

شبیه سازی خط ۶ متروی تهران با استفاده از نرم افزار ARENA

نریمان نیکو ، علیرضا خسروی ، حمیدرضا احدی دولت سرا ، محسن مهدی ، حسن غلامی
(گروه میرا mapragroup@yahoo.com)

- ۱ دانشجوی کارشناسی حمل و نقل ریلی دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن؛ narimanikoo@yahoo.com
- ۲ دانشجوی کارشناسی صنایع دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن alireza661299@yahoo.com
- ۳ مهندس حمل و نقل ریلی دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن hamidahady@yahoo.com
- ۴ دانشجوی کارشناسی حمل و نقل ریلی دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن mohsen.mahdi1@gmail.com
- ۵ دانشجوی کارشناسی ارشد حمل و نقل ریلی دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن mazinan_2004@yahoo.com

مقدمه

خط ۶ متروی تهران که در حال ساخت می باشد از کن به میدان معلم (شهر ری) امتداد می یابد. خط شش متروی تهران شامل ۲۵ ایستگاه میباشد که در این مدل به دلیل محدودیت نسخه دانشجویی ARENA از ۵ ایستگاه استفاده شده است. خط شامل یک واحد تعمیرات است که در محل دپو قطارها واقع شده است. ساعات کار این خط از ۵:۳۰ تا ۲۴ می باشد. فاصله زمانی بین حرکت دو قطار از مبدا در ساعات مختلف روز متفاوت است، به طوری که در ساعات ۵:۳۰ (شروع شبیه سازی) تا ۹:۳۰ و ساعات ۱۴:۴۵ تا ۱۹ (دو بازه بالا ساعات پیک مسافری صبح و بعدازظهر می باشد) ۳

چکیده

با توجه به حجم سرمایه گذاری احداث خطوط مترو ، گسترش خطوط مترو، هزینه های بالای ناوگان و بهره برداری و همچنین جدید بودن این سیستم در ایران لزوم شبیه سازی در این گونه سیستم ها احساس می شود. ویژگی های سیستم مترو مانند صف پذیری و اینکه با وجود متغیرهای زیاد، نیاز به شبیه سازی پیچیده های ندارد و قطار و جریان حرکت قطار را در سیستم می توان پیگیری کرد

خط شش متروی تهران که از کن به سمت شهر ری می باشد شامل ۲۵ ایستگاه میباشد و برای این خط یک واحد تعمیرات در نظر گرفته شده است که در محل دپو قطارها واقع شده است. ساعات کار این خط از ساعت ۵:۳۰ تا ۲۴ در نظر گرفته شده است. فاصله زمانی بین حرکت دو قطار از مبدا در ساعات مختلف روز متفاوت می باشد.

این مقاله با در نظر گرفتن قطار به عنوان نهاد و با استفاده از توابع توزیع زمانی، فرآیند حرکت قطارها را در دپو ها و ایستگاه ها خط ۶ متروی تهران با استفاده از نرم افزار ARENA شبیه سازی کرده است. در انتها ۸ سناریو مختلف در نظر گرفته شد و سناریوی سوم با مقدار بهینه هزینه ۱۸۴۱۸۰۰۰ دلار به عنوان بهترین سناریو انتخاب گردید. ویژگی های این سناریو به صورت زیر می باشد: هدوی قطار در ساعات پیک ۳'۶" و از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۴:۴۵، ۴'۳۰" و از ۱۹ تا ۲۴ شب، ۶'۲۰" می باشد و تعداد تعداد قطار مورد نیاز خط ۶ را ۲۹ قطار برآورده کردیم بطوریکه در آغاز هر روز کاری ۲۳ قطار در دپو برای مسیر رفت و ۶ قطار نیز در ایستگاه برگشت آماده سرویس دهی می باشند.

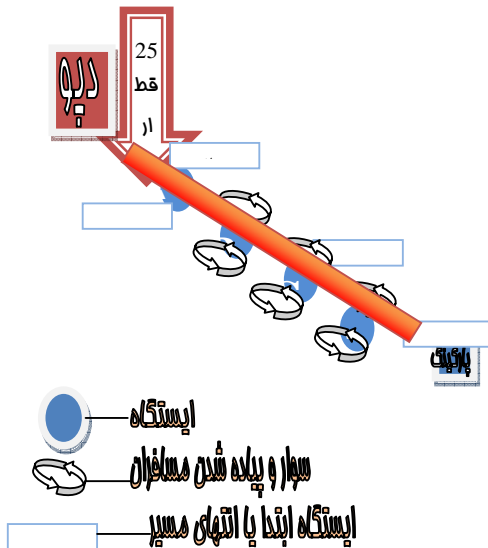
مشخصات کلیدی خطوط شهری تهران

خطوط ریلی	پایانه ۱	پایانه ۴
خط شماره ۱	تجریش	خرم مطهر
خط شماره ۲	پارک جنگلی سرخه دهمار	ایستگاه صادقیه
خط شماره ۳	فرگل	شمس آباد
خط شماره ۴	کن	میدان معلم (شهر ری)
خط شماره ۵	میدان شهر	شهر تهرانی (میدان)
خط شماره ۸	میدان رسالت	میدان بسیج
خط شماره ۹	میدان پورنگ	میدان بسیج

شبکه بلند مدت حمل و نقل ریلی شهری تهران - خطوط شهری جدید



کلمات کلیدی: شبیه سازی، ARENA، خط ۶، متروی تهران



چرا خط ۶ مترو برای شبیه سازی انتخاب شد؟

- ویژگی حرکت قطارها (صف پذیری)
- ظرفیت دیو ها
- افزایش بهره وری مترو، یافتن نقطه ی بهینه بر هزینه ها، زمان، امکانات (قطارها ، منابع انسانی، ظرفیت خطوط ...)
- کاهش ترافیک خیابانی با توجه به نیازسنجی تعیین عملکرد بهینه برای مترو
- زمان در آن نقش دارد
- با وجود متغیرهای زیاد، نیاز به شبیه سازی پیچیده های ندارد
- سیستم گسسته پیشامد است
- قطار و جریان حرکت قطار در سیستم را می توان پیگیری کرد
- با توجه به حجم سرمایه گذاری لازم و زمان اجرای طولانی ضرورت شبیه سازی به منظور یافتن عوامل موثر و پارامترهای حساس برای رسیدن به عملکرد بهینه احساس می شود
- با توجه به موقعیت زمانی از لحاظ مراحل اجرایی خط ۶ متروی تهران بهترین برای شبیه سازی (case study) می باشد-۱ و ۴ و ۳

سیستم خط ۶ متروی تهران

در این مرحله به معرفی اجزای سیستم خط ۶ متروی تهران می پردازیم : نهاداین سیستم قطار می باشد و دارای خصوصیاتی از قبیل مبدا، مقصد، حجم تقاضا، تعداد واگن، تعداد قطارهای خط، می باشد

پیشامدهایی که ممکن است در این سیستم رخ دهند عبارتند از : خرابی قطار، رسیدن به مبدا و مقصد، حوادث غیر مترقبه، خرید یا از رده خارج شدن. فعاليتها شامل ارسال از مبدا، توقف در ایستگاه ها، جابجایی مسافر می باشند و متغیرهای حالت سیستم هدوی، تعداد قطار های در سرویس و تعمیراتی در هر لحظه از زمان معرفی می گردند.-۱ و ۲ و ۴

مدل مفهومی

۱. اجازه مرکز فرمان برای حرکت قطار و حرکت از دیو
۲. اجازه ورود به ایستگاه و توقف در ایستگاه
۳. باز شدن در قطار و سوار شدن مسافر
۴. اجازه خروج و خروج از ایستگاه
۵. چک کردن آزاد بودن هر بلاک برای ورود به آن
۶. ورود به دیو طبق منطق مراحل ۱ و ۲ و تعمیرات و نگهداری در صورت نیا

تعریف مسئله

فاصله زمانی بین حرکت دو قطار برابر با متغیر headway و در ساعات ۹:۳۰ تا ۱۴:۴۵ برابر با متغیر 2 headway و در ساعات ۱۹ تا ۲۴ برابر با متغیر 3 headway می باشد. در ابتدای شبیه سازی اکثر قطارها در ابتدای خط رفت هستند ولی تعدادی هم در ابتدای خط برگشت قرار دارند. در فاصله ساعات ۹:۳۰ تا ۱۰:۳۰ و به فواصل یک ربع ۴ قطار از سیستم خارج می شوند، که دو مورد به حالت standby رفته و دو مورد نیز برای گذراندن بازدید هفتگی خود به واحد تعمیرات می روند و در آنجا یک فرایند ۴ ساعته را طی می کنند.

تابع توزیع خرابی روی خط قطار برابر TRIA(2,3,6) مورد در روز می باشد. قطارهای معیوب پس از خروج از خط به واحد تعمیرات می روند، زمان تعمیر آنها دارای توزیع TRIA(30,120,1440) بر حسب دقیقه می باشد. با خروج هر قطار معیوب از خط یک قطار از حالت standby جایگزین آن میشود. در ساعت ۱۴:۴۵ و به منظور پاسخگویی ساعات پیک بعدازظهر قطارهای standby وارد خط میشوند. در ساعت ۱۹ قطارها به فاصله زمانی معین به تدریج از خط خارج شده تا شبیه سازی به پایان برسد.

ایستگاهها به سه دسته high traffic و medium traffic و low traffic تقسیم می شوند که تابع توزیع تقاضای آنها به ترتیب برابر TRIA(600,900,1200) و TRIA(400,600,900) و TRIA(200,400,600) نفر می باشد.

ظرفیت قطار تابعی از headway میباشد و به صورت $(4/headway)*DIST(0.1,913,0.4,1310,0.95,1713,1,227)$ (0) تعریف می شود.

تحلیل داده های ورودی

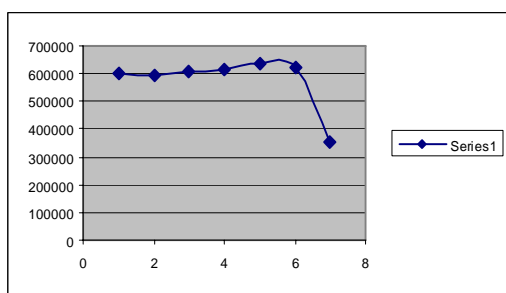
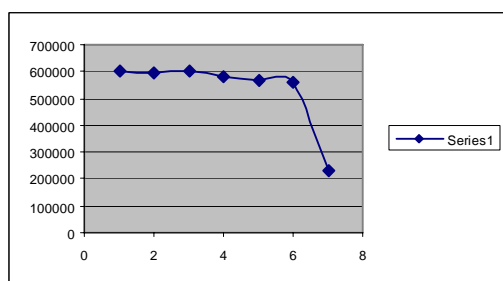
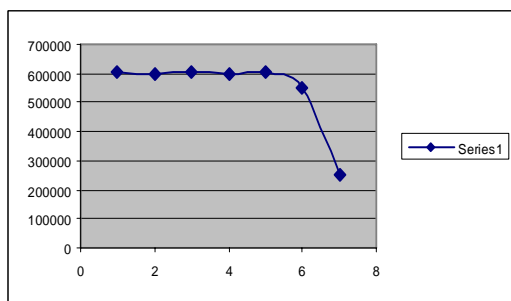
در این فاز (تحلیل داده های ورودی) با استفاده از روشهای آماری (با استفاده از نرم افزارهای ۱۴ Minitab و Office Excel) به بررسی استقلال و ثبات مشاهدات پرداخته شده است

لازم به ذکر است مشاهدات برای تعداد مسافری خط ۱ در روزهای هفته در طول فصل بهار ۸۶ انجام شده است و مشاهدات به دسته های ۷ روزه (هفتگی) تقسیم شده اند. البته ۲ هفته آغاز بهار به علت تعطیلات عید نوروز و حجم بسیار پایین مسافر، همچنین هفته ۱۷م سال به دلیل سرویس دهی مترو به بازدید کنندگان نمایشگاه بین المللی کتاب تهران و حجم بالای مسافری از بررسی ها حذف شدند.

بررسی استقلال مشاهدات

به منظور بررسی استقلال مشاهدات (برای تعداد مسافری در روزهای هفته در طول فصل بهار) ابتدا با استفاده از روشهای گرافیکی (نمودار scatter plot از نرم افزار excell) به این نتیجه می رسیم که چنانچه هر ۷ روز هفته را در بررسی با هم به عنوان یک گروه در نظر بگیریم الگوی Trend برای مشاهدات به نظر نمی رسد

در زیر نمودارهای ۶ هفته به عنوان نمونه آورده شده است



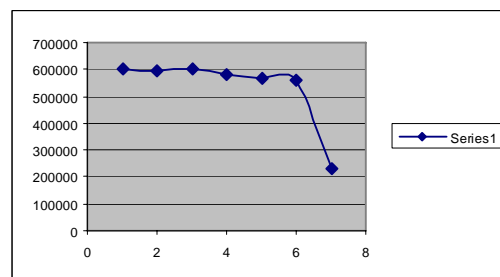
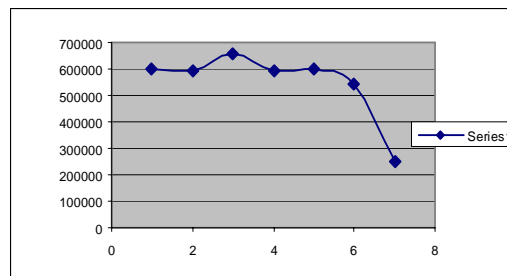
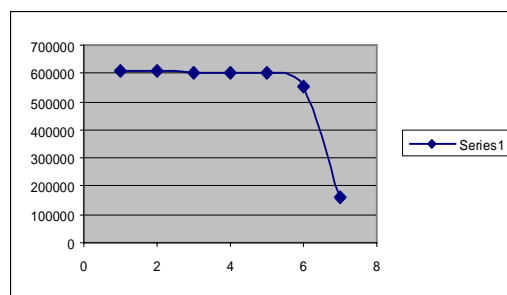
البته برای دقت در نتایج حاصله هم به عنوان ابزاری گرافیکی و هم ابزاری تحلیلی از آزمون فرض RunChart برای بررسی استقلال مشاهدات استفاده شده که نتیجه حاصل همان استقلال مشاهدات بوده است

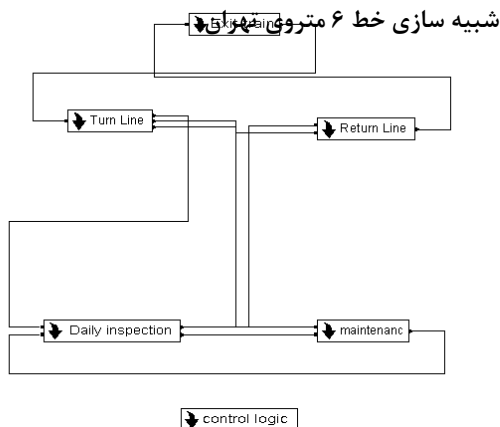
در زیر نمودار و نتایج این آزمون فرض (که با استفاده از نرم افزار Minitab14 بدست آمده است) آورده شده است با توجه به نمودار بالا و همچنین نتایج حاصله از آزمون فرض Trend و Oscillation، نتیجه اولیه (عدم وجود الگوی Trend و یا Oscillation) برای مشاهدات تایید می شود.

بررسی ثبات داده ها چ

در این بخش نیز با استفاده از آزمون فرض RunChart وجود mixture و clustering در مشاهدات مردود می شود (با توجه به مقدار $P\text{-Value} > 0.05$ در آزمون فرض RunChart، H_0 رد می شود).

همچنین با آزمون فرض کروسیال و الیس همین نتیجه (عدم وجود mixture و clustering) بدست می آید. در زیر نحوه انجام این آزمون فرض آورده شده است:





$$X^2_{0.01,9} = 21.67$$

Kruskal-Wallis Test: DAYS AVERAGE versus C2

Kruskal-Wallis Test on DAYS AVE

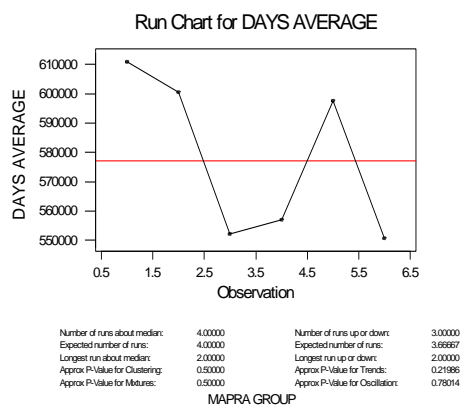
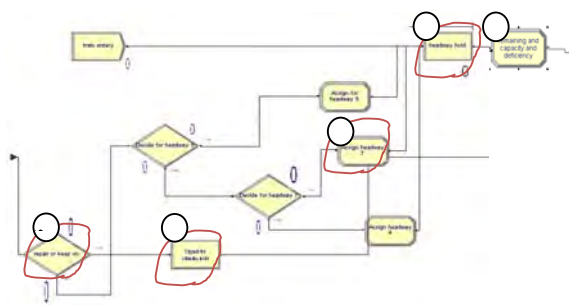
C2	N	Median	Ave Rank	Z
A	3	600523	4.7	1.53
B	3	552001	2.3	-1.53
Overall	6		3.5	

H = 2.33 DF = 1 P = 0.127

* NOTE * One or more small samples

مدل شامل شش زیر مدل میباشد

۱. مسیر رفت حرکت قطارها به همراه تغییر در فاصله زمانی بین حرکت قطارها



تعیین تابع

پس از اطمینان از iid بودن مشاهدات نوبت به تعیین تابع توزیع مشاهدات می رسد، لذا با استفاده از Data Analyzer ARENA7 توزیع مشاهدات بدست می آید که در زیر آورده شده است:

With Friday



Data:610894 600523 552001 556903 597488 550568 241613

Distribution Summary

Beta Distribution:
2.42e+0.005 + 3.69e+0.005 * Expression:
BETA(0.303, 0.0849)

و در ادامه این زیرمدل قطار از ۵ ایستگاه در نظر گرفته شده می گذرد

2. مسیر برگشت حرکت قطارها به همراه تغییر در فاصله زمانی بین حرکت قطارها

این زیر مدل شبیه زیر مدل شماره ۱ می باشد .

3. زیر مدل از ساعت ۹:۳۰ تا ۱۰:۳۰ با فواصل ۱۵ دقیقه ای در

۴ قطار از خط خارج میشوند چون ساعات پیک مسافری صبح تمام می شود

از این ۴ قطار دوتا به تعمیرات می روند تا بازدید هفتگی خود را بگذرانند. دو قطار نیز به حالت stand by می روند، تا در صورت خراب شدن قطار های روی خط جایگزین آنها شوند

Scenario Properties				Controls					Responses	
S	Name	Program File	Reps	max train	min train	headway	headway 2	headway 3	total cost	deficiency
1	Scenario 1	3: Metro Line	10	25.0000	6.0000	4.0000	4.0000	4.0000	203280000.0	1.923
2	Scenario 2	3: Metro Line	10	26.0000	7.0000	2.0000	4.0000	4.0000	215600000.0	1.109
3	Scenario 3	3: Metro Line	10	20.0000	1.0000	2.0000	3.0000	7.0000	141660000.0	1.923
4	Scenario 4	3: Metro Line	10	26.0000	8.0000	4.0000	4.0000	4.0000	209440000.0	1.479
5	Scenario 5	3: Metro Line	10	25.0000	4.0000	2.0000	8.0000	8.0000	190960000.0	1.923
6	Scenario 6	3: Metro Line	10	25.0000	6.0000	3.0000	8.0000	7.0000	203280000.0	1.538
7	Scenario 7	3: Metro Line	10	24.0000	6.0000	4.0000	8.0000	7.0000	197120000.0	1.202
8	Scenario 8	3: Metro Line	10	32.0000	6.0000	4.0000	4.0000	4.0000	246400000.0	1.202

از آنجاکه هزینه های جاری در قیاس با هزینه خرید تجهیزات بسیار ناچیز میباشد در عمل هرچه تعداد واگنها (قطارها) کمتر باشد هزینه نیز پایین می آید. پس تحلیل هزینه بوسیله ابزار PAN مناسب نمیشد زیرا محدودیتها نظر همدی مورد نظر، تعداد مسافرن منتظر در ایستگاه و سایر پارامترهای مورد نظر اعمال نمیکرد. لذا برای در نظر گرفتن موارد فوق از ابزار OPT QUEST استفاده گردید.

به کمک ابزار فوق مقدار بهینه هزینه برابر \$184180000 گردید. که تعیین آن هدف اصلی پروژه میباشد لازم به ذکر است که شرکت سیستم را مقدار آنرا با توجه به هدوی ۲ دقیقه \$327600000 برآورد کرده است اما با الگو برداری از خط ۲ متروی تهران پی برده شد که برای استفاده بهینه از ناوگان مقدار هدوی به ۳ گروه مختلف تقسیم میگردد یعنی در پیک مسافر در ساعات 5,30 تا 9,30 و 14,45 تا 19 هدوی باید کمترین مقدار و در بازه زمانی 9,30 تا 14,45 همچنین 19 تا 24 با هدوی مقادیر بیشتری را شامل گردد، اهداف دیگر پروژه برآورد این مقادیر بود که به صورت زیر بدست آمده است:

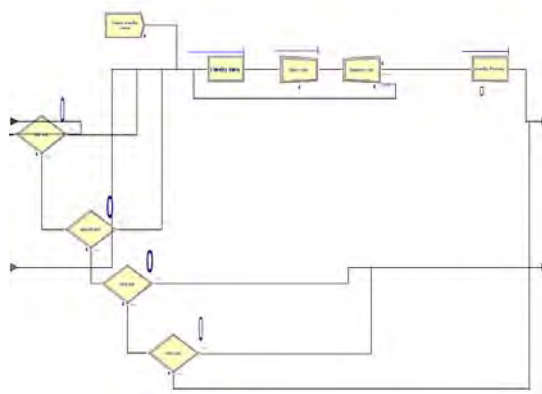
هدوی ساعات پیک 3',6" و هدوی 9,30 تا 14,45 مقدار 4',30" و هدوی 19 تا 24 مقدارش 6',20" میشود هدف دیگر شبیه سازی پیدا کردن مقدار قطارهای مورد نیاز میباشد که مقدار آن با توجه به هدوی بدست آمده و هزینه مورد نظر ۲۹ عدد میباشد، بطوریکه در آغاز هر روز کاری ۲۳ قطار در دپو برای مسیر رفت و ۶ قطار نیز در ایستگاه برگشت آماده برای کار میباشد

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر واقفی که در تمام مراحل انجام این پروژه ما را یاری کردند و این مقاله بدون یاری ایشان انجام نمی گردید. و همچنین از جناب آقایان مهندس آذری و مدیران شرکت مترو دکتر منتظری، مهندس صادقی، مهندس قاسمیان، مهندس صلحی که در مراحل مختلف انجام پروژه ما را یاری نمودند تشکر بسیار داریم.

مراجع

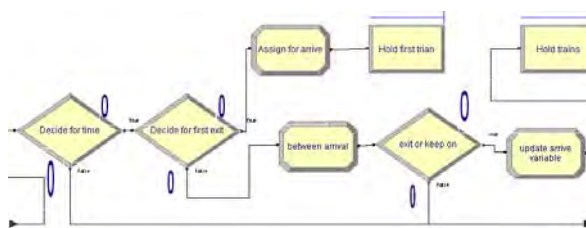
- [۱]- جری بنکس و جان کارسن - ترجمه هاشم محلوچی - شبیه سازی سیستم های گسسته پیشامد
- [2]- w.David Kelton-Randall P.Sadowski-David T.Sturrock - simulation with ARENA
- [۳] - گزارش برنامه بلند مدت حمل و نقل ریلی تهران - شرکت سیستم و شرکت متروی تهران ۱۳۸۶



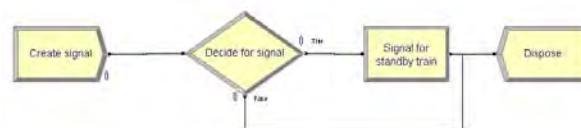
۴. زیر مدل تعمیرات

در این زیر مدل دو نوع تعمیرات شامل تعمیرات جاری و بازدید هفتگی صورت می گیرد.

۵. در این زیر مدل قطارها از ساعت ۱۹ با فاصله ی زمانی معین از خط خارج می شوند.



۶. در این زیر مدل سیگنالی برای آزاد شدن قطارهای stand by فرا رسیدن ساعت ۱۴:۴۵ ارسال می شود



نتیجه گیری و جمع بندی

همانطور که از نمودار زیر پیداست با استفاده از آزمون Two-Sample T Means Comparison مشاهده گشت که مقدار هزینه ارتباط تنگاتنگی با تعداد قطارها دارد با انجام آزمون فوق همچنین مشخص گردید که هدوی در مقدار هزینه تاثیر مستقیمی دارد مطابق نمودار زیر ۸ سناریو مختلف تعریف شده است و سناریو سوم از بقیه مناسبتر میباشد.

[۴] - جزوات درسی شبیه سازی دکتر واقفی - بهار ۱۳۸۶ -
دانشکده مهندسی راه آهن - دانشگاه علم و صنعت ایران] ۵ سایت
اینترنتی شرکت متروی تهران www.tehranmetro.com
کلیه نقشه ها و آمار و اطلاعات به کمک دکتر محمد
منتظری و مدیران شرکت مترو استخراج گردیده اند