بررسی و انتخاب سیستم سیگنالینگ مناسب به روش آنتروپی – پرومتی برای راه آهن چابهار – زاهدان

رضا شریفی (مسئول مکاتبات)، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مدیریت فنآوری اطلاعات، ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
احمد میرآبادی، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
احسان ارفع، استادیار، دانشکده علوم پایه، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
E-mail: sharifi.rai@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۰۸/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲٤

چکیده

مهم ترین بخش در جهت هوشمندسازی راه آهن، سیستمهای سیگنالینگ است که با هدف ایمنی بهره برداری و بهره برداری اقتصادی، وظیفه مدیریت ترافیک و کنترل قطارها را بر عهده دارند. با توجه به هزینه های زیاد خرید، نصب، راه اندازی و نگهداری تجهیزات سیگنالینگ، انتخاب بهینه و متناسب با نیازمندیهای یک مسیر ریلی، از اتلاف منابع کشور و صرف هزینه های غیرضروری جلوگیری خواهد کرد که این امر خود ضرورت انجام پژوهش و هدف کاربردی آن را که انتخاب سیستم سیگنالینگ مناسب برای محور ریلی چابهار- زاهدان است، مشخص می کند. با استناد به ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق، ۱۰ سیستم علائمی نمایه سازی و ۱۵ شاخص تاثیرگذار در انتخاب یک سیستم سیگنالینگ تدوین و روشهای تصمیم گیری چند معیاره برای حل مساله تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. ملاحظات سیاسی، الزامات قانونی کشور و محدودیتهای تکنولوژیکی به عنوان متغیرهای مداخله گر، تاثیر مهمی در تصمیم گیری دارد نتیجه گیری‌ها صرفا بر اساس شاخصهای قابل بررسی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: راه آهن، سیگنالینگ، تصمیم گیری چند معیاره، آنتروپی – پرومتی

۱. مقدمه

حمل و نقل ریلی با توجه به مزایای ویژه و سازگاری با محیط زیست، از زیر ساختهای مهم توسعه کشور به شمار می رود. در سالهای اخیر، سفر با قطار در حال افزایش است و با اجرای طرح هدفمندی یارانه ها، تقاضای حمل بار و مسافر افزایش خواهد یافت. در این راستا وزارت راه و شهرسازی، برنامه وسیعی برای توسعه خطوط ریلی در دستور کار خود دارد و رسیدن به ۲۵ هزار کیلومتر تا افق ۱٤۰٤، از اهداف این وزارتخانه است. در حال حاضر بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر خطوط ریلی در دست ساخت وبیش از ٦٦۰۰ کیلومتردر مراحل مختلف مطالعاتی است. راه آهن چابهار- زاهدان از خطوطی است که از اواخر سال ۱۳۸۹ مراحل اجرایی آن آغاز شده است. این پروژه عظیم ریلی که بخشی از مسیر ریلی چابهار- زاهدان- بیرجند- مشهد است، چشم انداز روشنی را برای توسعه و رفع محرومیت از منطقه جنوب شرق و شرق کشور نویدمی دهد، دسترسی به بندر استراتژیک چابهار و کوتاه نمودن مسیر ترانزیت کشورهای آسیای میانه از دیگر دستاوردهای این خط خواهد بود [IRI Railway. Research Group, 2000]. با توسعه خطوط ریلی، لزوم هوشمند سازی و بکارگیری سیستمهای هوشمند ریلی در راه‌آهن بیش از پیش مشاهده می شود. سیستمهای سیگنالینگ، اصلی ترین بخش سیستم هوشمند حمل و نقل ریلی است که مدیریت ترافیک و کنترل قطار ها را بر عهده دارد. شناخت و بررسی سیستمها و همچنین انتخاب سیستم مناسب، متناسب با مسیر و ملاحظات قانونی و بهره برداری هر کشور از تصمیم‌گیریهای استراتژیک سازمان راه‌آهن به شمار می آید که بکارگیری تکنیکهای تصمیم گیری چند معیاره، کمک شایانی به این نوع تصمیم‌گیری خواهد داشت.

۱-۱ معرفی طرح راه آهن چابهار - زاهدان

این طرح در ابتدا با نام راه آهن چابهار- فهرج به طول تقریبی ٦۱۵ کیلومتر شامل ۲۷ ایستگاه، مطرح بوده و در ادامه از ایرانشهر به سمت دومک تغییر مسیر داد. به طور کلی این مسیر در حدود ٦۱۸ کیلومتر دارای ۱۳ تونل به طول ۲۵/٦ کیلومتر، ۲٦ پل و ۳۰ ایستگاه است. ایستگاههای این مسیر به ۲۱ ایستگاه سه خطه، ۷ ایستگاه چهار خطه، ۱ ایستگاه شش خطه و ۱ ایستگاه ده خطه تقسیم شده است. ظرفیت این خط در ابتدای بهره برداری یک زوج قطار مسافری و ۸ زوج قطار باری است. ساختار خط شامل ریلهای UIC60 با جوش طویل و تراورس بتنی با بستهای فنری بوده و عرض خط آن ۱٤۳۵ میلیمتر، بیشینه شیب مسیر ۱۵ در هزار وحداقل شعاع قوس ۱۰۰۰ متر است. برای سیستمهای ارتباطی این مسیر، کابل کشی فیبر نوری و بکارگیری سیستمهای انتقال سلسله مراتبی همزمان در نظر گرفته شده است. جدول ۱ مشخصات کلی مسیر را نشان می دهد [Ghamari, 2008].

عملیات احداث خط آهن شرق ایران که استانهای سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی و خراسان شمالی را به هم وصل می کند، در آذرماه سال ۱۳۸۹ همزمان در دو منطقه چابهار و زاهدان آغاز شد. این طرح شامل سه قطعه چابهار- دومک با طول ۵۷۰ کیلومتر، دومک - بیرجند با طول ٤۷۰ کیلومتر و بیرجند - مشهد است[IRI Railway. Research Group, 2006]. اتصال مستقیم ریلی به استان سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی، احداث خط میان‌بر ترانزیتی زاهدان - بیرجند - مشهد برای اتصال ریلی کشورهای محصور در خشکی آسیای میانه به آبهای آزاد جنوب از طریق کشورهای افغانستان و ترکمنستان، تحت پوشش قرار دادن مراکز جمعیتی و باری در مناطق شرقی کشور و تسریع در توسعه اقتصادی، بازرگانی، اجتماعی و امنیتی در مناطق تحت پوشش از جمله اهداف این طرح

جدول ۱. مشخصات مسیر

طول قطعه	تعداد ایستگاه	تعداد پلها	طول تونلها	تعداد تونلها	حداکثر سرعت	تعدادقطار مسافری در آغاز	تعدادقطار باری در آغاز
٦۱۸ کیلومتر	۳۰	۲٦	٦/۲۵ کیلومتر	۱۳	۱٦۰ کیلومتر	۱ رام در روز	۸ رام در روز

شکل ۱. نقشه راه آهن چابهار – زاهدان [IRI Railway, 2011]

است. با اجرای این طرح ده هزار شغل در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی و صنایع ایجاد می‌شود همشهری [Hamshahri Online Website, 2010].

۱-۲ سیستم سیگنالینگ

سیگنالینگ راه آهن سیستمی است که برای کنترل ایمن ترافیک و جلوگیری از برخورد قطارها مورد استفاده قرار می گیرد. تجهیزاتی که در سیستم سیگنالینگ استفاده می شوند به سه بخش داخلی (مرکز)، کنارخط (محوطه) و داخل قطار تقسیم می‌شوند. در بخش داخلی (مرکز) تجهیزات مربوط به اینترلاکینگ، کنترل محلی و فرماندهی، سیستمهای مدیریت ترافیک شبکه و ... قرار گرفته است. در محوطه تجهیزاتی مانند ماشین سوزن، مدار خط، سیگنال، محور شمار، بالیز و سیستم بلاک و در داخل کابین تجهیزات مرتبط با سیستمهای ATP[۱]، ATO[۲]، ATC[۳]، AVL[۴] و... [Sharifi, 2008] ، نصب و مورد بهره برداری قرار می گیرند. هدف عمده از تعریف سیگنالینگ بلاک، حفظ فاصله ایمنی بین قطارهای متوالی و همچنین متقابل است [Mirabadi, 2006]. در شکل ۲ این تجهیزات و مقایسه سیستمهای بلاک مشاهده می شود.

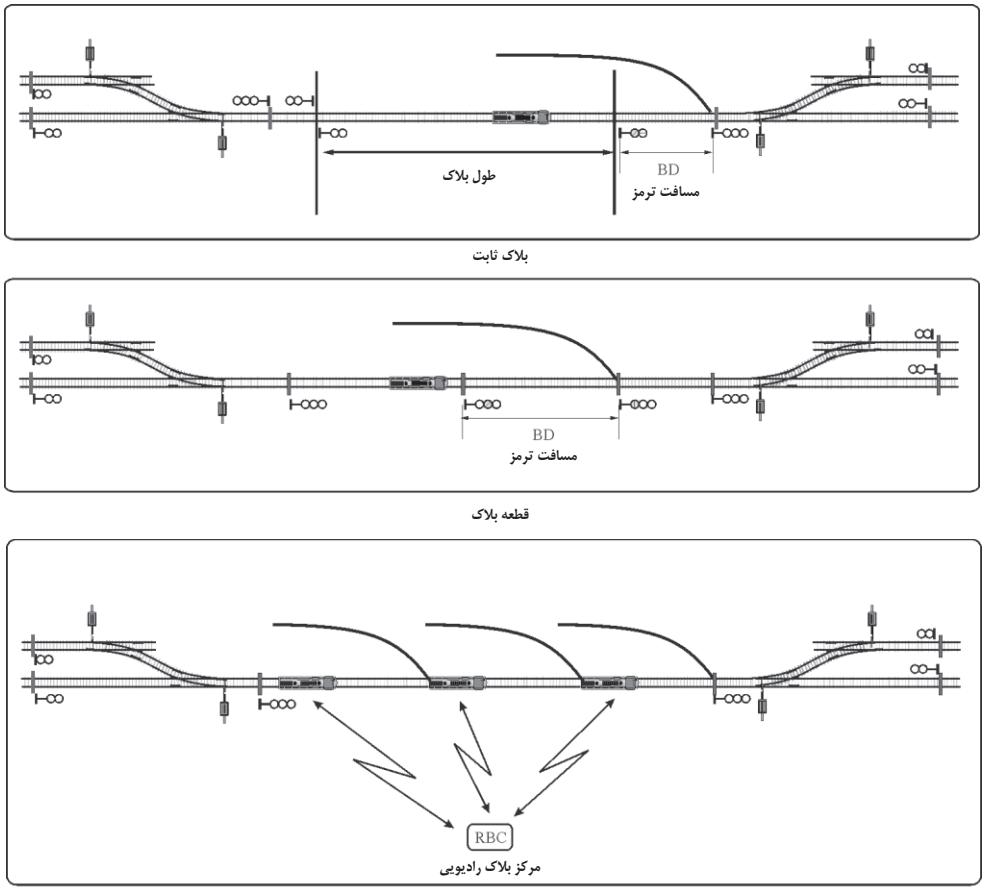
در حال حاضر در راه آهن کشور از سه نوع کنترل مسیر و ترافیک شامل کنترل محلی (LC)[۵]، کنترل از راه دور (RC)[۶] و کنترل متمرکز ترافیک (CTC)[۷] [IRI Railway, Communications and Electronic Signals Traninig Group, 2008] در بخش سیر و حرکت استفاده می شود.

۲. نمایه سازی سیستمهای سیگنالینگ

در این تحقیق ۱۰ سیستم سیگنالینگ برای بررسی و امکان سنجی پیاده سازی در راه آهن چابهار– زاهدان نمایه سازی شد. این سیستمها با نامهای S_1 تا S_{10} در جدول ۲ معرفی شده اند.

۳. تصمیم گیری چند معیاره[۸]

در این نوع تصمیم گیریها به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده شود. مدلهای تصمیم گیری به دو دسته عمده تقسیم می شوند: مدلهای چند هدفه (MODM)[۹] و مدلهای چند شاخصه (MADM)[۱۰] مدلهای چند هدفه به منظور طراحی بکار گرفته می شوند، در حالی که مدلهای چند شاخصه به منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می گردند [Asgharpour, 2000].



شکل۲. تجهیزات علائم الکتریکی و مقایسه سیستمهای بلاک

جدول ۲. نمایه سازی سیستمهای سیگنالینگ

سیستم	مفهوم	سیستم	مفهوم
S_0	بدون علائم- جواز راه آزاد یا میله راهنما	S_5	سیستم S2 + استاندارد ETCS سطح ۱ ETCS:European Train Control System
S_1	(مدارخط ، سیگنال و..) + بلاک ثابت	S_6	ETCS سطح ۲ دراین سطح برپایه ارتباطات رادیویی با مرکز ، جواز حرکت و نمای سیگنال در داخل کابین نمایش داده می شود[Li,2011].
S_2	(مدارخط ، سیگنال و..) + بلاک ثابت قطعه بندی شده (قطعه بلاک)	S_7	ETCS سطح ۳ در این سطح باارتباطات رادیویی بین قطارها و مرکز و بکارگیری بلاک متحرک جواز حرکت و اطلاعات بین قطار ها تبادل می شود.
S_3	سیستم S_2 + حفاظت خودکار قطار (ATP) ATP: Automatic Train Protection	S_8	نوع دیگری از S_7 است که مفهوم بلاک متحرک در آن وجود ندارد و مناسب برای خطوط کم ترافیک است.(ERTMS منطقه ای) [Frosig, 2009]
S_4	سیستم s1 + استاندارد ETCS سطح ۱: در سطح ۱ یورو بالیز ها جواز حرکت و داده های مسیر را به کامپیوتر داخل کابین و همچنین سیگنال کنارخط منتقل می کند.	S_9	CBTC سطوح مختلف اتوماسیون راه آهن را در گروه های عملیاتی ATP ، ATO و ATS تامین می کند[Ning,2010]. CBTC: Communication based Train Control ATO: Automatic Train Operation ATS: Automatic Train Supervision

فرآیند تصمیم گیری چندشاخصه شامل مراحلی است که در شکل ٤ نشان داده شده است [Javidi Sabaghian, Sharifi and Rajabi Mashadi, 2000].

a. روش آنتروپی

در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره و بخصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، داشتن و دانستن اوزان نسبی شاخصهای موجود، گام مؤثری در فرایند حل مسئله بوده و مورد نیاز است. از جمله روشهای تعیین وزنهای شاخصها، می‌توان به روشهای استفاده از پاسخ خبرگان، روش لینمپ، روش کمترین مجذورات، تکنیک بردار ویژه، آنتروپی شانون و... اشاره کرد. در این پژوهش برای وزن دهی به شاخصها، از روش آنتروپی شانون به عنوان یکی از معروف‌ترین روشهای محاسبه اوزان شاخصها [Meng ، 2008]، استفاده شده است. آنتروپی در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (p_i) به گونه ای که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی تیزتر باشد. این عدم اطمینان به صورت زیر تشریح می شود [Asgharpour, 2010] (ابتدا ارزشی را با نماد E محاسبه می کنیم):

$$E = -K \sum_{i=1}^{n} [p_i . \mathrm{Ln}\, p_i] \quad (1) \qquad (1$$

به طوری که K یک ثابت مثبت است به منظور تأمین $1 \geq E \geq 0$ E از توزیع احتمال p_i بر اساس مکانیزم آماری محاسبه شده و مقدار آن در صورت تساوی p_i ها با یکدیگر بیشینه مقدار ممکن خواهد بود.

$$-K \sum_{i=1}^{n} p_i . \mathrm{Ln}\, p_i = -k\left\{\left(\mathrm{Ln}\frac{1}{n}\right)\left(\frac{n}{n}\right)\right\} = -kLn\frac{1}{n} \quad (2$$

یک ماتریس تصمیم گیری از یک مدل MADM حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن بکاررود. یک ماتریس تصمیم گیری را به صورت زیر در نظر می گیریم.

جدول ۳. ماتریس تصمیم گیری

	X_1	X_2	.	.	X_n
A_1	r_{11}	r_{12}	.	.	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	.	.	r_{2n}
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
A_m	r_{m1}	r_{m2}	.	.	r_{mn}

در ماتریس فوق A_i گزینه هایی است که می خواهیم رتبه بندی کنیم. X_j شاخصهایی است که گزینه ها را بر اساس آنها ارزیابی می کنیم. r_{ij} رزش هر شاخص متناسب با هر یک از گزینه ها است. محتوی اطلاعاتی از این ماتریس ابتدا به صورت (P_{ij}) زیر می‌باشد.

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}};\ \forall i, j \quad (3$$

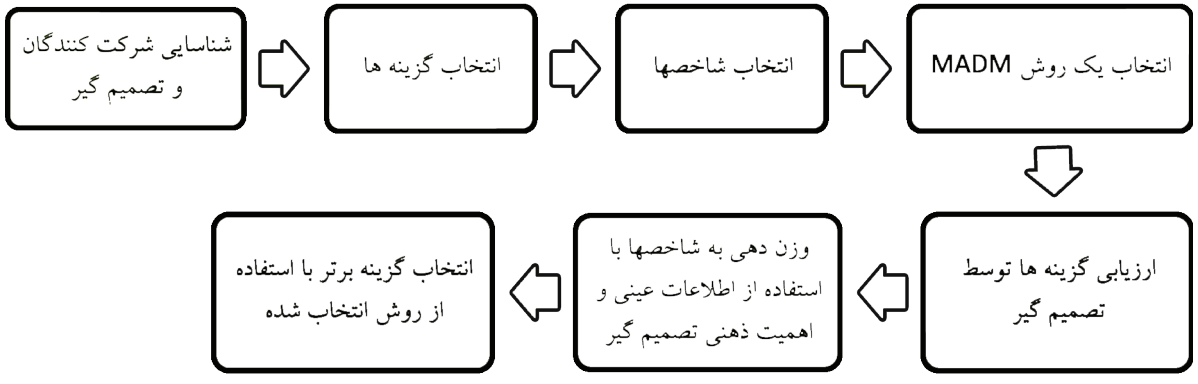
و برای E_j از مجموعه p_{ij} به ازای هر مشخصه خواهیم داشت :

$$E_j = -K \sum_{i=1}^{m} [p_{ij} . \mathrm{Ln}\, p_{ij}];\ \forall j \quad (4$$

به طوری که $k=1/(\mathrm{Ln}\ m)$ است.

اینک عدم اطمینان یا درجه انحراف (d_j) از اطلاعات ایجاد شده به ازای شاخص jام بدین قرار است :

$$d_j = (1 - E_j);\ \forall j^{\circ} \quad (5$$



شکل۳. فرایند تصمیم گیری چند معیاره [Javidi Sabaghian et.al, 2000]

و سرانجام برای اوزان (w_j) از شاخصهای موجود خواهیم داشت :

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j};\ \forall j \quad (۶$$

چنانچه DM از قبل دارای یک قضاوت ذهنی (λ_j) به عنوان اهمیت نسبی برای شاخص **j**ام باشد، آنگاه می توان w_j محاسبه شده از طریق آنتروپی را به صورت زیر تعدیل کرد [Asgha- pour, 2000]

$$w'_j = \frac{\lambda_j . w_j}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j . w_j};\ \forall j \quad (۷$$

b. روش مجموع ساده وزین(SAW)[۱۱]

این روش یکی از قدیمی ترین روشهای بکارگیری شده در MADM است، به طوری که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت از شاخص ها) برای آن، مناسب ترین گزینه (A^*) بصورت ذیل محاسبه می شود:

$$A^* = \{A_i | \max \frac{\sum_j w_j . r_{ij}}{\sum_j w_j}\} \quad (۸$$

و چنانچه $\sum_j w_j = 1$ باشد، داریم:

$$A^* = \{A_i | \max \sum_j w_j . r_{ij}\} \quad (۹$$

این روش نیاز به مقیاسهای مشابه یا اندازه‌گیریهای "بی مقیاس شده" دارد که بتوان آنها را با یکدیگر مقایسه کرد [Asgha- pour, 2000].

c. روش PROMETHEE[۱۲]

در اینجا به طور خلاصه چارچوب مدل PROMETHEE را شرح می دهیم. فرض کنید A مجموعه ای از گزینه هاست که باید از میان آنها انتخاب صورت گیرد. با فرض وجود K شاخص موثر در تصمیم گیری، برای هر گزینه $a \in A$، مقدار $f_j(a)$ نشان دهنده ارزش شاخص **j**ام در گزینه a است [Asgharizadeh, et.al, 2007]. رتبه بندی در سه گام انجام می شود:

گام اول: تابع ترجیح P_j به هر یک از شاخصهای **j** اختصاص داده می شود. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج گزینه محاسبه می شود. این مقدار بین صفر و یک متغیر است. اگر رابطه $f_j(a)=f_j(b)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ برابر صفر می شود؛ و با افزایش $f_j(b)-f_j(a)$ این مقدار افزایش می یابد و هنگامی که اختلاف به‌اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به ۱ می رسد. شکلهای مختلفی را می توان برای تابع P_j فرض کرد که به وضعیت مدل سازی شاخص **j**ام بستگی دارد. روش PROMETHEE شش نوع تابع ترجیح را به تصمیم گیرنده پیشنهاد می کند. البته برای هر شاخص f_j یک عامل وزن یعنی w_j نیز در نظر گرفته می شود.

گام دوم : میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ به این ترتیب محاسبه می شود

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} w_j p_j(a,b) \quad (۱۰$$

$$(\sum_{j=1}^{k} w_j = 1)$$

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a بر سایر گزینه ها، جریان خروجی محاسبه می شود:

(جریان رتبه بندی مثبت یا جریان خروجی)

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (۱۱$$

این جریان نشان می دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه ها اولویت دارد. این جریان در حقیقت قدرت گزینه a است. بزرگ‌ترین $\emptyset(a)$، به معنای بهترین گزینه است. میزان ترجیح سایر گزینه ها بر گزینه a که جریان ورودی نامیده می شود، حاصل محاسبه زیر است:

(جریان رتبه بندی منفی یا جریان ورودی)

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (۱۲$$

این جریان نشان می دهد که سایر گزینه ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت دارند. این جریان در حقیقت ضعف گزینه a است.

کوچک ترین $\phi^-(a)$ نشان دهنده بهترین گزینه است. بنابراین با داشتن و بررسی جداگانه دو جریان ϕ^+ و ϕ^- می توان یک رتبه‌بندی جزئی را انجام داد. برای انجام رتبه بندی کامل گزینه‌ها باید جریان خالص رتبه بندی را برای هر گزینه تعریف کرد.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (۱۳$$

مدلهای مختلفی در سالهای اخیر برای انتخاب بهترین روش ارائه شده است که در این مطالعات روش PROMETHEE، همواره به عنوان یکی از بهترین روشهای تصمیم گیری شناخته شده است [Ashgharizadeh and Nasrollahi, 2007].

٤. پیشینه تحقیق

٤-١ پژوهشهای داخلی

میرآبادی و همکاران (١٣٨٨) در پژوهشی با عنوان "بهینه سازی انتخاب سیستم سیگنالینگ بر مبنای یک روش تصمیم گیری فازی" جهت ارتقاء سیستم سیگنالینگ محور تهران – مشهد، ٥ سیستم بلاک را به عنوان بخشی از یک سیستم سیگنالینگ مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. این سیستمها شامل بلاک ثابت دو نمایی، بلاک ثابت سه نمایی، بلاک نیمه متحرک، بلاک متحرک مکانی و بلاک متحرک متغیر است. نتیجه این پژوهش انتخاب "بلاک متحرک مکانی" برای ارتقاء سیستم سیگنالینگ این محور بود. در این تحقیق از استانداردهای تدوین شده با نامگذاری مشخص و معروف جهان استفاده نشده است.[Mirabadi, Lesan and Gholamzadeh Jeddi, 2009]

رنگین کمان (١٣٨٣) در مقاله ای با عنوان "استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در انتخاب سیستم علائم الکتریکی" به معرفی روش AHP پرداخته و برای سه سیستم فرضی A، B و C فقط ٤ معیار را مورد ارزیابی قرار داده است. محقق در بخشی از تحقیق خود چنین نوشته است: "در اینجا چون هدف تنها معرفی روش بوده است ، تنها ٤ معیار قیمت، سوابق تولیدکننده، طول عمر وهزینه بهره برداری مد نظر قرار گرفته، آشکار است که در مورد واقعی می باید از تمامی معیارها جهت انتخاب بهینه استفاده کرد. بعد از آن نوبت به انتخاب گزینه ها می‌رسد. در این مقاله چون حل یک مثال فرضی مطرح است ازگزینه خاصی نام برده نمی شود، مثلاً ممکن است بعداز برگزاری مناقصه سه شرکت بعد از غربال گری اولیه انتخاب شده اند به عنوان سه گزینه مطرح اند که ما آنها را به نامهای A، B وC می خوانیم" [Ranginkaman, 2004].

با مراجعه به سایتهای مختلف از جمله پژوهشگاه علوم و فنآوری اطلاعات (IRANDOC) و مرجع دانش (CIVILICA) و همچنین مستندات موجود در کتابخانه و آرشیو مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن به غیر از دو مورد اشاره شده، مورد دیگری یافت نشد. اما در خصوص بکارگیری روشهای تصمیم گیری چند معیاره درتحقیقات انجام شده درخصوص موضوعات متفاوت با موضوع تحقیق، موارد زیادی وجود دارد که برای نمونه به مورد زیر اشاره می شود.

جاویدی صباغیان و همکاران (١٣٨٩) در پژوهشی به نام "مقایسه دو روش تعیین وزن شاخصها در تصمیم گیری چند شاخصه در اولویت بندی و انتخاب ساختگاه سد" به مقایسه دو روش وزن‌دهی پرداخته که در نهایت روش آنتروپی را مناسب تر ارزیابی کردند.[Javidi Sabaghian, et.al., 2000]

٤-٢ پژوهشهای خارجی

در گام نخست برای بررسی پژوهشهای خارجی، جستجویی کلی در فضای مجازی صورت گرفت که مورد خاصی مشاهده نشد. در گام بعدی با ارسال نامه ای از اداره کل امور بین الملل راه‌آهن به اتحادیه بین المللی راه آهنها (UIC) این سوال در مورد مطالعات انجام شده در این زمینه مطرح گردید. UIC در پاسخ به این سوال می گوید: مطالعاتی که در ارتباط با زمینه ها و اهداف تعیین شده اتحادیه نباشد انجام نمی دهد و همچنین در تصمیم‌گیری های کشورها در برنامه های عملیاتی و تجاری دخالت نمی کند و فقط اطلاعات جمع آوری شده را میان اعضا رد و بدل می کند.

در گام نهایی، با مراجعه به پایگاههای اطلاعاتی مختلف از جمله Web of Science ,Google Scholar Scopus,SciVers و.... موردی که دقیقا مشابه مورد تحقیق باشد یافت نشد. اما بعضی ازمقالات و مطالعاتی که با موضوعات تحقیق مرتبط بود مورد استفاده قرار گرفت.

در ارتباط با بکارگیری تکنیکهای MADM ، با توجه به استفاده از روش آنتروپی برای وزن دهی و روش PROMETHEE برای رتبه بندی، به نمونه هایی از جدیدترین تحقیقاتی که با این روشها صورت گرفته است اشاره می شود.

آقاجانی بزازی و همکاران در پژوهشی به زبان انگلیسی که در SciVers نمایه شده است، با عنوان " استخراج اولویت‌بندی تجهیزات معادن روباز از طریق روش MADM و.." از روش

آنتروپی برای وزن دهی به شاخصها استفاده کرده اند. [Aghaj -ni Bazzaz et al., 2011]

منگ از دانشگاه بیهانگ چین در پژوهشی با نام "روش ارزیابی آنتروپی نسبی برای MADM" از روش آنتروپی در کنار روش TOPSYS استفاده کرده است [Meng et.al., 2010].

یونگ هونگ (۲۰۰۸) از دانشگاه تیانجین چین در تحقیقی با نام "انتخاب حالت بهره برداری برای ایستگاه پمپاژ ذخیره انرژی با استفاده از روش PROMETHEE و وزن دهی آنتروپی" از روشهای فوق برای وزن دهی و رتبه بندی استفاده کرده است. [Jong, et al. 2010]

۵. روش تحقیق و محاسبات

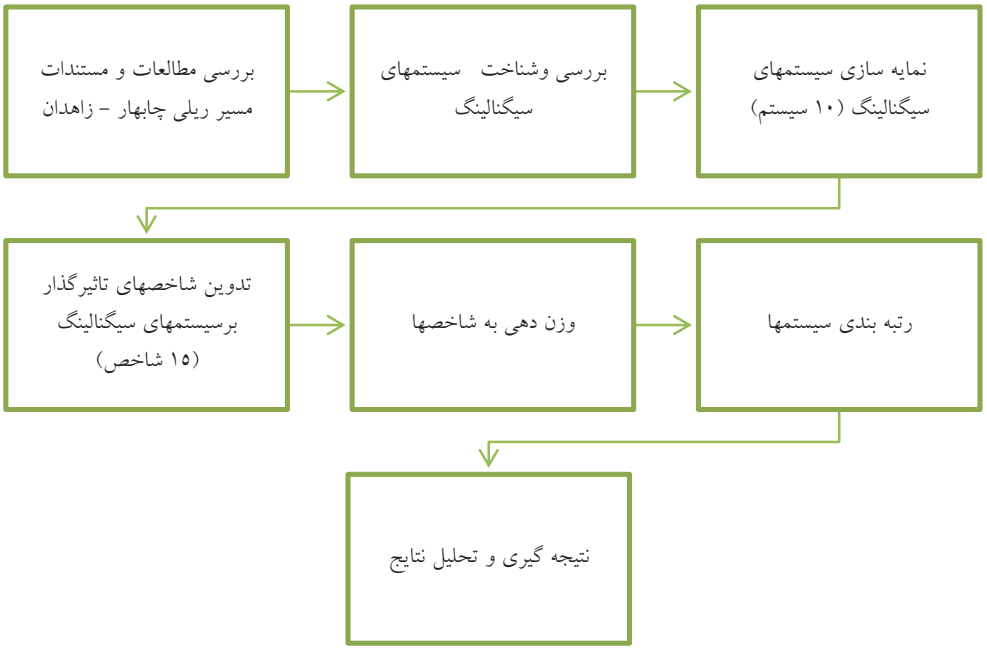
۵-۱ روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع تحقیقات کاربردی بوده و از روش تحقیق توصیفی – زمینه یابی به منظور بررسی و انتخاب سیستم سیگنالینگ مناسب برای راه آهن زاهدان – چابهار بر اساس شاخصهای تأثیرگذار بر سیستمهای سیگنالینگ، استفاده کرده است. در شکل ٤ مراحل اجرایی تحقیق با توجه به روش تحقیق از مطالعات میدانی و کتابخانه ای گرفته تا تبیین و تدوین شاخصها و درنهایت رسیدن به هدف تحقیق که پیشنهاد یک سیستم مناسب سیگنالینگ برای راه آهن چابهار – زاهدان است، مشاهده می شود.

۵-۲ متغیرهای مورد بررسی

در این تحقیق ۱۵ متغیر به عنوان شاخصهای موثر در انتخاب سیستم سیگنالینگ (علائم الکتریکی) براساس مطالعات و بررسیهای انجام شده تدوین گردید که در مدل مفهومی شکل ۵ مشاهده می شوند.

شکل۵. شاخصها



شکل٤. مراحل اجرای تحقیق

برای انتخاب مناسب باید مشخصه های مختلف و درخوری در نظر گرفته شود تابتوان مقایسه ای جامع و صحیح را بین گزینه ها انجام داد هرچند در برخورد اول به پارامترهایی چون سرفاصله و ظرفیت توجه می شود، اما وجود پارامترهای کیفی و کمی دیگر تاثیرات بسزایی در انتخاب سیستم مناسب ایفا می کنند [Mirabadi, Lesani and Gholamzaeh Jeddi, 2009].

از مهم ترین شاخصهای تاثیر گذار می توان به ایمنی اشاره کرد [Jong, 2010] که در این تحقیق به صورت کیفی بر اساس نظر افراد خبره ارزش گذاری شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در این تحقیق متغیرهای مداخله گر مثل مسائل سیاسی یا الزامات قانونی کشور که البته اهمیت فراوانی دارند مورد مطالعه قرار نگرفته و در مدل تصمیم گیری چند معیاره وارد نشده است. سیستمهای مورد نظر از جنبه فنی و با توجه به شاخصهای فوق مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته اند.

۵-۳ تشکیل ماتریس تصمیم گیری

در این بخش، ماتریس تصمیم گیری با استفاده از اطلاعات استخراج شده از پرسشنامه، ۱۵ شاخص تصمیم گیری(X_1 تا X_n) و سیستمهای دهگانه علائمی (S_0 تا S_9 یا همان A_1 تا A_n در ماتریس تصمیم گیری) به شرح جدول ٤ تشکیل می گردد. در این ماتریس مقادیر r_{ij} براساس نظرات افراد خبره (رؤسای ادارات ارتباطات و علائم الکتریکی راه آهن کشور) که به صورت کیفی به هریک از شاخصها امتیاز دهی نموده اند، محاسبه و پس از میانگین گیری در جدول وارد شده است.

۵-٤ محاسبه وزن شاخصها به روش آنتروپی

با توجه به اهمیت و مزایای روش آنتروپی [Rezaie, et.al., 2008] همان طور که در بخش ۱-۳ اشاره شد، ازاین روش برای محاسبه وزن شاخصها استفاده شده است. مراحل مختلف این روش شامل محاسبه p_{ij}، E_j، K و d_j در محیط اکسل انجام و در نهایت با استفاده از فرمول w_j مقادیر آن را محاسبه کرده سپس با اعمال قضاوتهای ذهنی افراد خبره مقادیر تعدیل شده اوزان (w'_j) به دست می آیند که این مقادیر در جدول ۵ قابل مشاهده است.

۵-۵ اولویت بندی گزینه ها به روش SAW

با استفاده از روش SAW که قبلا توضیح داده شد، مناسب ترین گزینه که همان سیستم پیشنهادی برای راه آهن زاهدان – چابهار است محاسبه می شود. ابتدا ماتریس تصمیم گیری را نرمال سازی کرده، سپس با استفاده از اوزان تعدیل شده و فرمول مربوط به این

جدول٤. ماتریس تصمیم گیری

	ایمنی	قابلیت اطمینان	قابلیت تعمیرپذیری	میزان در دسترس بودن (امکان تهیه)	قابلیت توسعه	سازگاری با محیط زیست	قابلیت اتصال به سیستم موجود	بومی بودن	استاندارد بودن	جدید بودن تکنولوژی	سرفاصله	ظرفیت خط در ساعت	حداکثر سرعت	هزینه خرید نصب و راه‌اندازی	هزینه نگهداری
S۰	۲	۱/۸۵	۵/٤	۷/۷۵	٤	٤/۷۵	۵/۱	۷/٦	۲/٤۵	۰/۷۵	۳۰	۲	۸۰	۰/۸۵	۱/٦
S۱	۵/۱	۵/۰۵	٦/٦	٦/۸۵	۵/۷	٦/۰۵	٦/٦۵	۷/۱	٤/۵	۳/۰۵	۱۵	٤	۱٦۰	٤/۵	۵/۳۵
S۲	٦/۱	۵/۹	٦/٦	۷	۵/۹	٦/۲۵	٦/۸	۷/۳	۵/٦	۳/۹	٦/۷	۹	۱٦۰	٤/۸۵	۵/۳۵
S۳	٦/۹	٦/۸	٦/٦	٦/٤	٦/۳	٦/۵۵	٦/۰۵	٦	٦/۵۵	٦	۵/۵	۱۱	۱٦۰	۵/۸	۵/۵
S٤	۷/۸	۷/۵	٦/٦	٦/۷۵	٦/٦	٦/۹۵	٦/۱۵	۵/۱	۷/۳	٦/۹	۱۵	٤	۱٦۰	٦/۰۵	۵/۸
S۵	۸	۷/۷	٦/٤	٦/۸۵	٦/٦	۷/۰۵	٦/۱۵	۵/٤	۷/۵	۷/۰۵	٦	۱۰	۱٦۰	٦/۲	۵/۷
S٦	۸/۱	۷/۸	٦/٦	٦/٦۵	۷/۲	۷/۳	۵/۳۵	۳/۸	۷/۷	۷/۸۵	۳	۲۰	۲۵۰	٦/۷۵	۵/٦۵
S۷	۷/۹	۷/۵۵	٦/۳	٦	۷/۱	۷/٤	۵/۱	۳/٤	۷/۸۵	۸/۲۵	۲	۳۰	۲۵۰	۷/۲۵	۵/۸
S۸	۸	۷/۵	٦/٤	۵/۸۵	۷/۲	۷/۵	۵/۱	۳/٦	۷/۷۵	۸/۳	۱۰	٦	۲۵۰	٦/۷	۵/۷
S۹	۸/۱	۷/٤۵	٦/۲	۵/٦۵	٦/۸	۷/۵۵	۵/۰۵	۳/٤	۷/۹	۸/٤۵	۲	۳۰	۲۵۰	۷/۲	٦/۱
مجموع	٦۸	٦۵/۱	٦٤	٦۵/۷۵	٦۳	٦۷/٤	۵۷/۵	۵۲	٦۵/۱	٦۰/۵	۹۵	۱۲٦	۱۸۸۰	۵٦/۲	۵۲/٦

جدول۵. رتبه بندی اهمیت هرشاخص

ردیف	وزن	رتبه	شاخص
W'۱	۰/۰٦۵	٤	ایمنی
W'۲	۰/۰٦٤	۵	قابلیت اطمینان
W'۳	۰/۰۰۲	۱۵	قابلیت تعمیرپذیری
W'٤	۰/۰۰۵	۱٤	میزان در دسترس بودن (امکان تهیه)
W'۵	۰/۰۱۲	۱۱	قابلیت توسعه
W'٦	۰/۰۰۸	۱۳	سازگاری با محیط زیست
W'۷	۰/۰۰۸	۱۲	قابلیت اتصال به سیستم موجود
W'۸	۰/۰٤۲	۸	بومی بودن
W'۹	۰/۰۵۳	٦	استاندارد بودن
W'۱۰	۰/۱۲۷	۳	جدید بودن تکنولوژی
W'۱۱	۰/۱٦۷	۲	سرفاصله
W'۱۲	۰/۳۳٦	۱	ظرفیت خط
W'۱۳	۰/۰۵۱	۷	حداکثر سرعت
W'۱٤	۰/۰۳۸	۹	هزینه خرید نصب و راه اندازی
W'۱۵	۰/۰۲۱	۱۰	هزینه نگهداری

روش، رتبه بندی می کنیم. رتبه بندی حاصل از محاسبات انجام شده، در جدول ٦ مشاهده می شود.

جدول٦. رتبه بندی سیستمها به روش SAW

گزینه ها	عدد تصمیم	رتبه بندی
S۰	۰/۲۳٤۱۰۲٦۳	۱۰
S۱	۰/۳٤۲۱٦٤۳	۹
S۲	۰/٤٦۲٤۵۰۸۹	۷
S۳	۰/۵۳۹۱۲۸۷۸	۵
S٤	۰/٤٤۸۸٦۲۹۷	۸
S۵	۰/۵۵۸۲۵۱۰۸	٤
S٦	۰/۷۵۰۱۵۹٦٤	۳
S۷	۰/۹۱۷۷۳۹۸۲	۲
S۸	۰/۵۱٦۹۸۱٤۹	٦
S۹	۰/۹۲۰۷۵۸۵۱	۱

۵-٦ اولویت بندی گزینه ها به روش PROMETHEE

پس از اجرای برنامه D-Sight نسخه ٤/۲/۳، ابتدا تعداد گزینه ها و سپس شاخصها تعیین می شوند. در مرحله بعد مقادیر ماتریس تصمیم گیری وارد می شوند. حال با استفاده از ابزارهای این برنامه نیازهای خود را در جهت پاسخ به مسئله برطرف می کنیم. پس از انجام محاسبات، خروجی مورد نیاز که همان رتبه بندی سیستم های دهگانه است به شرح زیر گزارش می گردد.

جدول ۷. رتبه بندی سیستمها به روش PROMETHEE

سیستم	عملکرد	رتبه بندی
S۰	Action ۱	۱۰
S۱	Action ۲	۹
S۲	Action ۳	۸
S۳	Action ٤	٦
S٤	Action ۵	۷
S۵	Action ٦	۵
S٦	Action ۷	۳
S۷	Action ۸	۲
S۸	Action ۹	٤
S۹	Action ۱۰	۱

همان طور که در جداول فوق مشاهده می شود، نتایج محاسبات با این دو روش، به انتخاب سیستم S۹ به عنوان مناسب ترین گزینه منجر شد. اما در حال حاضر با توجه به محدودیتهای تکنولوژیکی، تحریمها و عدم وجود نمونه اجرایی در خطوط اصلی راه آهنها، پیاده سازی این سیستم قابل توجیه نیست. برای رفع این مشکل، نظر به اینکه همه سیستمهای مورد ارزیابی، سرفاصله، ظرفیت خط و حداکثر سرعت مورد نیاز برای مسیر ریلی چابهار- زاهدان را تامین می کنند، اثر این شاخصها برای همه سیستمها یکسان در نظر گرفته شده و شاخصهایی مثل سادگی در انتقال دانش (آموزش)، میزان بکارگیری فنآوری در گذشته و میزان مصرف انرژی الکتریکی به ماتریس تصمیم اضافه شد. پس از انجام محاسبات نتایج به شرح جدول ۸ به دست آمد:.

جدول ۸. رتبه بندی بر اساس ۱۸ شاخص تصمیم گیری

گزینه ها	عدد تصمیم	رتبه بندی
S۰	۰/٦۰۵۷	۸
S۱	۰/٦۷۲۲	۵
S۲	۰/٦٦۱۷	٦
S۳	۰/۷	۱
S٤	۰/٦۷۹٤	۳
S۵	۰/۷۰۹۵	۲
S٦	۰/٦۷۷۸	٤
S۷	۰/۵٦۰٦	۱۰
S۸	۰/۵۷٦۸	۹
S۹	۰/٦۱۱۳	۷

همان طور که مشاهده می شود رتبه اول به سیستم S۳ اختصاص یافته است که با توجه به شرائط و امکانات موجود در کشور و توانمندی شرکتهای داخلی قابل نصب و راه اندازی است.

٦. نتیجه گیری و جمع بندی

در این تحقیق سیستمهای سیگنالینگ به عنوان مهم ترین بخش در راه هوشمند سازی راه آهن مورد بررسی قرار گرفت و با ترکیب سیستمهای مختلف، ۱۰ سیستم سیگنالینگ نمایه شد. همچنین با برقراری ارتباط با اتحادیه بین المللی راه آهنها (UIC) تعداد ۱۵ شاخص تاثیرگذار بر انتخاب یک سیستم سیگنالینگ تدوین شد. به کمک روش آنتروپی وزن شاخصها مشخص شد و در نهایت با استفاده از روشهای SAW و PROMETHEE رتبه بندی صورت گرفت که در ابتدا سیستم S۹ که سیستم کنترل قطار برپایه ارتباطات است، رتبه نخست را به دست آورد، ولی با توجه به ۰۲٥٤محدودیتهای موجود و عدم امکان پیاده سازی این سیستم در حال حاضر، بررسی مجدد تحقیق در دستور کار قرار گرفت. نظر به اینکه همه سیستمهای مورد ارزیابی، سرفاصله، ظرفیت خط و حداکثر سرعت مورد نیاز را تامین می کنند، بنابراین اثر این شاخصها را برای همه سیستمها یکسان در نظر گرفته و در نهایت پس از انجام محاسبات سیستم S۳ که ترکیبی از سیستم سیگنالینگ متداول، سیستم بلاک قطعه بندی شده و ATP است مطرح و برای مسیر راه آهن چابهار – زاهدان پیشنهاد شد.

بعضی متغیرهای مداخله گر مثل ملاحظات سیاسی کشور، تغییر قوانین، الزامات بهره برداری، تحریمها، محدودیتهای تکنولوژیکی، مباحث اقتصادی و اتفاقات غیرقابل پیش بینی فراتر از مسائل فنی، تصمیم گیری را تحت الشعاع قرار می دهد که مدیر ارشد باید با توجه به شرائط و مقتضیات زمانی تصمیم نهایی را اتخاذ کند. قبل از تصمیم گیری در این سطح، باید به عوامل تاثیرگذار سایر قسمتهای راه آهن شامل خط، ناوگان، ساختمان وتأسیسات، بهره برداری و همچنین مباحث اقتصادی بر سیستمهای علائم الکتریکی توجه شود و با برگزاری جلساتی با حضور صاحب نظران بخشهای مختلف راه آهن از جمله ایمنی و نظارت بر شبکه، فناوری اطلاعات و بخشهای فوق الذکر الزامات و شرائط بهره برداری، هماهنگی با کل شبکه، مشخصات مسیر، مشخصات ناوگان و آلات ناقله و.... مورد بررسی قرار گیرد و نتایج جهت اعمال به مدل تصمیم گیری ارائه شود.

در پایان، ذکر این نکته ضروریست که انتخاب و تصمیم گیری از مهم ترین وظایف مدیران بوده و باید با اشراف به همه جوانب از تکنیکها و روشهای علمی در جهت بهبود فرایند تصمیم گیری استفاده شود. در این تحقیق که با حمایت مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن صورت گرفته است سعی شده تا با بررسی شاخصهای قابل ارزیابی، سیستمی مناسب برای راه آهن استراتژیک چابهار – زاهدان پیشنهاد شود.

۷. پی نوشتها

1- Automatic Train Protection
2- Automatic Train Operating
3- Automatic Train Control
4- Automatic Vehicle Location
5- Local Control
6- Remote Control
7- Centralized Traffic Control
8- Multiple Criteria Decision Making
9- Multiple Objective Decision Making
10- Multiple Attribute Decision Making
11- Simple – Additive – Weighting
12- Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations

۸. مراجع

– اصغرپور، محمد جواد(۱۳۸۹) "تصمیم گیری های چند معیاره"، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ص. ۲۰۰–۱۹۱.

– اصغری زاده، عزت ا... . و نصراللهی، مهدی(۱۳۸٦) "مقایسه وزن دهی آنتروپی و فازی در بکارگیری PROMETHEE برای تعیین قطعه سازان برتر سایپا"، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت، ص ۱۰.

– ایران. وزارت راه و ترابری. گروه مطالعات (۱۳۸۹) "نگاهی

به بخشی از نقشه راه توسعه محور ترانزیت و حمل و نقل شرق کشور"، وزارت راه و ترابری. ص ۵- ٦

- جاویدی صباغیان، رضا، شریفی، محمد باقر و رجبی مشهدی، حبیب (۱۳۸۹) " مقایسه دو روش تعیین وزن شاخصها در تصمیم گیری چند شاخصه در اولویت بندی و انتخاب ساختگاه سد"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ص. ۸

- راه آهن جمهوری اسلامی ایران، گروه آموزش ارتباطات و علائم الکتریکی (۱۳۸۷) " مبانی علائم الکتریکی راه آهن"، مرکز آموزش علمی کاربردی راه آهن، ص.۲۵۳

- راه آهن جمهوری اسلامی ایران. گروه روسازی (۱۳۸٦) "مطالعات مرحله دوم روسازی راه آهن محور چابهار - فهرج مشخصات فنی تجهیزات علائم الکتریکی"، مهندسین مشاور راهیاب بهینه. ص. ٦و۱۰۹

- رضایی، علی، اصغرزاده، سید محمد و فتاحی اردکانی، محسن(۱۳۸۷) " روشهای تصمیم گیری چند هدفی: شبیه سازی برای مقایسه روشهای انتخاب"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. ص. ۵

- رنگین کمان، کیوان (۱۳۸۳) "استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP در انتخاب سیستم علائم الکتریکی"، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، ص. ۱۲

- سایت راه آهن (www.rai.ir) . نقشه راه آهن

- شریفی، رضا (۱۳۸۷) "مقاله مدیریت ترافیک راه آهن شمال با یکپارچه سازی AVL و " GIS. دهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی.

- قمری، سعید (۱۳۷۸) "مطالعات مرحله دوم روسازی راه آهن محور راه آهن چابهار - فهرج مطالعه سیستمهای ارتباطی"؛ مهندسین مشاور راهیاب بهینه، ص. ۲-۳

- میرآبادی، احمد (۱۳۸۵) "مقدمه ای بر سیستمهای کنترل و سیگنالینگ در حمل و نقل ریلی"، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران. ص. ۲۰-۲۲

- میرآبادی، احمد، لسان، جواد و غلام زاده جدی، یاسر(۱۳۸۸) "بهینه سازی انتخاب سیستم سیگنالینگ بر مبنای یک روش تصمیم گیری فازی"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی پیشرفتهای اخیر در مهندسی راه آهن، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ص. ۷۱۵

- Frosig, Poul (2009) "ERTMS/ETCS & ERTMS REGIONAL", The European Train Control System, UIC ERTMS REGIONAL Workshop, P. 7.

- Jong, Gyu, Hwang- Hyun, Jeong , Jo- Yong, Ki, Yoon- Baek and Hyun, Kim (2010) "Proposal of safety activity systems for railway signaling systems", International Conference on Control, Automation and Systems, Oct. 27-30, 2010 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea, p. 1147.

- Li, Xian (2011) "Safety monitoring for ETCS with 4-valued LTL", Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems. P 1

- Meng, Zhiao, Wan, Hua, Qiu, Bei and Shang, Liu (2010) "Relative entropy evaluation method for multiple attribute decision making". School of Economics and Management, Beihang University, Beijing , p.3

- Ning, Bin (2010) "Advanced train control systems", WIT Press, pp. 37-40