

امکان‌سنجی اقتصادی بکارگیری قطارهای طولی در شبکه حمل و نقل ریلی

محمدسعید منجم، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، تهران، ایران
سعید بهزادی شهربابک*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،
تهران، ایران

سیدمحمد سادات حسینی، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Saeedbehzadi20@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱ - پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

صفحه ۱۹۵-۲۰۹

چکیده

در اکثر کشورهای دنیا حمل و نقل نقش اساسی را در اقتصاد ایفا می‌کند. از این رو باید سیستم‌های حمل و نقل قابل اطمینان و کارآمدی ایجاد شوند که با حداقل هزینه ما را به اهدافمان برسانند. با گسترش روزافزون معادن و افزایش حجم بار نیاز به افزایش ظرفیت در بخش حمل و نقل ریلی می‌باشد. یکی از بهترین و کارآمدترین راهکارهای افزایش ظرفیت حمل و نقل ریلی استفاده از قطارهای طولی می‌باشد. این سیستم‌های حمل و نقل دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند و به علت نقش اقتصادی موثر در جابه‌جایی بار در خیلی از کشورها به کار گرفته شده‌اند و در اکثر کشورهای پیشرفته قطارهای سنگین و طولی به صورت یک الزام اقتصادی در آمده‌اند. با توجه به اینکه کشور ایران از نظر معادن غنی می‌باشد، لازم است حجم بار زیادی بین معادن و کارخانه‌ها جابه‌جا شود که سیستم قطار طولی قادر است حجم بسیار زیادی بار را بین این دو نقطه جابه‌جا کند. در کشور ایران هنوز استفاده چندانی از این سیستم حمل و نقل به عمل نیامده است و هدف اصلی در این مطالعه بررسی فنی و اقتصادی امکان به کارگیری این سیستم در ایران است. در این مطالعه مسیر بافق-زرین‌شهر به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد و ابتدا هزینه‌ها و درآمدهای مربوط به استفاده از قطارهای طولی بر حسب تابعی از طول قطار به دست آورده شد. سپس با استفاده از روش ارزش خالص فعلی، درآمدها و هزینه‌ها برای یک دوره ۲۰ ساله به دست آورده شدند. نمودارهای درآمد، هزینه و سود بر حسب طول قطار در سناریوهای مختلف رشد قطار مسافری و در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن تورم ترسیم شد و نشان داده شد که در همه حالات با افزایش طول قطار، سود افزایش می‌یابد و استفاده از این قطارها کاملاً به صرفه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: افزایش ظرفیت، امکان‌سنجی اقتصادی، قطار طولی

۱- مقدمه

جاده‌ای جابه‌جا می‌شود. حمل و نقل جاده‌ای علاوه بر ایمنی کمتر مصرف سوخت را افزایش داده و آلودگی‌های صوتی و هوا را افزایش می‌دهد. همچنین در بخش حمل و نقل ریلی در بخشی از مسیرها با کمبود ظرفیت مواجه هستیم که باید با استفاده از روش‌های مناسب ظرفیت مسیرها را افزایش دهیم.

یکی از ایمن‌ترین و باصرفه‌ترین شیوه‌های حمل و نقل، حمل و نقل ریلی می‌باشد که می‌تواند باعث کاهش آلودگی هوا و صوتی شود. حمل و نقل ریلی در اکثر نقاط جهان برای جابه‌جایی حجم زیاد کالا از نقطه‌ای به نقطه دیگر به کار می‌رود. در کشور ایران حجم زیادی از بارها توسط حمل و نقل

روش‌های زیادی برای افزایش ظرفیت مسیر وجود دارد که می‌توان به دوخطه کردن مسیر تک خطه، بازگشایی ایستگاه‌های بسته، افزایش بار محوری مجاز خط، افزایش سرعت سیر، استفاده از قطارهای طولی و... اشاره کرد. در میان روش‌های ذکر شده دوخطه کردن مسیر دارای هزینه بسیار زیادی می‌باشد ولی باعث می‌شود ظرفیت به میزان زیادی افزایش یابد، روش‌های دیگری مانند بازگشایی ایستگاه‌های بسته به صورت کوتاه مدت جوابگوی کمبود ظرفیت می‌باشند، روش افزایش بار محوری نیازمند تقویت یا تعویض زیرساخت‌ها می‌باشد. همانگونه که ذکر شد یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت مسیر استفاده از قطارهای طولی می‌باشد، این قطارها با دارا بودن طولی در حدود چند برابر قطارهای معمولی می‌توانند ظرفیت مسیر را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش دهند و در مقایسه با دوخطه کردن مسیر صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ها را به دنبال دارند. به طور کلی قطار طولی تشکیل شده است از تعداد زیادی واگن که توسط چندین لکوموتیو کشیده می‌شوند، لکوموتیوها باید نیروی کافی برای کشیدن قطار را داشته باشند به گونه‌ای که این نیرو از مقاومت قلاب‌ها تجاوز نکند. در رابطه با استفاده از این قطارها مجبور به استفاده از چند لکوموتیو می‌باشیم که این لکوموتیوها باید در طول قطار توزیع شوند و این لکوموتیوهای توزیع شده بایستی توسط سیستمی الکتریکی هماهنگ شوند. دنیا در حال دگرگونی‌های اقتصادی می‌باشد و از جمله عواملی که در اقتصاد کشورها تاثیر زیادی دارد حمل‌ونقل می‌باشد. قطارهای طولی در بسیاری از کشورهای صنعتی و پیشرفته دنیا به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کشورهای همچون آفریقای جنوبی، استرالیا، برزیل، آمریکا شمالی، اروپا و کشورهای اسکاندیناوی از سال ۱۹۷۵ از قطارهای طولی برای حمل مواد معدنی استفاده می‌شود. پیشرفت این قطارها از آن زمان خارق‌العاده بوده و در اکثر کشورهای پیشرفته این قطارها به صورت یک الزام اقتصادی در آمده‌اند. به دلیل مسائل اقتصادی و سود زیاد در حمل بار در نتیجه استفاده از این قطارها معادن بزرگ جهان به سرعت از این سیستم استفاده کردند و این سیستم به یک رقابت تبدیل شد. پیشرفت‌های زیادی در خصوص استفاده از این سیستم در کشورهای نامبرده صورت گرفته ولی متأسفانه در

کشور ما با وجود حجم زیاد بار و مواد معدنی از این سیستم تا بحال استفاده چندانی نشده است و لازم است تا با مطالعه دقیق و شناسایی مشکلات و رفع آنها اقدام به بکارگیری این سیستم در کشور نمود. با توجه به اینکه با بکارگیری این سیستم می‌توان با هزینه کمی نسبت به سایر روش‌های افزایش ظرفیت، افزایش قابل توجه‌ای در میزان ظرفیت به وجود آورد لازم است این سیستم در تمامی مسیرها به کار گرفته شود.

۲- لزوم افزایش ظرفیت

با نگاهی به نقشه تقاضا و ظرفیت خطوط راه‌آهن متوجه می‌شویم که اکثر مسیرهای اصلی به آستانه بحرانی ظرفیت رسیده‌اند و یا تا چند سال آینده ظرفیت آنها جوابگوی تقاضای حمل بار نمی‌باشد. در نمودار ۱ تقاضا و ظرفیت در چند مسیر نشان داده شده است. در این نمودار ظرفیت به صورت استوانه‌ای و تقاضا به صورت مستطیل نشان داده شده است و اعداد برحسب میلیون تن می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌شود در این مسیرها تقاضا از ظرفیت بیشتر و یا حداقل مساوی با آن می‌باشد و با توجه به رشد روزافزون حجم بار انتظار می‌رود که در آینده بسیار نزدیک نیاز اساسی به افزایش ظرفیت خواهیم داشت.

۳- پیشینه تحقیق

در سال ۲۰۰۶ مطالعه‌ای برای به‌کار بردن لکوتورول در خط راه‌آهن Da-Qin در چین انجام شد. در این مطالعه مواردی شامل توصیف کلی سیستم لکوتورول و عملکرد آن و چگونگی راه‌اندازی این سیستم در این خط به چشم می‌خورد. بر اساس تست‌ها و شبیه‌سازی‌ها و حرکات واقعی قطار سنگین ۲۰۰۰۰ تنی در این خط، مواردی چون تغییرات ساختار خط، نیروهای طولی و اثرات زمان تاخیر تجهیزات لکوتورول در عملکرد قطارهای طولی مورد بررسی قرار گرفت (چون مینگ و دیگران، ۲۰۰۶). در سال ۲۰۱۰، Ding Lifan و XIE Ji long مطالعه‌ای درباره نیروهای وارد بر قلاب قطارهای سنگین به صورت مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی

انجام دادند. آنها مجموعه آزمایش‌هایی برای به‌دست آوردن تغییرات نیروی قلاب برای یک قطار ۵۰۰۰ تنی در سه حالت شروع به حرکت، ترمزگیری و لغزش قطار انجام دادند (ملون، ۲۰۰۳). در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای توسط Colin Cole برای بهینه‌سازی کنترل قطارهای مسافری، باری و قطارهای طولی و سنگین انجام شد و در نهایت بهترین روش کنترل قطار برای قطارهای سنگین از بین روش‌های موجود انتخاب شد. او همچنین معتقد است که افرادی که در راه آهن فعالیت می‌کنند تمایل دارند که طول و وزن قطار را افزایش دهند تا به این وسیله هزینه‌های بهره‌برداری را کاهش داده و ظرفیت شبکه را افزایش دهند. از طرفی هرچه قطار طولی‌تر شود کنترل قطار به صورت بهینه مشکل‌تر خواهد شد. سه هدف اصلی از کنترل قطار عبارتند از: کاهش زمان سفر، کاهش انرژی مصرفی و کاهش نیروهای دینامیکی. (کلانچان و کول، ۲۰۰۳)

سایر عوامل مشکل‌زا که در استفاده از این قطارها وجود دارد از قبیل:

۱. شیب و فرازهای بالا
 ۲. تونل‌های طولانی
 ۳. تغییرات شیب و فرازهای درون تونل
 ۴. ملاحظات مربوط به سرعت در قوس‌ها
 ۵. سرعت قطار در هنگام ورود به تونل‌ها و پل‌ها
 ۶. بازدید قطارها هنگام ورود به ایستگاه‌ها
- در ضمن برای استفاده بیش از یک لکوموتیو در این قطارها، محاسبات و ملاحظات مربوطه در چیدمان لکوموتیوها باید انجام شود. برای قطارهای سنگین، در ایستگاه‌ها باید محوطه مانوری مناسب طراحی شود. این خطوط باید به اندازه کافی طولی باشند. (شیشه‌گری، ۱۳۸۸)

۴-۱- امکان‌سنجی اقتصادی

۴-۱- مقدمه

در کشورهای با جمعیت زیاد و ساختارهای اقتصادی پیچیده، حمل و نقل نقش حیاتی را ایفا می‌کند از این رو باید سیستم‌های حمل و نقل قابل اطمینان و کارآمدی ایجاد شوند که با حداقل هزینه ما را به اهدافمان برسانند. در این میان راه آهن دارای نقشی اساسی در حمل و نقل داخلی می‌باشد که می‌تواند حجم ترافیک سنگینی را با کمترین آلودگی صوتی و آلودگی هوا جابجا کند. مقصود اساسی از ارزشیابی اقتصادی طرح‌ها، اندازه‌گیری هزینه و فایده اقتصادی آن از دیدگاهی مملکتی است، تا معلوم شود فایده خالص آن دست کم به اندازه سایر سرمایه‌گذاری‌های نهایی است.

در ارزیابی مالی فقط تاثیرات مستقیم پروژه برای سرمایه‌گذار به صورت نقدی ارزیابی می‌شود و تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم برای دیگر بخش‌های جامعه مدنظر قرار نمی‌گیرد. در بخش حمل و نقل، بسیاری از پروژه‌ها علاوه بر مزایایی که

۳-۱- مطالعات قطارهای طولی توسط مترا

با توجه به میزان تقاضای حمل و نقل بار در محور جنوب و همچنین فرسوده بودن محور و تعدد تونل‌ها و همچنین شیب و فرازهای بالای ۱۰ در هزار در اکثر طول مسیر بخصوص در قطعه درود-اندیمشک از سال‌ها قبل روش‌های رفع تنگناهای این محور مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی از رفع تنگناها از دیدگاه ناوگان افزایش ظرفیت بوده است.

یکی از راه‌های افزایش ظرفیت با رویکرد ناوگان که در سالهای گذشته بر اساس آن مطالعات و آزمایشات متعددی صورت گرفته به کارگیری قطارهای سنگین است.

اصولاً قطارهای سنگین با بیش از دو لکوموتیو تشکیل می‌شوند طولانی کردن قطار مستلزم به هم پیوستن تعداد زیادی لکوموتیو به صورت سری و متناوب می‌باشد. در ضمن در طراحی اولیه لکوموتیوها این موضوع پیش بینی شده که در صورت لزوم بتوان با یک سری ارتباط میان لکوموتیوها تعداد لکوموتیوها را تابع کامل یک لکوموتیو قرار داد.

عمده محدودیت موجود در راه اندازی قطارهای سنگین، حداکثر نیروی کششی قلاب‌ها می‌باشد.

برای سرمایه گذار دارند، دارای مزایایی برای سایر بخشها نیز هستند، از قبیل منافی برای استفاده کنندگان (بهبود کیفیت سرویس دهی) و منافی برای جامعه (کاهش هزینه‌های خارجی در سایر مدهای حمل و نقل، کاهش تصادفات)، که این تاثیرات در ساختار ارزیابی اقتصادی قرار می‌گیرد.

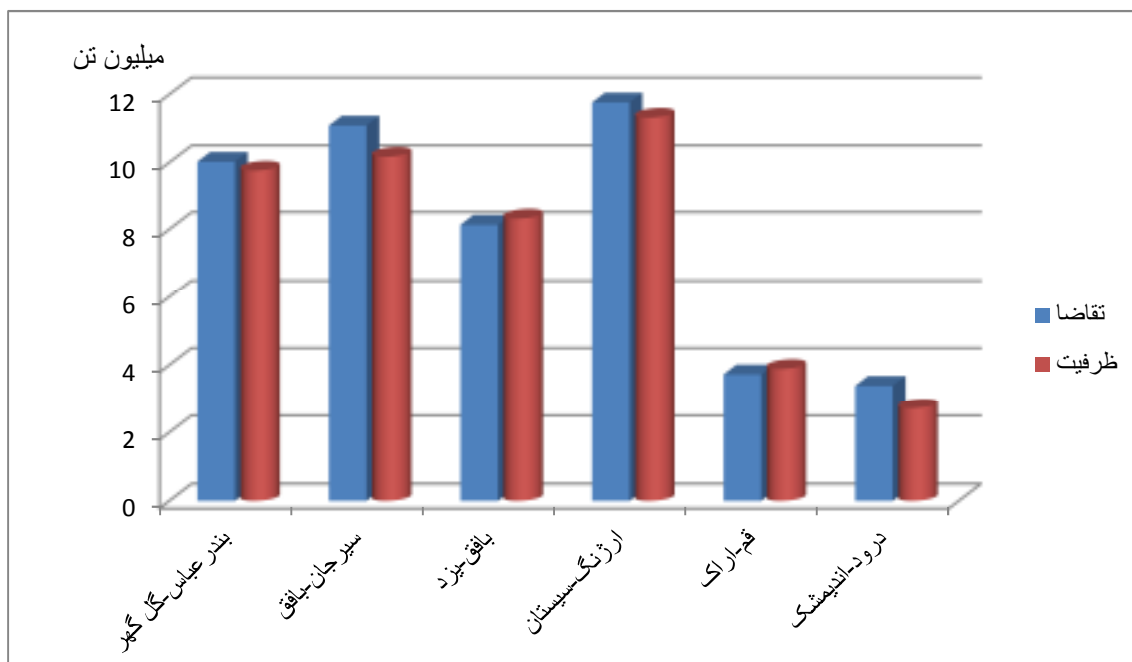
روند متعارف در مطالعه امکان‌سنجی پروژه‌های عمرانی، دربرگیرنده دو قسمت اصلی بررسی منافع (درآمدها) و هزینه‌هاست. در این مطالعه ارزیابی اقتصادی استفاده از قطارهای طولیل مدنظر قرار می‌گیرد. (زیاری، اسدالهی و ابطحی، ۱۳۸۸) با توجه به گستردگی شبکه خطوط ریلی انجام مطالعه اقتصادی در تمام شبکه ریلی امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا یکی از مسیرهایی که هم‌اکنون نیاز شدیدی به افزایش ظرفیت دارد به عنوان مطالعه موردی انتخاب می‌شود.

مسیر مورد مطالعه در این مطالعه مسیر بافق-زرین‌شهر می‌باشد. این مسیر یکی از مسیرهای باری با ترافیک بالا می‌باشد

و یکی از گلوگاه‌های ظرفیتی حمل‌ونقل ریلی است. در این فصل ابتدا به معرفی مسیر بافق-زرین‌شهر پرداخته و در ادامه هزینه‌ها و درآمدها معرفی شده و بر اساس طول قطار به دست می‌آیند و مطالعه اقتصادی صورت می‌گیرد و در نهایت جداول و نمودارهای مربوط آورده می‌شوند.

۴-۲- معرفی مسیر مورد مطالعه

طول کلی مسیر ریلی بافق-زرین شهر ۵۲۶ کیلومتر می‌باشد. تعداد ایستگاه‌های مسیر ۳۳ عدد که ۳۰ ایستگاه باز و ۳ ایستگاه بسته می‌باشد. ارتفاع ایستگاه راه آهن بافق از سطح دریا ۹۹۵ متر و ارتفاع ایستگاه زرین شهر از سطح دریا ۱۷۴۸ می‌باشد. (مرکز تحقیقات راه آهن، ۱۳۸۷)



نمودار ۱. ظرفیت و تقاضای بار در سال ۱۳۸۹ (اداره کل سیر و حرکت، ۱۳۸۹)

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های مسیر

ردیف	نام ایستگاه	وضعیت ایستگاه	تعداد خطوط قبول واعزام	طول مفید خط (متر) ۱	طول مفید خط ۲ (متر)
1	چغارت	باز	6	706	750
2	بافق	باز	13	944	1032
3	بهرام گور	باز	3	1065	1012
4	مهرداد	باز	3	900	870
5	تبرکوه	باز	3	828	803
6	چاه خاور	باز	3	1150	1120
7	رخش	باز	3	2420	2400
8	یزدگرد	باز	3	1000	950
9	یزد	باز	14	1050	1100
10	نظرآباد	باز	3	2100	2130
11	شمسی	باز	3	924	918
12	میبد	باز	8	1870	1920
13	اردکان	باز	7	920	1130
14	ارژنگ	باز	4	1070	1029
15	عقدا	باز	3	950	1060
16	اشک	باز	3	2900	2700
17	ساسان	باز	3	900	892
18	هما	باز	3	950	930
19	شبیم	باز	3	936	861
20	شیرازکوه	بسته	0	0	0
21	ورزنه	باز	3	1000	927
22	مشک	بسته	0	0	0
23	هرند	باز	3	1160	1030
24	خیرآباد	باز	3	888	919
25	سیستان	باز	13		925
26	فیروزه	باز	3	943	893
27	اصفهان	باز	6	1155	1270
28	ایران کوه	باز	4	978	935
29	آب نیل	باز	4	932	842
30	دیزیچه	باز	7	735	735
31	حسن آباد	باز	16	1000	1000
32	ریز	بسته	0	0	0
33	زرین شهر	باز	17	1100	1316

جدول ۲. بلاک های مسیر بافق-زرین شهر

ردیف	نام بلاک	طول بلاک (کیلومتر)	فراز غالب(درهزار)	شیب غالب(درهزار)	بارمحوری مجاز خط و پل	سرعت مجاز قطار
1	چغارت-بافق	۱۷/۱۵	4	-	۲۲/۵	۵۵
2	بافق-بهرام گور	۱۷/۰۰۹	10	۲/۹	۲۲/۵	۵۵
3	بهرام گور-مهرداد	۱۸/۲	10	-	۲۲/۵	۵۵
4	مهرداد-تبرکوه	۱۶/۲	10	-	۲۲/۵	۵۵
5	تبرکوه-چاه خاور	۱۷/۵	10/28	-	۲۲/۵	۵۵
6	چاه خاور-رخش	۱۸/۷	10	-	۲۲/۵	۵۵
7	رخش-یزدگرد	۱۳/۸	4	-	۲۲/۵	۵۵
8	یزدگرد-یزد	۱۵/۷	5/5	۴	۲۲/۵	۵۵
9	یزد-نظرآباد	۲۲/۲	6/3	۴	۲۲/۵	۵۵
10	نظرآباد-شمسی	۲۴/۳	2/9	۱/۵	۲۲/۵	۵۵
11	شمسی-میبد	۱۳/۴	5/3	۲	۲۲/۵	۵۵
12	میبد-اردکان	۱۴	5	۱۲/۵	۲۲/۵	۵۵
13	اردکان-ارژنگ	۱۸	8/5	-	۲۲/۵	۵۵
14	میبد-ارژنگ	۱۴/۷	10	-	۲۲/۵	۵۵
15	ارژنگ-عقدا	۱۵/۷	10	۵	۲۲/۵	۵۵
16	عقدا-اشک	۱۰/۱	10	-	۲۲/۵	۵۵
17	اشک-سامان	۱۶/۱	10	۵	۲۲/۵	۵۵
18	سامان-هما	۱۷/۴	3	-	۲۲/۵	۵۵
19	هما-شبیم	۱۵/۰۵	10	-	۲۲/۵	۵۵
20	شبیم-ورزنه	۳۱/۲	10	۸	۲۲/۵	۵۵
21	ورزنه-هرند	۳۱/۱	8	-	۲۲/۵	۵۵
22	هرند-خیرآباد	۱۵/۹	7	-	۲۲/۵	۵۵
23	خیرآباد-سیستان	۱۶/۵	5	۸	۲۲/۵	۵۵
24	سیستان-فیروزه	۱۹/۳	2	۲	۲۲/۵	۵۵
25	فیروزه-اصفهان	۲۰/۳	10	۱۰	۲۲/۵	۵۵
26	اصفهان-ایران کوه	۱۶/۱	9	-	۲۲/۵	۵۵
27	ایران کوه-آب نیل	۱۳/۱	9	۶	۲۲/۵	۵۵
28	آب نیل-دیزیچه	۱۶/۱	8	-	۲۲/۵	۵۵
29	دیزیچه-زرین شهر	۲۵/۲	10	۸	۲۲/۵	۵۵
30	دیزیچه-حسن آباد	۲۲/۲	10	۸	۲۲/۵	۵۵

در جدول ۱ مشخصات ایستگاه های مسیر آورده شده است. قبل از انجام مطالعات اقتصادی نیاز به تعیین تعداد واگن قابل کشش توسط هر لکوموتیو با توجه به شیب و فرازهای منطقه مورد مطالعه می باشد.

۴-۳- تعیین تعداد واگن قابل کشش توسط هر لکوموتیو

برای انجام مطالعه اقتصادی ابتدا بایستی آشنایی با منطقه مورد مطالعه داشته باشیم در جدول زیر اطلاعاتی درباره بلاک های مسیر ریلی بافق-زرین شهر آورده شده است.

با توجه به شیب و فرازهای موجود در منطقه لکوموتیوها قادر به کشیدن تعداد مشخصی واگن می باشند. که وزن قطار قابل کشش در هر یک از بلاک ها به میزان فراز آن بلاک بستگی دارد. همچنین از دیگر عوامل تاثیر گذار در وزن قطار باری قابل کشش توسط هر لکوموتیو می توان به نیروی کشش لکوموتیو، وزن لکوموتیو و مقاومت معادل شده واگن و لکوموتیو اشاره کرد.

برای محاسبه وزن قطار باری قابل کشش توسط یک لکوموتیو از رابطه زیر استفاده می شود:

$$Q = \frac{F_k - P(R_{loco} + I)}{R_{wag} + I}$$

که در این رابطه:

Q : وزن قطار باری قابل کشش توسط لکوموتیو بر حسب تن
 F_k : نیروی کشش مداوم لکوموتیو (به کیلوگرم نیرو) برای یک لکوموتیو آلستوم باری این میزان ۵۲۵۰۰ کیلوگرم نیرو می باشد.

P : وزن لکوموتیو بر حسب تن

I : میزان فراز مسیر

R_{loco} : مقاومت معادل شده لکوموتیو بر حسب فراز

R_{wag} : مقاومت معادل شده واگن بر حسب فراز

برای محاسبه مقاومت معادل شده واگن و لکوموتیو از روابط زیر استفاده می شود:

$$R = A + \frac{B}{W} + CV + \frac{D \cdot a \cdot v^2}{wn} \quad (2)$$

که در این رابطه:

W : بار محوری واگن یا لکوموتیو بر حسب تن

R : مقاومت معادل شده واگن یا لکوموتیو بر حسب فراز

n : تعداد محورهای واگن یا لکوموتیو

V : سرعت قطار بر حسب کیلومتر در ساعت

a : سطح مقطع مقابل حرکت واگن یا لکوموتیو است که برای

واگن برابر ۸/۵ و لکوموتیو برابر ۱۲/۵ می باشد.

جدول ۳. ضرایب ثابت

وسيله	A	B	C	D
لوکوکوتیو	۰/۶۵	۱۳/۲	۰/۰۰۹۳۱	۰/۰۰۴۵۳
واگن باری	۰/۶۵	۱۳/۲	۰/۰۰۱۳۹۵	۰/۰۰۰۹۴۴
واگن مسافری	۰/۶۵	۱۳/۲	۰/۰۰۹۳۱	۰/۰۰۰۶۴۲

با جایگذاری مقادیر ثابت در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$R_{wag} = 0.65 + \frac{13.2}{W} + 0.01395 V + \frac{0.008034 V^2}{W \cdot n}$$

$$R_{loco} = 0.65 + \frac{13.2}{W} + 0.00931 V + \frac{0.056625 V^2}{W \cdot n}$$

در محاسبات موارد زیر در نظر گرفته شده است:

- بار محوری واگن لبه بلند معدن برابر ۲۲/۵ و بار محوری لکوموتیو آلستوم برابر ۲۵ تن در نظر گرفته شده است.

- تعداد محورهای واگن لبه بلند معدن و لکوموتیو آلستوم برابر ۴ در نظر گرفته شده است.

- وزن لکوموتیو آلستوم برابر ۱۵۰ تن در نظر گرفته شده است.

- نیروی کشش مداوم لکوموتیو آلستوم باری برابر ۵۲۵۰۰ کیلوگرم نیرو لحاظ شده است.

- وزن واگن لبه بلند معدن برابر ۹۰ تن در نظر گرفته می شود. و در نهایت با تقسیم وزن قطار باری به وزن هر واگن تعداد واگن قابل کشش توسط هر لکوموتیو آلستوم بدست می آید.

جدول ۴. تعداد واگن قابل کشش

ردیف	نام بلاک	فراز غالب مسیر	Q (Ton)	W
1	چغارت-بافق	4	8188/6994	91
2	بافق-بهرام گور	10	4112/4246	46
3	بهرام گور-مهرداد	10	4112/4246	46
4	مهرداد-تبرکوه	10	4112/4246	46
5	تبرکوه-چاه خاور	10/28	4017/357	45
6	چاه خاور-رخش	10	4112/4246	46
7	رخش-بیزدگرد	4	8188/6994	91
8	بیزدگرد-بیزد	5/5	6579/7402	73
9	بیزد-نظرآباد	6/3	5951/8195	66
10	نظرآباد-شمسی	2/9	9961/5191	111
11	شمسی-میبد	5/3	6757/4465	75
12	میبد-اردکان	5	7042/3288	78
13	اردکان-ارژنگ	8/5	4705/8567	52
14	میبد-ارژنگ	10	4112/4246	46
15	ارژنگ-عقدا	10	4112/4246	46
16	عقدا-اشک	10	4112/4246	46
17	اشک-ساسان	10	4112/4246	46
18	ساسان-هما	3	9769/7952	109
19	هما-شبیم	10	4112/4246	46
20	شبیم-ورزنه	10	4112/4246	46
21	ورزنه-هرند	8	4942/1744	55
22	هرند-خیرآباد	7	5491/2551	61
23	خیرآباد-سیستان	5	7042/3288	78
24	سیستان-فیروزه	2	12090/758	134
25	فیروزه-اصفهان	10	4112/4246	46
26	اصفهان-ایران کوه	9	4490/5003	50
27	ایران کوه-آب نیل	9	4490/5003	50
28	آب نیل-دیزیچه	8	4942/1744	55
29	دیزیچه-زرین شهر	10	4112/4246	46
30	دیزیچه-حسن آباد	10	4112/4246	46

در شکل زیر مشخصات واگن‌ها و لکوموتیوها که در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داده شده است:



وزن لکوموتیو ۱۵۰ تن فرض می‌شود
 وزن ناخالص واگن بر ۹۰ تن فرض می‌شود
 طول هر واگن ۱۴ متر فرض می‌شود
 طول هر لکوموتیو ۲۰ متر فرض می‌شود

شکل ۱. مشخصات واگن و لکوموتیوها

همانطور که در جدول می‌بینید در بلاک تبرکوه-چاه خاور کمترین تعداد واگن توسط یک لکوموتیو قابل کشیدن است.

M_L : وزن هر لکوموتیو که در این مطالعه وزن لکوموتیو برابر ۱۵۰ تن در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده حداکثر تعداد زوج قطار عبوری از بلاک بحرانی برابر ۱۳ زوج می‌باشد پس در یک شبانه روز تعداد ۲۶ عدد قطار از بلاک مورد نظر می‌گذرد که اگر هر قطار N لکوموتیو داشته باشد تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز برابر مقدار زیر می‌باشد (از آنجایی که در این مطالعه هدف بررسی هزینه‌های به کارگیری قطارهای طولی می‌باشد بایستی فقط تعداد لکوموتیوهایی که قطار تطویل شده استفاده می‌کند در نظر بگیریم که برای این منظور تعداد ۲۶ لکوموتیو مورد استفاده توسط قطار معمولی در شبانه روز را کسر می‌کنیم):

$$\Delta N = 26 \times N - 26 = 26(N-1)$$

$$L = N \times W \times L_W + N \times L_N \Rightarrow L = N(650)$$

$$\Delta N = 26 \left(\left(\frac{L}{650} \right) - 1 \right) = 0.04L - 26 \quad (5)$$

۶- هزینه‌های طرح افزایش ظرفیت با استفاده از

قطار تطویل

۱-۶- هزینه تطویل خطوط

در تطویل خطوط ایستگاه‌های مسیر هزینه تملک زمین صفر در نظر گرفته می‌شود، تعداد خطوط قبول و اعزام افزایش داده نمی‌شود و فقط طول هر خط قبول و اعزام به میزان مورد نظر

۵- بدست آوردن درآمد و هزینه به صورت توابعی

از طول قطار

در یک پروژه حمل و نقل ریلی هزینه‌ها و درآمدهای زیادی وجود دارند که در ارزیابی‌های اقتصادی باید در نظر گرفته شوند. در اینجا با فرض استفاده از لکوترویل و استفاده از تعداد زیادی لکوموتیو به مطالعه اقتصادی می‌پردازیم. در حالتی که از قطار تطویل استفاده می‌شود ایستگاه‌ها باید از طول کافی برای پذیرش و اعزام قطارها برخوردار باشند.

در تمامی محاسبات برای بدست آوردن هزینه و درآمدها برحسب طول قطار از نکات زیر استفاده شده است:

اگر به ازای هر لکوموتیو W واگن داشته باشیم طول کل قطار به صورت زیر می‌باشد:

$$L = W \times N \times L_W + N \times L_N \quad (3)$$

که در این رابطه N تعداد لکوموتیوهای مورد استفاده، L_W طول هر واگن و L_N طول لکوموتیو می‌باشد.

با توجه به طول قطار و وزن هر واگن می‌توان وزن کل قطار را به صورت زیر بدست آورد:

$$M_T = W \times N \times M_W + N \times M_L \quad (4)$$

M_T : وزن کل قطار

M_W : وزن ناخالص هر واگن که در این مطالعه وزن ناخالص هر واگن بر برابر ۹۰ تن در نظر گرفته می‌شود.

۶-۵- هزینه تعمیر ونگه داری ناوگان

هزینه تعمیر ونگه داری کشنده دیزلی معادل ۷/۵ درصد خرید کشنده می باشد که در ۵ سال اول بهره برداری نصف آن محاسبه می گردد. با متوسط گیری از درصد، متوسط ۶/۵ درصد برای تمام طول سال های طرح استفاده می گردد و به جهت تعمیر ونگه داری در سطح استاندارد هر واگن باری، متوسط هزینه نگهداری، ۵ درصد هزینه خرید در نظر گرفته می شود.

$$C_{TW} = C_W \times 0.05$$

$$C_{TN} = C_N \times 0.065$$

C_W : هزینه خرید واگن

C_N : هزینه خرید لکوموتیو

C_{TW} : هزینه تعمیر ونگه داری واگن باری

C_{TN} : هزینه تعمیر ونگه داری لکوموتیو دیزلی

۶-۶- هزینه مصرف سوخت

بر اساس متوسط ۸ سال مصرف گازوئیل طی سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۵ در راه آهن ایران، مصرف سوخت برای لکوموتیوهای باری حدود ۹ میلی لیتر به ازای هر تن-کیلومتر بار خالص حمل شده و ۱۰ میلی لیتر به ازای هر مسافر کیلومتر می باشد. متوسط مصرف روغن در بخش راه آهن باری نیز محاسبه شده است و عدد ۰/۱۱ میلی لیتر به ازای هر تن-کیلومتر به دست می آید. هزینه مصرف سوخت از حاصل ضرب تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز برای قطار طویل در تعداد قطار عبوری در یک شبانه روز (۲۶) در میزان و قیمت مصرف سوخت به دست می آید. با توجه به اینکه میزان مصرف به ازای تن-کیلومتر داده شده است هزینه بدست آمده برای هر کیلومتر باید در کیلومتر اثر مسیر ضرب شود.

در نهایت روابط زیر برای مصرف سوخت و روغن بر حسب طول قطار به دست می آیند:

$$C_g = 46/32 \times 10^9 \times (0/04L - 26) \quad (12)$$

$$C_f = 72/06 \times 10^7 \times (0/04L - 26) \quad (13)$$

افزایش می یابد. اگر طول قطار برابر L باشد، حداقل طول خطوط ایستگاه ها برای پذیرش قطار باید برابر L باشد. طبق رابطه زیر می توان هزینه تطویل خطوط ایستگاه ها را به دست آورد:

$$C_L = (\sum L_s - \sum L') \times C_1 \quad (6)$$

که در این رابطه:

$\sum L_s$ (۱۰): مجموع طول خطوط ایستگاه ها پس از تطویل ۲ خط

$\sum L'$: مجموع طول خطوط ایستگاه های موجود

C_1 (۱۱): هزینه هر کیلومتر تطویل ایستگاه

C_L : کل هزینه تطویل

۶-۲- هزینه تامین لکوموتیو دیزلی

که با توجه به رابطه زیر به دست می آید:

$$C_N = \Delta N \times C_2 \quad (7)$$

C_N : هزینه تامین لکوموتیو

C_2 : قیمت خرید هر دستگاه لکوموتیو دیزلی

ΔN : تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز برای تشکیل قطار طویل در یک شبانه روز (تعداد لکوموتیوهای قطار طویل منهای تعداد لکوموتیوهای قطار معمولی)

۶-۳- هزینه تامین واگن باری

هزینه تامین واگن با توجه به رابطه زیر به دست می آید:

$$C_W = \Delta N \times W \times C_3 \quad (8)$$

C_W : هزینه تامین واگن باری

W : تعداد واگن قابل کشش توسط هر لکوموتیو

C_3 : قیمت خرید هر دستگاه واگن باری

۶-۴- هزینه تامین لکوموتیو مانوری

$$C_M = \frac{\Delta N}{7} \times C_4 \quad (9)$$

C_M : هزینه تامین لکوموتیو مانوری

C_4 : قیمت خرید هر دستگاه لکوموتیو مانوری

که C_g هزینه مصرف سوخت و C_f هزینه مصرف روغن است.

۶-۷- هزینه خرید لکوتروл

اگر در یک قطار طویل نیروی یک لکوموتیو کفایت نکرد بالا جبار باید از چند لکوموتیو استفاده نمود. لکوموتیو در مسیرهای شیب دار نسبتاً ضعیف است و در صورت حمل محموله های سنگین به سرعت تعداد لکوموتیوهای مورد نیاز افزایش می یابد. اگر تعداد لکوموتیوهای مورد استفاده زیاد باشد و همه آنها در جلوی قطار بسته شوند امکان پارگی قلاب وجود دارد در این صورت باید لکوموتیوها را در طول قطار پخش نمود. در صورت پخش لکوموتیوها در طول قطار برای هماهنگی آنها باید از لکوتروл استفاده کنیم و در این صورت تمامی لکوموتیوها باید به سیستم لکوتروл مجهز باشند.

بر اساس صحبت های مسئولین راه آهن لکوموتیوهای مجهز به لکوتروл در حال حاضر در ناوگان موجود می باشند و قیمت تجهیزات و دستگاه لکوتروл برای هر لکوموتیو برابر ۵۰ میلیون تومان می باشد. برای به دست آوردن هزینه لکوتروл از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$C_{locotrol} = (26 \times (\frac{L}{650})) \times C_5 \quad (14)$$

که در این رابطه:

$C_{locotrol}$: هزینه به کارگیری لکوتروл

C_5 : هزینه خرید هر دستگاه لکوتروл

در این رابطه در صورتیکه طول قطار برابر ۶۵۰ متر باشد مقدار $C_{locotrol}$ برابر صفر در نظر گرفته می شود. (به دلیل اینکه طول قطار معمولی برابر ۶۵۰ متر در نظر گرفته شد).

۷-۷- درآمدهای افزایش طول قطار

در اینجا به دلیل اینکه قطارهای طویل عموماً باری بوده و برای افزایش ظرفیت خطوط به کار می روند درآمد حاصل از حمل بار مورد بررسی قرار می گیرد.

۷-۱- محاسبه درآمد

برای محاسبه بار سالیانه قابل حمل در هر جهت از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$G = \frac{N_b \times \frac{2}{3} \times Q \times 365}{r} \quad (15)$$

G : تناژ بار قابل حمل سالیانه

Q : وزن ناخالص قطار

N_b : زوج قطار باری عبوری از بلاک در شبانه روز

r : ضریب نوسان بار که برابر با ۱.۱۵ در نظر گرفته می شود.

در این رابطه مقدار Q برابر است با:

$$Q = N \times W \times M_w + N \times M_L \quad (16)$$

که M_w برابر وزن ناخالص هر واگن می باشد که برابر ۹۰

تن در نظر گرفته می شود و M_L وزن لکوموتیو می باشد که برابر ۱۵۰ تن در نظر گرفته می شود.

برای محاسبه N_b از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$N_b = \frac{24 \times 60' - m \times 60'}{T + \sum t_i} \epsilon (N_p + 1) \quad (17)$$

m : تعداد ساعات مسدودی خط (در این محاسبه ۶ ساعت مسدودی در نظر گرفته می شود).

T : زمان رفت و برگشت قطار باری در بلاک بحرانی به دقیقه

ϵ : ضریب تعدیل قطارهای باری و مسافری. این ضریب مقداری بین ۱ تا ۱/۵ را دارا می باشد که به جهت محاسبه حداکثر ظرفیت برابر ۱ در نظر گرفته می شود.

N_p : تعداد زوج قطار مسافری عبوری از بلاک در شبانه روز

t_i : زمان تاخیر تلاقی به دقیقه (به جهت محاسبه ظرفیت ماکزیمم برابر صفر در نظر گرفته می شود)

برای محاسبه درآمد حمل بار از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$R = \Delta G \times (Km) \times r \quad (18)$$

که در این رابطه:

R : درآمد کل حاصل از حمل بار

Km : طول کل مسیر مورد نظر

r : درآمد حمل بار برای هر تن-کیلومتر بر حسب ریال

ΔG : اختلاف تناژ بار قابل حمل توسط قطار طویل شده و قطار معمولی

۸- مقایسه هزینه ها و منافع

پس از شناسایی هزینه ها و منافع طرح و اندازه گیری آن ها، باید با استفاده از روش های اقتصاد مهندسی به مقایسه ی آن ها پرداخت. در این تحقیق جهت مقایسه هزینه ها و منافع طرح از روش ارزش خالص فعلی استفاده شده است.

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (19)$$

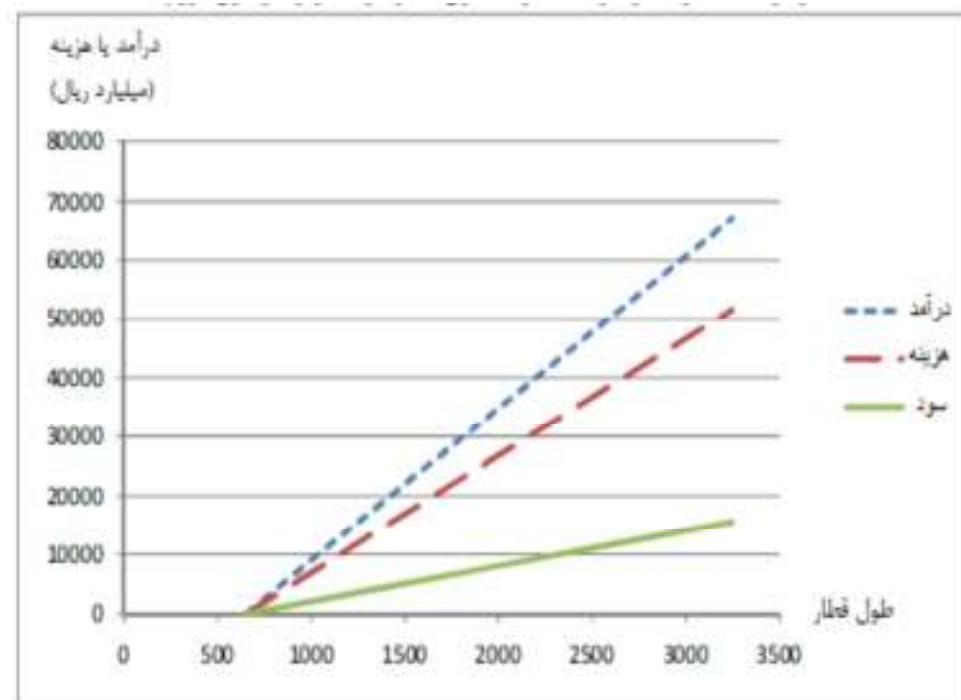
بر اساس محاسباتی که در بخش های قبل صورت گرفت و تابعی که برای هزینه ها و درآمد بر حسب طول قطار به دست آمد می توان به ازای طول های مختلف قطار ارزش خالص فعلی هزینه ها و درآمدها را به دست آورد. برای محاسبات نرخ

تنزیل ۱۰ درصد و نرخ تورم ۱۴ درصد در نظر گرفته شده است. سال ۱۳۹۱ به عنوان سال بهره برداری در نظر گرفته می شود.

در این مقاله، مطالعه اقتصادی در ۳ سناریو انجام می شود. سناریو اول رشد تعداد قطار مسافری صفر درصد، سناریو دوم رشد تعداد قطار مسافری ۲ درصد و سناریو سوم رشد تعداد قطار مسافری ۴ درصد در سال می باشد.

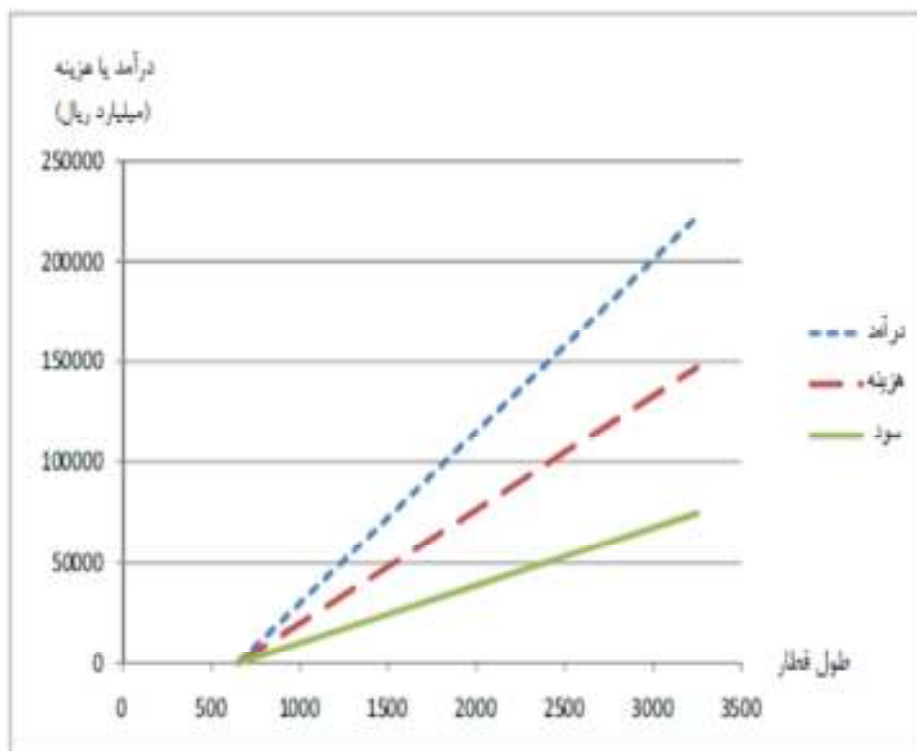
نتایج به دست آمده به صورت نمودارهای زیر می باشند:

سناریو اول : رشد تعداد قطار مسافری صفر درصد



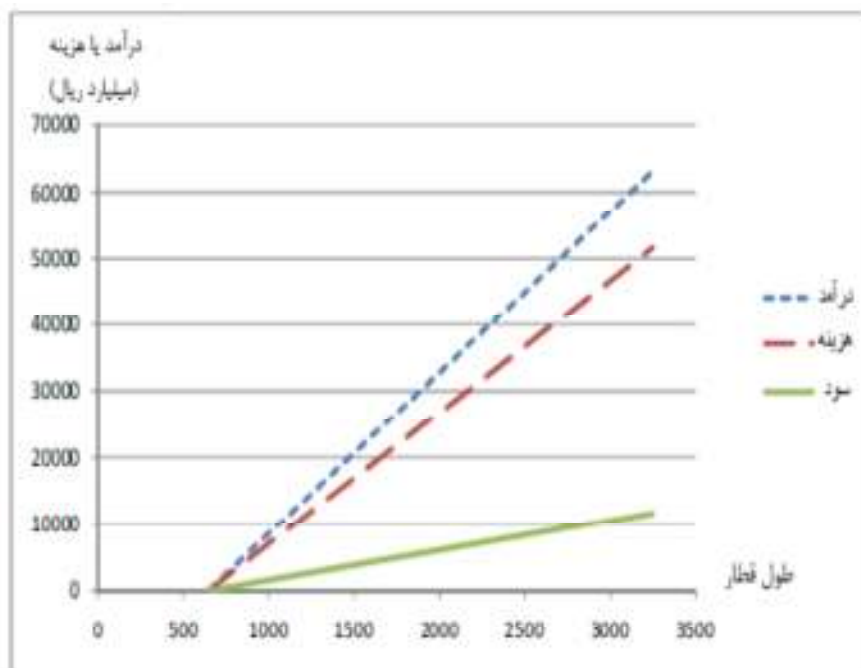
نمودار ۲. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۱ و بدون تورم

با در نظر گرفتن تورم سالانه ۱۴ درصد در هزینه ها و درآمدها در سناریوی اول می توان به نتایج مناسبی رسید.



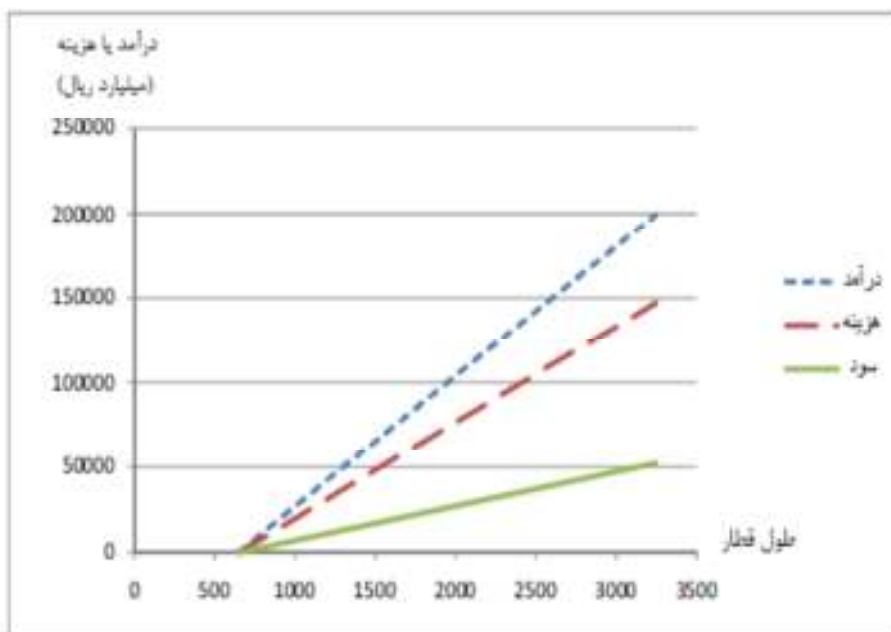
نمودار ۳. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۱ و با در نظر گرفتن تورم

سناریو دوم : رشد تعداد قطار مسافری دو درصد



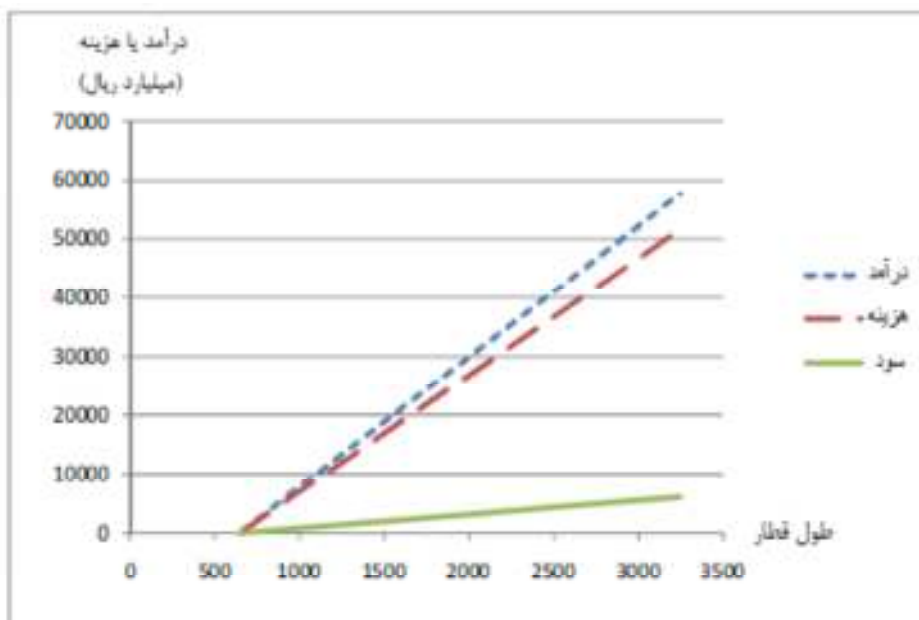
نمودار ۴. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۲ و بدون تورم

با در نظر گرفتن تورم سالانه ۱۴ درصد در هزینه‌ها و درآمدها در سناریوی دوم می‌توان به نتیجه زیر رسید:



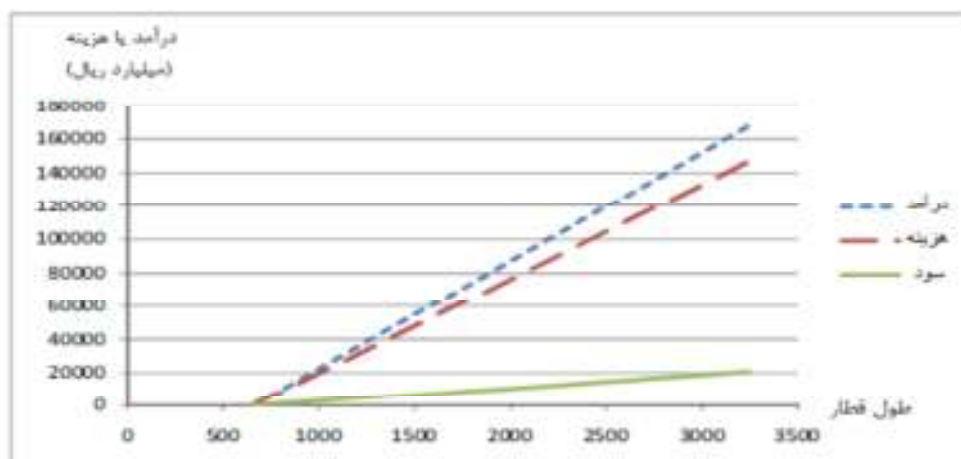
نمودار ۵. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۲، با در نظر گرفتن تورم

سناریو سوم: رشد تعداد قطار مسافری چهار درصد



نمودار ۶. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۳ وبدون تورم

با در نظر گرفتن تورم سالانه ۱۴ درصد در هزینه‌ها و درآمدها در سناریوی سوم می‌توان به نتیجه نمودار ۷ رسید.



نمودار ۷. درآمد و هزینه به ازای طول قطار در سناریو ۳، با در نظر گرفتن تورم

۹- نتیجه گیری

۱. در مطالعات اقتصادی با در نظر گرفتن کلیه هزینه‌های استفاده از قطارهای طویل و فقط در نظر گرفتن درآمد ناشی از حمل بار مشاهده می‌شود که استفاده از این قطارها به صرفه می‌باشد.
۲. با به دست آوردن هزینه‌ها و درآمد بر حسب طول قطار و رسم نمودار سود به راحتی می‌توان فهمید که با افزایش طول قطار نمودار درآمد با شیب بیشتری نسبت به نمودار هزینه صعود می‌کند و این به این معنی است که با افزایش طول قطار سود نیز افزایش می‌یابد.
۳. مطالعه اقتصادی قطارهای طویل در سناریوهای مختلف رشد تعداد قطار مسافری و در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن تورم، اقتصادی بودن استفاده از این قطارها را کاملاً تایید می‌کند.

۱۰- مراجع

- برنامه‌ریزی عملیاتی حمل و نقل ریلی، (۱۳۸۹)، "معاونت بهره‌برداری و سیروحرکت"، اداره کل سیروحرکت، گروه مطالعات و برنامه‌ریزی.

- شیشه‌گری، الف.، (۱۳۸۸)، "شناسایی گلوگاه‌ها و ارزیابی راهکارهای افزایش ظرفیت محور تهران-جنوب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-زیاری ح.، اسدالهی م.، ابطحی، م.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی مالی-اقتصادی برقی کردن خطوط ریلی"، اقتصاد حمل و نقل، نهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران.

- "مقایسه فنی-اقتصادی راهکارهای افزایش ظرفیت در مسیر راه‌آهن بافق-زرین‌شهر و رایبه راهکار بهینه"، (۱۳۸۷)، مرکز تحقیقات راه‌آهن.

-Gao Chun-ming, Ji Bin, Zhang Bo, M.A. Dawei, (2006), "Research and application of LOCOTROL technologies for heavy haul trains on Datong-Qinhuangdao railway line", *Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles Journal*.

-Dr., Dave van der meulen, Chief Engineer (Systemic Rail Solutions), (2003), "Why Heavy Haul learning from the cost-effectiveness of heavy axle loads in South Africa", Presented at ERRI, UIC & UNIFE Paris.

-M. M.C. Clanachan, Colin Cole, (2003), "Current train control optimization methods with a view for application in Heavy Haul railways", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*.