

بررسی و محاسبه عوامل موثر محاسبه درمیزان آماده بکاری ناوگان ریلی

محور مقاله: سیستم های پیشرفته نگهداری و تعمیرات ناوگان

محمد نوروزی^۱

چکیده:

در این مقاله سعی شده است تا با روشی ساده به فرایند محاسباتی شاخص های قابلیت دسترسی (Availability) و قابلیت اطمینان (Reliability) برای یک وسایل نقلیه ریلی پرداخته شود تا بر اساس محاسبه دقیق آنها و با تعاریف واضح و شفاف برای یک ناوگان اعم از لکوموتیو، واگن، و یا هر وسیله دیگری، میزان تغییرات احتمالی آماده بکاری در حین بهره برداری آن مشخص گردد. مشخص شدن شاخص های قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان برای یک ناوگان ریلی هم برای تولید کننده و هم برای مصرف کننده و بهره بردار به عنوان شاخص عمده در ارزیابی محصول به شمار می آید که فاکتوری مناسب برای ارزیابی کیفی محصول خواهد بود. با توجه به رو یکرد سالیان اخیر در واگذاری ناوگان به بخش خصوصی و بهره برداری در این بخش، ارایه تعاریف دقیق و مستند برای کارفرمایان و پیمانکاران و نیز تأثیر عوامل موثر و مهم در هر یک از این عوامل ضروری می باشد. ضمن آنکه رسیدن به این شاخص ها در معرفی محصولات و نیز ارزیابی سطح کیفی عملکرد پیمانکاران مفید خواهد بود.

لغات کلیدی: قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینان، تعمیرات اصلاحی، تعمیرات پیشگیرانه، بهره برداری

مقدمه:

در سالیان اخیر و به دنبال پیدایش صنایع مختلف در این مهم که برای یک وسیله شاخص های ضروری برای بهره برداری چه می تواند باشد از اهمیت زیادی برخوردار گردید. همین موضوع عاملی شد تا تعاریف مختلفی بر این پایه استوار گردد. تعاریفی که هر یک برای بهره بردار و یا سازنده معنی خاص داشت. طبیعتاً این موضوع که کدامیک از تعاریف می تواند در مستندات نهایی قرار گیرند باعث گردید تا تعاریف دقیق و جامعی از این دو پارامتر قابل اندازه گیری ارایه شود. در حال حاضر و در سطح راه آهن ج ۱، در قسمت ناوگان و در بخش های مربوط به لکوموتیو، واگنهای مسافری، واگنهای باری، واگنهای استیم، ترن ست و ریل باس و نیز و نیز در آینده ای نزدیک در دیگر بخش های ریلی کشور مانند مترو، واگذاری ناوگان به بخش

norouzi@iri.co.ir

^۱ رییس کنترل کیفیت شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو)

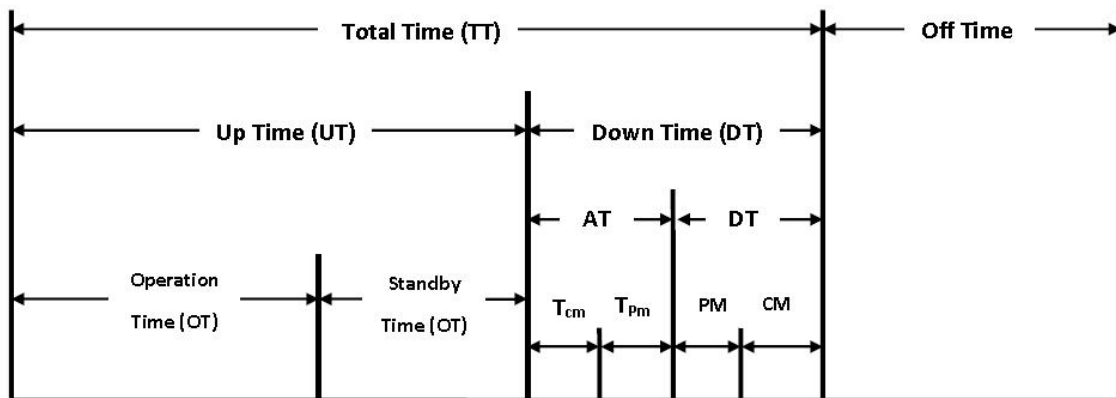
ابهر - کارخانه شرکت صنایع ریلی ایران خودرو، تلفن همراه: ۰۹۱۲-۵۸۷۱۰۵۲

خصوصی با شرایط امتیاز بهره برداری برای پیمانکار و مالکیت ناوگان برای راه آهن ج ۱۱ و یا به صورت بلعکس و با مالکیت ناوگان در بخش خصوصی و امتیاز بهره برداری برای کارفرما وجود داشته و یا خواهد داشت. در این بین وجود تعاریف دقیق و نیز روشهای محاسبه و همچنین شاخص های مهم و اولیه برای بالا بردن قابلیت دسترسی و یا قابلیت اطمینان می تواند برای بهره برداران اعم از پیمانکاران و کارفرمایان جذاب باشد.

شاخص های مهم در نت

در یک وسیله نقلیه ریلی همانند هر وسیله مورد بهره برداری دیگر برای ارزیابی شاخص های حیاتی $RAMS^2$ و نیز شاخص مهم و قابل اندازه گیری سطح دسترسی به پارامترهای قابل اندازه گیری نیاز می باشد. تمام پارامترها و شاخص هایی برای ارزیابی دقیق سطح دسترسی یک وسیله نقلیه لازم بوده و باید در اختیار باشد به شرح زیر قابل تعریف خواهد بود:

شکل زیر برای درک صحیح از تعاریفی که در ادامه ارائه خواهد شد نشان می دهد که هر یک از پارامترها تا چه میزان برای یک بهره بردار می تواند مهم باشد.



AT: Action Time DT: Delay Time T_{pm}: Preventive Maintenance Time T_{cm}: Corrective Maintenance Time

شکل معرفی شاخص های بهره برداری

- ۱- میانگین زمان تعمیرات اصلاحی تا $M.T.CM^3$: متوسط زمانی که طول می کشد تا تعمیرات اصلاحی بر روی وسیله انجام شود.
- ۲- میانگین زمان تعمیرات پیشگیرانه تا $M.T.PM^4$: متوسط زمانی که طول می کشد تا تعمیرات پیشگیرانه بر روی وسیله انجام شود.
- ۳- زمان کل صرف شده برای تعمیرات خرابی ها $MTTR^5$: این زمان مجموع زمان بین تعمیرات پیشگیرانه و تعمیرات اصلاحی خواهد بود. در این وضعیت داریم:

$$MTTR = MT_{CM} + MT_{PM}$$

Reliability, Availability, Maintainability, Safety^۶
Mean Time To Corrective maintenance^۳
Mean Time To Preventive maintenance^۴
Mean Time To Repair^۵

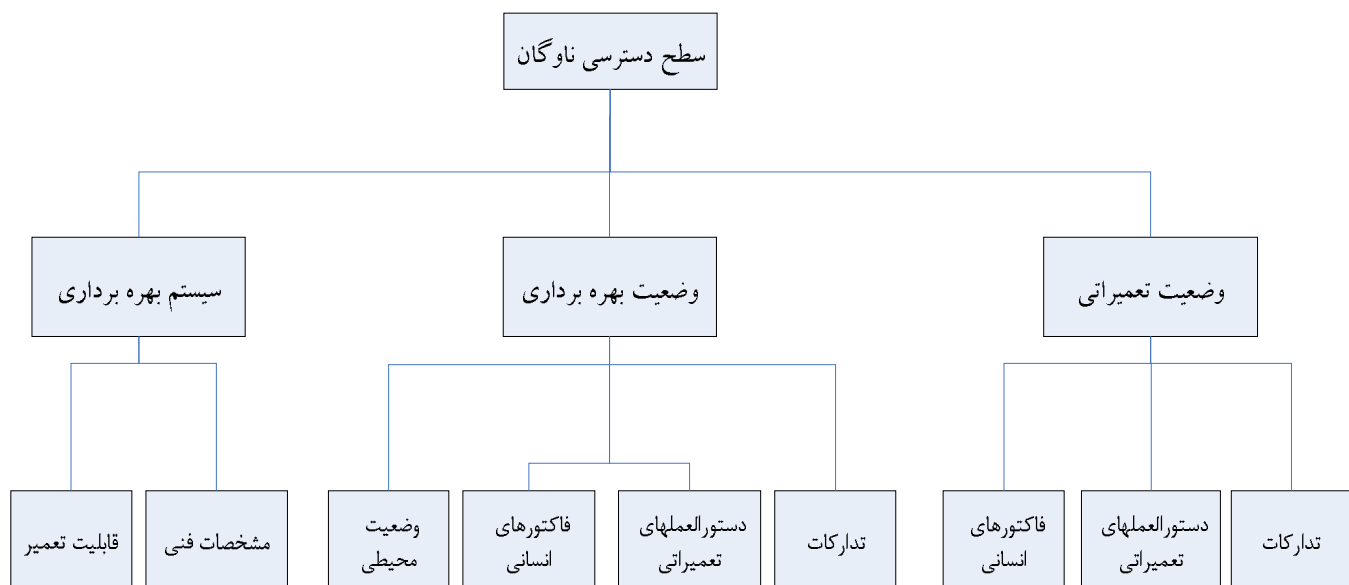
۴- میانگین زمان بین دو خرابی $M.T.B.F^e$: متوسط زمانی است که بین دو خرابی برای یک وسیله نقلیه ریلی پیش بینی و محاسبه می شود.
طبق این تعریف این زمان برابر خواهد بود با :

$$MTBF = MT_{CM} + MT_{PM} + MTTF \Rightarrow MTBF = MTTR + MTTF$$

طبق این رابطه در بهترین و ایده آل ترین وضعیت، میانگین زمان بین دو خرابی (MTBF) برابر با میانگین زمان تا وقوع خرابی (MTTF) خواهد شد و آن در حالتی خواهد بود که زمان بین تعمیر تا خرابی (MTTR) برابر صفر شود. این وضعیت به این معنا خواهد بود که شرایط بهره برداری به نحوی خواهد بود که تمام قطعات و در مجموع وسیله نقلیه در بازه تعریف شده طول عمر خود عملکردی صحیح را از خود نمایش دهند.

پارامترهای موثر در سطح آماده بکاری ناوگان

در نمودار زیر بطور خلاصه عوامل موثر در شاخص آماده بکاری یک ناوگان ارایه شده است. این شاخص ها بصورت کلی عرضه شده و بسیاری از عوامل و پارامترها ممکن است در آن دیده نشده باشد اما آنچه که مشخص است این است که این موارد به عنوان یک نمای کلی از عوامل موثر در میزان سطح دسترسی و آماده بکاری قابل استناد می باشند.
آنچه که به خوبی در این نمودار به عنوان یک معیار اساسی قابل اعتنا می باشد سه عامل مهم و تاثیرگذار است که باید تحت کنترل و مانیتورینگ باشند این عوامل عبارتند از فاکتورهای انسانی ، مستندات فنی و بهره برداری و تدارکات که باید مد نظر قرار گیرند.



عوامل موثر در میزان سطح دسترسی ناوگان

محاسبه انواع سطح دسترسی برای وسایل نقلیه ریلی

یکی از مهمترین پارامترهایی که در ارزیابی های شاخص های RAMS مد نظر قرار می گیرد فاکتوری است که به نام "سطح دسترسی" یا Availability تعریف می شود. با توجه به اشارات فوق برای ارایه تعریفی دقیق از آنچه که آنرا سطح دسترسی برای یک وسیله نقلیه ریلی خواهیم نامید، تعریف زیر قابل ارایه می باشد.

سطح دسترسی ذاتی ۷: سطح دسترسی ذاتی برای یک وسیله نقلیه ریلی برابر خواهد بود با نسبت کارکرد یک وسیله به مجموع زمان کارکرد وسیله با انضمام زمان تعمیرات اصلاحی. این نسبت معمولاً به صورت درصد بیان می شود. در این وضعیت خواهیم داشت:

$$AV_I = \frac{MTBF}{MTBF + MT_{CM}}$$

براساس این تعریف سطح دسترسی تعریفی است از زمانی که از وسیله نقلیه مذکور انتظار بهره برداری را داریم. این روش محاسبه یک روش کلاسیک و استاندارد می باشد.

سطح دسترسی فنی ۸: سطح دسترسی فنی برای یک وسیله نقلیه ریلی برابر خواهد بود با نسبت کارکرد یک وسیله به مجموع زمانی که وسیله باید کار کند به انضمام زمانهای تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه. در این وضعیت خواهیم داشت:

$$AV_T = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{MTBF}{MTBF + MT_{CM} + MT_{PM}}$$

سطح دسترسی عملیاتی یا اجرایی ۹: سطح دسترسی اجرایی برای یک وسیله نقلیه ریلی برابر خواهد بود با نسبت کارکرد یک وسیله به مجموع زمانی که وسیله باید کار به انضمام زمانهای تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه و نیز زمانهای خواب مجموعه به دلایل تدارکاتی و یا مدیریتی. در این سطح دسترسی تمام عواملی که می توان زمان بهره برداری را تحت شعاع خود قرار دهد مدنظر قرار می گیرد. این زمانها شامل زمان توقفات مدیریتی، زمان تدارکات و زمان منتهی به تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه می باشد. در این وضعیت خواهیم داشت:

$$AV_O = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MT_{logistic \& ad \ min}} \quad 10$$

همانگونه که ملاحظه می شود تعاریف ارایه شده برای ارزیابی سطح دسترسی ناوگان می تواند تا چه میزان متغیر و متفاوت باشند. در ادامه به این موضوع پرداخته می شود که سطح دسترسی ناوگان مطابق این تعاریف تا چه حد می تواند با یکدیگر متغیر بوده و کدام معیار به عنوان مبنا باید مد نظر قرار گیرد همچنین سعی می شود تا به میزان اختلاف هر یک از روشهای محاسبه پرداخته شود.

Inherent availability – EN50126^v

Technical availability – EN50126^h

Operation availability – EN50126^l

Mean Down Time due to logistic and/or administrative reasons ¹⁰

روش محاسبه سطح دسترسی برای ناوگان ریلی

برای محاسبه دقیق میزان سطح دسترسی (آماده بکاری) در صنایع ریلی و برای ناوگان شرایطی وجود دارد که خاص و منحصر به فرد می باشد. اصولاً در وسایط نقلیه ریلی میزان کارکرد بر حسب کیلومتر در یک بازه زمانی قید شده و سنجیده می شود. این قیاس با شاخص Km/day یا Km/month یا Km/year می تواند تعریف شود. به عنوان مثال برای یک لکوموتیو باری در ایران کارکرد متوسط روزانه ۵۰۰ الی ۵۵۰ کیلومتر در نظر گرفته می شود و یا یک اتوبوس ریلی سبک می تواند متوسط روزانه ۷۰۰ کیلومتر در روز کارکرد داشته باشد. در این شرایط برای این وسایلی در یک بازه زمانی مشخص تعداد خرابی ها می تواند با نسبتی از خرابی در آن بازه زمانی تعریف شود. با این تعاریف برای وسایل نقلیه ریلی تعداد خرابی ها در یک بازه وابسته به زمان و کیلومتر خواهد بود. برای محاسبه سطح آماده بکاری یک ناوگان بدست آوردن شاخص کل کارکرد ضروری خواهد بود. تعداد خرابی ها در یک بازه زمانی در واقع تعریفی از قابلیت اطمینان وسیله نقلیه خواهد بود. این به معنی است که رابطه ایی بین قابلیت اطمینان و قابلیت دسترسی وجود دارد که نسبتی مستقیم با یکدیگر خواهند داشت.

تعریف قابلیت اطمینان برای رسیدن به قابلیت دسترسی شاخصی خواهد بود که می توان به تابعی شبیه نمود که در بازه زمان دارای متغیر تعداد خرابی ها باشد این تابع در فاصله زمانی بین دو خرابی یا MTBF یک تابع نزولی بوده و به شکل زیر می تواند بسط یابد :

$$R(t) = 1 - f(t)$$

تاثیر تابع $R(t)$ بر روی پارامتر قابلیت دسترسی ناوگان و با توجه به اینکه این شاخص دربرگیرنده پارامترهای زمان، مسافت و تعدد خرابی ها می باشد، اجتناب ناپذیر می باشد. با توجه به این شاخص ها و برای بدست آوردن درصد آماده بکاری ناوگان برای یک بازه زمانی می توان داشت:

بازه زمانی بین دو خرابی: MTBF

قابلیت اطمینان (تعداد خرابی ها در بازه مد نظر): R

مسافت طی شده در یک سال: S

زمان کل توقف تعمیرات: MTTR

با توجه به داده های فوق می توان برای یک دوره یکساله داشت:

$$MTBF = \frac{365 - S \times R \times MTTR}{S \times R} = \frac{365}{S \times R} - MTTR$$

با قراردادن این رابطه در فرمول قابلیت دسترسی فنی ناوگان خواهیم داشت:

$$AV_T = \frac{365 - S \times R \times MTTR}{365} = 1 - \frac{S \times R \times MTTR}{365}$$

این رابطه برای بدست آوردن قابلیت سطح دسترسی ناوگان با دخیل شدن پارامترهای قابلیت اطمینان ناوگان می باشد. برای روشن شدن این رابطه مثال زیر ارائه می شود.

برای یک لکوموتیو آلستوم^{۱۱} در یک بازه سالیانه پارامترهای زیر ثبت گردیده است:

10^{12} = قابلیت اطمینان (تعداد خرابی ها در کیلومتر طی شده) R

^{۱۱} اعداد ارائه شده بر اساس تجربه نگارنده مقاله ثبت گردیده است.

$$S(\text{مسافت طی شده در یکسال}) = 2 \times 10^5 \text{ Km}$$

$$MTTR(\text{زمان کل توقف تعمیرات}) = 6^{13}$$

در این وضعیت خواهیم داشت:

$$AV_T = 1 - \frac{S \times R \times MTTR}{365} = 1 - \frac{2 \times 10 \times 6}{365} = 1 - 0.328 = .0671$$

این عدد به این معنی است که برای این لکوموتیو قابلیت دسترسی برابر با ۶۷/۱٪ در هر ۱۰۰ هزار کیلومتر خواهد بود. به عبارت دیگر برای یک ناوگان ۱۰۰ عددی از این لکوموتیو در سال و به ازای ۱۰۰ هزار کیلومتر کارکرد ۶۷ عدد لکوموتیو در اختیار خواهیم داشت.

در ادامه به این بررسی خواهیم پرداخت که عوامل متاثر در تغییر تعیین سطح دسترسی در هر روش محاسبه تا چه میزان موثر خواهند بود. به این منظور برای لکوموتیو مدل به ازای میزان کیلومتر از واحد و تعداد خرابی های پیش بینی شده سطح دسترسی های زیر را خواهیم داشت.

1	S1	2	2	2	2	2	2	2
	R1	10	10	10	10	10	10	10
	MTTR	6	7	8	9	10	11	12
	AV1	67.1	61.6	56.2	50.7	45.2	39.7	34.2
2	S2	2	2	2	2	2	2	2
	R2	9	9	9	9	9	9	9
	MTTR	6	7	8	9	10	11	12
	AV2	70.4	65.5	60.5	55.6	50.7	45.8	40.8

جدول فوق به خوبی نشان می دهد که میزان خرابی و نیز زمان توقف بدلیل تعمیرات تا چه میزان در پارامتر سطح دسترسی ناوگان تاثیر دارد.

جدول فوق در دو ردیف کلی معرفی شده است. ردیف اول برای ناوگان فرض شده با تعداد خرابی های ۱۰ عدد در هر 200000Km و زمانهای تعمیر به ازای هر خرابی معرفی شده است. در جدول ردیف دوم برای ناوگان فرض شده با تعداد خرابی های ۹ عدد در هر 200000Km و زمانهای تعمیر به ازای هر خرابی معرفی شده است. با بررسی بروی این مقادیر نتایج زیر بدست می آید:

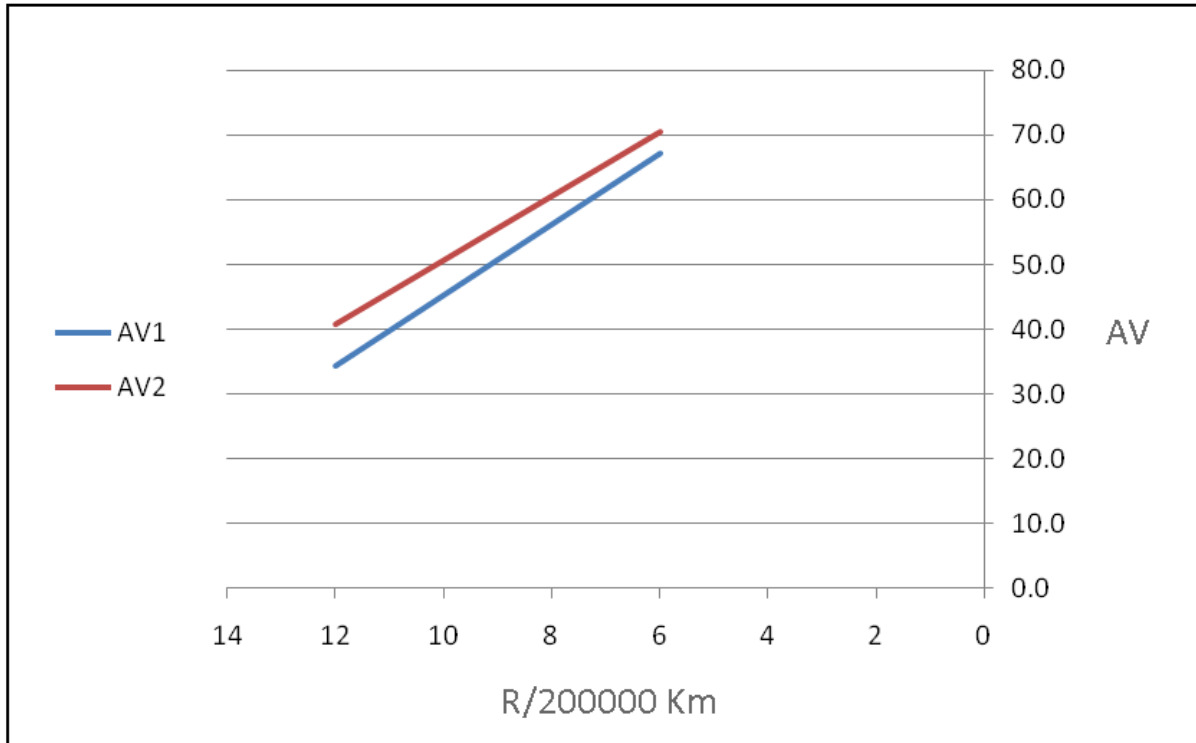
۱. در ریف اول در یک ناوگان با تعداد خرابی های یکسان در بازه کیلومتر از ثابت به ازای هر یک روز توقف لکوموتیو و یا ناوگان میزان میانگین ۵/۵٪ از میزان آماده بکاری ناوگان کاسته خواهد شد.

^{۱۲} تعداد خرابی هایی که مسدودی بلاک را در بر می گیرند و یا تاخیرات بیش از ۲ ساعت را شامل می شود.

^{۱۳} زمان واقعی تعمیرات بدون در نظر داشتن زمانهای تلف شده بدلیل تدارکاتی

۲. در ریف دوم در یک ناوگان با تعداد خرابی‌های یکسان در بازه کیلومترژ ثابت به ازای کاهش یک واحد خرابی نسبت به شرایط اولیه، به ازای هر یک روز توقف لکوموتیو و یا ناوگان میلیون میانگین ۵٪ از میزان آماده بکاری ناوگان کاسته خواهد شد.

برای هر دو حالت تعریف شده فوق و بر اساس داده های موجود نمودار سطح دسترسی ناوگان را به ازای زمان تعمیرات آن رسم می کنیم .



نمودار سطح دسترسی ناوگان

همانگونه که در نمودار بدست آمده واز قیاس هر دو وضعیت مشاهده می شود تغییرات هر دو نسبت به یکدیگر کاملاً خطی می باشد. اما نکته ایی که در آن وجود دارد این است که شیب این نمودارها یکسان نیست. به عبارت دیگر برای هر دو وضعیت روابط زیر حاکم خواهد بود:

$$AV_1 = 5.48 MTTR + 34.2$$

$$AV_2 = 4.93 MTTR + 40.8$$

این نمودارهای ساده و فرمول آماده بکاری ناوگان نشان می دهد که در یک شرایط یکسان ، تلاش برای کاهش خرابی ها و یا مدت زمان تعمیرات هر یک تا چه میزان در بالا بردن سطح دسترسی ناوگان موثر بوده و پرداختن به کدامیک برای مجموعه می تواند موثرتر و مفیدتر باشد.

در این مثال عددی ساده به این واقعیت می رسیم که تفاوت بین خوابیدن یک روزه یک دستگاه لکوموتیو تا اعزام به سیر آن و بروز خرابی در سیر تا چه میزان می تواند در کاهش میزان آماده بکاری ناوگان موثر باشد.

نتیجه گیری

در واقع این تفکر که پارامترهای نگهداری ناوگان برای بهره بردار به عنوان پیمانکار و یا به عنوان کارفرما تا چه میزان مهم است و در بالابردن آماده بکاری ناوگان چه تاثیری دارد از شاخص های مهم می باشد. پاسخ به این سوال که آیا خوابیدن یک دستگاه لکوموتیو برای تعمیرات و یا افزایش خرابی در سیر کدامیک در میزان تعریف آماده بکاری ناوگان تاثیر بیشتری دارد از نتایج این نوشتار بوده است. در بهره برداری شرایط حاکم و کلان نگری نظیر تصمیمات مدیریتی و استراتژیک، حفظ جان و مال مشتری، تربیت نیروی انسانی متخصص، شرایط فرهنگی و نیز خدمات فنی از شاخص هایی هستند که در تعیین میزان سطح دسترسی ناوگان و آماده بکاری آن دخالت دارند.

در یک نگاه کلی می توان نتیجه گیری های زیر را برای رسیدن به درصد مطلوب حفظ آماده بکاری ناوگان انتظار داشت:

۱. تربیت نیروی انسانی متخصص توسط بهره بردار (اعم از کارفرما و یا پیمانکار)
 ۲. انجام به موقع تعمیرات پیشگیرانه^{۱۴} و تعمیرات اصلاحی^{۱۵}
 ۳. مدیریت صحیح و ایجاد خدمات مناسب تدارکاتی
 ۴. بهبود شرایط محیطی و بهره برداری
- محاسبات ساده نشان می دهد اختلاف عدد بدست آمده از بین هر یک از تعاریف سطح دسترسی ارائه شده با یکدیگر در حدود ۵% خواهد بود. به عبارت دیگر اختلاف میزان آماده بکاری ناوگان در سطح دسترسی ذاتی، سطح دسترسی فنی و سطح دسترسی عملیاتی تا چه میزان در اعداد ارائه شده تاثیر دارد.
- به نظر می رسد با توجه به واگذاری کلان ناوگان به بخش خصوصی در آینده ارائه تعاریف روشن و نیز یافتن روابط بین شاخص های موثر RAMS از اموری است که باید بیشتر مد نظر قرار گیرد. پاسخ به این سوال که در انتخاب شرایط بهره برداری بین خوابیدن یک لکوموتیو در روز، یا خرابی در سیر آن کدامیک و تا چه میزان بر روی آماده بکاری ناوگان موثر است، از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود که باید مد نظر کارفرمایان و پیمانکاران قرار گیرد.

مراجع

- 1- A.danek , " life cycle cost philosophy of railway vehicle",ostrava university.
- 2-D.milutinovic , " reliability and availability of rail way vehicle".
- 3-M.witt & S.herzberge," Technical-economical System Comparison of High Speed Railway Systems",
- 4-www.unife.org
- 5- محاسبه هزینه در طول عمر برای وسایل نقلیه ریلی "LCC" (محمد نوروزی)- دهمین همایش حمل و نقل ریلی