Archive of SID

ارایه مدل رتبه‌بندی سیستم‌های نظارتی هوایی در فرودگاه‌های کوهستانی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

سید رامتین باقری*، دانش آموخته کارشناسی‌ارشد، پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه، تهران، ایران
محمود صفارزاده، استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s.ramtinbagheri@gmail.com

دریافت: ۱۳۹٤/۰٦/۰٦ – پذیرش: ۱۳۹٤/۱۱/۲۵

چکیده

یکی از بخش‌های مهم در هر کشور صنعت حمل و نقل هوایی می‌باشد که بروز بودن سیستم‌های نظارتی و فرودگاهی از عوامل تاثیرگذار بر این صنعت است. مبحث ایمنی پرواز و سیستم‌های مراقبتی پرواز از مهمترین و اساسی ترین موضوعات در عرصه حمل و نقل هوایی می‌باشد که باید با دقت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. سیستم نظارتی چندگانه یک سیستم جدید نظارتی مستقر روی زمین است که با داشتن حداقل سه دستگاه گیرنده، و محاسبه اختلاف زمان ورود سیگنال از آنتن‌های مختلف موقعیت هواپیما را مشخص می‌کند. این سیستم نظارتی به دلیل داشتن هزینه نصب، اجرا، تعمیر و نگهداری پایین و قابلیت اطمینان و سطح دقت بسیار بالا نسبت به سایر سیستم‌های نظارتی به خصوص سیستم نظارتی مراقبتی ثانویه، تحولی در عرصه نظارت هوایی به وجود آورده است. در این مقاله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم های نظارتی چندگانه (MLAT) نسبت به دیگر سیستم‌های نظارتی موجود در فرودگاه‌های کوهستانی پرداخته شده و مدل رتبه‌بندی جامعی بر اساس پارامترهای سطوح هزینه و ایمنی برای سیستم‌های نظارتی هوایی ارایه گردیده است. اعتبار سنجی مدل به دست آمده نیز در سه فرودگاه کوهستانی ایران انجام پذیرفته، که نتایج آن ارایه شده است.

واژگان کلیدی: مدل رتبه‌بندی، سیستم‌های نظارتی چندگانه، فرودگاه کوهستانی، روش تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه

در هر کشوری صنعت حمل و نقل و ارتباطات از اهمیت خاصی برخوردار است و این صنعت به عنوان یکی از ارکان مهم برای هر کشور شناخته می‌شود. در حالت کلی، رشد و توسعه اقتصادی و صنعت حمل و نقل دارای عملکرد متقابل هستند، بدین معنی که جهت افزایش روند توسعه اقتصادی، وجود سیستم‌های مطلوب و به روز شده حمل و نقل، از اهمیت والایی برخوردار است.

یکی از بخش‌هایی که در صنعت حمل و نقل هوایی باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد سیستم‌های نظارتی هوایی می‌باشد. مبحث سیستم‌های مراقبتی پرواز از مهمترین و اساسی ترین موضوعات در عرصه حمل و نقل هوایی بوده که باید با دقت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. ساخت دستگاهی که با اصول رادارهای امروزی بتواند امواجی را بسوی موانع بفرستد و بازتاب آنها را دریافت نماید برای اولین بار در سال ۱۹۰٦ توسط یک دانشجوی آلمانی به نام هولفس یر صورت پذیرفت. در سال‌های اخیر با افزایش تعداد مسافرین و رشد روز افزون حمل و نقل هوایی در کشور نیاز به کنترل ترافیک هوایی، به روز کردن سیستم نظارتی و هماهنگی با دیگر کشورهای پیشرفته بیش از پیش به چشم می‌آید. با توجه به محدودیت‌ها، قدیمی شدن و کاهش کارایی سیستم‌های نظارتی در ایران خصوصاً در فرودگاه‌های مناطق کوهستانی نیاز به سیستم‌های پیشرفته و به روز دنیا مشهود است. علاوه بر این، بیشتر شدن

* - نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

حجم ترافیک هوایی و کمبود امکانات نظارتی و کنترلی دقیق سبب کاهش حدود استانداردهای هوایی، ایمنی پرواز و افزایش هزینه‌ها بوده است که این موارد باعث عدم بهره‌دهی صنعت هوانوردی می‌گردد. حال مسئله این است که سیستم‌های نظارتی چندگانه می‌تواند نسبت به سیستم‌های نظارتی موجود در کشور عملکرد بهتری را داشته و ایمنی بیشتری را در قبال هزینه کمتر به ارمغان بیاورد.

۲- انواع سیستم‌های مراقبتی و نظارتی هوایی

در این بخش به معرفی سیستم‌های نظارتی هوایی مراقبت اولیه، مراقبت ثانویه و نظارتی چندگانه پرداخته شده است. هدف اصلی از تحقیق انجام گرفته، مقایسه سیستم‌های نظارتی به منظور رسیدن به یک سیستم نظارتی بهینه با داشتن هزینه کمتر و مطلوبیت بیشتر می‌باشد.

۲-۱- رادارهای مراقبت اولیه

رادارهای مراقبتی اولیه[1] به عنوان یک سیستم نظارتی برای کنترل ترافیک هوایی استفاده می‌شود. این رادارها اطلاعات مسافت و جهت هواپیما را تأمین می‌نمایند. در این سیستم احتیاج به وجود دستگاه خاصی در هواپیما نمی‌باشد و اینگونه رادارها قادرند هدف‌های متحرک و ثابت را شناسایی کنند، این سیستم شامل یک فرستنده قوی و دستگاه گیرنده می‌باشد. پرتوهایی که توسط فرستنده رادار فرستاده می‌شود توسط هواپیما بازتابیده شده و دریافت سیگنال‌های بازتابیده شده توسط رادار موقعیت هواپیما را مشخص می‌نماید. (W.H.L. Neven, T.J. Quilter, R. Weedon, 2005)

۲-۲- رادارهای مراقبت ثانویه

سیستم‌های نظارتی ثانویه[2] نسبت به سیستم‌های نظارتی اولیه موفقیت بیشتری داشتند. این سیستم‌ها از لحاظ قیمت، قابلیت اطمینان، کارایی و طراحی نسبت به سیستم مراقبت اولیه ارجحیت داشتند. رادارهای مراقبت ثانویه از فرستنده هواپیماها تقاضای ارسال اطلاعات می‌نمایند و با ارسال اطلاعات توسط هواپیما، موقعیت، ارتفاع و جهت هواپیما را به دست می‌آورند. حداکثر برد سیگنال‌های رادارهای مراقبت ثانویه در حدود ۲۵۰ ناتیکال مایل می‌باشد که البته به حساسیت دستگاه‌های گیرنده نیز بستگی دارد. (W.H.L. Neven, T.J. Quilter, R. Weedon, 2005).

۲-۳- سیستم‌های نظارتی چندگانه

سیستم نظارتی چندگانه[3] یک سیستم موقعیت‌یاب هذلولی است که فرآیند موقعیت‌یابی هواپیما را توسط اختلاف زمان ورود سیگنال‌های ساتع شده محاسبه می‌نماید. امروزه در بیشتر نقاط جهان سیستم نظارتی چندگانه در برنامه‌های نظارت نظامی و غیر نظامی بکار گرفته می‌شود. سیستم نظارتی چندگانه یک سیستم مراقبتی مستقل مستقر روی زمین است که از حداقل سه دستگاه گیرنده سیگنال استفاده می‌کند که توسط آنها اختلاف زمان ورود[4] را از سیگنال‌های گیرنده ۱۰۹۰ مگا هرتز محاسبه می‌کند.

۳- متدولوژی

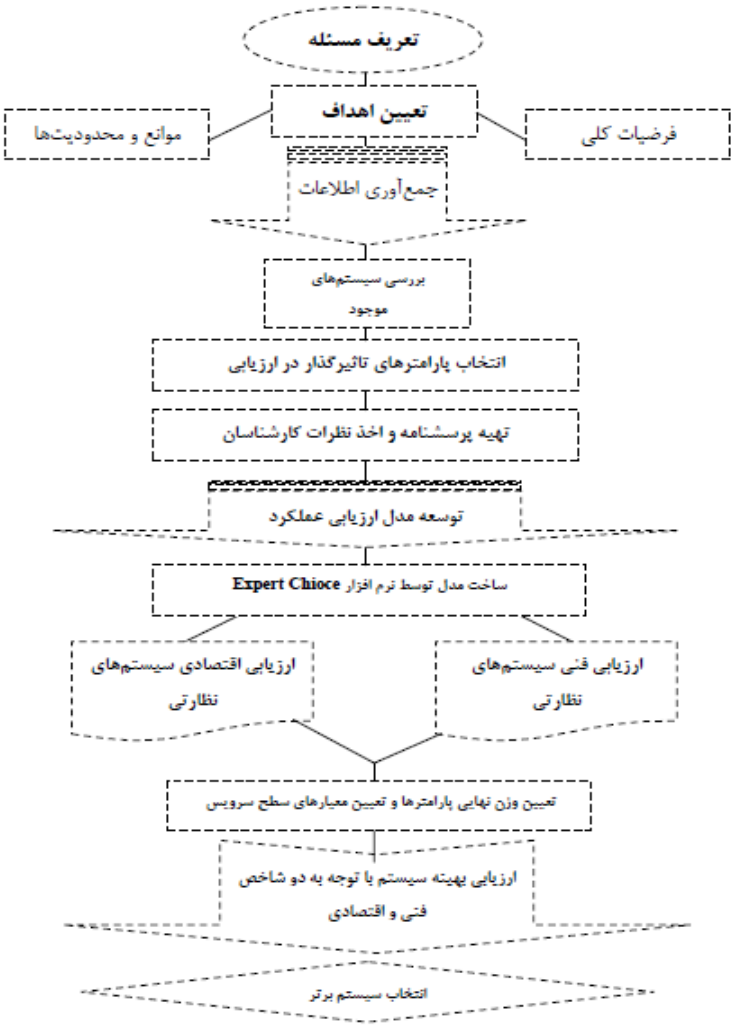
در تحقیق حاضر تصمیم گرفته شده تا به جهت اهمیت فراوان سیستم‌های نظارتی هوایی معیارهای فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف این سیستم‌ها، با به دست آوردن پارامترهای موثر در انتخاب سیستم‌های نظارتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار بگیرد. مهمترین بخش در جهت ارایه راهکار بکارگیری سیستم نظارتی جدید و تدوین راهبرد از طریق مطالعه و بررسی سیستم نظارتی با توجه به نیازمندی‌های فنی، عملیاتی، اقتصادی، علمی و ساختاری و تمهیدات محیط پیرامونی این سیستم‌ها می‌باشد که با استفاده از آن نقاط قوت و ضعف یک سیستم نظارتی نسبت به دیگر سیستم‌های نظارتی موجود در کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. متدولوژی حاضر بر اساس بررسی‌های انجام گرفته و مشورت با کارشناسان مجرب و متخصص در زمینه سیستم‌های نظارتی هوایی به دست آمده و فاکتورهای موثر برای انتخاب سیستم‌های نظارتی در دو زمینه کلی هزینه‌های موجود و سطوح ایمنی سیستم‌ها مورد ارزیابی دقیق قرار گرفته است.

٤- ارایه مدل رتبه بندی و معرفی پارامترها

با داشتن اطلاعات کافی از سیستم‌های نظارتی هوایی، برای ارایه مدلی جامع، به منظور دستیابی به سیستم نظارتی بهینه و مدلی که بتواند برای فرودگاه‌های کوهستانی با داشتن شرایط متفاوت بهترین و مناسب‌ترین سیستم نظارتی را انتخاب نماید نیاز به شناخت پارامترهای تاثیر گذار این سیستم‌ها است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱. متدولوژی تحقیق

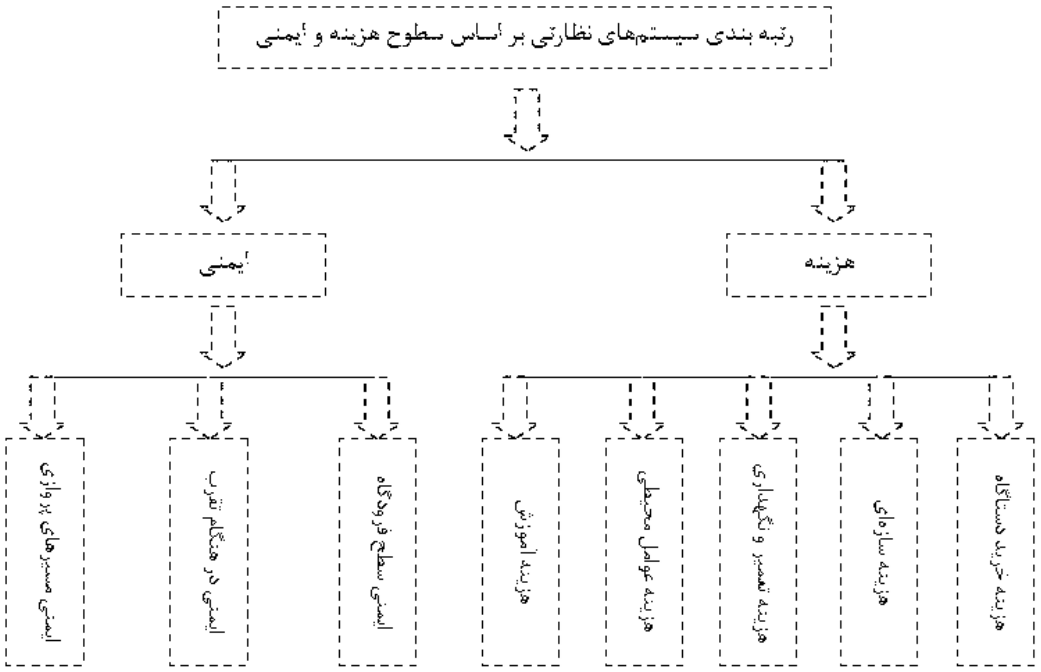
بر اساس اطلاعات به دست آمده از آنالیز پرسشنامه‌های طرح شده‌ای که توسط متخصصان بخش حمل و نقل هوایی، مراقبت پرواز و .... تکمیل گردیده و در پیوست ارایه شده است دو پارامتر هزینه و ایمنی به عنوان دو عامل تاثیرگذار بر انتخاب سیستم‌های نظارتی هوایی تعیین گردیدند. سپس فاکتورهای مؤثر بر سطوح هزینه و ایمنی سیستم‌های نظارتی شناسایی و بر اساس رابطه منطقی میان آنها، در گروههای معینی دسته بندی گردیدند. پس از آن ضمن ارایه تعاریف مشخص برای هر پارامتر، معیارهای تعیین سطح سرویس هر پارامتر نیز ارایه گردیده است. در مرحله بعد، مدل رتبه بندی توسط روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) تهیه و وزن‌های نسبی بدست آمده حاصل از پرسشنامه‌ها جهت افزایش سرعت کار در نرم افزار *Expert Choice* وارد و تحلیل شده است. سطوح سرویس برخی پارامترهای کیفی نیز در این مرحله مشخص شده، سپس وزن نهایی هر پارامتر تعیین و رتبه هر سیستم نظارتی از مجموع حاصلضرب وزن نهایی هر پارامتر در ضریب تاثیر متناظر آن تعیین می‌گردد.

٤-۱- مدل رتبه‌بندی سیستم‌های نظارتی بر مبنای هزینه و ایمنی

در این بخش، مدل رتبه بندی سیستم‌های نظارتی برای هر یک از بخش‌های عوامل موثر ارایه و در نهایت مدل کلی رتبه‌بندی تعیین می‌گردد. در هر قسمت ابتدا نمودار سلسله مراتبی پارامترها ارایه و سپس وزن نسبی و در نهایت میزان اهمیت پارامترها تعیین می‌شود. با توجه به مدل ارایه شده امتیازی با طیف ۰ تا ۱۰۰ به هر گزینه تعلق گرفته است. در شکل (۷) نمودار سلسله مراتبی عوامل هزینه و ایمنی نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نمودار سلسله مراتبی عوامل هزینه و ایمنی

وزن نسبی بخش هزینه به بخش ایمنی با استفاده از محاسبات انجام گرفته ۰/۱۴۹و در بررسی‌های انجام شده میزان اهمیت عوامل هزینه ۱۳٪ و سطوح ایمنی ۸۷٪ بدست آمده است. بنابراین عوامل بخش ایمنی دارای میزان اهمیت بسیار بیشتری نسبت بخش هزینه می‌باشند. پس مشخص شده است که با توجه به نقش عوامل ایمنی که به جلوگیری از حوادث جبران ناپذیر ممکن است بینجامد، انتظار چنین نتیجه‌ای نیز دور از ذهن نبوده است.

بنابراین مدل رتبه بندی به صورت جامع و کلی مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$R_S = 13C_a + 78S_a \qquad (1)$$

R_s= شاخص رتبه بندی سیستم‌های نظارتی بر اساس پارامترهای هزینه و ایمنی،

C_a= شاخص هزینه، و

S_a= شاخص ایمنی.

٤-۲- مدل رتبه‌بندی پارامترهای بخش هزینه

وزن نهایی پارامترهای موثر بر بخش‌های سطوح هزینه و نرخ سازگاری این بخش در جدول شماره (۱) ارایه گردیده است.

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در میان عوامل موثر بر بخش هزینه، هزینه خرید دستگاه نظارتی با میزان ٤۰/۸٪ دارای بیشترین اهمیت می‌باشد.

جدول ۱. وزن نهایی عوامل هزینه

	هزینه خرید دستگاه	هزینه سازه‌ای	هزینه تعمیر و نگهداری	هزینه عوامل محیطی	هزینه آموزش
میزان اهمیت (درصد)	۴۰/۸	۲۵/۸	۱۶/۵	۱۰	۶/۹
نرخ سازگاری (بر حسب درصد)			۸		

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین مدل رتبه بندی در بخش هزینه به شرح زیر ارایه می‌شود.

$$C_a = 0/408A + 0/258B + 0/165C + 0/1D + 0/069E \quad (۲)$$

که در آن داریم:

A = شاخص هزینه خرید دستگاه؛

B= شاخص هزینه سازه‌ای؛

C = شاخص هزینه تعمیر و نگهداری؛

D = شاخص هزینه عوامل محیطی؛ و

E = شاخص هزینه آموزش.

٤-۲-۱- هزینه خرید دستگاه سیستم‌های نظارتی

در جدول شماره (۲) وزن نهایی پارامترهای موثر بر زیر بخش هزینه خرید دستگاه برای سیستم‌های نظارتی مورد ارزیابی و نرخ سازگاری هریک از این زیر بخش ارایه گردیده است.

در ادامه به ارایه مدل رتبه بندی در بخش هزینه خرید دستگاه پرداخته شده است:

$$A = 0/269\alpha + 0/374\beta + 0/171\gamma + 0/115\delta + 0/071\varepsilon \quad (۳)$$

که در آن:

α = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید دستگاه فرستنده؛

β = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید دستگاه گیرنده؛

γ = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید دستگاه پردازش گر؛

δ = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید سیستم عامل کامپیوتری؛ و

ε = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید لوازم جانبی.

٤-۲-۲- هزینه‌های سازه‌ای سیستم‌های نظارتی

در جدول (٦) وزن نهایی هزینه‌های سازه‌ای سیستم‌های نظارتی ارایه گردیده است.

مدل رتبه بندی در بخش هزینه سازه‌ای با رابطه (٤) ارایه شده است:

$$B = 0/544\epsilon + 0/126\zeta + 0/254\eta + 0/076\theta \quad (٤)$$

که در آن:

ϵ = ضریب تاثیر پارامتر هزینه احداث زیرسازه؛

ζ = ضریب تاثیر پارامتر هزینه حمل و نقل تجهیزات؛

η= ضریب تاثیر پارامتر هزینه سایت‌یابی؛ و

θ= ضریب تاثیر پارامتر هزینه تصرف اراضی.

٤-۲-۳- هزینه‌های تعمیر و نگهداری

در بخش هزینه‌های تعمیر و نگهداری دستگاه، وزن نهایی و میزان اهمیت هزینه خرید قطعات ۰/۷۵ و هزینه پرسنل تعمیر و نگهداری ۰/۲۵به‌دست آمده است که مدل رتبه بندی این بخش توسط رابطه زیر ارایه شده است:

$$C = 0/750\vartheta + 0/250\iota \quad (۵)$$

که در آن:

ϑ = ضریب تاثیر پارامتر هزینه خرید قطعات جایگزین؛ و

ι = ضریب تاثیر پارامتر هزینه ماهیانه پرسنل تعمیر و نگهداری.

جدول ۲. وزن نهایی عوامل موثر در بخش هزینه خرید دستگاه

	دستگاه فرستنده	دستگاه گیرنده	دستگاه پردازش‌گر	سیستم عامل کامپیوتری	لوازم جانبی
میزان اهمیت (درصد)	۲۶/۹	۳۷/۴	۱۷/۱	۱۱/۵	۷/۱
نرخ سازگاری (بر حسب درصد)			۶		

جدول ۳. وزن نهایی هزینه‌های سازه‌ای

	احداث زیر سازه	حمل و نقل تجهیزات	سایت یابی	تصرف اراضی
میزان اهمیت (درصد)	۵۴/۴	۱۲/۶	۲۵/۴	۷/۶
نرخ سازگاری (بر حسب درصد)			۸	

www.SID.ir

Archive of SID

٤-۲-٤- هزینه‌های عوامل محیطی

عوامل محیطی جزء پارامترهای تاثیر گذار در بخش آلودگی‌های احتمالی زیست محیطی می‌باشد که کاهش مصرف انرژی می‌تواند به کاهش این نوع آلودگی کمک شایانی نماید. با توجه به آنالیزهای انجام گرفته در بخش عوامل تاثیرگذار محیطی میزان اهمیت در قسمت هزینه مصرف انرژی ۰/۸۰۸ و در قسمت هزینه عوامل محیطی ۰/۱۹۲ به دست آمده است، همچنین به مدل رتبه بندی در بخش عوامل تاثیر گذار محیطی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$D = 0/808\kappa + 0/192\lambda \qquad (۶)$$

که در آن:

κ = ضریب تاثیر پارامتر مصرف انرژی؛ و

λ = ضریب تاثیر پارامتر عوامل تاثیرگذار زیست محیطی.

٤-۲-٥- هزینه‌های آموزش پرسنل سیستم نظارتی

در قسمت هزینه‌های بخش آموزش، میزان اهمیت آموزش پرسنل زمینی ۰/٦۸۸ و برای آموزش پرسنل هوایی ۰/۳۱۳ می‌باشد و مدل رتبه بندی این بخش در معادله شماره (۷) ارایه شده است.

$$E = 0/688\mu + 0/313\nu \quad \text{که} \qquad (۷)$$

μ = ضریب تاثیر پارامتر آموزش پرسنل زمینی؛ و

ν = ضریب تاثیر پارامتر آموزش پرسنل هوایی.

٤-۳- مدل رتبه‌بندی پارامترهای بخش ایمنی

در قسمت پارامترهای بخش ایمنی سه بخش ایمنی در سطح فرودگاه، ایمنی در هنگام تقرب و ایمنی در مسیر پروازی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل‌های انجام گرفته میزان اهمیت این بخش‌ها به ترتیب ۰/۵۲۹، ۰/۳۰٤ و ۰/۱٦۷ و نرخ سازگاری بخش ایمنی برابر ۵ درصد به دست آمده است. در رابطه ۸ مدل رتبه‌بندی در بخش ایمنی نشان داده شده است:

$$S_a = 0/529F + 0/304G + 0/167H \qquad (۸)$$

که در آن داریم:

F = شاخص ایمنی سطح فرودگاه؛

G = شاخص ایمنی هنگام تقرب؛ و

H= شاخص ایمنی در مسیر پروازی.

٤-۳-۱- ایمنی سطح فرودگاه

ایمنی سطح فرودگاه در دو بخش ایرساید و لندساید فرودگاه مورد توجه قرار می‌گیرد. ایمنی در سطح فرودگاه به ایمنی وسایل نقلیه گذرنده در فرودگاه، ایمنی باند خزش و ایپرون و ایجاد ایمنی بیشتر توسط ایجاد امکانات بیشتر برای برج مراقبت فروگاه حاصل می‌گردد. میزان اهمیت قسمت ذکر شده به ترتیب برابر ۰/٤۷۹، ۰/۳۲۸ و ۰/۱۹٤ به‌دست آمده است که نرخ سازگاری در پارامترهای مورد بررسی ۷ درصد می‌باشد. مدل رتبه بندی در بخش ایمنی سطح فرودگاه توسط رابطه زیر ارایه شده است:

$$F = 0/479\xi + 0/328o + 0/194\pi \qquad (۹)$$

ξ = ضریب تاثیر پارامتر ایمنی وسایل نقلیه سطح فرودگاه؛

o= ضریب تاثیر پارامتر ایمنی باند خزش و ایپرون ؛ و

π= ضریب تاثیر پارامتر ایجاد امکانات بیشتر برای برج مراقبت.

٤-۳-۲- ایمنی در هنگام تقرب

در هنگام تقرب هواپیما، دید به باند و انحراف از مسیر پروازی از عواملی است که ایمنی پرواز را به مخاطره می‌اندازد. هر اندازه ارتفاع تقرب نسبت به باند کمتر باشد، دید به باند پرواز در هنگام تقرب بهتر است.

مدل رتبه بندی در بخش ایمنی هنگام تقرب در رابطه ۱۰ ارایه شده است:

$$G = 0/459\varpi + 0/144\rho + 0/298\varrho + 0/098\sigma \qquad (۱۰)$$

که در آن:

ϖ = ضریب تاثیر پارامتر ارتفاع تقرب؛

ρ= ضریب تاثیر پارامتر تقرب موازی؛

ϱ= ضریب تاثیر پارامتر انحراف از مسیر پروازی؛ و

σ= ضریب تاثیر پارامتر دید به باند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. وزن نهایی بخش ایمنی هنگام تقرب

	ارتفاع تقرب	تقرب موازی	انحراف از مسیر پروازی	دید به باند
میزان اهمیت (درصد)	٤٥/٩	١٤/٤	٢٩/٨	٩/٨
نرخ سازگاری (برحسب درصد)		٦		

٤-٣-٣- ایمنی در مسیر پروازی

موانع عمودی به خصوص در مناطق کوهستانی با شرایط بد جوی پروازها را تهدید می‌نماید. دقت در نظارت ارتفاعی هواپیما از برخورد با موانعی مانند کوه‌ها، دکل‌های قرار گرفته بر کوه‌ها و .... بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در بخش ایمنی در مسیر پروازی پارامترهای نظارت ارتفاعی، فاصله از موانع و کاهش جدایی عمودی مورد بررسی قرار گرفته و میزان اهمیت آنها به ترتیب برابر ٠/٤٩٧، ٠/٢٧٧ و ٠/٢٢٦ با نرخ سازگاری ٤ درصد بدست آمده است که مدل رتبه بندی این بخش نیز در رابطه زیر ارایه شده است.

$$H = 0/497\varsigma + 0/277\tau + 0/226\upsilon \qquad (١١)$$

که در آن:

ξ = ضریب تاثیر پارامتر نظارت ارتفاعی ؛

o= ضریب تاثیر پارامتر فاصله از موانع؛ و

π= ضریب تاثیر پارامتر کاهش جدایی عمودی.

٥- ارایه مدل رتبه‌بندی سیستم‌های نظارتی بر اساس سطوح هزینه و ایمنی

با توجه به مطالب ارایه شده و به دست آوردن مدل رتبه بندی هر بخش، مدل رتبه بندی سیستم‌های نظارتی بر اساس هزینه و ایمنی به صورت زیر ارایه می‌گردد.

$$M_R = \sum_{i=1}^{m} T_i P_i \qquad (١٢)$$

که در آن:

P= میزان اهمیت پارامترها؛

T = ضریب تاثیر پارامترها (مقدار این ضریب کمتر و مساوی ١ می‌باشد)؛

m= تعداد پارامترهای موثر.

با استفاده از روابط به دست آمده از بخش‌های هزینه و ایمنی خواهیم داشت:

$$R_S = 13C_a + 78S_a$$
$$\mathrm{C_a} = [0/408A + 0/258B + 0/165C + 0/1D + 0/069E]$$
$$S_a = [0/529F + 0/304G + 0/167H]$$

با جانمایی روابط به دست آمده از بخش هزینه و ایمنی در رابطه مدل رتبه بندی سیستم‌های نظارتی رابطه ١٣ به دست می‌آید:

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \qquad (١٣)$$

که در آن داریم:

A = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش هزینه خرید دستگاه؛

B. = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش هزینه سازه‌ای؛

C = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش هزینه تعمیر و نگهداری سیستم؛

D = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش عوامل محیطی؛

E = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش هزینه آموزش؛

F = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش ایمنی در سطح فرودگاه؛

G = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش ایمنی در هنگام تقرب؛ و

H = مجموع ضرایب تاثیر مرتبط با بخش ایمنی در مسیر پروازی.

٥-١- ضرایب تاثیر بخش هزینه خرید دستگاه

با استفاده از اطلاعات به دست آمده از شرکت فرودگاه‌های کشور در ایران و شرکت ایندرا و آسترو کنترل به ترتیب در کشورهای اسپانیا و اتریش هزینه خرید سیستم نظارتی مراقبت اولیه، ٢٩/٦٥٠/٠٠٠/٠٠٠ ریال، برای سیستم نظارتی مراقبت ثانویه ٣٣/٩٧٥/٠٠٠/٠٠٠ ریال و برای سیستم نظارتی چندگانه در حدود ١٦/٩٨٧/٥٠٠/٠٠٠ ریال می‌باشد. (DI Helmut , Schreiber, Bernhard Wolfmayer 2007)

٥-٢- ضرایب تاثیر بخش هزینه سازه‌ای

سیستم‌های نظارتی مراقبت اولیه (PSR) و مراقبت ثانویه (SSR) در صورتی که بر روی برج مراقبت نصب نگردند نیاز به احداث زیر سازه‌ای دارند که بر روی آن نصب گردند، در صورتی که آنتن‌های سیستم نظارتی چندگانه در هر مکانی

www.SID.ir

Archive of SID

(پشت بام سازه‌های فرودگاه، دکل مخابراتی و.....) قابل نصب بوده و نیاز به احداث زیر سازه جدید ندارند که از نظر اقتصادی در زمان نصب نیز مرقون به صرفه‌تر می‌باشند. هزینه‌های سازه‌ای، برای سیستم‌های نظارتی مراقبت اولیه در حدود ۱۸/۰۰۰/۰۰۰ ریال و برای سیستم‌های مراقبت ثانویه در حدود ۲۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد. ضرایب اهمیت بخش سازه‌ای سیستم‌های نظارتی در جدول ۱۷ نشان داده شده است.

۵-۳- ضرایب تاثیر بخش هزینه‌های تعمیر و نگهداری

با توجه به اطلاعات به دست آمده از سه سیستم نظارتی مورد بررسی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری سیستم‌ها برای یک دوره یکساله و ده ساله مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است که به ترتیب هزینه دوره‌های یکساله و ده‌ساله برای سیستم نظارتی PSR، ۲٤٥/۲۰۰/۰۰۰ ریال و ۹/۰۱۲/۱۳٤/۰۰۰ ریال، برای سیستم نظارتی SSR، ۲٦۷/۹٥۸/۰۰۰ ریال و ۸/۹۱٦/۹۹۱/۰۰۰ ریال و برای سیستم نظارتی MLAT، ٦۷/۹٥۰/۰۰۰ ریال و ۲۷/۷۱۸/۰۰۰/۰۰۰ ریال می‌باشد.

۵-٤- ضرایب تاثیر بخش هزینه‌های عوامل محیطی

در هر سیستمی هزینه عوامل محیطی بخشی است که با مصرف انرژی سیستم رابطه مستقیم دارد. هر اندازه مصرف انرژی سیستم پایین‌تر باشد صدمه‌ای که به محیط زیست اطراف وارد می‌آورد کمتر بوده و همچنین هزینه مصرف انرژی کمتری را نیز در بر خواهد داشت. پس مصرف انرژی با مشکلات زیست محیطی رابطه مستقیم داشته، در نتیجه هر سیستم نظارتی که انرژی کمتری مصرف نماید مشکلات زیست محیطی کمتری نیز ایجاد می‌نماید. مصرف انرژی برای سیستم‌های PSR، ۱۵ کیلووات است که هزینه‌ای برابر ۱۰/۳۵۰/۰۰۰ ریال را تحمیل می‌نماید. همچنین برای سیستم‌های SSR و MLAT به ترتیب ۱۲ کیلووات با هزینه ۸/۲۸۰/۰۰۰ ریال و ۱۰۰ وات با هزینه ٦۹/۰۰۰ ریال می‌باشد.

۵-۵- ضرایب تاثیر بخش هزینه‌های آموزش

بخش آموزش پرسنل‌های مرتبط با سیستم‌های نظارتی به دو بخش پرسنل زمینی و هوایی تقسیم بندی می‌شود. آموزش کار با دستگاه‌های نظارتی برای اولین بار توسط شرکت سازنده دستگاه انجام می‌پذیرد و پس از آن ارگان مربوطه (سازمان هواپیمایی کشوری) به آموزش پرسنل خود می‌پردازد. هزینه آموزش عموماً به صورت نفر ساعت ارایه می‌گردد که با توجه به اطلاعات به دست آمده برای سیستم نظارتی SSR، ۳۰۰/۰۰۰ ریال برای هر نفر ساعت، برای سیستم نظارتی PSR، ۵۰۰/۰۰۰ ریال و برای سیستم نظارتی MLAT ٦۵۰/۰۰۰ ریال برای هر نفر ساعت در نظر گرفته می‌شود.

۵-٦- تعیین ضرایب تاثیر بخش ایمنی سطح فرودگاه

یکی از اصول مهم در بخش ایمنی، ایمنی سطح فرودگاه می‌باشد. داشتن اطلاعات اینکه در سطح فرودگاه چه وسایلی (هواپیماها، ماشین‌های حمل مسافر، ماشین‌های حمل سوخت و...) در چه زمانی در کدام مکان قرار بگیرند و از چه مکانی عبور نمایند بسیار حائز اهمیت بوده و می‌تواند از بسیاری حوادث جلوگیری نماید.

در این بخش سیستم‌های نظارتی را بر اساس ارایه خدماتی که در سطح فرودگاه ارایه می‌دهند و این امر که خدمات حاصل، موجب ارایه ایمنی بیشتر در سطح فرودگاه می‌گردد رتبه‌بندی کرده و ضریب تاثیر آنها ارایه شده است. لازم به ذکر است که این اطلاعات از اسناد ارایه شده توسط شرکت‌های آمریکایی ERA و اسپانیایی INDRA که هر دو از شرکت‌های بزرگ ارایه دهنده خدمات سیستم‌های نظارتی می‌باشند به دست آمده است. (DI Helmut Schreiber, Bernhard Wolfmayer , 2007).

جدول ۵. تعیین ضرایب تاثیر بخش هزینه

	ضرایب تاثیر بخش سطوح هزینه سیستم‌های نظارتی				
	خرید دستگاه	سازه‌ای	تعمیر و نگهداری	عوامل محیطی	آموزش
(PSR)	۰/۳	۰/۵۵	۰/۳	۰/۷۵	۱
(SSR)	۰/۵۵	۰/۵	۰/۱۵	۰/۸۵	۱
(MLAT)	۱	۱	۱	۱	۰/۸۵

www.SID.ir

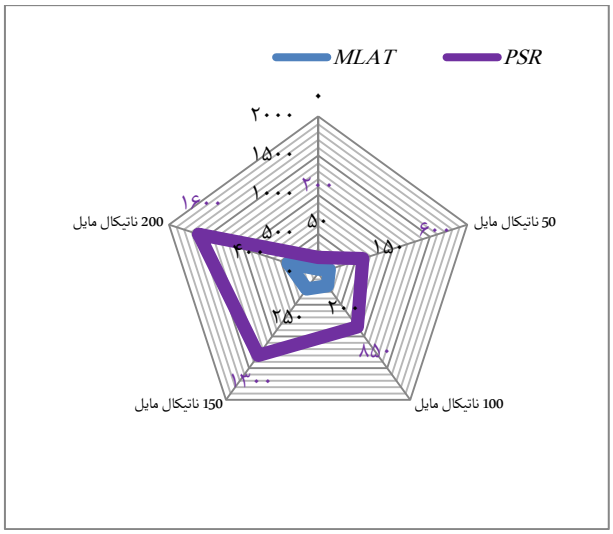
Archive of SID

سیستم نظارتی چندگانه به دلیل آنکه توسط آنتن‌های موجود در سطح ایرساید و لندساید فرودگاه آنالیز کاملی از تمامی وسایل و تجهیزات متحرک فرودگاه ارایه می‌دهد از ایمنی بیشتری برخوردار می‌باشد.

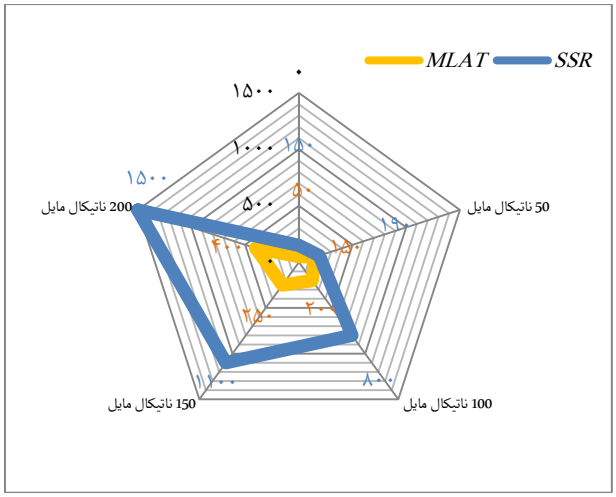
۵-۷- تعیین ضرایب تاثیر بخش ایمنی هنگام تقرب

ایمنی هنگام تقرب با دید (VFR) به عواملی چون ارتفاع در هنگام تقرب و دید خلبان به باند بستگی دارد. لازم به ذکر است سیستم نظارتی که تقرب‌های موازی را با ایمنی بالاتر هدایت نموده و خلبان را در زمان خارج شدن از مسیر پروازی خود در هنگام تقرب مطلع می‌سازد دارای ایمنی بیشتری می‌باشد. (Neven , 2005)

در شکل‌های ۳ و ٤ مقایسه‌های بین سیستم‌های نظارتی مراقبتی اولیه و مراقبت ثانویه با سیستم نظارتی چندگانه نشان داده شده است که بر اساس آن مشخص می‌شود که تا فاصله‌ای بالغ بر ۲۰۰ ناتیکال مایلی (۳۷۰٤۰۰ متر) سیستم‌ها دارای چه دقتی می‌باشند. با آنالیز اطلاعات به‌دست آمده مشخص می‌گردد دقت سیستم‌های نظارتی چندگانه نسبت به دو سیستم دیگر ارایه شده مورد بررسی از دقت بالاتری برخوردار بوده که این امر بخصوص در فرودگاه‌های کوهستانی که دقت سیستم‌های نظارتی اولیه و ثانویه به دلیل وجود موانع طبیعی کاهش می‌یابد محسوس‌تر می‌باشد. (Neven , 2005)



شکل ۳. مقایسه دقت بین سیستم نظارتی مراقبت اولیه و سیستم نظارتی چندگانه (دقت برحسب فوت) (Neven , 2005)



شکل ٤. مقایسه دقت بین سیستم نظارتی مراقبت ثانویه و سیستم نظارتی چندگانه (دقت برحسب فوت) (Neven , 2005)

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۸- تعیین ضرایب تاثیر بخش ایمنی در مسیر پروازی

یکی دیگر از خصوصیات سیستم‌های نظارتی ایجاد ایمنی در هنگام پرواز هواپیماها در مسیرهای پروازی می‌باشد. کاهش جدایی عمودی در محدوده پروازی FL360 تا FL400 هم اکنون با استفاده از سیستم‌های نظارتی تا ۱۰۰۰ فوت میسر شده است که هم سیستم نظارتی مراقبت ثانویه و هم سیستم نظارتی چندگانه این امکان را دارا می‌باشد.

فاصله از موانع (کوه‌ها و ...) یکی دیگر از شرایط ایجاد ایمنی در مسیر پروازی است که سیستم‌های نظارتی چندگانه نظارت دقیقی بر این بخش را ارایه می‌دهند، به عنوان مثال موردی، مسئولان فرودگاه کوهستانی اینسبرک اتریش که به دلیل انحصار فرودگاه در کوهستان با مشکل ناتوان بودن سیستم نظارتی مراقبت ثانویه فرودگاه در نظارت دقیق (به دلیل وجود موانع زیاد در اطراف و جلوگیری از عبور سیگنال) مواجه بودند با بهره‌گیری از سیستم نظارتی چندگانه درسال ۲۰۰۷ مشکلات پروازی فرودگاه را به کلی بر طرف نمودند (A Gulder , 2008).

جدول ٦. تعیین ضرایب تاثیر بخش ایمنی

	ضرایب تاثیر بخش سطوح ایمنی سیستم‌های نظارتی		
	ایمنی درسطح فرودگاه	ایمنی در هنگام تقرب	ایمنی در مسیر پروازی
(PSR)	۰/۳	۰/۱	۰/۳
(SSR)	۰/۶	۰/۸	۰/۶
(MLAT)	۱	۱	۰/۸

٦- رتبه بندی سیستم‌های نظارتی

با استفاده از مدل جامع به دست آمده سیستم‌های نظارتی هوایی، ضرایب تأثیر محاسبه شده برای هر سه سیستم نظارتی ارایه شده را در رابطه (١٤) جاگذاری کرده و رتبه سیستم‌های نظارتی را با استفاده از روابط ١٤، ١٥،١٦ و ١٧ بدست می‌آوریم:

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \quad (۱۴)$$

***- سیستم نظارتی مراقبت اولیه**

مولفه‌های شایستگی / E_i				
E_i^+	۴۳/۱۲۵	۴۵/۹۳۷	۴۸/۷۵	۵۲/۵
E_i^-	۲۷/۰۱۹	۲۷/۸۹۲	۲۸/۳۳۲	۲۹/۲۵

$$R_S = 24/6064$$

***- سیستم نظارتی مراقبت ثانویه**

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \quad (۱۶)$$

$$R_S = [5/304 \times 0/55 + 3/354 \times 0/5 + 2/145 \times 0/15 + 1/3 \times 0/85 + 0/897 \times 1] + [41/26 \times 0/6 + 23/71 \times 0/8 + 13/02 \times 0/6]$$

$$R_S = 58/4539$$

***- سیستم نظارتی چندگانه**

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \quad (۱۷)$$

$$R_S = [5/304 \times 1 + 3/354 \times 1 + 2/145 \times 1 + 1/3 \times 1 + 0/897 \times 0/85] + [41/26 \times 1 + 23/71 \times 1 + 13/02 \times 0/8]$$

$$R_S = 88/251$$

بدین صورت مدل ارایه شده قابلیت رتبه‌بندی تمامی سیستم‌های نظارتی را بر اساس عوامل مرتبط با هزینه و ایمنی دارا می‌باشد. پس با توجه به ارایه شدن مدل رتبه‌بندی سیستم‌های نظارتی و داشتن ضرایب تأثیر هر بخش می‌توان، سیستم‌های نظارتی را برپایه دسته‌های مختلف رده بندی نمود که در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷. طبقه بندی سیستم‌های نظارتی

رده سیستم نظارتی	Rs
A	۸۰-۱۰۰
B	۶۰-۸۰
C	۴۰-۶۰
D	۲۰-۴۰
E	۰-۲۰

با توجه به محاسبات به دست آمده از روابط پیشین می‌توان رتبه بندی سیستم‌های نظارتی تحت بررسی در این تحقیق را

www.SID.ir

Archive of SID

طبق جدول ۸ ارایه نمود که نشان دهنده آن است که سیستم‌های نظارتی چندگانه نسبت به سیستم‌های نظارتی مراقبت ثانویه و اولیه از رتبه بالاتری برخوردار می‌باشند.

جدول ۸. طبقه‌بندی سیستم‌های نظارتی

رده سیستم نظارتی	Rs	نوع دستگاه
A	٪۸۸	سیستم نظارتی چندگانه
C	٪۵۸	سیستم مراقبت ثانویه
D	٪۲٤	سیستم مراقبت اولیه

۷- اعتبارسنجی مدل ارایه شده

به منظور اعتبار سنجی و اطمینان از صحت مدل به دست آمده، مدل بهینه ارایه شده در سه فرودگاه کوهستانی سنندج، شهرکرد و ایلام بر مبنای پارامترهای ارایه شده مورد بررسی قرار گرفته شده است.

۷-۱- فرودگاه سنندج

فرودگاه کوهستانی سنندج در ۳۵۱۵۰۳ درجه شمالی و ۰٤۷۰۰٤۰ درجه شرقی و در فاصله ٤/۵ ناتیکال مایلی از شهر سنندج واقع شده است. پرواز در این فرودگاه به صورت IFR/VFR بوده و باند پرواز این فرودگاه در جهت مغناطیسی ۰۱-۱۹ قرار گرفته و ابعاد باند ٤۵ × ۳۰۲۱ می‌باشد. در ادامه به ارزیابی و بررسی مدل ارایه شده در این فرودگاه پرداخته شده است.

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \quad (۱۸)$$

*- سیستم مراقبت ثانویه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$
$$R_S = [5/304 \times 0 + 3/354 \times 0/4 + 2/145 \times 0/21 + 1/3 \times 0/75 + 0/897 \times 0/5] + [41/26 \times 0/4 + 23/71 \times 0/441 + 13/02 \times 0/75] \quad (۱۹)$$

$$R_S = 39/94066$$

*- سیستم نظارتی چندگانه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$
$$R_S = [5/304 \times 0/8 + 3/354 \times 1 + 2/145 \times 0/7 + 1/3 \times 1 + 0/897 \times 0/4] + [41/26 \times 1 + 23/71 \times 0/864 + 13/02 \times 0/8] \quad (۲۰)$$

$$R_S = 82/91$$

بدین صورت با ارایه مدل رتبه بندی سیستم‌های نظارتی برای فرودگاه سنندج، سیستم نظارتی چندگانه با به دست آوردن رتبه A نسبت به سیستم نظارت مراقبت ثانویه با دست‌یابی به رتبه D در جایگاه بهتری قرار گرفته است.

۷-۲- فرودگاه شهرکرد

فرودگاه شهرکرد در ۳۲۱۷۵۰ درجه شمالی و ۰۵۰۵۰۳۲ درجه شرقی و در فاصله ۱/٦ ناتیکال مایلی از شهر با باندی به طول ۳۰۰۵ متر در جهت ۱٤-۳۲ واقع شده است. پروازها در فرودگاه شهرکرد به صورت IFR/VFR برقرار می‌باشد. مدل به دست آمده در فرودگاه شهرکرد مورد ارزیابی قرار گرفته است که در ادامه به بررسی آن پرداخته شده است.

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H] \quad (۲۱)$$

*- سیستم مراقبت ثانویه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$
$$R_S = [5/304 \times 0 + 3/354 \times 0/4 + 2/145 \times 0/21 + 1/3 \times 0/75 + 0/897 \times 0/5] + [41/26 \times 0/4 + 23/71 \times 0/441 + 13/02 \times 0/75] \quad (۲۲)$$

$$R_S = 39/94066$$

*- سیستم نظارتی چندگانه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$
$$R_S = [5/304 \times 1 + 3/354 \times 1 + 2/145 \times 0/7 + 1/3 \times 1 + 0/897 \times 0/4] + [41/26 \times 1 + 23/71 \times 0/864 + 13/02 \times 0/8] \quad (۲۳)$$

$$R_S = 83/97$$

برای فرودگاه شهرکرد نیز با استفاده از مدل رتبه بندی ارایه شده، سیستم نظارتی چندگانه رتبه A و سیستم نظارت مراقبت ثانویه رتبه D را کسب نمودند که به مراتب نصب سیستم نظارتی چندگانه در این فرودگاه نسبت به سیستم نظارتی مراقبت ثانویه از امتیازات بیشتری بهره‌مند می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۷-۳- فرودگاه ایلام

فرودگاه کوهستانی ایلام در ۳۳۳۵۰۵ درجه شمالی و ۰٤٦۲٤۱٦ درجه شرقی واقع شده است. پروازها در فرودگاه ایلام به صورت IFR/VFR می‌باشد. مدل رتبه‌بندی ارایه شده در این فرودگاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$

*- سیستم مراقبت ثانویه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$

$$R_S = [5/304 \times 0/8 + 3/354 \times 0/4 + 2/145 \times 0/21 + 1/3 \times 0/75 + 0/897 \times 0/5] + [41/26 \times 0/4 + 23/71 \times 0/441 + 13/02 \times 0/75] \quad (۲٤)$$

$$R_S = 44/183$$

*- سیستم نظارتی چندگانه

$$R_S = [5/304A + 3/354B + 2/145C + 1/3D + 0/897E] + [41/26F + 23/71G + 13/02H]$$

$$R_S = [5/304 \times 1 + 3/354 \times 1 + 2/145 \times 0/7 + 1/3 \times 1 + 0/897 \times 0/4] + [41/26 \times 1 + 23/71 \times 0/864 + 13/02 \times 0/8] \quad (۲۵)$$

$$R_S = 83/97$$

و در پایان فرودگاه ایلام نیز با استفاده از مدل رتبه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت که در آن، سیستم نظارتی چندگانه رتبه A و سیستم نظارت مراقبت ثانویه رتبه C را کسب نمودند.

۸- نتیجه‌گیری

وجود سیستم‌های پیشرفته و نوین نظارتی در صنعت حمل و نقل هوایی هر کشور می‌تواند ضریب ایمنی در سفرهای هوایی را افزایش دهد. پس اطلاع داشتن در مورد سیستم‌های نظارتی که بهترین عملکرد، بیشترین ایمنی و کمترین هزینه را داشته باشد برای صنعت حمل و نقل هوایی هر کشور امری مهم قلمداد می‌گردد. به همین منظور تعیین مدلی که توانایی رتبه بندی و شناسایی نقاط ضعف و قوت سیستم‌های نظارتی و مراقبتی را داشته باشد می‌تواند کمک شایانی در بهبود عملکرد نظارتی پروازی و داخل فرودگاه داشته باشد. در این تحقیق با رویکردی نوین، روشی به منظور رتبه بندی سیستم‌های نظارتی هوایی بر اساس سطوح هزینه و ایمنی این سیستم‌ها ارایه گردید است و این عوامل به دقت مورد بررسی و شناسایی قرار گرفتند. با توجه به آنالیز پارامترهای ارایه شده (هزینه و ایمنی و زیر بخش‌های آنها) در بخش رتبه‌بندی سیستم‌های نظارتی مشخص گردید که سیستم نظارتی چندگانه (MLAT) با دارا بودن وزن نهایی ۸۷٪ دارای رتبه (A)، سیستم نظارتی مراقبتی ثانویه (SSR) با وزن نهایی ۵۱٪ در رده (C) و سیستم نظارتی مراقبتی اولیه (PSR) با وزن نهایی ۲۳٪ در رده (D) قرار می‌گیرد. پس مشخص می‌گردد سیستم نظارتی چندگانه می‌تواند به عنوان بهترین گزینه برای انتخاب سیستم نظارتی بهینه ارایه شده و در فرودگاه‌های کوهستانی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در بخش مطالعه موردی انجام گرفته در سه فرودگاه کوهستانی سنندج، شهرکرد و ایلام نیز سیستم نظارتی چندگانه (MLAT) با به دست آوردن رتبه (A) به عنوان سیستم نظارتی بهینه نسبت به دو سیستم نظارتی مراقبت اولیه (PSR) و ثانویه (SSR) معرفی گردید.

۹- پی‌نوشت‌ها

1. Primary Surveillance Radar (PSR)
2. Secondary Surveillance Radar (SSR)
3. Multilateration
4. Time Different Of Arrival
5. Receiving Station (RX_S)
6. Transmitting Station (TX_S)
7. Central Processing Station (CPS)

۱۰- مراجع

- Alfred Gulder, Austro Control Gmb, Wide Area Multilateration, Austria, 2008.
- Bernhard Wolfmayer, Surveillance system, Austro Control, 2010.
- DI Helmut Schreiber, Bernhard Wolfmayer, separation and airspace safety panel (sasp) meeting of the working group of the whole, collection of Multilateration Data vs. GNSS in Flight Data Recordings, International Civil Aviation Organization, University of Graz and Austro control, May 2007.
- Era Radar Technology, Multilateration Surveillance System of ERA, (www.era.cz).
- H. Miyazaki, T. koga, E. Ueda, Y. Kakubari, S. Nihei, Evaluation Results of Airport Surface Multilateration, workshop on

www.SID.ir

Archive of SID

- System Development History and Performance, MIT Lincoln laboratory, Massachusetts, 2009.
- W.H.L. Neven, T.J. Quilter, R. Weedon and R.A. Hogendoorn, Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04, Version 1.1, Eurocontrol, August, 2005.
- W.H.L. Neven, T.J. Quilter, R. Weedon and R.A. Hogendoorn, Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04, Version 1.1, Eurocontrol, August, 2005.

ATM/CNS, Tokyo, Japan, 2010.

- Hiromi Miyazaki, Tadashi Koga, Eisuke Ueda, Izumi Yamada, Yasuyuki Kakubari And Shiro Nihei, Evaluation Results of Multilateration at Narita International Airport, Electronic Navigation Research Institute, 2007.
- INDRA Company, Air Traffic Management Multilateration System, Spain, July 2009.
- J. F. Alonso, C. Benavente, J. M. Pardo, Wide Area Multilateration Modeling, University de Madrid, Madrid, Spain, 2008.

www.SID.ir

Archive of SID

A Ranking Model of Air Surveillance System in Mountainous Airports Utilizing AHP Method

S. R. Bagheri, M.Sc. Grad., Transportation Engineering, Tarahan Parseh Transportation Research Institute, Tehran, Iran.
M. Saffarzadeh, Professor, Department of Civil and Environment Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: s.ramtinbagheri@gmail.com

ABSTRACT
A well-developed of air surveillance system is one of the most important factors for development and growth air transportation system.The surveillance system directly relates with the safety of air transport network including, airports, air routes, and the fleet. One of the newly developed systems is the multilateration system which is located on the ground and can accurately determine the aircraft position by its three antennas based on the signal's time different of arrival. Due to its lower cost of capital, implementation, repair and maintenance, it started to be widely used throughout the world. In this paper using the Analytical Hierarchical Process (AHP) an attempt was made to develop a ranking model to prioritize the different surveillance system based on the safety and cost parameters. The two main system analyzed in this paper are secondary surveillance system radars (SSR) and the Multilateration system. These two systems were evaluated based on the technical and economical parameters and a ranking model was also proposed. The developed model was evaluated in the three different mountainous airports in Iran. The MLAT system shown to be the most cost effective air surveillance system for the mountainous airports. The developed model can be used for evaluation of any type of system at any set of airports.

Keywords: Ranking Model, Air Surveillance, Mountainous Airport

www.SID.ir