

تحلیل و بررسی سرعت بهینه برای قطار های حومه ای

نام محور مقاله: طراحی عمومی ناوگان ریلی

محمد جعفری نسب^۱

یعقوب محمدی^۲

چکیده

مسیر های حومه ای زمانی مورد توجه قرار می گیرند که معضلات ترافیکی و گسترش بی رویه کلان شهر ها با استفاده از راه حل هایی از قبیل مترو و اتوبوس تندرو قابل حل نبوده و مسئولان روی به تأمین امکانات ارتباطی شهر های اقماری این کلان شهر ها می آورند. در این راستا بحث هایی مانند سیستم محرک دیزل یا برقی، توان گسترده یا متمرکز بودن ناوگان، ماکزیمم سرعت بهینه و غیره برای مسیر های حومه ای مطرح می گردد. در این مقاله مبحث سرعت بهینه برای ناوگان های حومه ای مورد بررسی قرار گرفته است. در دو بخش نخست صرفاً با استفاده از فرمول های سینماتیکی نمودار هایی جهت تخمین سرعت بهینه برای فواصل ایستگاهی معین ارائه گردیده است. در ادامه مدلی که نیرو های مقاوم و محرک را به دقت مورد بررسی قرار داده است و اطلاعات مربوط به مسیر در آن مورد توجه قرار گرفته است، جهت بررسی سرعت بهینه ارائه شده و نهایتاً با استفاده از این مدل و اطلاعات مسیر تهران - ورامین - ابردژ به بررسی سرعت بهینه برای این خط پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

سرعت بهینه، قطار حومه ای، پروفیل سرعت، نیرو های مقاوم.

مقدمه

طی چند دهه گذشته معضلات مربوط به شهر تهران از قبیل ترافیک، آلودگی هوا، گسترش بی رویه شهر، جمعیت زیاد ذهن بسیاری از مسئولان و مهندسان شهری را به خود مشغول داشته است. جدی بودن این معضلات به قدری بوده و هست که برخی از صاحب نظران، بحث تغییر پایتخت را مطرح کرده و معتقدند معضلات تهران صرفاً با تغییر پایتخت و انتقال آن به شهر دیگر امکان پذیر است. این که مترو عامل و فاکتور مؤثری در رفع برخی معضلات فوق به شمار می رود تردیدی نیست. اما برخی از صاحب نظران معتقدند مترو آخرین و گران ترین راه حل ترافیک و آلودگی هواست و نمی توان به عنوان اولین راه حل به آن پرداخت. از نظر آنها راه حل های دیگری نیز وجود دارد که اگر به طور کارشناسانه و دقیق به آن پرداخته شود با هزینه کمتر دستاوردهای بیشتری عاید خواهد شد. راه حلی که برخی از صاحب نظران و متخصصان کشور با آن هم نظر هستند این است که چنانچه دولت و مسئولان امر به جای سرمایه گذاری در امر مترو و توسعه آن در داخل تهران و کلان شهر های دیگر به تأمین امکانات ارتباطی شهر های اقماری تهران و سایر شهرها توجه کنند پی آمدهای مثبت تری خواهد داشت. به عنوان مثال راه اندازی قطار های حومه ای برای شهرک های اقماری شهرهای بزرگ یکی از این راه حل ها می باشد. قطار هایی که نیاز به حفاری زمین، تخریب محیط زیست، خراب کردن ساختمان ها و منازل

۱. کارشناس پژوهش و توسعه شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو) - تهران - کیلومتر ۱۴ اتوبان کرج - ابتدای آزاد شهر - ساختمان سریر -

۳۷-۴۴۱۸۲۱۳۱ (۰۲۱)

۲. کارشناس پژوهش و توسعه شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو) - تهران - کیلومتر ۱۴ اتوبان کرج - ابتدای آزاد شهر - ساختمان سریر -

۳۷-۴۴۱۸۲۱۳۱ (۰۲۱)

شهری و بسیاری از مشکلات و معضلات مربوط به راه اندازی مترو را ندارند، ولی درعین حال کارآیی مفید و مؤثرتری در رفع مشکلات مربوط به ترافیک، آلودگی هوا و غیره دارند. بنظر می رسد با راه اندازی این نوع قطارها حتی شاغلین در شهر تهران میتوانند با سکونت گزیدن در شهرک های حومه تهران هر روز راس ساعت مقرر در سر کار خود در تهران حاضر شوند و شب هنگام به منزل خود بازگردند. در حال حاضر روزانه صدها هزار نفر از اهالی شهرک های اطراف از جمله بومهن، رودهن، پردیس، دماوند، خاوران، پاکدشت، قیامدشت و ... برای کسب و کار یا تحصیل به تهران رفت و آمد می کنند و خطوط حومه ای از ورود ده ها هزار دستگاه خودروی شخصی از شهرک های اقماری به تهران جلوگیری خواهند کرد. این درحالی است که اگر سرمایه گذاری بر روی قطارهای سریع السیر صورت گیرد، مردم شهرهای دورتر نیز ضمن سکنا گزیدن در شهرهای خود می توانند هر روز در تهران، سرکار خود حاضر شوند و در صورت تحقق این امر بسیاری از شهروندان تهرانی با میل و رغبت به شهر مورد نظر خود باز خواهند گشت و عطای مشکلات و معضلات تهران را به لقایش خواهند بخشید.

بدیهی است چنانچه دولت به این امر توجه نماید، بسیاری از مشکلات مربوط به مهاجرت ها، جمعیت زیاد، آلودگی هوا، ترافیک و... در حد قابل توجهی کاهش خواهد یافت. البته دولت نیز با در نظر گرفتن این موارد با اختصاص بیش از صد میلیون دلار اعتبار برای پیش پرداخت احداث قطار حومه ای / شهری تهران - ورامین، پاکدشت، اسلامشهر، شهریار و قم مقدمات لازم جهت توسعه خطوط حومه ای کلان شهرها را در دستور کار خود قرار داده است.

در این مقاله در دو روش نخست برای دستیابی به تخمین کلی از سرعت بهینه برای قطار های حومه ای بدون در نظر گرفتن نیرو های مقاوم و صرفا با معادلات ساده سینماتیکی به بررسی و تحلیل پرداخته شده است و در بخش نهایی به منظور محاسبه سرعت بهینه در مسیر تهران - ورامین بر اساس شرایط بهره برداری و مشخصات خط، مدلی برای تعیین سرعت بهینه ترن بر اساس هندسه خط و نوع بهره برداری استخراج گردیده و مقطعی از خطوط ریلی فعلی این مسیر برای سرعت های مختلف شبیه سازی گردیده است.

مسیرهای حومه ای

راه آهن حومه ای به نوعی از سرویس حمل و نقل مسافر اطلاق می گردد که در آن تعداد مسافران زیادی از شهرهای حومه ای به صورت روزانه به مرکز شهر مسافرت می کنند. این ترن ها عموما در محدوده سرعت بین ۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر در ساعت مورد بهره برداری قرار می گیرند و به لحاظ ابعاد، تعداد، چینش صندلی، سرفاصله زمانی حرکت و خط از قطارهای سبک شهری و مترو متمایز می گردد. به طوری که در این قطارها با توجه به طولانی تر بودن مسیر حرکت، مسافران مجهز به تعداد صندلی بیشتر نسبت به مترو بوده و نکته بسیار مهم دیگر در این ترن ها استفاده از خطوط مشترک با قطارهای بین شهری و یا باری می باشد. همچنین این ترن ها به لحاظ سرفاصله زمانی حرکت و توقف در ایستگاه ها از ترن های بین شهری متمایز بوده و با توجه به نوع مسافری سرفاصله زمانی ترن های حومه ای بیش از قطارهای بین شهری می باشد و این برنامه مطابق نیاز مسافری در ساعات مختلف شبانه روز برنامه ریزی می گردد به طوری که برخی از سرویس های حومه ای فقط در ساعات پیک، به عنوان مثال در زمان شروع و خاتمه ساعت کار اداری مورد بهره برداری قرار می گیرند. مسافت تقریبی خطوط راه آهن های حومه ای در جهان عمدتا بین ۱۵ تا ۲۰۰ کیلومتر می باشد.

قابلیت استفاده از ترن های حومه ای در خطوط بین شهری و یا باری از مزایای بسیار مهم این سیستم ها می باشد که توجیه اقتصادی برای استفاده از این خطوط را نشان می دهد. اکثر قطارهای حومه ای از نوع خودکشش بوده و برخی از بوژی ها محرک می باشند که می توان بسته به شرایط از سیستم محرکه دیزل و یا الکتریکی استفاده نمود. علاوه بر مشخصات فوق این قطارها مجهز به دو کابین راننده در دو واگن ابتدایی و انتهایی می باشد که این خصوصیت نیز یکی از آیت های است که این ترن ها را برای بهره برداری حومه ای مناسب می گرداند.

در ایران به لحاظ تمرکز مراکز اشتغال و تحصیل در شهرهای اصلی که یکی از عوامل تمایل به مهاجرت به شهرهای بزرگ نیز به شمار می آید باعث مهاجرت بی رویه و افزایش جمعیت شهرهای اصلی کشور می گردد. لذا با توجه به این موضوع استفاده از ترن های حومه ای برای کاهش مهاجرت به شهرهای بزرگ و تشویق به مهاجرت از شهرهای شلوغ به شهرهای حومه ای اجتناب ناپذیر می رسد. کاری که در کاهش بار ترافیکی شهرهای بزرگ بسیار تاثیر گذار خواهد بود.

سرعت بهینه بر اساس درصد موثر در کاهش زمان سیر

آنچه مسلم است با افزایش سرعت خطوط میزان هزینه های زیر ساختی و ناوگان تا حد قابل توجهی افزایش می یابد لذا استراتژی اول جهت بررسی سرعت بهینه بر این اصل استوار می باشد که افزایش سرعت، چند درصد در کاهش زمان طی یک ایستگاه موثر می باشد. زمان طی ایستگاه به سه بخش زمان رسیدن به سرعت پیشینه (T_{acc})، زمان سیر در این سرعت (T_{uni}) و زمان ترمز گیری تا توقف کامل (T_{dec}) تقسیم می گردد.

$$T = T_{acc} + T_{uni} + T_{dec} \quad (1)$$

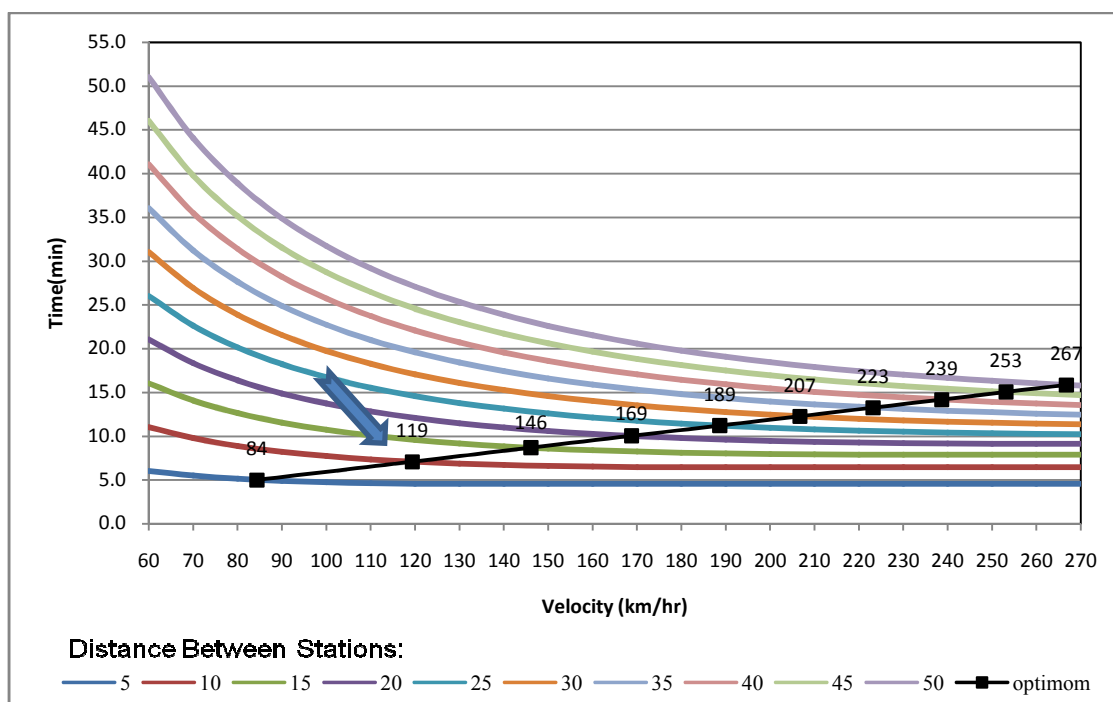
که در آن:

$$T_{acc} = \frac{v_{max}}{a_{acc}} \quad (2)$$

$$T_{uni} = \frac{\Delta x - \frac{v_{max}^2}{2a_{acc}} - \frac{v_{max}^2}{2a_{dec}}}{v_{max}} \quad (3)$$

$$T_{dec} = \frac{v_{max}}{a_{dec}} \quad (4)$$

در نمودار (۱) زمان سیر برای فواصل ایستگاهی مختلف با افزایش سرعت نشان داده شده است. با کمی توجه می توان مشاهده نمود با افزایش سرعت شیب منحنی ها کاهش می یابد بر این اساس نقاطی مشخص گردیده که مرز تاثیر میزان افزایش سرعت را در بهبود کمتر از ۱۰ درصد در زمان سیر مشخص می نماید. (قابل ذکر است در کلیه نمودارها شتاب حرکت ثابت ۰.۲ متر بر مجذور ثانیه و شتاب ترمزی ثابت ۰.۴ متر بر مجذور ثانیه استفاده شده است.)



تصویر شماره ۱. نمودار تغییرات زمان سیر نسبت به سرعت برای فواصل ایستگاهی مختلف

دوازدهمین همایش پنجمین نمایشگاه بین المللی دستاوردهای حمل و نقل ریلی

با توجه به این که حد بالای سرعت بیشینه زمانی اتفاق می افتد که زمان سیر در سرعت یکنواخت صفر باشد یا به عبارت دیگر قطار شتاب گرفته به سرعت بیشینه برسد و بلافاصله ترمز گرفته و بایستد، حد بالای سرعت و زمان بیشینه را می توان از روابط زیر بدست آورد.

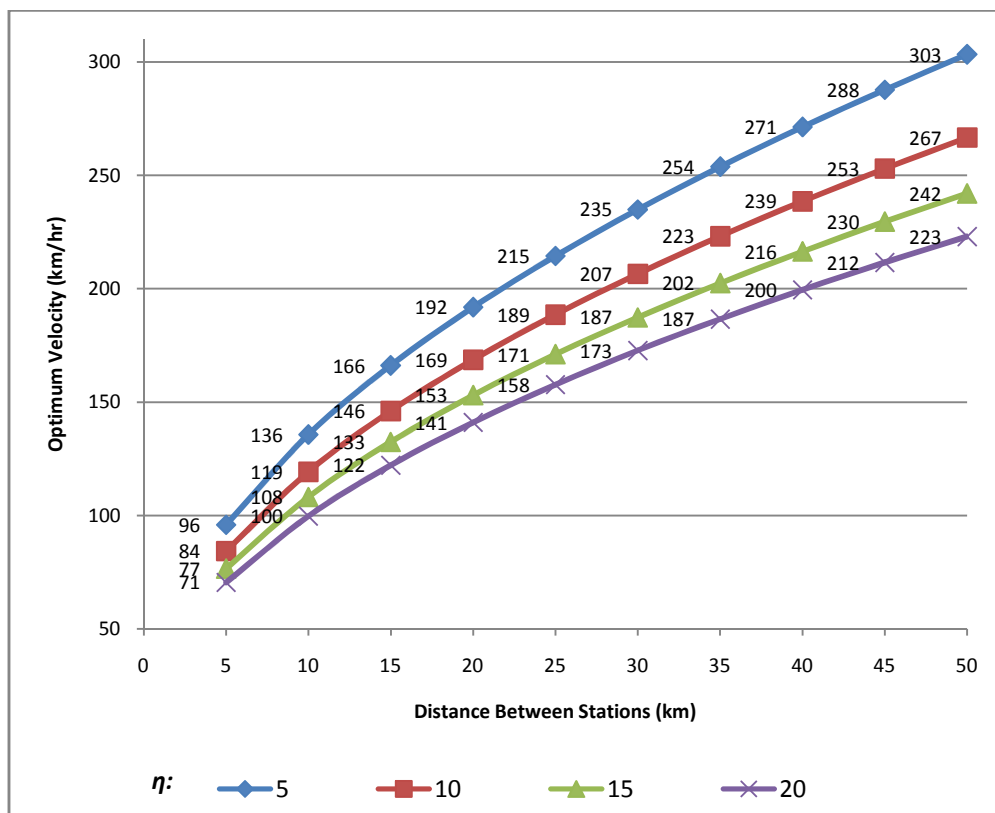
$$V_{\max} = \sqrt{\frac{2 \Delta x}{1/a_{\text{acc}} + 1/a_{\text{dec}}}} \quad (5)$$

$$T_{\min} = \sqrt{2 \Delta x (1/a_{\text{acc}} + 1/a_{\text{dec}})} \quad (6)$$

حال می توان سرعت بهینه برای آن که تاثیر کاهش زمان سیر با افزایش سرعت به میزان کمتر η درصد برسد را با توجه به رابطه (۲) - (۷) بدست آورد:

$$T_{\text{opt}} = T_{\text{acc}} + T_{\text{uni}} + T_{\text{dec}} = (1 + \eta)T_{\min} \quad (7)$$

شکل (۲-۲) میزان سرعت بهینه نسبت به فواصل ایستگاهی را برای درصد کاهش زمان سیرهای متفاوت نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود برای رسیدن به مرز ۱۰ درصدی در کاهش زمان سیر و فواصل ایستگاه ۱۰ کیلومتر، سرعت بهینه ۱۱۹ کیلومتر بر ساعت بدست آمده است.

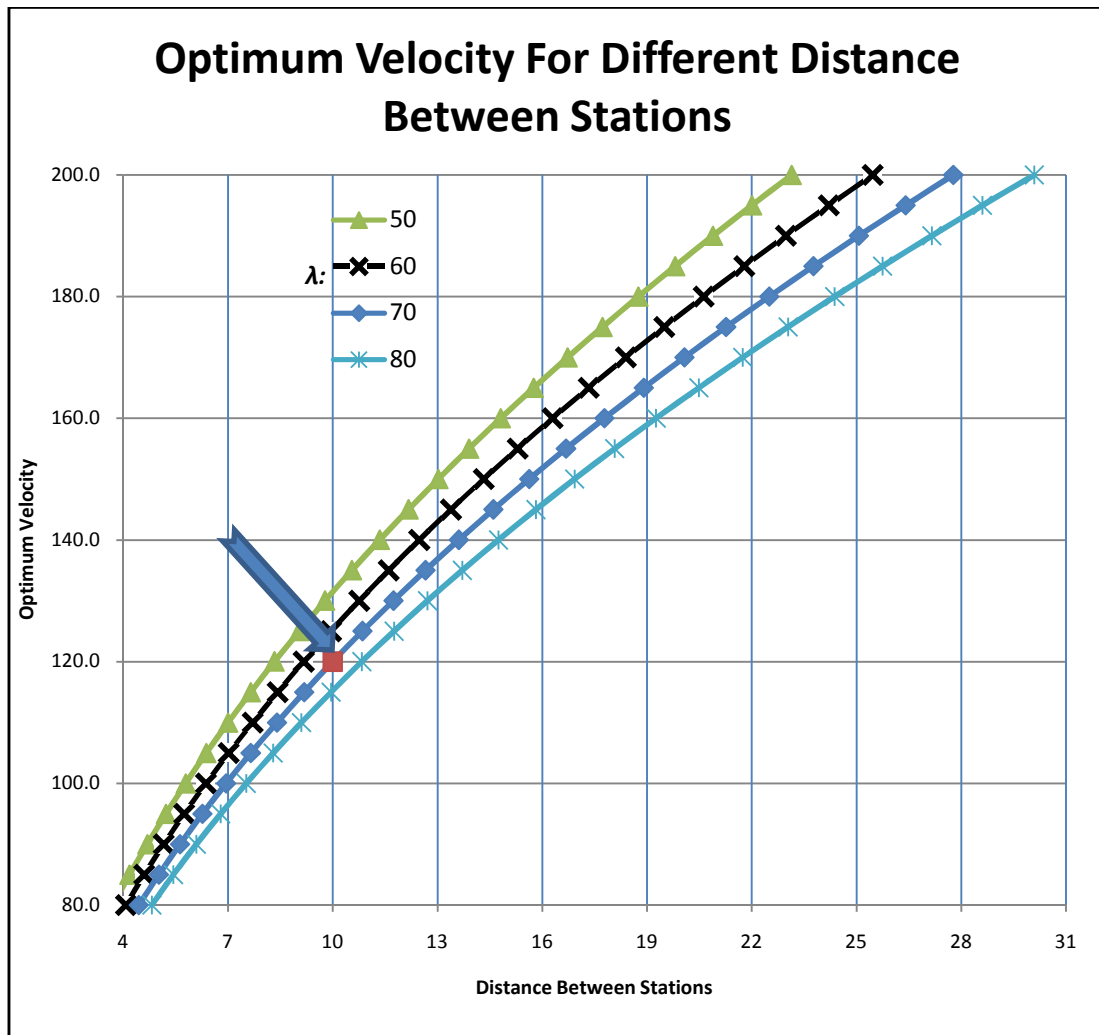


تصویر شماره ۲. سرعت بهینه نسبت به فواصل ایستگاهی را برای درصد کاهش زمان سیرهای متفاوت

سرعت بهینه بر اساس درصدی از فواصل بین ایستگاه ها که با سرعت بیشینه سیر می شود

در خصوص قطار های حومه ای سرعت بهینه را از منظری دیگر نیز می توان مورد بررسی قرار داد. این دیدگاه بر این پایه استوار است که قطار درصدی از فواصل ایستگاه ها را با سرعت بیشینه خود در سیر باشد. در این صورت می توان سرعت بهینه سیر را بر اساس فواصل ایستگاهی مختلف از رابطه زیر بدست آورد.

$$v_{opt} = \sqrt{\frac{2 \Delta x}{(1/a_{acc} + 1/a_{dec}) + (1 + 2\lambda)}} \quad (8)$$



تصویر شماره ۳. سرعت بهینه برای فواصل ایستگاهی متفاوت

λ درصدی از فواصل ایستگاه ها می باشد که با سرعت ثابت طی شده است. در شکل (۲-۳) برای مقادیر مختلف λ منحنی سرعت بهینه نسبت به فواصل ایستگاه ها رسم شده است. به عنوان مثال می توان به فواصل ایستگاه های ۱۰ کیلومتر اشاره نموده که با در نظر گرفتن ۷۰ درصد سیر در سرعت بیشینه به سرعت بهینه ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می توان رسید.

فرضیات و روابط مدل

- مشخصات خط شامل کیلومتر، ایستگاه‌ها، شعاع قوس و شیب خط در مقاطع مختلف
- مشخصات ترن: این مشخصات شامل نوع ترن، تعداد واگن، توان، نیروی محرکه، مشخصات شتابگیری و ترمزگیری، سرعت بهره‌برداری، وزن ترن و سطح مقطع عرضی ترن می‌باشد.
- زمان توقف ترن در ایستگاه برای سرعت‌های پایین‌تر از ۱۴۰ کیلومتر بر ساعت ۱۲۰ ثانیه و برای سرعت‌های بالاتر ۲۴۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.
- تذکر: این مدت زمان وابستگی شدیدی به شکل ترن، ابعاد و تعداد درب‌ها دارد به طوری که به عنوان مثال زمان پیاده و سوار شدن مسافران در واگن‌های با درب‌های دو لنگه با عرض زیاد بسیار کمتر از این زمان برای واگن‌های با درب‌های یک لنگه می‌باشد. لازم به ذکر است نوع درب‌های مورد استفاده در وسایل حمل و نقل ریلی وابستگی شدیدی به سرعت کاربری دارد به طوری که برای واگن‌های با سرعت بالاتر محدودیت‌های برای استفاده از درب‌های دو لنگه با عرض زیاد وجود دارد.
- باد مخالف: برای نزدیک شدن شبیه سازی به واقعیت باد مخالف با سرعت ۱۲ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته شده است.
- نیروی محرک و شتاب: در مدل ارائه شده توان طوری در نظر گرفته شده است که نیروی محرک در بیشترین سرعت دو برابر کل نیروهای مقاوم در آن سرعت باشد و با استفاده از توان‌های استخراج شده برای سرعت‌های مختلف مدلی برای ارتباط توان و سرعت بدست آمده است. مشخصاتی نظیر شتاب، نیروی محرکه نیز با استفاده از روابط مکانیکی حاکم محاسبه گردید و با توجه به محدودیت اعمال نیرو از چرخ به ریل و محدودیت شتاب، محدودیتی برای حداکثر نیروی محرکه و شتاب در نظر گرفته شده است.
- شتاب ترمزی: میزان حداکثر شتاب ترمزی نیز در شرایط کارکرد طبیعی ترن برای راحتی مسافری ۰.۴ متر بر مجزور ثانیه و ثابت فرض شده است.
- شبیه‌سازی سرعت و زمان برای فاصله بین ایستگاه‌های تهران تا ابردژ صورت پذیرفته که به ترتیب ایستگاه‌های ری، بهرام، ورامین و پیشوا بین این دو ایستگاه قرار دارند. همچنین با توجه به در نظر گرفتن بهره‌برداری حومه‌ای، ترن در تمامی ایستگاه‌های مزبور توقف خواهد داشت. به منظور قابلیت مقایسه نتایج در سرعت‌های مختلف، برای تمامی سرعت‌ها ترن‌های با ۴ دستگاه واگن که برای کاربری حومه‌ای مناسب است در نظر گرفته شده است.
- نیروهای مقاوم:
نیروی مقاوم شیب:

$$W_{grad} = \pm S.m \quad (9)$$

که در آن S شیب خط و m جرم کل ترن می‌باشد.
نیروی مقاوم غلطشی:

$$W_{roll} = W_r.m \quad (10)$$

که در آن W_r نیروی مقاوم اصطکاکی چرخ می‌باشد که برای تایرهای لاستیکی بین ۲۵ کیلوگرم بر تن و برای چرخ‌های فلزی ۲ تا ۲.۵ کیلوگرم بر تن در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت هوا:

$$W_{air} = 0.5.C_w.A.\left(\frac{v+B}{10}\right)^2 \quad (11)$$

که در آن C_w ضریب نیروی مقاوم هوا است که تابعی از تعداد واگن‌های ترن می‌باشد. همچنین v سرعت ترن و B سرعت باد مخالف است، A نیز مساحت سطح مقطع عرضی ترن می‌باشد که برای تمامی حالات ۱۰.۵ متر مربع در نظر گرفته شده است. نیروی مقاوم قوس:

$$W_{cu} = \frac{650}{-66} \quad (12)$$

که در آن r شعاع قوس می‌باشد. لازم به ذکر است این فرمول برای خطوط اصلی صادق می‌باشد. با توضیحاتی که در خصوص موارد بالا ارائه گردید کل نیروی مقاوم را می‌توان مطابق فرمول زیر محاسبه نمود.

$$R = (s.m + W_r.m + 0.5.C_w.A.(v+B)^2 / 100 + \frac{650}{-55}.m).0.00981 \quad (13)$$

شکل (۲-۴) نمونه‌ای از نتایج حاصل برای یک ریل‌باس چهار واگنه با سقف سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت و توان ۱۱۵۸.۱ کیلووات می‌باشد.

Train Simulation

| | | | |
|----------------------|--------|-----------------------------|------------------|
| M | 215 | Total weight | Tone |
| S | 10.5 | Cross section | m ² |
| W _r | 2 | Rolling resistance co | kg/ton |
| C _w | 1 | Air resistance coif | ... |
| B | 12 | Head wind | KPH |
| A _{acc} Max | 0.6 | Max acceleration-zero speed | m/s ² |
| A _{dec} | 0.4 | Braking acceleration | m/s ² |
| V Max | 120 | Max speed | KPH |
| T _r | 300 | Max Traction force | KN |
| Time | 120 | Stoing time | Sec |
| P | 1158.1 | Power | KW |

Rev-3 100705

$$3.0x51 = (s^2m^2W_r^2m + 0.5^2C_w^2A^2(v+B)^2/100) * 0.00981$$

$W_{acc} = s.m$
 $W_{cu} = W_r.m$
 $W_{air} = 0.5.C_w.A.\left(\frac{v+B}{10}\right)^2$
 $W_{cu} = \frac{650}{r-66}$

Max Speed (KPH) 120
T total (m) 50.45623589
Total Distance (Km) 65

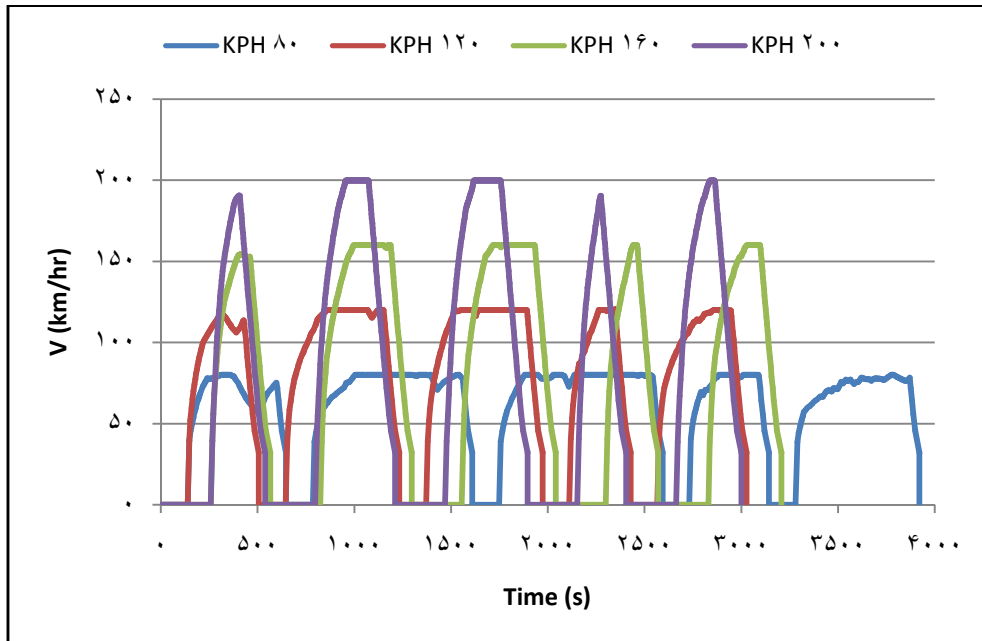
$$R = (s.m + W_r.m + 0.5.C_w.A.(v+B)^2 / 100 + \frac{650}{r-55}.m).0.00981$$

| Station | X (m) | R (m) | 1/R*1000 | S (No) | V act (m/s) | V act (KPH) | V dec (m/s) | A acc (m/s ²) | R (KN) | R cu+R acc (KN) | R total (KN) | Traction (KN) | Time (s) | Power (KW) |
|---------|-------|----------|----------|--------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|--------|-----------------|--------------|---------------|----------|------------|
| | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 |
| تهران | 1 | 10000000 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 0 | 0 |
| | 1 | 300 | 10000000 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 138.3 | 0 |
| دلی | 1 | 9600 | 10000000 | 0.0001 | 10 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 508.2 | 0 |
| | 1 | 9700 | 10000000 | 0.0001 | 2.5 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 644.9 | 0 |
| بهرام | 1 | 26800 | 10000000 | 0.0001 | 1 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 1232 | 0 |
| | 1 | 26600 | 10000000 | 0.0001 | 1 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 1371 | 0 |
| ورزین | 1 | 44200 | 10000000 | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 1973 | 0 |
| | 1 | 44300 | 10000000 | 0.0001 | 3.5 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 2111 | 0 |
| پیشوا | 1 | 52400 | 10000000 | 0.0001 | 10 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 2428 | 0 |
| | 1 | 52500 | 10000000 | 0.0001 | 2.5 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 2566 | 0 |
| ایرمن | 1 | 64900 | 10000000 | 0.0001 | 1.5 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 3027 | 0 |
| | 1 | 65000 | 10000000 | 0.0001 | 1.5 | 0 | 0 | 0.6 | 4.29 | 4.2184371 | 8.511 | 300 | 3165 | 0 |

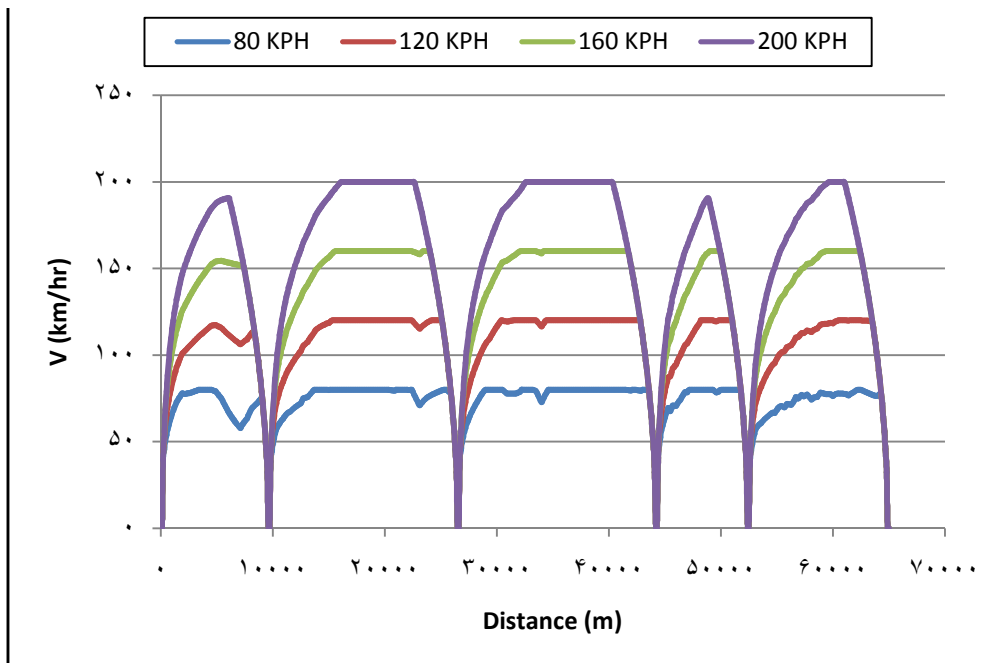
دوازدهمین همایش پنجمین نمایشگاه بین‌المللی دستاوردهای حمل و نقل ریلی

محاسبه زمان سیر قطار در مسیر تهران-ابردژ

در این مرحله بر اساس داده های بدست آمده از مدل، پروفیل سرعت ترنهایی با چهار واگن برای سرعت‌های مختلف و همچنین مقادیر زمان مورد نیاز برای رسیدن به ایستگاه‌ها محاسبه گردید. در شکل (۲-۵) نمودار سرعت-مکان و در شکل (۲-۶) نمودار سرعت-زمان برای سرعت‌های ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ کیلومتر در ساعت ترسیم شده است.



تصویر شماره ۴. نمودار سرعت-مکان برای سرعت های ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ کیلومتر در ساعت



تصویر شماره ۵. نمودار سرعت-زمان برای سرعت‌های ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ کیلومتر در ساعت

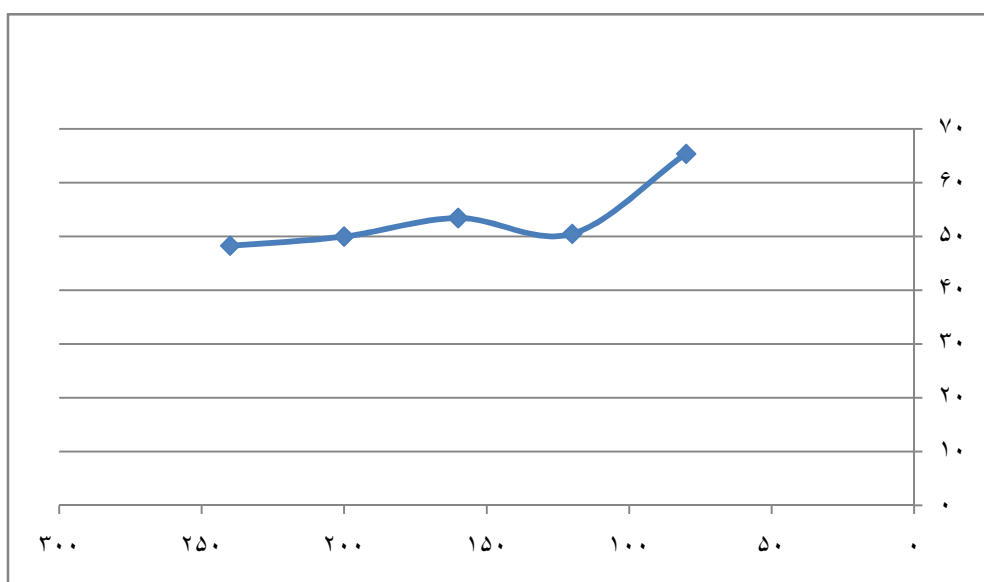
با کمی دقت و بررسی در نمودار های ارائه شده می توان مشاهده نمود که در فواصل ایستگاه های مدل شده در مسیر تهران - ورامین - پیشوا درصد کاهش زمان سیر نسبت به افزایش سرعت به چه میزان می باشد. خلاصه ای از این بررسی در جدول شماره (۱-۱) ارائه شده است.

جدول شماره ۱. جدول مقایسه نتایج

| سرعت (کیلومتر در ساعت) | زمان (دقیقه) | درصد کاهش زمان نسبت به حالت قبل |
|------------------------|--------------|---------------------------------|
| 80 | 65.35 | |
| 120 | 50.5 | 11.82178218 |
| 160 | 53.44 | -13.36077844 |
| 200 | 50 | 2.86 |
| 240 | 48.3 | 1.449275362 |

نتیجه گیری

همانگونه که در جدول مشاهده می گردد بر اثر افزایش سرعت از سرعت ۸۰ به ۱۲۰ کیلومتر در ساعت زمان لازم برای طی مسیر از ۶۵ دقیقه به ۵۰ دقیقه کاهش یافته است، یعنی ۱۵ دقیقه سریعتر و یا ۱۲ درصد بهبود زمان که قابل توجه می باشد، این در صورتی است که علیرغم تصور با افزایش سرعت از ۱۲۰ به ۱۶۰ زمان سیر از ۵۰ دقیقه به ۵۳ افزایش می یابد، یعنی افزایش سرعت سیر ترن که با هزینه های بیشتر همراه است نه تنها باعث کاهش زمان سیر برای بهره برداری حومه ای در این مسیر نشده است بلکه این زمان را افزایش داده است. نتایج جدول شماره (۱-۲) را می توان به صورت نمودار در شکل (۲-۷) مشاهده نمود تا مقایسه بهتری از این زمانها ارائه شود.



تصویر شماره ۶. نمودار مقایسه نتایج

در خاتمه می‌توان به این نتیجه رسید که برای ترن‌های حومه‌ای استفاده از ناوگان با سرعت بیش از ۱۲۰ کیلومتر در ساعت علی‌رغم افزایش هزینه ناوگان، تعمیر و نگهداری و زیرساخت‌ها زمان سیر را به میزان قابل توجهی کاهش نخواهد داد و شاید بتوان گفت سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت برای ترن‌های حومه‌ای در مسیرهای با فاصله ایستگاه‌های بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر بهترین گزینه از نظر فنی و اقتصادی می‌باشد.

مراجع

[1] Lukaszewicz (2001), Energy Consumption and Running Time for Trains (Doctoral Thesis). KTH

Railway Technology, Stockholm, 2001

[2] Meyer, M.; M. Aeberhard (1997), An algorithm for the optimal control of the driving of trains.

[3] Measurement of train traction characteristic, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Volume 220, Number 3 / 2006

[۴] اطلاعات پروفیل مسیر شبکه سراسری راه آهن نسخه ۳، شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران