال) است. از ضرب تعداد عبور و مرور در مسافت و نرخ عوارضِ واحد مسافت (یک کیلومتر)، درآمد مستقیم سالانه یک آزاد راه حاصل می‌شود. در ادامه هر یک از این اجزاء معرفی و تشریح می‌شوند.

عوارض در واقع هزینه استفاده از تسهیلات راه به ازای یک کیلومتر مسیر است. یعنی واحد نرخ عوارض ریال بر کیلومتر راه است. قطعاً این نرخ در تمام جاده‌های کشور و برای تمام وسایل نقلیه یکسان نخواهد بود. هر آزادراهی که هزینه‌های سرمایه‌گذاری آن بیشتر باشد (هزینه زیرساخت‌های بیشتری داشته باشد) برای پوشش هزینه‌های آن لازم خواهد بود، نرخ عوارض آن نیز بیشتر باشد. از طرفی هرچه تردد در یک آزادراه بیشتر باشد، هزینه‌ها بین تعداد خودروهای عبوری سرشکن می‌شود و بنابراین نرخ عوارض آن پایین‌تر خواهد آمد. از طرفی نرخ عوارض برحسب نوع وسیله نقلیه سواری و سنگین نیز متفاوت است. به منظور معادل‌سازی انواع وسایل نقلیه با وسیله نقلیه سواری به عنوان واحد مرجع، از ضریب همسان‌سازی استفاده می‌شود. جدول زیر ضریب همسان‌سازی انواع وسایل نقلیه با واحد مرجع (وسیله نقلیه سواری) که در حال حاضر در تحلیل اقتصادی راه استفاده می‌شود، ارایه شده است.

جدول ۲- ضرایب همسان‌سازی انواع وسایل نقلیه

نوع وسیله نقلیه	سواری	کامیونت و مینی بوس	کامیون دو محور	اتوبوس	سه محور و تریلر
ضریب	۱	۲/۵	۳	٤	۵

تعداد تردد انواع وسایل نقلیه در یک روز با استفاده از نرخ‌های ذکرشده در جدول فوق قابل تبدیل به تعداد وسایل نقلیه عبوری بر حسب وسیله نقلیه سواری است. از طرفی اگر نرخ عوارض به ازای یک کیلومتر راه به ازای هر وسیله نقلیه سواری محاسبه شود، با استفاده از ضرایب فوق می‌توان نرخ عوارض به ازای هر نوع وسیله نقلیه را محاسبه کرد. بنابراین مسئله محاسبه نرخ عوارض انواع وسایل نقلیه در یک آزاد راه تبدیل به مسئله محاسبه نرخ عوارض برای وسایل نقلیه مرجع (سواری) می‌شود. با توجه به رشد تورم، نرخ عوارض در یک آزادراه در سال اول نسبت به سال‌های بعد یکسان نیست و باید نرخ عوارض هر وسیله نقلیه (یا نرخ عوارض وسایل نقلیه سواری به عنوان مرجع) در سال‌های عمر پروژه نسبت به سال اول متورم شود. به این منظور نرخ عوارض سال اول بهره‌برداری را در یک ضریب رشدی نسبت به سال قبل افزایش می‌دهند. در حال حاضر در بخش مطالعه اقتصادی این ضریب ۱۲ درصد لحاظ می‌شود. البته می‌توان این ضریب را با ضریب تورم سالانه مرتبط کرد. ولی چون این نرخ در مرحله برنامه‌ریزی و نه مرحله بهره‌برداری تعیین می‌شود و نمی‌توان با دقت نرخ تورم سال‌های آینده را پیش‌بینی کرد، نرخ تورم بر اساس متوسط سال‌های گذشته، تعیین می‌شود. بنابراین، اگر x_1 نرخ عوارض سال اول بهره‌برداری برای وسایل نقلیه سواری تعیین شود، نرخ عوارض در سال iام از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$x_i = x_1(1 + In)^i \qquad (۲)$$

که در این رابطه In متوسط نرخ تورم در سال‌های گذشته یعنی ۱۲ درصد و x_i نرخ عوارض خودروی سواری در سال iام است. تاکید می‌شود که مسئله این مقاله محاسبه کمترین

مقدار x_1 به شرط اقتصادی بودن طرح ($NPV > 0$) است از این رو نرخ عوارض را نرخ عوارض اقتصادی می‌نامیم.

یکی از خروجی‌های مرحله مطالعه ترافیکی، برآورد تقاضا در هر یک از مسیرهای رفت و برگشت آزادراه به تفکیک انواع وسایل نقلیه معرفی شده در جدول ۲ است. روش‌های مختلفی برای براورد تقاضا در یک مسیر جدید وجود دارد. پیش‌بینی تولید و توزیع سفر بین دو شهر مبدا و مقصد و تخصیص آنها بین مسیرهای موجود و آزادراه جدید الاحداث یکی از روش‌های مرسوم برای پیش‌بینی است. اما در حال حاضر در بیشتر مطالعات ترافیکی از آمار سفرهای موجود بین دو شهر در مسیرهای موجود استفاده می‌شود. به این ترتیب که روند تغییرات تردد در مسیرهای بین دو شهر که توسط فناوری‌های ترددشمار ثبت شده، بررسی می‌شود و برآوردی از تعداد سفرهای سال اول پروژه به ازای راه جدید می‌شود. سپس با نرخی تعداد تقاضا به تفکیک هر نوع وسیله نقلیه در سال‌های عمر راه پیش‌بینی می‌شود. از آنجا که موضوع این مقاله پیش‌بینی تقاضا نیست، فرض بر آن است که در مرحله مطالعه ترافیکی این مقادیر برای سال‌های آینده محاسبه شده است. نکته قابل تأمل عدم قطعیت در مقادیر پیش‌بینی تقاضا است. هرچند می‌توان با روش‌های پیش‌بینی علمی دقت پیش‌بینی تقاضا را بهبود بخشید اما در مقادیر پیش‌بینی یقیناً عدم قطعیتی وجود دارد. یکی از نوآوری‌های این مقاله لحاظ کردن این عدم قطعیت در قالب متغیرهای تصادفی است. یعنی مقدار اقتصادی عوارض با فرض قطعی‌بودن پیش‌بینی تقاضا و عدم قطعیت (تصادفی بودن تقاضا در هر سال) انجام می‌شود.

در رابطه زیر، d_{ij}^1 مقدار تقاضای روزانه در مسیر رفت (مسیر ۱) در سال iام برای خودروی نوع jام و r_{ij} ضریب رشد تقاضا در سال iام و خودروی نوع jام است (Findley et al., 2016).

$$d_{ij}^1 = d_{i-1j}^1(1 + r_{ij}) \quad (۳)$$

همانطور که قابل درک است بعد از برآورد مقدار تقاضای هر نوع وسیله نقلیه در روز، تعداد تقاضا در سال (با ضرب در ۳۶۵) پیش‌بینی می‌شود. اگر D_{ij}^1 تقاضا سالیانه عبوری از مسیر رفت (مسیر ۱) از راه جدید الاحداث در سال iام و به ازای خودروی نوع jام باشد، D_i^1 مقدار تقاضای کل راه در مسیر جدید در دو جهت رفت و برگشت در سال iام مطابق رابطه زیر برحسب واحد مرجع (خودروی سواری) محاسبه می‌شود.

$$D_i = \sum_{\forall j} D_{ij}^1 \times \lambda_j + \sum_{\forall j} D_{ij}^2 \times \lambda_j \quad (۴)$$

در رابطه فوق λ_j همان ضریب همسان‌سازی خودروی نوع jام در جدول ۲ است. اگر میزان تقاضای سالیانه (D_i) در نرخ عوارض یک کیلومتر راه در سال iام ضرب شود، میزان درآمد ریالی در سال مورد نظر به ازای یک کیلومتر پیمایش برآورد خواهد شد. این مقدار بخشی از درآمدها در جریان مالی را تشکیل خواهد داد. نکته قابل توجه آن است که درآمدهای هر سال باید در مسافت طی شده خودروها و نرخ تورم عوارض که قبلا در مورد آن بحث شد، ضرب شوند. رابطه (۵) نحوه محاسبه درآمد سالانه (در سال iام) راه جدید الاحداث از طریق عوارض را نشان می‌دهد.

$$Income_i = D_i \times x_i \times dis \quad (۵)$$

$Income_i$ بیانگر درآمد سال iام در آزادراه از طریق فروش عوارض است. x_i نرخ عوارض به ازای یک کیلومتر تردد وسیله نقلیه سواری در سال iام است و dis نیز طول آزادراه برحسب کیلومتر است که در مطالعه فنی مقدار آن مشخص می‌شود. همانطور که اشاره شد، نرخ عوارض سالانه در رابطه (۵) را می‌توان برحسب نرخ عوارض سال اول در نظر گرفت. به این ترتیب از ترکیب رابطه (۲) و (۵)، مقدار درآمد سالانه حاصل از فروش عوارض عبارت است از:

$$Income_i = D_i \times x_1(1 + In)^i \times dis \quad (۶)$$

ب-اجاره تسهیلات: بخشی از درآمدهای یک آزادراه را می‌توان از هزینه‌های احداث مجتمع‌های اقامتی و رفاهی در آزادراه تامین کرد. طبق مطالعه قوانین و مقررات مربوط به واگذاری مراکز رفاهی در حاشیه آزادراه‌ها مانند قانون واگذاری امتیاز سرقفلی و مشارکت غرفه‌ها و فروشگاه‌های پایانه‌های عمومی بار و مسافر و مجتمع‌های خدمات رفاهی مصوب مهرماه ۱۳۷۷ و آیین‌نامه اجرایی تبصره ۱ ماده ۱۷ اصلاحی قانون ایمنی راه‌ها و راه‌آهن مصوب ۱۳۷۹، هزینه قابل توجهی بابت اجاره مراکز از متقاضیان اخذ نمی‌شود. این ارقام در قبال درآمدهای عوارض و یا هزینه‌های ساخت آزادراه ارقام معنی‌داری نیستند و می‌توان از محاسبه آنها صرفه‌نظر کرد.

۳-۳-۲- منافع غیرمستقیم

دسته دوم از درآمدهای احداث یک آزادراه، منافع غیرمستقیم هستند. منظور از منافع غیرمستقیم درآمدهایی هستند که مانند عوارض مستقیماً و به صورت ریالی دریافت نمی‌شوند. این بخش از درآمدها مانند سهولت دسترسی، رفاه اجتماعی،

رضایت محلی، صرفه‌جویی در وقت، تسریع در رسیدن مسافر و کالا به مقصد، صرفه‌جویی در سوخت، کاهش استهلاک و وسایل نقلیه، کاهش خسارت تصادفات وارده به وسایل نقلیه، کاهش خسارت تصادفات وارده به مسافرین و توسعه اقتصادی بعضاً قابل محاسبه به ریال نیز نیستند. در مطالعات ارزیابی اقتصادی و تصمیم‌گیری برای احداث آزادراه‌ها این موارد تحت عنوان هزینه لحاظ شده‌اند. صفارزاده[۲۱] و همکاران (۲۰۰۵) این موارد را تحت عنوان هزینه کابردی شامل هزینه عملکرد وسایل نقلیه (سوخت، لاستیک، استهلاک وسایل نقلیه)، هزینه زمان سفر (وسیله–ساعت زمان سفرکرده در واحد زمان)، هزینه تصادفات (نرخ تصادفات بر واحد هزینه) و هزینه‌های محیطی و اجتماعی معرفی کردند. فیندلی[۲۲] و همکاران (۲۰۱۷) نیز منافع مادی غیرمستقیم احداث آزادراه‌ها را شامل افزایش ایمنی، کاهش اثرات زیست محیطی، کاهش هزینه‌های عملیاتی و نگهداری وسایل نقلیه و ... معرفی کردند. منصورخاکی و همکاران (۲۰۱۷) نیز روابطی برای برآود هزینه‌های تصادفات، هزینه‌های مصرف سوخت، روغن، استهلاک لاستیک و تعمیر و نگهداری خودرو و محاسبه زمان سفر جهت استفاده از آنها در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها توسعه دادند. در مطالعه اقتصادی یک راه، این موارد تحت عنوان هزینه و در موارد جایگزینی یک آزادراه به جای یک راه موجود این موارد تحت عنوان منافع حاصل از صرفه‌جویی در هزینه‌ها درنظر گرفته می‌شوند. از طرفی این موارد جنبه عمومی دارند و در تحلیل‌های اقتصادی با هدف سرمایه‌گذاری توسط دولت درنظر گرفته می‌شوند. یقیناً در طرح‌های احداث راه اگر سرمایه‌گذار دولت باشد، باید به واسطه صرفه‌جویی‌هایی که حاصل می‌شود، نرخ عوارض کاهش یابد. زیرا با احداث راه از پرداخت و تحمیل هزینه‌هایی که در صورت نبود راه باید پرداخت می‌شد، جلوگیری شده است. در شکل ٤ مهمترین بخش‌های این دسته از درآمدها نشان داده شده است.

٤- توسعه مدل‌های تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها

در این بخش مدل‌های اقتصاد مهندسی برای تحلیل اقتصادی و تعیین نرخ عوارض اقتصادی آزادراه‌ها در دو شرایط قطعیت و عدم قطعیت پارامترهای جریان نقدی پروژه‌ها توسعه یافته است. از دو مدل توسعه‌یافته برای تعیین عوارض اقتصادی یک آزادراه به عنوان مطالعه موردی استفاده شده است.

٤-١- تحلیل اقتصادی در حالت قطعیت پارامترها

برای تحلیل اقتصادی طرح احداث یک آزادراه باید جریان مالی طرح مطابق شکل ۱ تهیه شود. اجزای جریان مالی این طرح شامل n عمر طرح، I_i و C_i به ترتیب جمع درآمدها و هزینه‌ها طرح در سال iام است. اولین مشخصه از جریان مالی، عمر طرح از زمان شروع به انجام مرحله مطالعه تا زمان پایان دوره عمر طرح یا زمان تعمیرات اساسی راه است. در حال حاضر از منظر سرمایه‌گذار بخش خصوصی و دولت، طرح‌های راه دارای عمر مفید و محدودی دارند که در مرحله مطالعات ترافیکی و فنی مشخص و گزارش می‌شود. عمر طرح شامل دو بخش دوره مطالعه و احداث طرح و دوران بهره‌برداری تا بازسازی کامل است و تابع میزان تقاضا در سال‌های عمر مفید آن و موقعیت جغرافیایی است که راه درآن قرار گرفته است. مطابق آنچه در حال حاضر در وزارت راه و شهرسازی در مرحله مطالعات فنی و ترافیکی انجام می‌شود و براساس آن پیشنهاد سرمایه‌گذاری در راه به سرمایه‌گذار بخش می‌شود، عمر مفید آزادراه‌ها در این مقاله ثابت و مشخص فرض می‌شود. بررسی اسناد مراحل مطالعه ترافیکی و فنی تعداد آزادراه نشان می‌دهد، طول عمر پروژه‌های راه از مرحله مطالعه تا پایان عمر مفید، بین ۲۰ تا ۲۵ سال درنظر گرفته می‌شود.

برای تکمیل جریان مالی طرح باید هزینه‌ها و درآمدهای آن به تفکیک سال‌های عمر مفید مطابق تقسیم‌بندی‌هایی که در بخش قبلی این مقاله ارائه شد بر حسب متغیر نرخ عوارض تعیین شوند. به منظور نمایش کاربردی این دسته‌بندی یکی از آزادراه‌های در حال احداث کشور مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق اسناد مرحله مطالعه فنی، این آزادراه به طول ۵۹ کیلومتر در چهار خط رفت و برگشت طراحی شده است. مقرر شده احداث در سال سال مبنا شروع و بهره‌برداری دو سال بعد به طور کامل آغاز شود. قرار نیست در طول دوران مطالعه و ساخت آزادراه از آن بهره‌برداری صورت گیرد. بنابراین، درآمدهای مستقیم و غیرمستقیم طرح در دو سال اول فرایند مالی صفر خواهد بود. به جز دوران ساخت پیش‌بینی شده طرح عمر مفیدی برابر ١٤ سال داشته باشد و قرارداد ساخت و بهره‌برداری از آن با سرمایه‌گذار ١٦ سال می‌باشد. بنابراین، عمر طرح از زمان مطالعه تا پایان عمر مفید آن ١٦ سال خواهد بود. برای تسهیل در جمع‌آوری داده‌ها و بر اساس اجزای معرفی‌شده در بخش هزینه‌ها، جدول ۳ تهیه شده است.

جدول ۳. هزینه‌های طرح احداث آزادراه مورد مطالعه (ارقام برحسب میلیارد ریال)

مرحله فعالیت	سال	هزینه سرمایه‌گذاری (P_i)						هزینه نگهداری و بهره‌برداری (C_i)		
		هزینه‌های احداث				تملک اراضی	جمع هزینه سرمایه‌گذاری	هزینه نگهداری		هزینه بازسازی اساسی	جمع هزینه نگهداری
		پیمانکاری	پیش بینی نشده	صفحات تابلویی	جمع	جانبی و تامین مالی		نگهداری و تعمیرات	اخذ عوارض		
احداث	۰	۱۱۰۸	۹۶	۳۰	۱۲۳۴	۲۱۷	P_0=۱۵۰۲	۱۵ درصد درآمد مستقیم هر سال	۵ درصد درآمد مستقیم هر سال	۰	$C_0=0.2I_0$
	۱	۷۳۹	۱۲۴	۳۰	۸۹۳	۱۵۹	P_1=۱۱۰۰			۰	$C_1=0.2I_1$
بهره‌برداری	۲	۰	۰	۰	۰	۰	P_2=۰			۰	$C_2=0.2I_2$
	۳	۰	۰	۰	۰	۰	P_3=۰			۰	$C_3=0.2I_3$
	۴	۰	۰	۰	۰	۰	P_4=۰			۰	$C_4=0.2I_4$
	۵	۰	۰	۰	۰	۰	P_5=۰			۰	$C_5=0.2I_5$
	۶	۰	۰	۰	۰	۰	P_6=۰			۰	$C_6=0.2I_6$
	۷	۰	۰	۰	۰	۰	P_7=۰			۰	$C_7=0.2I_7$
	۸	۰	۰	۰	۰	۰	P_8=۰			۰	$C_8=0.2I_8$
	۹	۰	۰	۰	۰	۰	P_9=۰			۰	$C_9=0.2I_9$
	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	P_{10}=۰			۰	$C_{10}=0.2I_{10}$
	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	P_{11}=۰			۰	$C_{11}=0.2I_{11}$
	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	P_{12}=۰			۰	$C_{12}=0.2I_{12}$
	۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	P_{13}=۰			۰	$C_{13}=0.2I_{13}$
	۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	P_{14}=۰			۰	$C_{14}=0.2I_{14}$
	۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	P_{15}=۰			۰	$C_{15}=0.2I_{15}$

همانطور که مشخص است، هزینه‌ها به دو بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری تقسیم‌بندی شده‌اند. در دوران احداث، براساس گزارش مرحله مطالعه فنی آزادراه مورد مطالعه هزینه‌های احداث، جانبی و تامین مالی و تملک اراضی در جدول زیر ثبت شده است. از آنجا که هزینه‌های سرمایه‌گذاری فقط مربوط به دو سال اول طرح است،هزینه‌های سرمایه‌گذاری تنها برای این دو سال ثبت شده و هزینه‌های سایر سال‌ها صفر ثبت شده است. هزینه‌های احداث راه شامل (هزینه فهرست بها، پیش‌بینی‌نشده و صفحات تابلویی) بر اساس احجام براورد شده در مرحله مطالعه فنی و فهرست بهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور برآورد شده است. هزینه‌های جانبی و تأمین مالی شامل مهندسی، بیمه سهم کارفرما، ارزش افزوده، اداری و هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده، ۱۷/۶ درصد کل هزینه‌های احداث است و هزینه‌های تملک اراضی نیز از مطالعه فنی و مطالعه مسیر گزارش شده است. به این ترتیب هزینه‌های سرمایه‌گذاری (جمع هزینه‌های احداث، جانبی و تأمین مالی و تملک اراضی) برای درج در فرایند مالی پروژه در ستون آخر بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری جدول زیر قابل مشاهده و استفاده است. هزینه‌های نگهداری آزادراه مورد مطالعه بر اساس نظر مشاور طرح، شامل دو بخش هزینه‌های نگهداری سالانه و هزینه‌های بهره‌برداری است. این دو بخش در هر سال تابعی از درآمد حاصل از فروش عوارض قرار داده شده است. یعنی در هر سال با افزایش تردد و اخذ عوارض بیشتر، راه به هزینه‌های نگهداری بیشتری نیاز دارد. طبق نظر مشاور، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات راه در این آزادراه، ۱۵ درصد درآمد حاصل از فروش عوارض است و ۵ درصد از عوارض فروش عوارض نیز باید به عنوان هزینه‌های اخذ عوارض درنظر گرفته شود. لذا، در جدول ۳، هزینه‌های نگهداری به دو بخش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های اخذ عوارض تقسیم شده است. اگر I_i درآمد حاصل فروش عوارض در سال iام باشد، آنگاه هزینه‌های بهره‌برداری در هر سال ۲۰ درصد I_i خواهد بود. البته اگر هزینه‌های

بازسازی اساسی در هر سال صفر باشد. در آزادراه مورد مطالعه، دوره بهره‌برداری ۱۴ سال تعبیه شده و از طرفی به طور متوسط هر ۱۲ سال یکبار نیاز به بازسازی اساسی است. کارشناسان و مشاوران طرح با توجه به نزدیکی طول زمان بهره‌برداری و دوره تعمیرات اساسی نیازی به درنظر گرفتن هزینه‌های بازسازی اساسی در این آزادراه تشخیص نداده‌اند. لذا هزینه‌های بازسازی اساسی در هر سال صفر درنظر گرفته شده است. همانطور که در جدول ۳ مشخص است، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در دو سال اول طرح به طور قطعی و مشخص است. اما هزینه‌های دوران بهره‌داری تابعی از درآمد سالانه است که در ادامه بخش‌های درآمدی طرح نیز معرفی شده‌اند.

به طور مشابه جدول ٤ برای نمایش نحوه برآورد درآمدهای طرح احداث آزادراه تهیه شده است. در اولین گام، میزان تقاضای هر نوع وسایل نقلیه (سوار و وانت، کامیون دو محور سبک و مینی‌بوس، اتوبوس، کامیون دو و سه محور، کامیون سه محور به بالا) در سال پایه پیش‌بینی شده و سپس بر اساس ضرایب رشد معرفی‌شده در جدول ٤، برآوردی از هر نوع وسیله نقلیه در ١٤ سال بهره‌برداری انجام شده است. سپس در دو مسیر رفت و برگشت، تعداد سفرها با ضرایب همسان‌سازی به تعداد عبور در کل ۵۹ کیلومتر به واحد سواری تبدیل شده است. جمع تعداد تقاضا در یک سال برحسب خودروی سواری در ستون هفتم جدول ٤ بیان شده است. نرخ عوارض در اولین سال بهره‌برداری x تعریف شده و همانطور که قبلاً اشاره شد با نرخ ۱۲ درصد رشد داده شده است. از ضرب تقاضا در هر سال در نرخ عوارض (ریال به ازای یک کیلومتر سفر خودروی سواری)، میزان درآمد در یکسال برحسب یک کیلومتر سفر محاسبه شده است. اگر این اعداد در کیلومتر راه مسیر یعنی ۵۹ کیلومتر ضرب شود، مقدار کل درآمد بر حسب میلیون ریال و منطبق با رابطه (٦) محاسبه خواهد شد.

جدول ٤. درآمدهای طرح احداث یک آزادراه مورد مطالعه

مرحله فعالیت	سال	درآمدهای مستقیم ($Income_i$)							درآمدهای غیرمستقیم ($InIncome_i$)			جمع درآمد سالانه (I_i) بر حسب میلیارد ریال
		تقاضا (بر حسب خودروی سواری)					نرخ عوارض	جمع درآمد مستقیم فروش عوارض (میلیون ریال در کیلومتر)	صرفه‌جویی زمان	صرفه‌جویی مسافت	صرفه‌جویی تصادفات	
		رشد ترافیک سبک	رشد ترافیک سنگین	تقاضا در مسیر رفت	تقاضا در مسیر برگشت	جمع						
احداث	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	$INCOME_0$=۰	۰	۰	۰	$I_0=0$
	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	$INCOME_1$=۰	۰	۰	۰	$I_1=0$
بهره‌برداری	۲	٪۳	٪۳	۱۰،۱۸٦،۹٦۸	٦،۱۲۸،۸۹۸	۱٦،۳۱۵،۸٦۵	x	$INCOME_2$=۱٦/۳x	۰	۰	۰	I_2=۰/۹٦x
	۳	٪۳	٪۳	۱۰،٤۸۹،۷۳۵	٦،۳۱۱،۵۸۰	۱٦،۸۰۱،۳۱۵	$x(1.12)$	$INCOME_3$=۱۸/۸x	۰	۰	۰	I_3=۱/۱۱x
	٤	٪۳	٪۳	۱۰،۸۰۳،٦۳۵	٦،۵۰۱،۵٦۳	۱۷،۳۰۵،۱۹۸	$x(1.12)^2$	$INCOME_4$=۲۱/۷x	۰	۰	۰	I_4=۱/۲۸x
	۵	٪۳	٪۳	۱۱،۱۲۸،۸۵۰	٦،٦۹۷،۵٦۸	۱۷،۸۲٦،٤۱۸	$x(1.12)^3$	$INCOME_5$=۲۵/٤x	۰	۰	۰	I_5=۱/٤۹x
	٦	٪۳	٪۳	۱۱،٤٦۱،۵٤۸	٦،۸۹۷،۵۸۸	۱۸،۳۵۹،۱۳۵	$x(1.12)^4$	$INCOME_6$=۲۸/۹x	۰	۰	۰	I_6=۱/۷x
	۷	٪۳	٪۳	۱۱،۸۰۷،۰۲۰	۷،۱۰۳،٤٤۸	۱۸،۹۱۰،٤٦۸	$x(1.12)^5$	$INCOME_7$=۳۳/۳x	۰	۰	۰	I_7=۱/۹۷x
	۸	٪۳	٪۳	۱۲،۱٦۰،۳٤۰	۷،۳۱٦،۷۹۰	۱۹،٤۷۷،۱۳۰	$x(1.12)^6$	$INCOME_8$=۳۸/٤x	۰	۰	۰	I_8=۲/۲۷x
	۹	٪۳	٪۳	۱۲،۵۲٦،۰۷۰	۷،۵۳۵،٤۲۵	۲۰،۰٦۱،٤۹۵	$x(1.12)^7$	$INCOME_9$=۳۸/٤x	۰	۰	۰	I_9=۲/٦۲x
	۱۰	٪۳	٪۳	۱۲،۸۹۹،٦٤۸	۷،۷٦۳،۵۵۰	۲۰،٦٦۳،۱۹۸	$x(1.12)^8$	$INCOME_{10}$=٤٤/۳x	۰	۰	۰	I_{10}=۳/۰۲x
	۱۱	٪۳	٪۳	۱۳،۲۸۸،۷۳۸	۷،۹۹٦،۹٦۸	۲۱،۲۸۵،۷۰۵	$x(1.12)^9$	$INCOME_{11}$=۵۱/۲x	۰	۰	۰	I_{11}=۳/٤۸x
	۱۲	٪۲	٪۲	۱۳،۵۵۲،۸۱۵	۸،۱۵۵،۱۹۵	۲۱،۷۰۸،۰۱۰	$x(1.12)^{10}$	$INCOME_{12}$=۵۹/۱x	۰	۰	۰	I_{12}=۳/۹۹x
	۱۳	٪۲	٪۲	۱۳،۸۲٤،۷٤۰	۸،۳۱۸،۳۵۰	۲۲،۱٤۳،۰۹۰	$x(1.12)^{11}$	$INCOME_{13}$=۷۷/۰x	۰	۰	۰	I_{13}=٤/۵٤x
	۱٤	٪۲	٪۲	۱٤،۱۰۱،۲۲۸	۸،٤۸٤،۷۹۰	۲۲،۵۸٦،۰۱۸	$x(1.12)^{12}$	$INCOME_{14}$=۸۹/۰x	۰	۰	۰	I_{14}=۵/۱۹x
	۱۵	٪۲	٪۲	۱٤،۳۸۳،۱۹۰	۸،٦۵۳،۷۸۵	۲۳،۰۳٦،۹۷۵	$x(1.12)^{13}$	$INCOME_{15}$=۱۰۰/۵x	۰	۰	۰	I_{15}=۵/۹۳x

در ستون درآمدهای غیرمستقیم، درآمدهای حاصل از هزینه‌های صرفه‌جویی شده با احداث آزادراه قرار می‌گیرند. به دلیل اینکه کل سرمایه‌گذاری طرح توسط بخش خصوصی قرار است تامین شود، درآمدهای غیر مستقیم صفر قرار داده شده است. آخرین ستون این جدول درآمدهای سالانه طرح را برحسب میلیون ریال نشان می‌دهد. تنها درآمدهای مستقیم در طول مسیر ۵۹ کیلومتر ضرب شده تا واحد نرخ عوارض برحسب یک کیلومتر محاسبه شود.

خلاصه اطلاعات مالی طرح در جدول ۵ نمایش داده شده است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری سالیانه و درآمدهای طرح از جداول ۳ و ٤ استخراج شده و در ستون آخر جدول ۵ تفاوت درآمدها و هزینه‌های سالیانه طرح برحسب نرخ عوارض سال اول (متغیر x) نشان داده شده است.

جدول ۵. خلاصه جریان مالی طرح احداث یک آزادراه

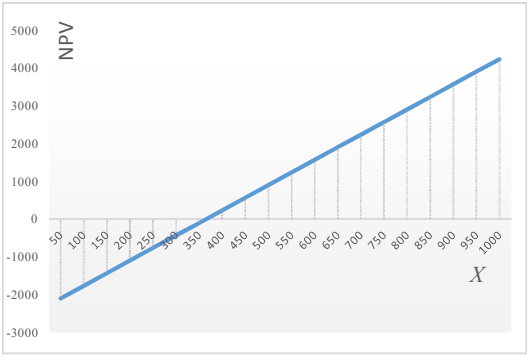
سال	هزینه سرمایه گذاری (P_i)	هزینه نگهداری و بهره‌برداری (C_i)	جمع درآمد سالانه (I_i)	اختلاف درآمدها و هزینه های سالانه (I_i- C_i)
۰	P_0=۱۵۰۲	$C_0=0.2I_0$	$I_0=0$	۰
۱	P_1=۱۱۰۰	$C_1=0.2I_1$	$I_1=0$	۰
۲	P_2=۰	$C_2=0.2I_2$	I_2=۰/۹۶x	I_2- C_2=۰/۷۷x
۳	P_3=۰	$C_3=0.2I_3$	I_3=۱/۱۱x	I_3- C_3=۰/۸۹x
٤	P_4=۰	$C_4=0.2I_4$	I_4=۱/۲۸x	I_4- C_4=۱/۰۲x
۵	P_5=۰	$C_5=0.2I_5$	I_5=۱/۴۹x	I_5- C_5=۱/۱۸x
٦	P_6=۰	$C_6=0.2I_6$	I_6=۱/۷x	I_6- C_6=۱/۳۶x
۷	P_7=۰	$C_7=0.2I_7$	I_7=۱/۹۷x	I_7- C_7=۱/۵۷x
۸	P_8=۰	$C_8=0.2I_8$	I_8=۲/۲۷x	I_8- C_8=۱/۸۱x
۹	P_9=۰	$C_9=0.2I_9$	I_9=۲/۶۲x	I_9- C_9=۲/۰۹x
۱۰	P_{10}=۰	$C_{10}=0.2I_{10}$	I_{10}=۳/۰۲x	I_{10}- C_{10}=۲/۴۱x
۱۱	P_{11}=۰	$C_{11}=0.2I_{11}$	I_{11}=۳/۴۸x	I_{11}- C_{11}=۲/۷۹x
۱۲	P_{12}=۰	$C_{12}=0.2I_{12}$	I_{12}=۳/۹۹x	I_{12}- C_{12}=۳/۱۸x
۱۳	P_{13}=۰	$C_{13}=0.2I_{13}$	I_{13}=۴/۵۴x	I_{13}- C_{13}=۳/۶۳x
۱٤	P_{14}=۰	$C_{14}=0.2I_{14}$	I_{14}=۵/۱۹x	I_{14}- C_{14}=۴/۱۵x
۱۵	P_{15}=۰	$C_{15}=0.2I_{15}$	I_{15}=۵/۹۳x	I_{15}- C_{15}=۴/۹۳x

آخرین مرحله از تحلیل اقتصادی محاسبه خالص ارزش فعلی پروژه به ازای داده‌های جدول ۵ و استفاده از رابطه (۱) است. بنابراین می‌توان رابطه زیر را برای محاسبه NPV تشکیل داد.

$$NPV = -1502 - \frac{1100}{1+MARR} + \sum_{i=2}^{n=15} \frac{(I_i - C_i)}{(1+MARR)^i} \quad (۷)$$

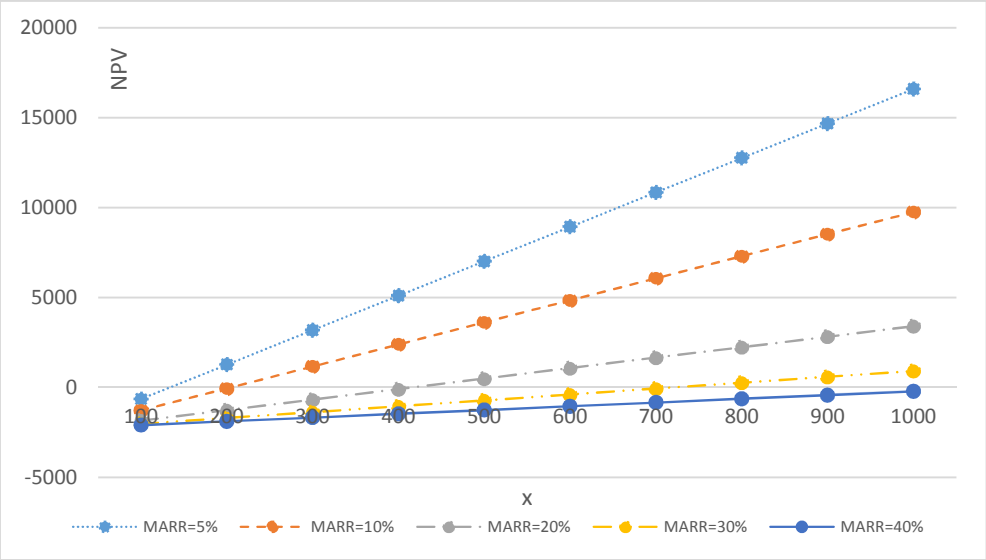
با جایگذاری مقادیر آخرین ستون جدول ۵ در رابطه (۷) و مثبت قراردادن آن به ازای هر MARR مقداری برای x محاسبه خواهد شد که نقطه سربه‌سر نرخ عوارض اقتصادی به ازای یک کیلومتر راه را نشان می‌دهد.

فرض کنید حداقل نرخ جذب‌کننده فردی در طرح فوق ۱۸ درصد باشد. با MARR=0.18، مقدار NPV به ازای نرخ عوارض مختلف محاسبه و در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. تغییرات خالص ارزش فعلی نسبت به حداقل نرخ عوارض به ازای MARR=18%

محور افقی در این شکل، نرخ عوارض یک کیلومتر راه برای خودروی سواری بر حسب ریال و محور عمودی خالص ارزش فعلی طرح به ازای هر x در رابطه (۷) است. همانطور که مشخص است به ازای نرخ عوارض کمتر از ۳۵ تومان به ازای هر کیلومتر (یا به عبارتی ۲۰۰۰ =۵۹×۳۵ تومان برای کل مسیر به ازای هر خودروی سواری) این طرح جذابیتی برای سرمایه‌گذار با حداقل نرخ جذب کننده ۱۸ درصد ندارد. زیرا NPV به ازای نرخ عوارضی کمتر از ۳۵۰ ریال منفی است و به ازای عوارض بیشتر از نقطه سربه‌سر (x=350) مقدار خالص ارزش فعلی طرح مثبت می‌شود. به عبارتی اگر رانندگان هر یک از خودروها حاضر به پرداخت عوارضی کمتر از جدول ٦ برای این آزادراه نباشند، این طرح برای سرمایه‌گذار بخش خصوصی جذابیتی ندارد و بهتر است در این طرح سرمایه‌گذاری نکند. مطالعه تطبیقی با نرخ عوارض چنین راه‌هایی نشان می‌دهد، رانندگان حاضر به پرداخت این مقدار عوارض نیستند و ممکن است تقاضای پیش بینی شده محقق نشود.



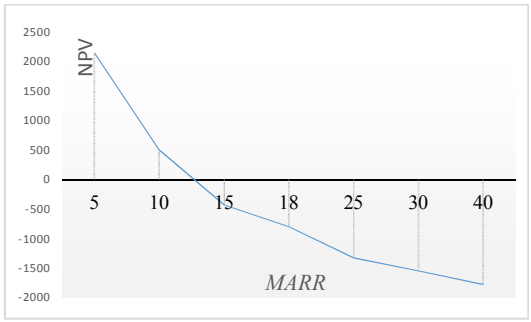
شکل ٦.تغییرات خالص ارزش فعلی نسبت به حداقل نرخ عوارض به ازای MARRهای مختلف

جدول ٦.عوارض وسایل نقلیه به ازای نرخ ۳۵۰ ریال به ازای هر کیلومتر (برحسب تومان)

نوع وسیله نقلیه	سواری	کامیونت و مینی بوس	کامیون دو محور	اتوبوس	سه محور و تریلر
عوارض	۲۱۰۰	۵۲۰۰	٦۳۰۰	۸٤۰۰	۱۰۵۰۰

به منظور بررسی تغییرات *NPV*، مانند شکل ۵ به ازای حداقل نرخ جذب‌کننده‌های متفاوت رسم شده است. در شکل زیر این تغییرات قابل مشاهده است.

همانطور که در شکل ٦ مشخص است، به ازای حداقل نرخ جذب‌کننده ۵ درصد نقطه سر به سر عوارض حدود ۱۳۵ ریال به ازای هر کیلومتر راه است. یعنی اگر سرمایه‌گذار دولت باشد و تنها به دنبال منافع اقتصادی نباشد می‌تواند با نرخی معادل ۱۵۰ ریال نیز سود کسب کند. هرچه حداقل نرخ جذب‌کننده بیشتر شود، نقطه سر به سر عوارض اقتصادی نیز افزایش می‌یابد. به طوری که برای سرمایه‌گذاری با حداقل نرخ جذب کننده ٤۰ درصد تا نرخی معادل ۱۰۰۰ ریال به ازای هر کیلومتر راه به ازای خودروی سواری (٦۹۰۰ تومان به ازای کل مسیر) نیز طرح اقتصادی نیست. در تحلیل‌های فوق، متغیر تصمیم نرخ عوارض تعیین شده بود. اما ممکن است، تحلیل‌های اقتصادی با فرض مشخص بودن نرخ عوارض بر اساس مطالعه تطبیقی باسایر آزادراه‌ها انجام شود. در مطالعه موردی حاضر، مشاور طرح مقدار عوارض در اولین سال بهره‌برداری را معادل ۱۵۰۰۰ ریال برای خودروی سواری در کل مسیر تعیین کرده است. به عبارتی نرخ عوارض به ازای خودروی سواری در یک کیلومتر آزاد راه ۲٤۵ ریال (x=245) تعیین شده است. اگر در رابطه (۷) مقدار درآمد مشخص و ثابت فرض شود، آنگاه می‌توان تغییرات *NPV* را بر حسب MARR مطابق شکل زیر رسم کرد.

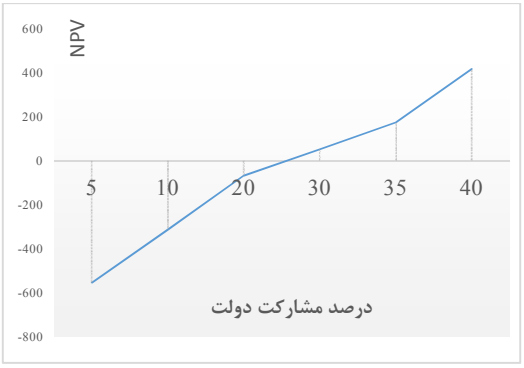


شکل ۷. تغییرات خالص ارزش فعلی نسبت به حداقل نرخ جذب‌کننده به ازای نرخ عوارض ۲٤۵ ریال

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، نرخ بازگشت سرمایه (ROR) طرح حدود ۱۳ درصد می‌باشد. نرخ بازگشت سرمایه در این شکل نقطه‌ای است که *NPV* صفر شده است. مشخص است برای افرادی که حداقل نرخ جذب‌کننده آنها بزرگتر از ۱۳ درصد، طرح برای آنها

غیراقتصادی است. همچنین افرادی که حداقل نرخ جذب‌کننده آنها کمتر از ۱۳ درصد است، طرح برای آنها با نرخ عوارض ۲۴۵ ریال اقتصادی است. چون نرخ بهره بانکی در ایران از ۱۳ درصد بالاتر است، بنابراین سرمایه‌گذار بخش خصوصی با این شرایط رغبتی به سرمایه‌گذاری در این طرح نخواهد داشت.

در مطالعه اقتصادی این پروژه که توسط مشاور انجام‌شده و مطابق روش‌های سنتی نرخ عوارض ۲۴۵ ریال و حداقل نرخ جذب کننده ۱۸ درصد درنظر گرفته شده است. با تحلیل‌های فوق مشخص است که انجام چنین طرحی از نظر سرمایه‌گذار خصوصی غیر اقتصادی است. تنها راه برون رفت از این اشکال، حمایت دولت و تأمین بخشی از سرمایه اولیه پروژه توسط دولت است. در یک تحلیل دیگر، حداقل درصدی که دولت باید بدون انتظار اقتصادی تنها با هدف منفعتی که به مردم و درآمدهای غیرمستقیم کسب می‌کند، سرمایه‌گذاری کند به صورت زیر تحت شرایط فوق تعیین شده است. در رابطه (۷)، حداقل نرخ جذب‌کننده سرمایه‌گذار خصوصی ۱۸ درصد و نرخ عوارض ۲۴۵ ریال (این نرخ بر اساس مطالعه تطبیقی با آزادراه‌های مشابه تعیین شده است) قرار داده شده است و درصدهای مختلفی از P_0 و P_1 توسط دولت تامین شده و از سرمایه اولیه سرمایه‌گذار کسر شده است.

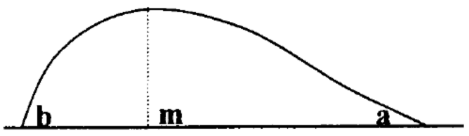


شکل ۸ تغییرات خالص ارزش فعلی نسبت به درصد حمایت دولت

محور افقی در شکل ۸ درصدی از سرمایه اولیه احداث آزادراه است که توسط دولت بلاعوض به سرمایه‌گذار کمک می‌شود و در محور عمودی خالص ارزش فعلی (NPV) مشروط به حداقل نرخ جذب‌کننده ۱۸ درصد و نرخ عوارض ۲۴۵ ریال است. همانطور که مشخص است در این شرایط حداقل باید ۲۵ درصد از سرمایه اولیه طرح مورد مطالعه توسط دولت به سرمایه‌گذار کمک بلاعوض شود تا طرح برای سرمایه‌گذار با MARR=18% توجیه اقتصادی داشته باشد.

٤-۲- تحلیل اقتصادی در حالت عدم قطعیت پارامترها

در بخش قبلی نرخ عوارض در آزادراه‌ها با فرض قطعیت پارامترهای مدل اقتصادی مهندسی تعیین شد. اما ایرادی که به تحلیل بخش قبل وارد است، عدم قطعیت برخی از پارامترهای مدل است. به عنوان مثال تقاضا به صورت قطعی پیش‌بینی شد. چه بسا که مقادیر تقاضا و یا هزینه‌های ساخت آزادراه غیرقطعی و تصادفی باشد. در این بخش با فرض عدم قطعیت پارامترهای رابطه (۱) روابط بازنوسی می‌شوند. عدم قطعیت یک متغیر را می‌توان به شیوه‌های مختلفی مانند رویکرد تصادفی و فازی مدل کرد. به عنوان مثال هزینه احداث را می‌توان بر اساس فهرست‌بها یک عدد قطعی مانند ۱۵۰۲ واحد پولی براورد کرد. در حالی که در عمل ممکن است این عدد به دلیل اشتباه در براورد حجم کار و یا تغییرات هزینه واحد کار، غیر واقعی و غیرعملی باشد. یک روش مرسوم برای در نظر گرفتن و مدل‌کردن این عدم قطعیت استفاده از متغیرهای تصادفی مانند توزیع نرمال یا بتا است. تعیین نوع توزیع یک متغیر نیاز به داده‌های تاریخی از آن متغیر دارد. از آنجا که هر پروژه خصوصیات خود را دارد و عموماً قابل تعمیم به پروژه‌ای دیگر نیست، برآورد تابع توزیع متغیرهایی مانند تقاضا و هزینه‌ها نیز به طور دقیق ممکن نیست. در این شرایط توزیع بتا و مثلثی پیشنهاد می‌شود که تابع سه مقدار خوش بینانه، محتمل و بدبینانه مطابق شکل ۹ است.



شکل ۹. نمای توزیع بتا

اگر مقدار متغیری مانند درآمد (به عبارتی تقاضا) در یک سال به طور قطع مشخص نباشد، به کمک نظر خبرگان می‌توان برای تقاضا سه مقدار بدبینانه (b)، محتمل (m) و خوشبینانه (a) به جای یک مقدار براورد کرد. مقدار خوشبینانه بهترین مقداری است که برای متغیر تصادفی می‌توان انتظار داشت. مقدار بدبینانه بدترین مقدار ممکن برای متغیر مورد نظر است. به عنوان مثال در بهترین حالت بیشترین تردد سالانه در سال چه مقدار است و کمترین مقدار تردد سالانه در یک آزادراه بر

حسب واحد مرجع (سواری) چندخودرو در سال خواهد بود. مقدار محتمل همان مقادیری می‌تواند باشند که با پیش‌بینی به دست آمده‌اند. با توجه به سهولت در برآورد توزیع بتا، در این مقاله نیز برای مدل‌سازی عدم قطعیت متغیرهای هزینه و تقاضا از توزیع بتا استفاده می‌شود. به این ترتیب که به ازای هر جزء رابطه (۱) شامل هزینه ثابت اولیه (P) و اختلاف درآمدها و هزینه‌های سالانه ($(I_i - C_i)$) سه مقدار خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه محاسبه می‌شود. مطابق اصول روابط آماری اگر این دو متغیر در رابطه (۱) تصادفی باشند، مقدار NPV که تابعی از آنها هستند نیز متغیر تصادفی است. در این شرایط می‌توان دو مقدار متوسط و واریانس برای متغیر NPV به عنوان معیارهای ارزیابی اقتصادی حساب کرد.

فرض کنید در مطالعه موردی این مقاله، پارامترهای مدل که در جداول ٤ و ٥ مقادیر آنها به صورت قطعی برآورد شده به صورت تصادفی باشند. در این صورت ستون‌های جداول ٤ و ٥ باید سه مقدار خوشبینانه، محتمل و بدبینانه داشته باشند. این اطلاعات در جدول ۷ ارایه شده است. مقدار محتمل همان مقادیر پیش‌بینی است. اما مقادیر خوشبینانه و بدبینانه بر اساس انحراف در پیش‌بینی‌های اولیه و نظرات کارشناسان مطالعه ترافیکی، فنی و اقتصادی در وزارت راه و شهرسازی مشخص شده است. با فرض تصادفی‌بودن متغیرها در رابطه (۱)، رابطه (۸) حاصل می‌شود که متغیرهای تصادفی در آن مشخص شده‌اند. در این شرایط می‌توان میانگین (امید ریاضی) و واریانس متغیر تصادفی NPV ($\widetilde{NPV}$) را به ازای نرخ‌های مختلف عوارض و حداقل نرخ جذب‌کننده محاسبه کرد.

$$\widetilde{NPV} = -\tilde{P} + \sum_{i=1}^{n} \frac{(\widetilde{I_i - C_i})}{(1+MARR)^i} \qquad (۸)$$

اگر متغیرتصادفی X دارای توزیع بتا با پارامترهای (a,m,b) باشد، میانگین آن متغیر تصادفی یا امیدریاضی آن $(\mathrm{E}(X))$ و واریانس آن مطابق روابط زیر خواهد بود.

$$E(X) = \mu_X = \frac{a+4m+b}{6} \qquad (۹)$$

$$Var(X) = \sigma_X^2 = \frac{(a-b)^2}{36} \qquad (۱۰)$$

جدول ۷. خلاصه جریان مالی طرح احداث یک آزادراه مورد مطالعه با داده‌های تصادفی (ارقام بر حسب میلیارد ریال)

سال	هزینه سرمایه‌گذاری (P_i)			هزینه نگهداری و بهره‌برداری (C_i)	جمع درآمد سالانه (I_i)			اختلاف درآمدها و هزینه های سالانه ($I_i - C_i$)		
	خوشبینانه	محتمل	بدبینانه		خوش‌بینانه	محتمل	بدبینانه	خوش‌بینانه (a)	محتمل (m)	بدبینانه (b)
۰	P_{0b}=۱٤٥۰	P_{0m}=۱٥۰۲	P_{0a}=۱٦٥۰	$C_0=0.2I_0$	$I_{0a}=0$	$I_{0m}=0$	$I_{0b}=0$	۰	۰	۰
۱	P_{1b}=۱۰٥۰	P_{1m}=۱۱۰۰	P_{1a}=۱۲۰۰	$C_1=0.2I_1$	$I_{1a}=0$	$I_{1m}=0$	$I_{1b}=0$	۰	۰	۰
۲	P_{2b}=۰	P_{2m}=۰	P_{2a}=۰	$C_2=0.2I_2$	I_{2a}=۱/۰۱x	I_{2m}=۰/۹٦x	I_{2b}=۰/۷۷x	۰/٦۲x	۰/۷۷x	۰/۸۱x
۳	P_{3b}=۰	P_{3m}=۰	P_{3a}=۰	$C_3=0.2I_3$	I_{3a}=۱/۲۷x	I_{3m}=۱/۱۱x	I_{3b}=۰/۸۹x	۰/۷۲x	۰/۸۹x	۱/۰۲x
٤	P_{4b}=۰	P_{4m}=۰	P_{4a}=۰	$C_4=0.2I_4$	I_{4a}=۱/٤۷x	I_{4m}=۱/۲۸x	I_{4b}=۱/۰۲x	۰/۸۲x	۱/۰۲x	۱/۱۸x
٥	P_{5b}=۰	P_{5m}=۰	P_{5a}=۰	$C_5=0.2I_5$	I_{5a}=۱/۷۱x	I_{5m}=۱/٤۹x	I_{5b}=۱/۱۹x	۰/۹٤x	۱/۱۸x	۱/۳٦x
٦	P_{6b}=۰	P_{6m}=۰	P_{6a}=۰	$C_6=0.2I_6$	I_{6a}=۱/۹٥x	I_{6m}=۱/۷x	I_{6b}=۱/۳٦x	۱/۰۹x	۱/۳٦x	۱/٥۷x
۷	P_{7b}=۰	P_{7m}=۰	P_{7a}=۰	$C_7=0.2I_7$	I_{7a}=۲/۲٦x	I_{7m}=۱/۹۷x	I_{7b}=۱/٥۸x	۱/۲٦x	۱/٥۷x	۱/۸۱x
۸	P_{8b}=۰	P_{8m}=۰	P_{8a}=۰	$C_8=0.2I_8$	I_{8a}=۲/٦۱x	I_{8m}=۲/۲۷x	I_{8b}=۱/۸۲x	۱/٤٥x	۱/۸۱x	۲/۰۹x
۹	P_{9b}=۰	P_{9m}=۰	P_{9a}=۰	$C_9=0.2I_9$	I_{9a}=۳/۰۰x	I_{9m}=۲/٦۲x	I_{9b}=۲/۱x	۱/٦۷x	۲/۰۹x	۲/٤۰x
۱۰	P_{10b}=۰	P_{10m}=۰	P_{10a}=۰	$C_{10}=0.2I_{10}$	I_{10a}=۳/٤۷x	I_{10m}=۳/۰۲x	I_{10b}=۲/٤۲x	۱/۹۳x	۲/٤۱x	۲/۷۸x
۱۱	P_{11b}=۰	P_{11m}=۰	P_{11a}=۰	$C_{11}=0.2I_{11}$	I_{11a}=٤/۰۰x	I_{11m}=۳/٤۸x	I_{11b}=۲/۷۸x	۲/۲۲x	۲/۷۹x	۳/۲x
۱۲	P_{12b}=۰	P_{12m}=۰	P_{12a}=۰	$C_{12}=0.2I_{12}$	I_{12a}=٤/٥۹x	I_{12m}=۳/۹۹x	I_{12b}=۳/۱۹x	۲/٥٥x	۳/۱۸x	۳/٦۷x
۱۳	P_{13b}=۰	P_{13m}=۰	P_{13a}=۰	$C_{13}=0.2I_{13}$	I_{13a}=٥/۲۱x	I_{13m}=٤/٥٤x	I_{13b}=۳/٦۳x	۲/۹۰x	۳/٦۳x	٤/۱۷x
۱٤	P_{14b}=۰	P_{14m}=۰	P_{14a}=۰	$C_{14}=0.2I_{14}$	I_{14a}=٥/۹۷x	I_{14m}=٥/۱۹x	I_{14b}=٤/۱٥x	۳/۳۲x	٤/۱٥x	٤/۷۷x
۱٥	P_{15b}=۰	P_{15m}=۰	P_{15a}=۰	$C_{15}=0.2I_{15}$	I_{15a}=٦/۸٦x	I_{15m}=٥/۹۳x	I_{15b}=٤/۷٤x	۳/۹٤x	٤/۹۳x	٥/٥٤x

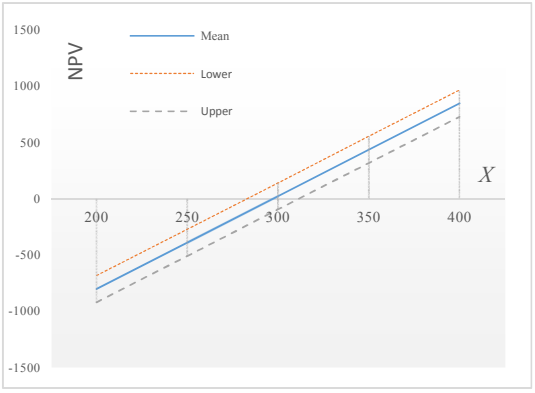
از طرفی میانگین و واریانس متغیر تصادفی $\widetilde{NPV}$ در رابطه (۸) براساس خواص تابع امید ریاضی و واریانس به صورت روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$E(\widetilde{NPV}) = \mu_{\widetilde{NPV}} = -E(\widetilde{P}) + \sum_{i=1}^{n} \frac{E(\widetilde{I_t - C_t})}{(1+MARR)^i} \quad (۱۱)$$

$$Var(\widetilde{NPV}) = \sigma^2_{\widetilde{NPV}} = -Var(\widetilde{P}) + \sum_{i=1}^{n} \frac{Var(\widetilde{I_t - C_t})}{(1+MARR)^{2i}} \quad (۱۲)$$

میانگین و واریانس خالص ارزش فعلی طرح در شرایط عدم قطعیت پارامترهای طرح با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) بر اساس داده‌های جدول ۷ قابل محاسبه است.

شکل ۹ تغییرات میانگین خالص ارزش فعلی پروژه (مطابق رابطه (۱۲)) را به ازای حداقل نرخ جذب کننده ۱۸ درصد به ازای نرخ‌های مختلف عوارض نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشخص است (خط میانگین خالص ارزش فعلی در نقطه ۳۰۰ ریال محور افقی را قطع کرده است)، نقطه سربه‌سر عوارض اقتصادی در شرایط عدم قطعیت تقاضا و هزینه‌ها ۳۰۰ ریال به ازای هر کیلومتر و خودروی سواری می‌باشد. همچنین در این شکل، دو حد پایین و بالا برای میانگین خالص ارزش فعلی رسم شده است. حد بالا در هر نقطه میانگین خالص ارزش فعلی به ازای نرخ عوارض مورد نظر به اضافه سه برابر انحراف معیار خالص ارزش فعلی است. به طور مشابه حد پایین در این شکل سه برابر انحراف معیار کمتر از میانگین انتظاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. تغییرات میانگین و واریانس خالص ارزش فعلی نسبت به نرخ عوارض به ازای MARR=18%

در شکل ۱۰ اگر بدترین شرایط تقاضا و هزینه اتفاق بیافتد، نرخی عوارضی کمتر از ۳۱۲ ریال به ازای هر کیلومتر تردد خودروی سواری توجیه اقتصادی ندارد و اگر بهترین شرایط هم پیش بیاید نرخ عوارض نباید کمتر از ۲۸٤ ریال در این آزادراه باشد.

سرمایه‌گذاران و برنامه‌ریزان حوزه توسعه آزادراه‌ها می‌توانند از نتایج تحلیل‌های اقتصادی این بخش استفاده کنند. سرمایه‌گذاران می‌توانند با اطلاعات شفاف نسبت به سرمایه‌گذاری اقدام کنند و ریسک‌های سرمایه‌گذاری خود را کاهش دهند. برنامه‌ریزان نیز می‌توانند اقداماتی برای مدیریت تقاضا در مسیر جدیدالحداث و تأمین کمک‌های دولتی به سرمایه‌گذاران به عنوان یارانه و یا کمک بلاعوض در سرمایه‌گذاری بیاندیشند.

۵- نتیجه‌گیری

مسئله اصلی این مقاله توسعه روشی علمی و عملی برای قیمت‌گذاری عوارض در آزادراه‌های کشور از منظر سرمایه‌گذاران بخش خصوصی است. مطالعه اسناد مرحله تحلیل اقتصادی تعدادی آزادراه در کشور نشان می‌دهد، در اکثر مواقع نرخ عوارض در یک آزادراه بر اساس مطالعه تطبیقی و مقایسه آزادراه با آزادراه‌های موجود تعیین می‌شود. در این رویکرد عموماً بر مبنای جذابیت رانندگان در پرداخت عوارض، نرخ عوارض در یک آزادراه تعیین می‌شود و کمتر به هزینه‌ها و درآمدهای پیش‌بینی شده توجه می‌شود و یا اگر نرخ عوارض تابعی از هزینه‌ها و درآمدها باشد به ارزش زمانی پول یا عدم قطعیت هزینه‌ها و درآمدها توجهی نمی‌شود. نداشتن الگویی برای تعیین قیمت عوارض در یک آزادراه با هزینه‌های ساخت و نگهداری و تقاضای متفاوت، باعث شده که سرمایه‌گذاران بخش خصوصی با اطمینان کمی اقدام به مشارکت و تأمین مالی پروژه‌ها کنند. از این رو هدف اصلی مقاله ارائه الگویی برای قیمت‌گذاری عوارض آزادراه‌ها و بر اساس توسعه روش‌های اقتصاد مهندسی در شرایط عدم قطعیت پارامترها است که در آنها ارزش زمانی پول برای بررسی اقتصادی یک طرح درنظر گرفته می‌شود. در تحلیل‌های اقتصادی فرض عمومی بر قطعی‌بودن پارامترهای هزینه‌ای و درآمدی طرح است. یعنی در مرحله ارزیابی اقتصادی طرح‌ها فرض می‌شود درآمدها و هزینه‌های طرح قطعی و مشخص هستند. در حالی که برخی

از پارامترهای تحلیل‌های اقتصادی شامل درآمدها و هزینه‌ها دارای عدم قطعیت هستند. زیرا در مرحله‌ای که هنوز راهی ساخته نشده نمی‌توان به طور دقیق درآمدها و هزینه‌ها را مشخص کرد. لذا با فرض آنکه پارامترهای تحلیل‌های اقتصادی راه شامل تقاضای استفاده از آزادراه و هزینه‌های احداث و نگهداری آن قطعی نیستند، نیاز به توسعه روش‌های اقتصاد مهندسی با فرض تصادفی بودن پارامترها مذکور است. در این مقاله پارامترهای هزینه‌های سرمایه‌گذاری و درآمدهای سالانه طرح با تابع توزیع بتا به دلیل سادگی برآورد آن مدل‌سازی شده است. لازمه انجام تحلیل‌های اقتصادی یک طرح با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی، اطلاع از درآمدها و هزینه‌های طرح است. برای احداث یک راه جدید نیز باید موارد هزینه‌ای و درآمدی در قالب فرایند مالی طرح مشخص باشد. لذا، پیش شرط استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی در هر دو حالت قطعی و تصادفی اطلاع از هزینه‌ها و درآمدهای طرح در سال‌های استفاده از آزادراه است. لذا، مسئله دیگری که در این مقاله به آن پرداخته شده، تعیین ساختار هزینه‌ای و درآمدی یک آزادراه است. ضمن ارائه ساختار مناسبی برای شناخت اجزای درآمدی و هزینه‌ای یک راه جدید، جداول و روش‌هایی معرفی شده که می‌تواند راهنمایی برای تحلیل‌گران اقتصادی باشد تا برای یک راه جدید داده‌های آن را جمع‌آوری کنند. در یک دسته‌بندی کلی، هزینه‌ها به دو دسته هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری تقسیم شده و درآمدها نیز به درآمدهای مستقیم (عوارض و اجاره اماکن) و منافع صرفه‌جویی تقسیم‌بندی شده‌اند. در پایان، اسناد و داده‌های یکی از آزادراه‌های در حال احداث کشور مطالعه و بررسی شده است. اجرای رویکرد پیشنهادی برای تعیین نرخ عوارض اقتصادی در این مطالعه موردی ضمن تشریح چگونگی استفاده از روش توسعه داده شده، نشان می‌دهد که روش سنتی محاسبه نرخ عوارض کارایی لازم را ندارد و باید روش سنتی مورد بازنگری قرار گیرد.

تحقیق در مورد نحوه اندازه‌گیری منافع غیرمستقیم طرح‌های احداث راه و اضافه‌کردن آنها به رویکردهای این مقاله برای تحلیل اقتصادی آزادراه‌ها از منظر سرمایه‌گذاری دولتی در کنار مدلسازی روشهای اقتصاد مهندسی برای سایر توزیع‌های آماری از پیشنهادات آتی این پژوهش می‌باشد.

۶-پی‌نوشت‌ها

1. Net Present Value
2. Minimum Attractive Rate of Return
3. Rate of Return
4. De Palma and Lindsey
5. Facility Based On Schemes
6. Zonal or Cordon Toll Schemes
7. Perez
8. Dong
9. Yildirim and Hearn
10. Rouwendal and Verhoef
11. Gibson and Carnovale
12. Agarwal
13. Jang
14. Phan
15. Chen
16. Neyshabouri and Usefi Attari
17. Afandizadeh
18. AECOM
19. Annual Recurring Costs
20. Nonrecurring Costs
21. Saffarzadeh
22. Findley

۷-مراجع

-AECOM, (2018), "Spon's Civil Engineering and Highway Works Price Book 2018", Thirty-second edition, Taylor & Francis.

-Afandizadeh, S., Ahmadinejad, M. and Arbabi, N., (2011), "The method of calculating the value of appropriate complications in the pricing of urban roads using genetic algorithm", Rahvar, Vol. 8, No. 16, pp. 83-98. (In Persian).

-Agarwal, S., Mo Koo, K. and Foo Sing, T., (2015), "Impact of electronic road pricing on real estate prices in Singapore", Journal of Urban Economics, Vol. 90, pp. 50–59.

-Blank, L. T. and Tarquin, A. J., (2017), "Engineering Economy, Edition 8", McGraw-Hill Education.

-Brockenbrough, R. L., (2009), "Highway Engineering Handbook: Building and Rehabilitating the Infrastructure", Third Edition, McGraw-Hill Companies, Inc.

and cordon toll pricing", Research in Transportation Economics, xxx, pp.1-12.

-Jahad Daneshgahi of Tarbiat Modares University (JDTMU), (2008), "Guidebook for the Study of the Technical and Economic Justification of Road and Rail Projects", Transportation Research Institute. (In Persian).

-Jang, K., Chung, K. and Yeo, H., (2015), "A dynamic pricing strategy for high occupancy toll lanes", Transportation Research Part A., Vol. 67, pp. 69–80.

-Mansourkhaki, A., Moosavi, S. R. and Rezaee-Arjroodi, A., (2017), "Calculating the Operational Costs Decrement in the Economic Evaluation of the Roads Rehabilitation (Case Study: Fasa-Zahedshahr), Amirkabir Journal of Civil Engineering, Vol. 49, No. 1, pp. 165-173. (In Persian).

-Murali Adurthi, N., Santosh Bari, C., Navandar, Y. and Dhamaniy, A., (2022), "A Study on User Acceptable Road Pricing Policy for Toll Roads: A Case of Eethakota, India, Transportation Research Procedia", Vol. 62, pp. 656-663.

-Neyshabouri, A. and Usefnejad Attari, M. (2012), "The pricing of passageways to traffic constraints using genetic algorithms", Journal of Transportation Research, Vol. 9, No. 4, pp. 409-417 (In Persian).

-Oskounejad, M.M., (2010), "Engineering Economy, Economic Evaluation of Industrial Projects", Amirkabir University of Technology Publication, Tehran (In Persian).

-Perez, BG., Batac, T. and Vovska, P., (2012), "NCHRP Report 722: assessing highway tolling and pricing options, volume 1: decision-making framework", Transportation Research Board, Washington, D.

-Phan, T., Annaswamy, A.M., Yanakiev, D. and Tseng, E., (2011), "A model-based Dynamic Toll Pricing Strategy for Controlling Highway Traffic", American Control Conference (ACC), Boston, USA.

-Rouwendal, J. and Verhoef, E. T., (2006), "Basic economic principles of road pricing: From theory to applications", Transport Policy, Vol. 13, pp. 106–114.

-Saffarzadeh, M., Khaksari, A. and Fakhroo, A., (2005), "Providing Technical Economical

-Cambridge Systematics and Resource Systems Group, (2008), "Effective practices for congestion management. In: prepared as part of national cooperative highway research program (NCHRP) Project", Transportation Research Board, Vol. 63, pp. 20–24.

-Chen, D. and Xu, D., (2021), "Ridesharing user equilibrium with nodal matching cost and its implications for congestion tolling and platform pricing, Transportation Research Part C, Vol. 129, pp. 103233. https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103233.

-Chen, X., Zhu, Z. and Zhang, L., (2015), "Simulation-based optimization of mixed road pricing policies in a large real-world network", Transportation Research Procardia, Vol. 8, pp. 215-226.

-Chen, Z., Ye, H., Liu, B. and Xue, W., (2021), "Analysis of road capacity and franchise price decision delegation in toll road BOT project", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 146, pp.102213. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102213.

-De Palma, A. and Lindsey, R., (2011), "Traffic congestion pricing methodologies and technologies", Transportation Research Part C Vol. 19, pp. 1377‑1399.

-Dong, B. Guo, G. and Wang, Y., (2012), "Highway toll pricing", European Journal of Operational Research, Vol. 220, pp. 744–751.

Eshtehardian, E., Khanzadi, M. and Farshad H. (2015), "Statistical Analysis to Determine Level of Risk in Existing Uncertainty of Freeway Contracts by the BOT Method, Case Study: Saveh Freeway Salafchegan", Sharif Journal Civil Engineering, Vol. 31.2, No. 32, pp. 3-8 (In Persian).

-Falcocchio and Levinson, (2015), "Road Traffic Congestion: A Concise Guide", Springer, (chapter 19).

-Findley, D.J., Schroeder, B.J., Cunningham, C.M. and Brown, T.H., (2016), "Highway Engineering", Elsevier Inc.

-Gibson, M. and Carnovale, M., (2015), "The effects of road pricing on driver behavior and air pollution", Journal of Urban Economics, Vol. 89, pp. 62–73.

-Guo, Q., Sun, Y., Li, Z-C and Li, Z., (2017), "An integrated model for road capacity choice

-Tabatabaee, S. A. and Rahman, A., (2009), "The Importance and Place of Maintenance in Iran", the First National Conference on Engineering and Infrastructure Management, Tehran, Iran (In Persian).

-Theisen, T., (2020), "The impact of an urban toll ring on housing prices", Research in Transportation Economics, Vol. 82, pp. 100882. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100882.

-Yildirim, M. B. and Hearn, D. W., (2006), "A first best toll pricing framework for variable demand trac assignment problems", Transportation Research Part B, Vol. 39, pp. 659–678.

Model for the Construction and Operation Freeway and Highway", Journal of Transportation Research, Vol. 2, No. 2, pp. 35-47. (In Persian).

-Sinha, K.C. and Labi, S., (2007), "Transportation Decision Making, Principal of Project Evaluation and Programming", John Wiley and Sons, Inc.

-Swami, H., Bari, C. and Ashish Dhamaniya, A., (2021), "Developing Policy Framework of Dynamic Toll Pricing in India", Transportation Research Procedia, Vol. 52, pp. 605-612. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.072.

A Freeway Pricing Model by Development of Stochastic Economic Engineering Models

Vahid Baradaran, Associate Professor, Industrial Engineering Department,
Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.
Amir Reza Kazempour Fard, M.Sc., Grad., Civil Engineering-Transportation Engineering,
Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran.

E-mail: V_Baradaran@iau-tnb.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: June 2022

ABSTRACT
Each society needs the development of basic infrastructure, including the road. The use of private sector capital is a sustainable and appropriate solution for the development of transport infrastructure, especially freeways. The economic analysis of the freeways in the planning phase and the road pricing are necessary to trust the investors. The investment risk for private investors is reduced by calculating the economic toll rates. Identifying costs and revenues of freeways and defining an approach for calculating toll rates by considering the time value of money and uncertainty in estimation of the costs and revenues is one of the challenges in this industry. In this paper, the annual cost and revenue of a freeway identified and classified by studding documents of some road projects in Iran. Two economic engineering models are developed to determine the economic toll rate with certainty and uncertainty of parameters. The proposed method is implemented on one of the freeways and the results are compared with traditional analysis. The results show that the estimated toll on the freeway is not economically justified in the traditional way.

Keywords: Freeway, Stochastic Economic Engineering, Economic Toll, Toll, Freeway Pricing