ارائه روش مناسب محاسبه ظرفیت برای خطوط راه آهن ایران

محمد تمنایی[۱] ، حسین حق شناس[۲] ، هاشم کلانتری[۳] ، خسرو آذری[۴]
۱- عضو هیئت علمی دانشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- عضو هیئت علمی دانشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- رئیس گروه بهره برداری مرکز تحقیقات و آموزش شرکت راه آهن ج.ا.ا
۴-کارمند بازنشسته شرکت راه آهن ج.ا.ا

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی روش های مختلف محاسبه ظرفیت در محورهای شبکه راه آهن و ارائه روش متناسب با مقتضیات ویژه شبکه ریلی ایران انجام شده است. در روش های متداول محاسبه ظرفیت در راه آهن های دنیا به منظور حفظ کیفیت بهره برداری، ضرایب کاهنده متفاوتی پیشنهاد شده اند. مقدار این ضریب در روش های UIC 405 و UIC 406 برای محورهای دارای ترافیک مختلط باری و مسافری برابر با ۰،۶ منظور شده است. به منظور مقایسه روش های مختلف ظرفیت سنجی و تحلیل مقدار ضریب اشباع در راه آهن ایران، دو محور از شبکه ریلی کشور شامل محور دوخطه گرمسار- بهرام و محور تک خطه دورود-اندیمشک بر اساس ریز اطلاعات واقعی سیر و حرکت در سال ۱۳۹۱ مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج این تحلیل ها حاکی از آن است که در بسیاری از روزهای سال مصرف ظرفیت در محورهای پرتردد شبکه ریلی کشور بیش از ۶۰ ٪ بوده است. بالاتر بودن مصرف ظرفیت از حد بحرانی تعریف شده در آیین نامه UIC 406 (۶۰ ٪) نمایانگر این واقعیت است که در بسیاری از ایام سال زمان این قابلیت وجود دارد که با حفظ کیفیت بهره برداری، خط ریلی در طول مدت زمانی بیش از ۶۰ ٪ پنجره زمانی دردسترس (۱۸ ساعت) مورد استفاده قرار گیرد. نهایتاً با توجه به مصاحبه های صورت گرفته با کارشناسان محلی سیر و حرکت و نیز تحلیل های آماری داده های واقعی شبکه ریلی کشور، مقدار ضریب اشباع در شبکه ریلی کشور ایران (خطوط با ترافیک باری و مسافری) برابر با ۰،۸ در محورهای دوخطه و ۰،۵۷ در محورهای تک خطه پیشنهاد گردید.

کلید واژه: مهندسی حمل و نقل ریلی، قطار، ظرفیت، ضریب اشباع، سرفاصله زمانی

۱- مقدمه

آنچه به عنوان ظرفیت شناخته می شود در اصل توانایی یک مسیر در عبور دادن تعداد مشخصی از وسیله حمل و نقل است که در روش های مختلف حمل و نقلی به گونه های مختلف محاسبه می گردد. محاسبه ظرفیت راه آهن، پیچیده تر از محاسبه ظرفیت سایر شیوه های حمل و نقلی است. خصوصیات زیرساختی، مشخصات ناوگان و نحوه زمانبندی حرکت قطارها عواملی هستند که در تعیین ظرفیت محورهای ریلی تاثیر می گذارند.

تاکنون روش های مختلفی جهت محاسبه ظرفیت در خطوط ریلی ارائه شده اند که از آن جمله می توان به روش های اسکات، رابطه آمریکایی، رابطه GIP، رابطه اشتاین بک، رابطه راه آهن ایتالیا، رابطه راه آهن اسلواکی، روش AREMA، روش راه آهن اروپا (ERTMS)، روش UIC 405 و روش UIC 406 اشاره نمود[۱]. هریک از روش های ارائه شده جهت محاسبه ظرفیت دارای نقاط مثبت و منفی و مزایا و معایب متفاوتی هستند. بسیاری از این روش ها با توجه به خصوصیات و ویژگی های بومی و خصوصیات منطقه ای و ناحیه ای راه آهن محدوده جغرافیایی خاصی تنظیم و ارائه شده اند و به همین دلیل مقادیر محاسبه شده ظرفیت توسط هریک از این روش ها با دیگری متفاوت می باشد. لذا نمی توان کلیه روش های محاسبه ظرفیت و مقادیر ارائه شده در آیین نامه ها را برای همه سیستم های راه آهن در دنیا مناسب و قابل قبول دانست؛ بلکه هر سیستم راه آهن بایستی متناسب با مقتضیات ویژه خود، بهترین روش محاسبه ظرفیت مقادیر آیین نامه ای متناظر با آن را انتخاب نماید.

۲- روش های متداول محاسبه ظرفیت

در این مطالعه، روابط ریاضی مربوط به سه روش متداول محاسبه ظرفیت در راه آهن های دنیا ارائه می گردند. این روش ها عبارتند از: رابطه Scott، روش UIC 405 و روش UIC 406.

۱- دانشگاه صنعتی اصفهان، m_tamannaei@yahoo.com
۲- دانشگاه صنعتی اصفهان، ho_hagh@cc.iut.ac.ir
۳- دانشجو، h.kalantari1350@yahoo.com

۲-۱- رابطه Scott

متداول ترین روش محاسبه ظرفیت در ایران، رابطه Scott می باشد. این رابطه یکی از قدیمی ترین روشهای ریاضی ارائه شده در زمینه ظرفیت ریلی می باشد. در این روش، ظرفیت برای سیرگاه بحرانی بر اساس زمان سیر کندترین قطار در سیرگاه بحرانی محاسبه می شود:

$$C = \frac{1440 - W}{T + t} \times K \qquad (1)$$

پارامتر های رابطه Scott به شرح زیر است:

C: ظرفیت بر اساس زوج قطار مختلط (باری و مسافری) در شبانه روز

W: زمان مسدودی (دقیقه) برای تعمیر و نگهداری

T: زمان سیر کندترین قطاربری در سیرگاه بحرانی

t: سرفاصله ایمنی بین قطارهای هم جهت و قطارهای در جهت های مخالف

ضریب K (ضریب کارآیی) بر اساس زمان توقف های برنامه ریزی شده و اجباری، نرخ تأخیرات پیش بینی نشده، وجود تقاطع و حق اولویت، تاخیر و حرکت خارج از برنامه قطارها و غیره اعمال می شود. این ضریب معمولاً برابر ۷۰٪ در نظر گرفته می شود [۲].

مقدار T در مخرج رابطه Scott، دوره تناوب حرکت قطارها برای بیشترین زمان سیر ممکن می باشد. این مقدار برای محورهای تک خطه (دوطرفه) برابر با مجموع کندترین زمان سیر قطارها در جهات رفت و برگشت و برای محورهای دوخطه (یک طرفه) برابر با متوسط کندترین زمان سیر قطارها در جهات رفت و برگشت در نظر گرفته می شود. مقدار ظرفیت محاسبه شده توسط رابطه اسکات، در صورتی که از خط تنها برای قطارهای باری استفاده گردد، نزدیک به واقعیت است. اما در صورت سیر قطارهای مسافری در محور، میزان ظرفیت واقعی ممکن است بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط رابطه اسکات باشد. از این رو عدد محاسبه شده توسط رابطه اسکات می تواند به عنوان حد پایین ظرفیت محسوب گردد؛ به نحوی که ظرفیت واقعی محور در شرایط معمول، از این مقدار کمتر نشود.

۲-۲- روش UIC 405

کد ۴۰۵ اتحادیه بین المللی راه آهن ها (UIC) روشی رابرای محاسبه ظرفیت ارائه می کند که با تکیه بر زمان سیر، زمان لازم برای اخذ مجوز و زمان آزادسازی، بلاک اقدام به استخراج چهار نوع هدوی کرده و سپس با در نظر گرفتن زمانهای حائل و اضافی به محاسبه ظرفیت می پردازد.

این رابطه با این دیدگاه که تمامی سیستم های راه آهن دنیا بتوانند از آن استفاده نمایند، ارائه شده است و در آن پارامترهای تعداد قطار و نیز سهم نسبی انواع قطارها در نظر گرفته شده است. این رابطه در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید. ظرفیت خط برای دوره زمانی T، که معمولا یک روزه است، محاسبه می گردد. رابطه محاسبه ظرفیت خط در روش UIC ۴۰۵ به صورت زیر است [۳]:

$$C = \frac{T - W}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \qquad (2)$$

C: ظرفیت خط از نظر تعداد قطارها در مدت زمانی مورد بررسی

T : مدت زمان مورد بررسی

W: زمان مسدودی تعمیر و نگهداری

t_{fm}: میانگین هدوی بین کلیه قطارها

t_{zu}: زمان حایل

t_r: زمان اضافی

اگر ظرفیت را بخواهیم برای یک دوره یک روزه محاسبه نماییم، مقدار T را برابر با ۱۴۴۰ در نظر می‌گیریم. اگر بخواهیم ظرفیت را بر اساس ساعت پیک محاسبه نماییم، مقدار T را برابر با ۶۰ دقیقه در نظر می گیریم. اگر بعضی از ساعات خط، برای عملیات تعمیر و نگهداری مسدود باشد، زمان عملیات تعمیر و نگهداری از ۱۴۴۰ دقیقه کم می گردد. اختلاف بین زمان سرفاصله زمانی واقعی و کمترین سرفاصله زمانی قابل قبول زمان حائل نامیده می شود. با توجه به این نکته که هر قدر تعداد سیرگاه ها افزایش یابد، ظرفیت کاهش می یابد متغیری به نام زمان اضافی تعریف گردیده است که با استفاده از رابطه $t_{zu} = 0.25 \times a$ (a) (تعداد بلاک های مسیر) محاسبه می گردد. این رابطه برای محاسبه ظرفیت در خطوط یک طرفه و دوطرفه برای دو حالت با وجود برنامه زمان بندی حرکت قطارها و بدون داشتن توالی برنامه حرکت قطارها متفاوت است. لازم به ذکر است که تفاوت اصلی رابطه UIC 405 با دیگر رابطه های ارائه شده برای محاسبه ظرفیت، نحوه محاسبه زمان سرفاصله زمانی قطارها می باشد.

مراحل تعیین ظرفیت به روش UIC 405

مراحل تعیین ظرفیت به روش UIC 405، به صورت زیر است [۳]:

۱-تعیین سیرگاه بحرانی

۲-گروه بندی قطارها بر اساس زمان سیر

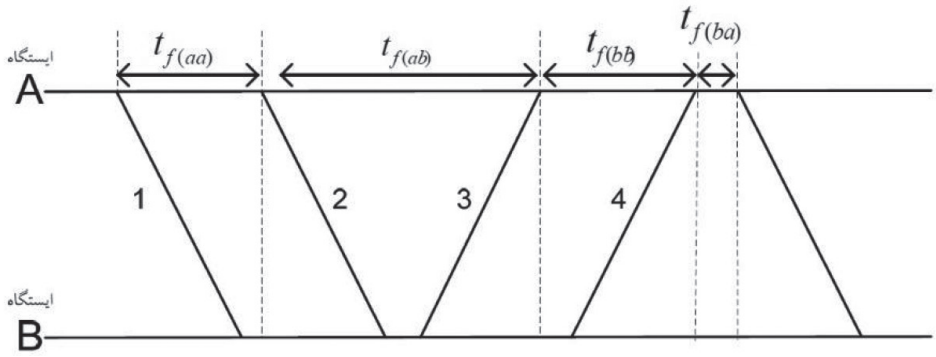
۳-تعیین تعداد قطارهای هریک از گروه ها

۴-محاسبه سرفاصله زمانی میانگین

۵-محاسبه زمان حائل و زمان اضافی

نحوه محاسبه میانگین سرفاصله قطاره (t_{fm}):

فرض کنید مبدأ حرکت در جهت رفت، ایستگاه A و مقصد حرکت قطارها در جهت رفت، ایستگاه B باشد. همچنین مبدأ و مقصد قطارهای رونده در جهت برگشت، به ترتیب برابر با B و A باشد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای محاسبه سرفاصله بین دو قطار قبلی و بعدی، ۴ حالت مختلف می تواند رخ دهد: سرفاصله های رفت-رفت، رفت-برگشت، برگشت-برگشت و برگشت-رفت.



شکل ۱: حالات مختلف قطارهای قبلی و بعدی در نمودار مکان - زمان

در هریک از این حالت ها، محاسبه سرفاصله قطارها متفاوت می باشد. ولی می توان یک رابطه مشترک برای محاسبه سرفاصله در هر چهار حالت ارائه داد. در این رابطه، لحظه ای که قطار اول واردشونده در سیرگاه، نقطه مبدأ A را تجربه می نماید، به عنوان لحظه ی t^* در نظر گرفته می شود؛ بدان معنا که اگر قطار اول واردشونده به سیرگاه در جهت رفت باشد، t^* لحظه ورود این قطار به سیرگاه است و اگر قطار اول واردشونده به سیرگاه در جهت برگشت باشد، لحظه خروج این قطار از سیرگاه می باشد. بلافاصله پس از لحظه ی t^* اگر قطاری بخواهد از مبدأ A وارد سیرگاه شود، بایستی مدت زمانی را انتظار بکشد تا سیرگاه خالی شود. این مدت زمان انتظار -بسته به اینکه کدام چهار حالت، موردنظر باشد- برابر با سرفاصله مربوط به آن حالت می باشد. به عنوان مثال، مدت زمان انتظار در حالت برگشت-برگشت از لحظه ی t^* که قطار اول به انتهای سیرگاه (نقطه A) می رسد آغاز می شود و در زمانی که قطار دوم به انتهای سیرگاه (نقطه A) می رسد پایان می یابد. در نتیجه سرفاصله برگشت-برگشت ($t_{f\,(bb)}$)، برابر با اختلاف دو زمان مذکور خواهد بود.

در جدول ۱، t_f نشان دهنده سرفاصله زمانی برای حالات مختلف است. a نشان دهنده مسیر رفت از A به B و b نشان دهنده مسیر برگشت از B به A است. t_b نشان دهنده زمان آزادسازی سیرگاه و t_a نشان-دهنده زمان اخذ مجوز ورود به سیرگاه برای قطاری که می خواهد از حالت توقف وارد سیرگاه گردد، می باشد. t_{1AB} زمان سیر توسط قطار اول از نقطه A به نقطه B و t_{2BA} زمان سیر توسط قطار دوم از نقطه B به نقطه A است.

حالت		به صورت عبوری	از حالت توقف
رفت	رفت	$t_{f\,(aa)} = t_{1AB} + t_b$	$t_{f\,(aa)} = t_{1AB} + t_b + t_a$
برگشت	برگشت	$t_{f\,(bb)} = t_b + t_{2BA}$	$t_{f\,(bb)} = t_b + t_a + t_{2BA}$
رفت	برگشت	$t_{f\,(ab)} = t_{1AB} + t_b + t_{2BA}$	$t_{f\,(ab)} = t_{1AB} + t_b + t_a + t_{2BA}$
برگشت	رفت	$t_{f\,(ba)} = t_b$	$t_{f\,(ba)} = t_b + t_a$

جدول ۱: محاسبه سرفاصله زمانی در حالت های مختلف

جدول زمانی سیر قطارها، شامل زمان سیر و تعداد قطارها می باشد. قطارها بر اساس مدت زمان سیر گروه بندی می گردند و برای هریک از گروه ها، مقدار متوسط سیر در نظر گرفته می شود. طبق دستورالعمل UIC **405** تعداد گروه ها برای هر محور باید بین ۲ تا ۴ باشد. سپس بر اساس این داده ها، میانگین سرفاصله قطارها محاسبه می گردد:

$$t_{fm} = \frac{\sum (n_i \times n_j \times t_{fij})}{\sum (n_i \times n_j)} \qquad (3)$$

که در آن i قطار قبلی و j قطار بعدی می باشد. n_i و n_j تعداد قطارهای هر گروه هستند و t_{fij} سرفاصله بین گروه ها است.

نحوه محاسبه زمان حائل (t_r):

همان گونه که ذکر گردید، اختلاف بین زمان سرفاصله زمانی واقعی و کمترین سرفاصله زمانی قابل قبول زمان حائل نامیده می شود. این پارامتر تأثیر زیادی در مقدار ظرفیت محاسباتی دارد. هر اندازه زمان حایل بزرگتر در نظر گرفته شود، ظرفیت محاسبه شده کوچکتر شده و زمان های تاخیرات کاهش می یابد.

مقدار زمان حائل، به سطح سرویس مورد نیاز بستگی دارد. معمولاً زمان حائل بسته به نوع سرفاصله زمانی خط تعیین می شود. اکثر راه آهن ها قوانین پایه ای زیر را مورد استفاده قرار می دهند [۱]:

- زمان های حائل بزرگ برای حالتی که قطار دوم اولویت بیشتری نسبت به قطار اول دارد.
- زمان های حائل کوچک برای حالتی که قطار اول نسبت قطار دوم اولویت بیشتری دارد.

ماکزیمم میزان مجاز برای اشغال سیرگاه بحرانی نسبت به کل بازه زمانی در دسترس، ضریب اشباع[۴] (SC) نامیده می شود. طبق تجربیات راه آهن‌های دنیا ضریب اشباع ۶۰ درصد میزان مناسبی برای اشغالی خط می باشد. قرار گرفتن زمان حائل در مخرج رابطه UIC **405** در واقع با هدف در نظر گرفتن ضریب اشباع (SC) بوده است. به عبارت دیگر،

$$SC \times \frac{TimeWindow}{t_{fm}} \equiv \frac{TimeWindow}{t_{fm} + t_r} \qquad (4)$$

از رابطه بالا می توان مقدار t_r را محاسبه نمود:

$$SC \times \frac{TimeWindow}{t_{fm}} = \frac{TimeWindow}{\frac{1}{SC} t_{fm}} = \frac{TimeWindow}{\frac{1-SC+SC}{SC} t_{fm}} = \frac{TimeWindow}{t_{fm} + \frac{1-SC}{SC} t_{fm}} \quad \Rightarrow t_r = \frac{1-SC}{SC} \tag{5}$$

با در نظر گرفتن ضریب اشباع برابر با ۶۰٪، مقدار t_r برابر خواهد بود با: $0.66 t_{fm}$.

دقت شود که t_{fm} با توجه به اطلاعات حرکت قطارها (زمان سیر و تعداد قطارها در گروه های مختلف) محاسبه می گردد. این پارامتر، با در نظر گرفتن زمان سیر واقعی و زمان ایمن جهت سبقت و تلاقی قطارها محاسبه می شود و به تنهایی (یعنی بدون درنظر گرفتن زمان حائل)، نحوه حرکت واقعی قطارها را نشان می دهد. پارامتر زمان حائل (t_r) ارتباطی با عملکرد واقعی قطارها ندارد و در واقعیت روی نمی دهد؛ بلکه صرفاً تضمین می کند که مقدار ظرفیت با حفظ شرایط مطلوب بهره-برداری (عدم تجاوز از ضریب اشباع) محاسبه گردد.

۲-۳- روش UIC 406

کد ۴۰۶ اتحادیه بین المللی راه آهن ها (UIC) متدولوژی را برای محاسبه میزان مصرف ظرفیت[۵]، بر مبنای فشرده سازی گراف حرکت قطارها ارائه نموده است. آنچه به عنوان مصرف ظرفیت شناخته می شود، نسبت زمان اشغال شده خط به زمان در دسترس در دوره زمانی مورد بررسی است. رابطه UIC 406، مصرف ظرفیت را با استفاده از مجموع زمان اشغالی زیرساخت، زمان حایل و زمان های اضافی محاسبه می نماید[۴]:

$$K = \frac{k \times 100\%}{t_U} \tag{6}$$

در این رابطه، K درصد مصرف ظرفیت، k کل زمان مصرفی و t_U پنجره زمانی در دسترس بر حسب دقیقه است. مقدار k برابر است با مجموع چهار زمان مختلف شامل: t_A (زمان اشغالی خط)، t_B (زمان حائل)، t_C (زمان اضافی برای خطوط تک خطه) و t_D (زمان اضافی برای تعمیر و نگهداری).

در صورتی که ظرفیت برای یک دوره یک روزه محاسبه گردد، مقدار t_U پنجره زمانی در دسترس برابر با ۱۴۴۰ دقیقه در نظر گرفته می شود. اگر ظرفیت بر اساس ساعت اوج ترافیک مدنظر باشد، مقدار پنجره زمانی برابر با ۶۰ دقیقه منظور میگردد. در صورت عملیات تعمیر و نگهداری، زمان مسدودی نیز بایستی موردتوجه قرار گیرد.

مقدار پارامتر k را می توان با استفاده از سرفاصله میانگین قطارها به دست آورد [۸]. سرفاصله میانگین قطارها در روش UIC 406 همانند روش UIC 405 به دست می آید. با محاسبه سرفاصله زمانی متوسط قطارها (t_{fm}) و بر اساس کل تعداد قطارهای عبوری از سیرگاه، می توان مقدار k (کل زمان مصرفی) را محاسبه نمود [۵]:

$$k = N \times t_{fm} \tag{7}$$

که در آن N نشاندهنده کل تعداد قطارهای عبوری در هر سیرگاه است.

مطابق روش UIC 406 ، بایستی گراف های حرکت قطارها را فشرده سازی (متراکم) نمود. در این مرحله، تمام مسیرهای تک خطه و یا دوخطه قطار، با هدف تراکم سازی به هم فشرده می شوند. منظور از فشرده سازی، حذف کامل زمان اضافی بین قطارهاست به نحوی که به حداقل فاصله زمانی بین قطارها (به لحاظ نظری) دست یافته شود [۶]. پس از فشرده سازی گراف ها، مصرف ظرفیت برای هر یک از قطعات مسیر ریلی محاسبه می شود. میزان مصرف ظرفیت یک محور ریلی برابر با حداکثر میزان مصرف ظرفیت سیرگاه های آن محور خواهد بود. زیرا سیرگاهی که در مدت زمان بیشتری اشغال باشد، برای بهره برداری از قطارها محدود کننده و تعیین کننده خواهد بود. به عبارت دیگر:

$$K_{corridor} = Max\{K_{Block\,1}, K_{Block\,2}, \ldots, K_{Block\,n}\} \tag{8}$$

4- Saturation Coefficient
5- Capacity Consumption

که در آن $K_{corridor}$ صرف ظرفیت محور (دارای تعداد n سیرگاه) و $K_{Block\ n}$ صرف ظرفیت سیرگاه n ام می باشد. در جدول ۲، مقادیر بحرانی مصرف ظرفیت بر اساس نوع ترافیک عبوری از مسیر (ترافیک مسافری اختصاصی حومه شهری، خطوط پرسرعت اختصاصی و خطوط با ترافیک باری و مسافری) و دوره زمانی مورد مطالعه (ساعت اوج یا روزانه)، نشان داده شده است. با هدف حفظ کیفیت بهره برداری، مصرف ظرفیت مسیر ریلی نباید از مقادیر ارائه شده در این جدول بیشتر شود [۷]. در غیر این صورت سیرگاه و مسیر موردنظر به عنوان گلوگاه ریلی شناخته می شود و باید راهکاری برای افزایش ظرفیت اندیشید.

نوع ترافیک	ساعت اوج	دوره روزانه
ترافیک مسافری اختصاصی حومه شهری	%۸۵	%۷۰
خطوط پرسرعت اختصاصی	%۷۵	%۶۰
خطوط با ترافیک باری و مسافری	%۷۵	%۶۰

جدول ۲: محدودیت های پیشنهادی UIC **406** برای
مصرف ظرفیت ($k_{Critical}$)

ظرفیت بهینه در هریک از سیرگاه ها با در نظر گرفتن مقادیر بحرانی ارائه شده در جدول بالا قابل محاسبه است. بدین صورت که بر اساس نوع ترافیک و دوره زمانی مورد مطالعه و مقادیر بحرانی، مصرف ظرفیت مشخص می گردد. سپس بر اساس مقدار میانگین سرفاصله زمانی قطارها، حداکثر تعداد قطار عبوری (ظرفیت) با حفظ شرایط مطلوب بهره برداری قابل محاسبه است:

$$C = Max\{\ k\ , k_{Critical}\} \times 100 \times \frac{t_U}{t_{fm}} \qquad (9)$$

C ظرفیت سیرگاه (با حفظ شرایط مطلوب بهره برداری)
k مقدار مصرف ظرفیت
$k_{Critical}$ بحرانی مصرف ظرفیت

همانگونه که گفته شد، روش UIC **405** مقدار ظرفیت را از رابطه زیر محاسبه می کند:

$$C = \frac{T - W}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \qquad (10)$$

$T - W$ مقدار همان پنجره زمانی در دسترس است که در روش UIC **406** با t_U نشان داده شده است. در صورت چشم پوشی از t_{zu} مقدار ظرفیت در روش UIC **405** از رابطه زیر بدست می آید:

با مقایسه روابط ۹ و ۱۱ مشخص می گردد که ظرفیت محاسبه شده از روش های UIC **405** و UIC **406** شباهت زیادی با یکدیگر دارند و اساساً بر مبنای مفهومی مشترک می باشند. مقدار مصرف ظرفیه ($Max\{k, k_{Critical}\}$) در روش UIC **406** متناظر با مقدار ضریب اشباع (SC) در روش UIC **405** می باشد و هر دو برای حفظ کیفیت مطلوب بهره برداری منظور شده اند. مقدار پیشنهادی در روش UIC **405** برای خطوط با ترافیک باری و مسافری (همچون شبکه ریلی ایران) برابر با ۶۰% می باشد. از طرفی مقدار ضریب اشباع (SC) پیشنهادی UIC **405** نیز برابر با ۶۰% می باشد. در صورتی که مقدار مصرف ظرفیت کمتر از باشد، مقدار ظرفیت ارائه شده توسط فرمول UIC **406** دقیقاً برابر با مقدار ظرفیت ارائه شده توسط فرمول UIC **405** (با فرض چشم پوشی از t_{zu}) می باشد. اگر مقدار مصرف ظرفیت بیشتر از $k_{Critical}$ باشد، مقدار ظرفیت برابر است با:

$$C = Max\{\ k\ , k_{Critical}\} \times \frac{t_U}{t_{fm}} = k \times \frac{t_U}{t_{fm}} = \frac{N \times t_{fm}}{t_U} \times \frac{t_U}{t_{fm}} = N \qquad (12)$$

یعنی اگر مقدار مصرف ظرفیت بیشتر از $k_{Critical}$ باشد، مقدار ظرفیت ارائه شده توسط فرمول UIC **406** دقیقاً برابر با تعداد قطار عبوری می باشد.

۳- مطالعه موردی

به منظور مقایسه نتایج حاصل از روش های Scott، 405 UIC و 406 UIC محور تک خطه دورود-اندیمشک و محور دوخطه گرمسار-بهرام، با استفاده از ریز اطلاعات سیروحرکت در شبکه راه آهن جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۳۹۱ مورد بررسی قرار گرفتند. محور بهرام- گرمسار دارای ۵ سیرگاه دوخطه است و از لحاظ تعداد قطار مسافری عبوری جزو مهمترین محورهای شبکه ریلی ایران محسوب می شود. محور دورود-اندیمشک یکی از محورهای عمدتاً باری شبکه ریلی است که در منطقه کوهستانی با شیب و فراز بالا قرار دارد و دارای ۱۴ سیرگاه تک خطه می باشد. اطلاعات استخراج شده مربوط به سیر و حرکت هر محور در سال ۱۳۹۱ شامل شماره سیرگاه، شماره قطار، نوع قطار (۴ نوع اصلی: باری، مسافری، عملیات، دیزل منفرد)، تاریخ و ساعت ورود به سیرگاه، تاریخ و ساعت خروج از سیرگاه، ایستگاه ابتدای سیرگاه و ایستگاه انتهای سیرگاه می باشد.

برای هر محور، روز بحرانی تعیین شده است. منظور از روز بحرانی، روزی از سال ۱۳۹۱ است که بیشترین قطار از محور موردنظر عبور نموده است. برای تحلیل ظرفیت در روز بحرانی هر محور، اطلاعات مربوط به تمامی سیرگاه های محور در روز بحرانی استخراج شده، زمان سیر هر قطار در هر سیرگاه محاسبه می گردد. در نتیجه، برای هر سیرگاه، تعداد قطار عبوری و زمان های سیر قطارها به تفکیک نوع و زیرنوع قطار و نیز به تفکیک جهات رفت و برگشت مشخص می شود. لازم به ذکر است که مقدار زمان مسدودی برابر با ۳۶۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. در جداول ۳ و ۴ به ترتیب، ظرفیت سیرگاههای محور دوخطه گرمسار-بهرام و محور تک خطه دورود-اندیمشک با استفاده از روش های مختلف مقایسه شده اند.

نام سیرگاه	تعداد قطار عبوری (باری و مسافری)	مجموع زمان سیر (دقیقه)	ظرفیت به روش:			نام سیرگاه	تعداد قطار عبوری (باری و مسافری)	مجموع زمان سیر (دقیقه)	ظرفیت به روش:		
			Scott	UIC 405	UIC 406				Scott	UIC 405	UIC 406
گرمسار-کویر	۴۲	۷۱۰	۲۴.۴	۳۴.۷	۴۲.۰	کویر- گرمسار	۴۰	۶۴۷	۲۳.۶	۳۵.۸	۴۰.۰
کویر-ابردژ	۴۲	۷۰۳	۲۷.۰	۳۴.۷	۴۲.۰	ابردژ- کویر	۴۰	۶۱۰	۲۴.۴	۳۸.۱	۴۰.۰
ابردژ- پیشوا	۴۱	۴۳۴	۴۷.۳	۵۲.۳	۵۵.۸	پیشوا- ابردژ	۴۱	۳۸۰	۳۹.۸	۵۸.۱	۶۲.۵
پیشوا- ورامین	۴۴	۴۳۹	۴۷.۳	۵۴.۹	۵۸.۸	ورامین- پیشوا	۴۲	۳۴۰	۵۰.۴	۶۶.۱	۷۱.۸
ورامین-بهرام	۴۴	۷۶۱	۳۶.۰	۳۴.۵	۴۴.۰	بهرام- ورامین	۴۱	۵۳۱	۳۲.۹	۴۴.۱	۴۶.۶
محور			۲۴.۴	۳۴.۵	۴۲.۰	محور			۲۳.۶	۳۵.۸	۴۰.۰

جدول ۳: مقایسه ظرفیت سیرگاههای محور دوخطه گرمسار-بهرام

نام سیرگاه	تعداد قطار عبوری (باری و مسافری)	کل زمان دردسترس (دقیقه)	مجموع زمان سیر (دقیقه)	ظرفیت به روش:		
				Scott	UIC 405	UIC 406
درود-قارون	۲۷	۱۰۸۰	۴۵۲	۳۲.۹	۳۱.۶	۳۵.۳
قارون-بیشه	۲۷	۱۰۸۰	۶۱۱	۲۶.۱	۲۴.۸	۲۷.۱
بیشه-سپید دشت	۲۹	۱۰۸۰	۵۴۶	۳۲.۲	۲۹.۴	۳۲.۶
سپیددشت-چشمسنگر	۲۸	۱۰۸۰	۶۷۷	۲۵.۲	۲۳.۹	۲۸.۰
چشمسنگر-کشور	۳۰	۱۰۸۰	۶۳۸	۲۹.۶	۲۶.۲	۳۰.۰
کشور-تنگ هفت	۳۱	۱۰۸۰	۵۷۷	۳۰.۲	۳۰.۵	۳۳.۹
تنگ هفت-تنگ پنج	۳۰	۱۰۸۰	۶۵۸	۲۸.۰	۲۴.۸	۳۰.۰
تنگ پنج-تله زنگله	۳۲	۱۰۸۰	۹۷۲	۱۲.۲	۱۷.۶	۳۲.۰
تله زنگله-شهبازان	۳۲	۱۰۸۰	۶۶۳	۲۴.۸	۲۶.۵	۳۲.۰
شهبازان-مازو	۳۲	۱۰۸۰	۶۷۱	۲۹.۱	۲۶.۷	۳۲.۰
مازو-بالارود	۳۳	۱۰۸۰	۹۳۴	۱۸.۲	۲۰.۸	۳۳.۰
بالارود-گل محک	۳۳	۱۰۸۰	۵۸۱	۳۲.۹	۳۲.۲	۳۶.۰
گل محک-دو کوهه	۳۳	۱۰۸۰	۵۸۱	۳۰.۹	۳۱.۳	۳۴.۹
دو کوهه-اندیمشک	۳۳	۱۰۸۰	۵۱۴	۳۶.۹	۳۶.۵	۴۱.۵
محور				۱۲.۲	۱۷.۶	۲۷.۱

جدول ۴: مقایسه ظرفیت سیرگاههای محور تک خطه دورود- اندیمشک

نتایج حاصل از مقایسه روش های مختلف ظرفیت سنجی در محورهای منتخب نشان دهنده آن است که ظرفیت محاسبه شده توسط روش اسکات در اکثر مواقع کمتر از ظرفیت محاسبه شده توسط سایر روش ها می باشد. دلیل این امر آن است که در روش اسکات، فقط زمان سیر کندترین قطار عبوری مدنظر قرار می گیرد و انواع قطارهای مسافری و باری در محاسبه ظرفیت نقشی ندارند. روش های UIC 405 و UIC 406 در مواقعی که مقدار مصرف ظرفیت کمتر از حد مجاز آیین نامه (۶۰%) می باشد، جواب های تقریباً یکسانی ارائه می دهند (در این مواقع، دلیل تفاوت جزئی این دو روش، بکارگیری t_{ZU} در UIC 405 است). هنگامی که مقدار مصرف ظرفیت بیشتر از حد مجاز می شود، ظرفیت محاسبه شده توسط UIC 406 برابر با تعداد قطار عبوری میباشد. به عبارت دیگر، در روش UIC 406 (که اساساً برای محاسبه مصرف ظرفیت است و نه ظرفیت) مقدار ظرفیت هیچگاه کمتر از تعداد قطار عبوری مشاهده شده نمیباشد.

۴- ارائه روش مناسب محاسبه ظرفیت برای خطوط راه آهن ایران

در روش های مختلف تحلیل ظرفیت (همچون اسکات، UIC 405، UIC 406 و...)، حداکثر تعداد قطار قابل عبور (ظرفیت) بر اساس نسبت پنجره زمانی دردسترس جهت عبور قطارها به میانگین سرفاصله زمانی قطارها محاسبه می گردد. در این روش ها، از ضرایب کاهنده با هدف در نظر گرفتن حفظ کیفیت بهره برداری استفاده شده است. مقدار ضریب کاهنده پیشنهادی در روش اسکات برابر با ۰,۷ و در روش های UIC 405 و UIC 406 برای محورهای دارای ترافیک مختلط باری و مسافری (همچون محورهای شبکه ریلی ایران) برابر با ۰,۶ منظور شده است. این ضریب کاهنده در روش UIC 405 با نام «ضریب اشباع» و در روش UIC 406 با عنوان «مصرف ظرفیت بحرانی» شناخته میشود. با در نظر گرفتن زمان مسدودی برابر با ۶ ساعت در شبانه روز، پنجره زمانی در دسترس جهت عبور قطارها برابر با ۱۸ ساعت (۱۰۸۰ دقیقه) در شبانه روز خواهد بود. محدود نمودن مصرف ظرفیت بحرانی به مقدار ۶۰% بدان معناست که قطارها فقط در ۶۰% از پنجره زمانی در دسترس (۶۰% از ۱۸ ساعت) می توانند از سیرگاه عبور نمایند. البته باید توجه نمود که مقدار پیشنهادی ۶۰% صرفاً یک توصیه UIC 405 و UIC 406 میباشد و مقدار ضریب اشباع (و یا مصرف ظرفیت بحرانی) برای هر سیستم ریلی بایستی با توجه به شرایط محلی و نحوه بهره برداری واقعی آن سیستم از خط ریلی به دست آید.

در ایران، تاکنون هیچ گونه بررسی دقیق و مبتنی بر اطلاعات واقعی سیر و حرکت به منظور ارزیابی مقدار مناسب برای ضریب اشباع انجام نشده است.

طی مصاحبه با برخی از کارشناسان خبره بهره برداری ریلی ایران، مفهوم ظرفیت و نحوه استفاده واقعی از آن در راه آهن ایران مورد بررسی قرار گرفت [۸-۱۱]. مطابق با نتایج حاصله، مشخص شد که نحوه استفاده واقعی از ظرفیت در سیستم ریلی ایران به شرایط و عوامل مختلف مکانی و زمانی ارتباط دارد. در بسیاری مواقع امکان سیر دادن قطارها وجود دارد. ولی به دلایل متعددی که ممکن است وجود داشته باشند، این کار انجام نمی شود. وجود قطارهای مسافری و نیز محدودیت خطوط پهلوگیری ایستگاهها دو عامل مهمی است که مانع از ارسال قطارها با انواع مختلف در بسیاری از ساعات شبانه روز می شوند. لذا عملاً امکان استفاده صد درصدی از ظرفیت خطوط وجود ندارد. به همین جهت، اعمال ضریب کاهنده ظرفیت در روش هایی چون اسکات (با ضریب کارآیی ۰,۷) و یا روش UIC 405 (با ضریب اشباع ۰,۶) صرفنظر از تطبیق مقدار ضریب کاهنده با شرایط ایران، کاری درست و منطقی می باشد. با این حال، ضریب اشباع ۶۰% (که در فیش های UIC 405 و UIC 406 ارائه شده) مقداری سختگیرانه برای راه آهن ایران محسوب می شود. زیرا در عمل و در بسیاری اوقات، مجموع زمان سیر واگن ها در محورها بیش از ۶۰% دوره زمانی در دسترس (۱۸ ساعت) می باشد. تجربه برخی مصاحبه شوندگان نشان می دهد که در محورهای پرتردد شبکه ریلی ایران، به طور متوسط روزانه ۱۴ تا ۱۵ ساعت سیر قطارها به صورت ایمن و با حفظ کیفیت بهره برداری انجام می شود. به عبارت دیگر، ضریب اشباع را می توان در راه آهن ایران حتی نزدیک به ۸۰% در نظر گرفت و ضریب اشباع ۶۰% منجر به محاسبه ظرفیت به میزانی کمتر از ظرفیت واقعی می گردد [۸].

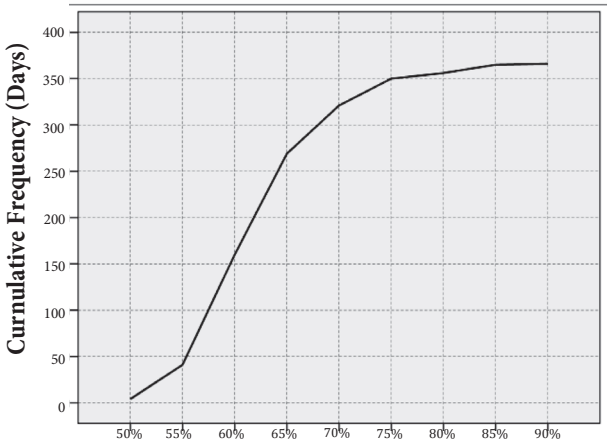
در پژوهش حاضر، بررسی دقیق آمار و اطلاعات مربوط به سیر و حرکت قطارها در شبکه ریلی ایران در سال ۱۳۹۱ نشان داد که در برخی محورهای پرتردد، آنچه در واقعیت روی می دهد، متفاوت از محدودیتی است که با اعمال ضریب اشباع ۶۰% ایجاد می گردد. نتایج ظرفیت سنجی محورهای منتخب ده گانه حاکی از نمونه های بسیاری در راه آهن ایران می باشد که در بسیاری از روزهای سال، مصرف ظرفیت بیش از ۶۰% بوده است.

به منظور روشن تر شدن موضوع، برخی از سیرگاههای پرتردد مربوط به محورهای منتخب این مطالعه شناسایی گردیدند و برای هریک از آنها، کلیه اطلاعات سیر و حرکت قطارها در ۳۶۵ روز سال ۱۳۹۱ استخراج گردید. این سیرگاه ها عبارتند از:

سیرگاه دوخطه ورامین- بهرام (در محور گرمسار-بهرام)

سیرگاه تک خطه تنگ پنج- تله زنگله (در محور دورود-اندیمشک)

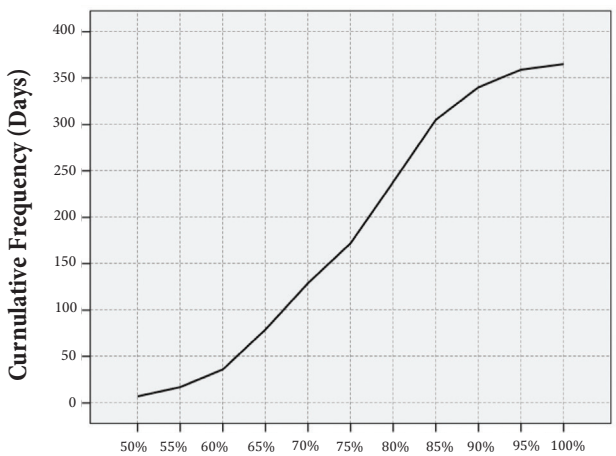
در اشکال ۲ تا ۴ به ترتیب، فراوانی تجمعی میزان مصرف ظرفیت سیرگاه دوخطه ورامین- بهرام (جهت رفت)، سیرگاه تک خطه تنگ پنج- تله زنگله و سیرگاه تک خطه مازو- بالارود در روزهای مختلف سال نشان داده شده است.



سیرگاه: ورامین - بهرام جهت رفت

شکل ۲: منحنی تجمعی مصرف ظرفیت در روزهای سال در سیرگاه ورامین- بهرام

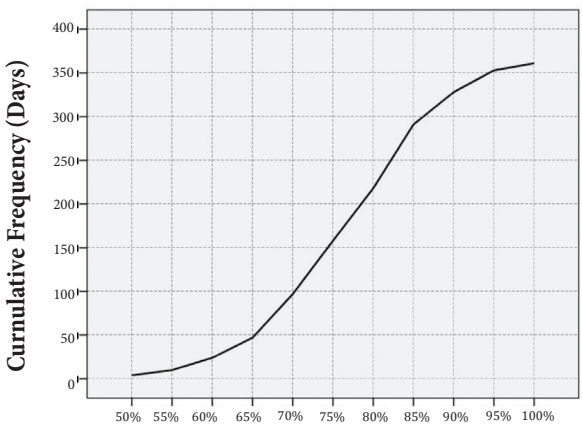
در سیرگاه ورامین- بهرام (جهت رفت) در بیش از ۲۰۰ روز از سال (۵۶٪ ایام سال)، مصرف ظرفیت بالای ۶۰٪ تجربه شده است که حدود ۱۶۰ روز آن مربوط به بازه ۶۰ تا ۷۰٪ مصرف ظرفیت می باشد.



سیرگاه تک خطه: تنگ پنج- تله زنگله

شکل ۳: منحنی تجمعی مصرف ظرفیت در روزهای سال در سیرگاه تنگ پنج- تله زنگله

در سیرگاه تنگ پنج- تله زنگله حدود ۳۳۰ روز از سال (حدود ۹۰٪ ایام سال)، مصرف ظرفیت بالای ۶۰٪ تجربه شده است که حدود ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ روز آن به ترتیب مربوط به بازه ۶۰ تا ۷۰٪، ۷۰ تا ۸۰٪ و ۸۰ تا ۱۰۰٪ مصرف ظرفیت می باشد.



سیرگاه تک خطه: مازو - بالارود

شکل ۴: منحنی تجمعی مصرف ظرفیت در روزهای سال در سیرگاه مازو-بالارود

در سیرگاه مازو-بالارود حدود ۳۴۰ روز از سال (بیش از ۹۰٪ ایام سال)، مصرف ظرفیت بالای ۶۰٪ تجربه شده است که حدود ۷۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ روز آن به ترتیب مربوط به بازه ۶۰ تا ۷۰٪، ۷۰ تا ۸۰٪ و ۸۰ تا ۱۰۰٪ مصرف ظرفیت می باشد.

همان گونه که اشکال فوق نشان می دهد، برای سیرگاه های مورد بررسی، در بسیاری از روزهای سال مصرف ظرفیت بیش از ۶۰٪ بوده است. تکرار پذیری این مطلب در روزهای مختلف عملاً حکایت از آن دارد که شرایط بهره برداری آنها در وضعیت بغرنج و بسیار نامناسب قرار ندارد. زیرا در اینصورت، امکان این میزان استفاده از خط ریلی به صورت متناوب و به کرات در روزهای مختلف سال نبایستی وجود داشته باشد.

لازم به ذکر است که برای تعیین مقدار مصرف ظرفیت بحرانی (یا ضریب اشباع) متناسب با شرایط محلی و بهره برداری راه آهن ایران، بررسی محورهایی که دارای مصرف ظرفیت پایین بوده اند اهمیت چندانی ندارد. زیرا با استفاده از آمار چنین محورهایی، امکان تصمیم گیری در مورد مقدار مصرف ظرفیت بحرانی وجود ندارد.

بالاتر بودن مصرف ظرفیت از حد بحرانی تعریف شده در آیین نامه UIC 406 (۶۰٪) به معنای مناسب تر بودن بهره برداری در خطوط شبکه ریلی ایران نیست؛ بلکه نمایانگر این واقعیت است که در بسیاری از ایام سال زمان این قابلیت وجود دارد که با حفظ کیفیت بهره برداری، خط ریلی در طول مدت زمانی بیش از ۶۰٪ پنجره زمانی دردسترس (۶۰٪ از ۱۸ ساعت) مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن مقدار مصرف ظرفیت بحرانی بیش از ۶۰٪ برای راه آهن ایران، مقدار ظرفیت محاسبه شده دقیق تر و به واقعیت نزدیک تر می باشد.

همان گونه که ذکر شد، در فیش UIC 406 مقدار مصرف ظرفیت بحرانی برای خطوط با ترافیک باری و مسافری برابر با ۶۰٪ و برای ترافیک مسافری اختصاصی حومه شهری برابر با ۷۰٪ منظور شده است. با توجه به بررسی های صورت گرفته و نتایج ارائه شده مربوط به تحلیل میزان مصرف ظرفیت در سیرگاه های بحرانی و تکرارپذیری مقادیر بالای مصرف ظرفیت در آنها و نیز با توجه به مصاحبه های صورت گرفته با کارشناسان محلی سیر و حرکت، مقدار مصرف ظرفیت بحرانی روش UIC 406 (یا ضریب اشباع در روش UIC 406) برای استفاده در شبکه ریلی کشور ایران (خطوط با ترافیک باری و مسافری) برابر با ۰/۸ در محورهای دوخطه و ۰/۷۵ در محورهای تک خطه پیشنهاد می گردد. بدین ترتیب، روش مناسب برای تحلیل ظرفیت در راه آهن ایران به صورت رابطه زیر پیشنهاد می گردد:

$$C = SC \times \frac{1440 - W}{t_{fm}} \qquad (13)$$

C: ظرفیت خط (تعداد قطار در شبانه روز)

W: زمان مسدودی تعمیر و نگهداری (برابر با ۳۶۰ دقیقه)

t_{fm}: میانگین سرفاصله قطارها

SC:ضریب اشباع برابر با ۰/۸ در محورهای دوخطه و ۰/۷۵ در محورهای تک خطه

لازم به ذکر است که در رابطه فوق، تعداد و زمان سیر انواع قطار باری و مسافری و نیز جهات حرکت آنها به عنوان ورودی در نظر گرفته می شوند و مقدار t_{fm} و در نتیجه ظرفیت، با در نظر گرفتن این ورودی ها محاسبه می گردد. برای محورهای تک خطه، یک عدد به عنوان ظرفیت محاسبه می شود که با در نظر گرفتن توأمان ترافیک جهات رفت و برگشت می باشد. در حالی که برای محورهای دوخطه، ظرفیت جهات رفت و برگشت به صورت مجزا محاسبه می گردند.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

تاکنون روش های زیادی جهت محاسبه ظرفیت در خطوط ریلی ارائه شده اند که هریک، دارای نقاط مثبت و منفی و مزایا و معایب متفاوتی هستند. بسیاری از این روش ها با توجه به خصوصیات و ویژگی های بومی و خصوصیات منطقه ای و ناحیه ای راه آهن محدوده جغرافیایی خاصی تنظیم و ارائه شده اند. لذا نمی توان کلیه روش های محاسبه ظرفیت و مقادیر ارائه شده در آیین نامه ها را برای همه سیستم های راه آهن در دنیا مناسب و قابل قبول دانست؛ بلکه هر سیستم راه آهن بایستی متناسب با مقتضیات ویژه خود، بهترین روش محاسبه ظرفیت مقادیر آیین نامه ای متناظر با آن را انتخاب نماید.

در این مطالعه، روابط ریاضی مربوط به سه روش متداول محاسبه ظرفیت در راه آهن های دنیا شامل رابطه Scott، روش UIC 405 و روش UIC 406 ارائه گردیدند. به منظور مقایسه این روش ها، ظرفیت سنجی برای دو محور از شبکه ریلی ایران (محور دوخطه گرمسار-بهرام و محور تک خطه دورود-اندیمشک) انجام گردید. نتایج حاصل از این مقایسه نشان دهنده آن است که ظرفیت محاسبه شده توسط روش اسکات در اکثر مواقع کمتر از ظرفیت محاسبه شده توسط سایر روش ها میباشد. روش های UIC 405 و UIC 406 در مواقعی که مقدار مصرف ظرفیت کمتر از حد مجاز آیین نامه (۶۰٪) می باشد، جواب های تقریباً یکسانی ارائه می دهند. هنگامی که مقدار مصرف ظرفیت بیشتر از حد مجاز می شود، ظرفیت محاسبه شده توسط UIC 406 برابر با تعداد قطار عبوری می باشد.

در روش های مختلف تحلیل ظرفیت، از ضرایب کاهنده با هدف در نظر گرفتن حفظ کیفیت بهره برداری استفاده شده است. مقدار ضریب کاهنده پیشنهادی در روش اسکات برابر با ۰/۷ و در روش های UIC 405 و UIC 406 برای محورهای دارای ترافیک مختلط باری و مسافری (همچون محورهای شبکه ریلی ایران) برابر با ۰/۶ منظور شده است. مقدار پیشنهادی ۶۰٪ صرفاً یک توصیه UIC 406 و UIC 406 می باشد و مقدار ضریب اشباع (و یا مصرف ظرفیت بحرانی) برای هر سیستم ریلی بایستی با توجه به شرایط محلی و نحوه بهره برداری واقعی آن سیستم از خط ریلی به دست آید. در ایران، تاکنون هیچ گونه بررسی دقیق و مبتنی بر اطلاعات واقعی سیر و حرکت به منظور ارزیابی مقدار مناسب برای ضریب اشباع انجام نشده است. طی مصاحبه با برخی از کارشناسان خبره و باتجربه بهره برداری ریلی ایران، مشخص گردید که در محورهای پرتردد شبکه ریلی ایران، به طور متوسط روزانه ۱۴ تا ۱۵ ساعت سیر قطارها (از کل ۱۸ ساعت در دسترس در شبانه روز) به صورت ایمن و با حفظ کیفیت بهره برداری انجام می شود. به عبارت دیگر، ضریب اشباع را می توان در راه آهن ایران حتی نزدیک به ۸۰٪ در نظر گرفت و ضریب اشباع ۶۰٪ منجر به محاسبه ظرفیت به میزانی کمتر از ظرفیت واقعی می گردد. به منظور محاسبه دقیق ضریب اشباع، برای برخی از سیرگاههای پرتردد مربوط به محورهای منتخب این مطالعه، کلیه اطلاعات سیر و حرکت قطارها در ۳۶۵ روز سال ۱۳۹۱ بررسی گردید. و مقدار مصرف ظرفیت با توجه به تعداد و زمانهای سیر قطارها محاسبه گردید. نتایج حاکی است که برای سیرگاههای موردبررسی، در بسیاری از روزهای سال مصرف ظرفیت بیش از ۶۰٪ بوده است. تکرار پذیری این مطلب در روزهای مختلف عملاً حکایت از آن دارد که شرایط بهره برداری آنها در وضعیت بغرنج و بسیار نامناسب قرار ندارد. . زیرا در اینصورت، امکان این میزان استفاده از خط ریلی به صورت متناوب و به کرات در روزهای مختلف سال نبایستی وجود داشته باشد. بالاتر بودن مصرف ظرفیت از حد بحرانی تعریف شده در آیین نامه UIC 406 (۶۰٪) نمایانگر این واقعیت است که در بسیاری از ایام سال زمان این قابلیت وجود دارد که با حفظ کیفی بهره برداری، خط ریلی در طول مدت زمانی بیش از ۶۰٪ پنجره زمانی دردسترس (۶۰٪ از ۱۸ ساعت) مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن مقدار مصرف ظرفیت بحرانی بیش از ۶۰٪ برای راه آهن ایران، مقدار ظرفیت محاسبه شده دقیق تر و به واقعیت نزدیک تر می باشد. لذا در این مطالعه، با توجه به مصاحبه های صورت گرفته با کارشناسان محلی سیر و حرکت و نیز تحلیل های آماری داده های واقعی شبکه ریلی کشور، مقدار ضریب اشباع در شبکه ریلی کشور ایران (خطوط با ترافیک باری و مسافری) برابر با ۰/۸ در محورهای دوخطه و ۰/۷۵ در محورهای تک خطه پیشنهاد گردید.

۶- منابع

۱- برنامه ریزی عملیات حمل و نقل ریلی، ۱۳۸۹، یقینی م.، لسان، ج.، ۱۳۸۹، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

2- Nath S., 1993, Line Capacity Evaluation and Planning Introduction, Proceeding of International Railway Seminar, April 12-14, Tehran, Iran, pp.734-743.

3- International Union of Railways, 1996, Links between railway infrastructure capacity and the quality of operations, UIC Code 405.

4- International Union of Railways, 2004, Capacity, UIC Code 406.

۵- یقینی ، م.، مفاخری، ز.، نیکو، ن.، ۱۳۹۱، محاسبه ظرفیت استفاده شده در راه آهن ایران بر اساس روش UIC ۴۰۶ (مطالعه موردی: مسیر تهران – مشهد)، پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره چهارم.

6- Landex A., 2008, Methods to estimate railway capacity and passenger delays, PhD Thesis, Technical University of Denmark Department of Transport.

۷- یقینی م. و انجمن علمی دانشکدهٔ مهندسی راه آهن، ۱۳۸۹، زمانبندی و سیر و حرکت در راه آهن (ترجمه، انتشارات پیشرو فناوری قائد.

۸- مصاحبه با مهندس صیدگر، کارمند بازنشسته راه آهن و مسئول سیر و حرکت شرکت حمل و نقل ریلی بهتاش سپاهان، ۱۳۹۳/۴/۲۱.

۹- مصاحبه با مهندس برزگری، کارشناس مجرب CTC راه آهن مرکزی کشور در یزد، ۱۳۹۳/۴/۲۱.

۱۰- مصاحبه با مهندس هاشم کلانتری، رئیس گروه بهره برداری مرکز تحقیقات و آموزش شرکت راه¬آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۳/۴/۱۶.

۱۱- مصاحبه با مهندس خسروآذری، کارمند بازنشسته شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۳/۷/۲۹.