



RADAR

2

MLAT

0

ADS-B

2

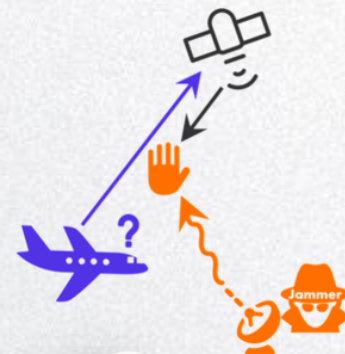
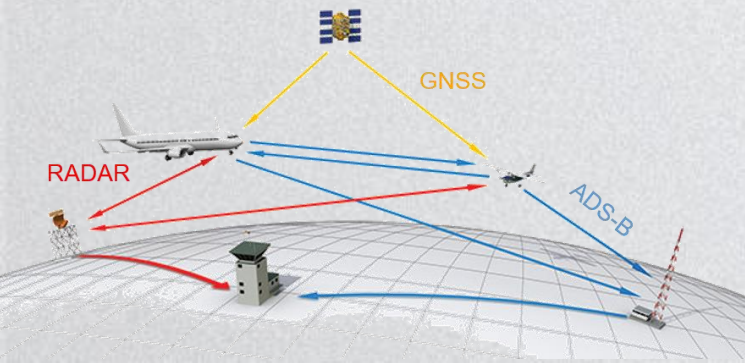
6



ارائه چارچوب پیشنهادی جهت بازسازی و ارتقاء پوشش نظارتی خدمات ترافیک هوایی کشور

مروری بر مزایا و معایب

RADAR	MLAT	ADS-B	
بالا	متوسط	کم	استهلاك دستگاه
بالا	متوسط	پایین	قیمت
خوب	خوب	بالا	دقت
متوسط	بالا	بالا	مشاهده ترافیک های ارتفاع پایین
طولانی	متوسط	خوب	راه اندازی سریع
بالا	متوسط	کم	تعمیر و نگهداری
متوسط	خوب	بالا	قدرت تفکیک ترافیک های مجاور
ندارد	ندارد	دارد	نیاز به نصب دستگاه جدید در هواپیما
طولانی	متوسط	خوب	زمان خرید و نصب
مستقل	مستقل	متکی	متکی به GPS
دارد	ندارد	ندارد	بدیده های garbling و FRUIT



سعید شیرزادی



مستند به بررسی‌های میدانی، مطالعات تطبیقی، تحلیل تجارب
بین‌المللی و با لحاظ شرایط عملیاتی موجود کشور، نسبت به تدوین
یک چارچوب مشورتی اقدام شده است که جهت استحضار و
بهره‌برداری تقدیم می‌گردد:





مروری بر مزایا و معایب

RADAR

RAdio Detection And Ranging

- ◀ هزینه پیاده‌سازی بالا نسبت به رقبا
- ◀ نگهداری بیشتر و هزینه بالاتر نگهداری
- ◀ نیاز به قدرت فرستنده بالا
- ◀ پدیده‌های FRUIT و garbling

◀ نیاز به ساختمان و تاسیسات بیشتر، نیاز به جاده‌سازی جهت رسیدن به سایت

◀ سرعت پایین تر به‌روز رسانی داده‌ها نسبت به رقبا: (رادار هر ۴ تا ۱۲ ثانیه یکبار، نتیجه: پرش بر روی نمایشگر، سامانه ADS-B چندین بار در ثانیه)

◀ وجود بخش چرخشی: (آسیب پذیرترین بخش سیستم راداری)

◀ وابسته بودن دقت به موقعیت هواپیما نسبت به آنتن (در رادار هرچه فاصله هواپیما تا آنتن بیشتر باشد دقت کمتر خواهد بود)

◀ متکی به ترنسپاندر داخلی هواپیما جهت کشف هواپیما

◀ دریافت دو پاسخ به طور همزمان منجر به "تشخیص" یک هواپیمای کاذب (غیرموجود) یا عدم شناسایی هدف میشود

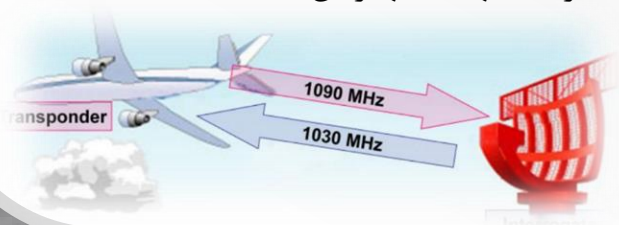
◀ مستقل بودن سیستم نظارتی از سیستم ناوبری

◀ مجهز بودن تقریبا همه پروازهای متوسط و سنگین به پاسخگر و عدم نیاز به صرف هزینه جهت تجهیز آنها

◀ در دسترس بودن تمامی استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

◀ عدم وابستگی سامانه به GPS (GNSS)

◀ مقاوم در برابر پارازیت



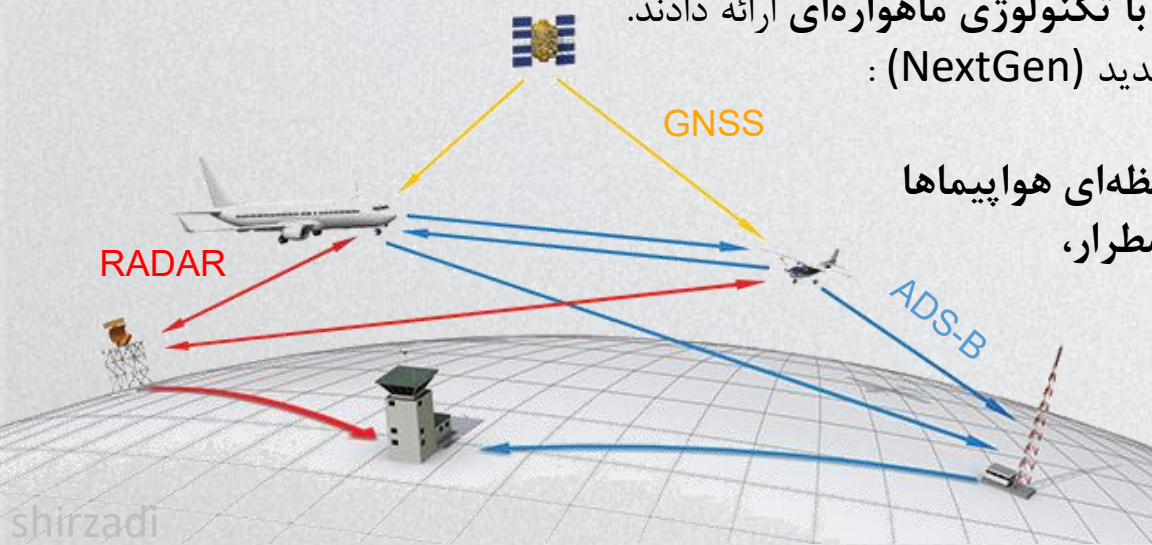
ADS-B

این سیستم موقعیت دریافت شده از GPS را با اطلاعات دیگری نظیر نوع هواپیما، سرعت، شناسه هواپیما، نحوه چرخش، کاهش یا افزایش ارتفاع را به صورت کد دیجیتالی ارسال می‌نماید. این کد شامل اطلاعاتی است که چندین بار در ثانیه بروز رسانی می‌شود و در محدوده ۱۶۰-۲۴۰ کیلومتری توسط گیرنده‌های ADS-B قابل دریافت است.

طبق برآورد انجام شده تعداد مسافرت‌های هوایی در آینده‌ای نزدیک دو برابر خواهد شد. مدیریت و هدایت ایمن چنین حجمی از ترافیک هوایی بدون استفاده از سامانه‌ها و پروتکل‌های ناوبری و نظارتی مدرن امکان‌پذیر نخواهد بود. بر اساس نیازهای موجود در این زمینه در سپتامبر ۱۹۹۱، دهمین کنفرانس ناوبری هوایی ICAO، به اتفاق، تمامی اعضا راهکاری برای **تغییر تکنولوژی سیستم‌های زمینی به سیستم‌هایی با تکنولوژی ماهواره‌ای** ارائه دادند.

هدف از توسعه و بکارگیری این سامانه‌های نسل جدید (NextGen):
کاهش خطا در تعیین موقعیت هواپیماها،

افزایش توانایی کنترلرها در تعیین موقعیت لحظه‌ای هواپیماها
بهبود کمک‌رسانی به هواپیماها در وضعیت اضطرار،
استمرار و تداوم خدمات نظارتی و
کاهش هزینه، است.

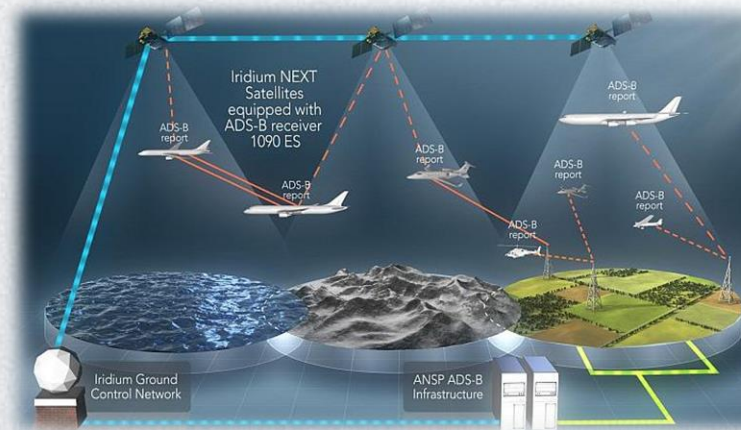


ADS-B

در این راستا ، نه تنها می‌بایست به لحاظ وسعت و پوشش سرویس‌دهی قابلیت‌های خود را افزایش دهیم بلکه با ورود هواپیماهای بیشتر باید ایمن‌سازی و دقت سیستم‌های مراقبتی را نیز به حد قابل قبولی ارتقا دهیم تا بتوانیم در يك فضاي مشخص تعداد هواپیماهای بیشتری را با ایمنی بالا کنترل نماییم.

با وجود اینکه نصب و تعمیر و نگهداری تجهیزات زمینی ADS-B آسان و به نسبت کم هزینه هستند، اما آنچه تاکنون مانع از فراگیری این سیستم بوده، **هزینه بالاي تجهیز هواپیما** به این سیستم است.

شاید بتوان گفت مهم‌ترین سامانه در مدیریت ترافیک هوایی در 15 سال آینده ADS-B خواهد بود.



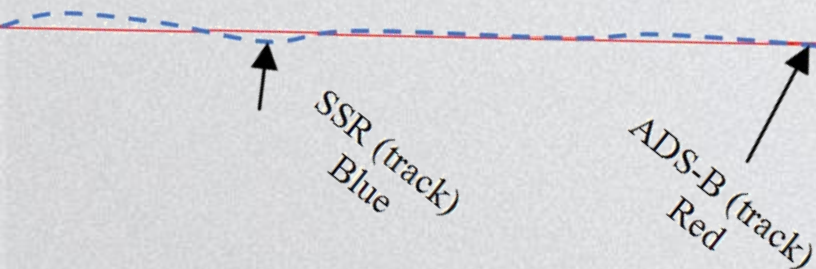
مروری بر مزایا و معایب ADS-B

- ◀ **نرخ بروزرسانی بالا:** (چندین برابر سامانه‌های دیگر) (ارائه دقت بالا از موقعیت پرنده)
- ◀ **تبادل اطلاعات بین هواپیماها علاوه بر مراکز زمینی :** (هر گیرنده‌ای در محدوده ۲۴۰-۱۶۰ کیلومتری می‌تواند اطلاعات را دریافت نماید)
- ◀ **نظارت در روی زمین و مناطق کوهستانی:** (نظارت بر ترافیک مسیرهای حرکت هواپیما روی زمین، باند فرودگاه‌ها)
- ◀ **باعث افزایش اعلان اجتناب از برخورد ارتفاع از زمین، زیر ۱۰۰۰ پا و تداخل در باند**
- ◀ **ارائه سریع و یکسان اطلاعات به استفاده‌کنندگان:** (در زمان واحد، اطلاعاتی یکسانی در اختیار کنترلرهای زمینی و خلبانان قرار می‌گیرد)
- ◀ **ارائه اطلاعات مهم و کاربردی هواشناسی به هواپیما**
- ◀ **افزایش کارایی سیستم اجتناب از برخورد (ACAS)**
- ◀ **شناسایی هواپیما در شرایط اضطراری مانند سوانح هوایی.**
- ◀◀ **با این حال، نگرانی‌ها از وابستگی سامانه ADS-B است.** سامانه ADS-B بطور زیاد در موقعیت‌یابی GPS به ماهواره وابسته است.

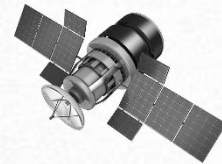
مقایسه سامانه‌های رادار و ADS-B

- ◀ سامانه ADS-B **کاملاً** به GNSS وابسته است در صورتی که رادار ثانویه اینطور نیست.
- ◀ سامانه ADS-B از نظر هزینه پیاده‌سازی نسبت به سیستم رادار **مقرون به صرفه تر است** (هر ایستگاه رادار حدود ۸ برابر هزینه دارد)
- ◀ **دقت و سرعت به روز رسانی داده‌ها** در ADS-B بهتر از رادار است. (رادار هر ۴ تا ۱۲ ثانیه یکبار، سامانه ADS-B چندین بار در ثانیه. نتیجه: پرش بر روی نمایشگر رادار)
- ◀ از دیگر امتیازات ADS-B نسبت به رادار می‌توان به **نگهداری آسان و هزینه کم نگهداری، قدرت فرستنده کمتر، فضای سایت بسیار کمتر، عدم نیاز به جاده‌سازی جهت رسیدن به سایت، عدم وجود بخش چرخشی** که آسیب پذیرترین بخش سیستم راداری است، **نیاز به ساختمان و تاسیسات بسیار کمتر و وابسته نبودن دقت به موقعیت هواپیما نسبت به آنتن** (در رادار هرچه فاصله هواپیما تا آنتن بیشتر باشد دقت کمتر خواهد بود) اشاره کرد.

با وجود تمامی این ویژگی‌ها رادار ثانویه در برخی موارد نسبت به ADS-B مزیت‌هایی دارد که می‌توان به مواردی همچون **مستقل بودن سیستم نظارتی از سیستم ناوبری، در دسترس بودن تمامی استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه، مجهز بودن تقریباً همه پروازهای متوسط و سنگین به پاسخگر و عدم نیاز به صرف هزینه جهت تجهیز آن‌ها** اشاره نمود.



در شکل نمونه‌ای از مقایسه **دقت نمایش مسیر حرکت** بین سامانه ADS-B و رادار نشان داده شده است که دقت بهتر سامانه ADS-B نسبت به رادار نظارتی ثانویه را نمایش می‌دهد. تمامی دلایلی که بیان شد استفاده از ADS-B را نسبت به رادار توصیه می‌کند و این امکان وجود دارد در آینده از رادار به عنوان پشتیبانی برای سیستم‌های نوین استفاده گردد.



اختلالات GNSS تهدیدی به سرعت در حال رشد برای صنعت هوانوردی است و پرازیت و جعل GNSS هر روز، در سراسر جهان رخ می‌دهد.

در حالی که صنعت هوانوردی به سیستم‌های GNSS وابسته است، این سیگنال‌ها به شدت در برابر اختلال آسیب‌پذیر هستند. کسانی که از این امر سود می‌برند، اکنون تداخل GNSS را به عنوان سلاح استفاده کرده‌اند و این امر مشکلات بسیار واقعی را در فضای هوایی جهانی ایجاد می‌کند.

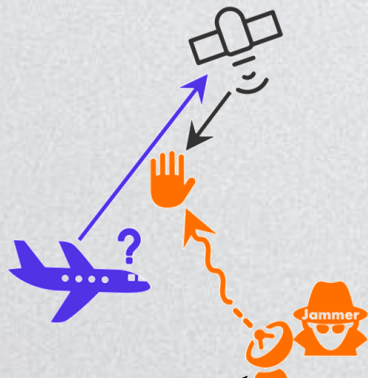
آمار رشد اختلالات در سال‌های اخیر:

- در سال 2021، 11000 حادثه تداخل GNSS ثبت شد.
- در سال 2022، این رقم به بیش از 49000 حادثه افزایش یافت.
- بین آگوست 2023 و مارس 2024، حدود 46000 وقفه فقط در منطقه بالتیک گزارش شده است.
- در سال ۲۰۲۴، کشور نسبتاً کوچک فنلاند ۲۸۰۰ اختلال را فقط در حریم هوایی خود گزارش کرد.

ما شاهد یک روند هستیم: افزایش سریع تعداد اختلالات GNSS، و هیچ نشانه‌ای از کند شدن آنها نشان نمی‌دهند.

در حالی که پرازیت و جعل GNSS در سطح جهانی در حال افزایش است، وقوع آنها به ویژه در مناطق پرتراфик، مناطق جنگی و مناطقی با درگیری‌های ژئوپلیتیکی مداوم زیاد است.

در حالی که اکثر کشورها قوانین و مقرراتی در مورد پرازیت‌اندازه‌های GPS دارند، تهیه این دستگاه‌ها نسبتاً آسان است، حتی در جایی که به طور قانونی خریداری نمی‌شوند. حتی پرازیت‌اندازه‌های نظامی در دست غیرنظامیان یافت می‌شوند، بنابراین قوانین و مقررات تأثیر آن را کند نمی‌کنند.

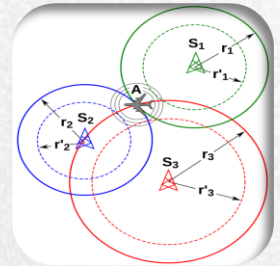
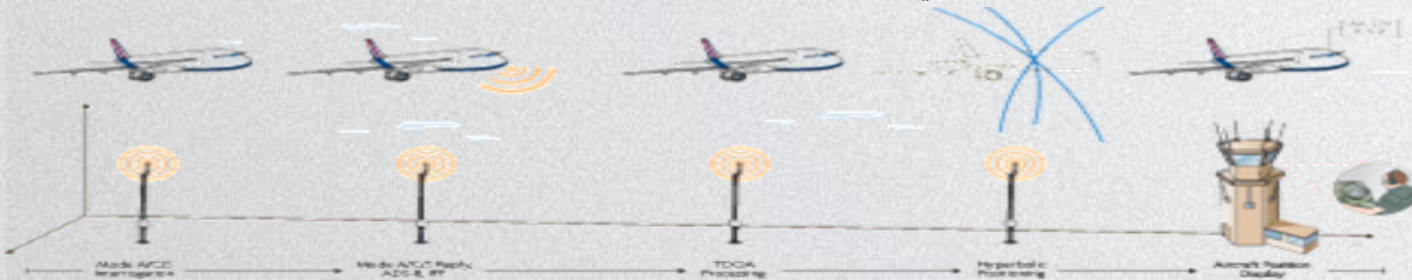


MLAT

✈ با افزایش روزافزون حوادث تداخل GNSS و ایجاد خطرات فزاینده برای ایمنی پرواز، MLAT به عنوان یک فناوری حیاتی و مقاوم برای نظارت بر هواپیماها شناخته می‌شود. توانایی آن در ارائه موقعیت‌یابی بلادرنگ و مقاوم در برابر تداخل، ایمنی هوانوردی و کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهد. دقت، مقرون به صرفه بودن و استقلال آن از GNSS، آن را به ابزاری حیاتی در بخش‌های مختلف و برای موارد استفاده مختلف تبدیل کرده است

✈ در واقع MLAT از تعدادی ایستگاه زمینی تشکیل شده است که در نقاط مشخصی در اطراف فرودگاه یا TMA و یا حتی منطقه‌ی وسیع‌تری، (WAM) قرار گرفته‌اند. و لازم نیست هیچ دستگاه جدیدی روی هواپیما نصب شود. حسگرهای MLat را می‌توان در محدوده فرودگاه برای نظارت زمینی، در داخل و نزدیکی فرودگاه برای نظارت بر ترافیک ورودی و خروجی یا در یک منطقه گسترده، جایی که رادار معمولی عملی یا ممکن نیست، برای نظارت بر ترافیک مسیر، قرار داد.

✈ پروژه EURIALO این پیشرفت را حتی فراتر می‌برد و MLAT را با فناوری مبتنی بر فضا ادغام می‌کند تا یک سیستم ردیابی هواپیما بی‌نظیر ایجاد کند. EURIALO با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از ماهواره‌های LEO، پوشش جهانی یکپارچه، قابل اعتماد و بدون وقفه مقرون به صرفه‌ای را تضمین می‌کند که از سیستم‌های نظارتی سنتی پیشی می‌گیرد. این امر نه تنها نظارت بر ترافیک هوایی را تقویت می‌کند، بلکه خطرات رو به رشد ناشی از آسیب‌پذیری‌های GNSS را نیز کاهش می‌دهد. با ادامه تکامل هوانوردی، MLAT و EURIALO در کنار هم، یک راه‌حل آینده‌نگر برای یک فضای هوایی جهانی امن‌تر و کارآمدتر ارائه می‌دهند.



مزایا و معایب MLAT

◀ افزایش آگاهی موقعیتی و تکمیل رادارهای سنتی : ارائه دهندگان خدمات ناوبری هوایی (ANSP) ، MLAT را برای افزایش آگاهی موقعیتی و تکمیل رادارهای سنتی ادغام می کنند. نهادهای نظارتی مانند اداره هوانوردی فدرال (FAA) و یوروکنترل ، MLAT را در شبکه های نظارتی خود به کار می گیرند تا ردیابی هواپیما را در ترمینال و فضای هوایی بهبود بخشند و کارایی عملیاتی و ایمنی را بهبود بخشند.

- ◀ مقرون به صرفه بودن سامانه MLAT نسبت به رادار از لحاظ زیرساخت های و هزینه های عملیاتی و نگهداری
- ◀ افزایش پوشش در محیط های چالش برانگیز: (از جمله زمین های کوهستانی، مناطق دورافتاده و فضای هوایی فراساحلی)
- ◀ ایمنی عملیات: بعلت مستقل بودن از GNSS و بنابراین دوری از اختلال یا تداخل ناشی از جنگ الکترونیکی

- ◀ پوشش و افزونگی پیشرفته ADS-B
- ◀ کمک به عملیات جستجو و نجات با تعیین دقیق سیگنال های اضطراری از فرستنده های موقعیت یاب اضطراری هواپیما (ELT)
- ◀ کاربردهای نظامی و امنیتی (ردیابی هواپیماهای غیرهمکار، مانند پروازهای ناشناس یا مشکوک)
- ◀ حرکت روان هواپیما در مانیتور کنترلر : (هریک ثانیه به روز می شود)

◀ دقت

تجزیه و تحلیل سیستم نظارت ثانویه SSR و سیستم MLAT

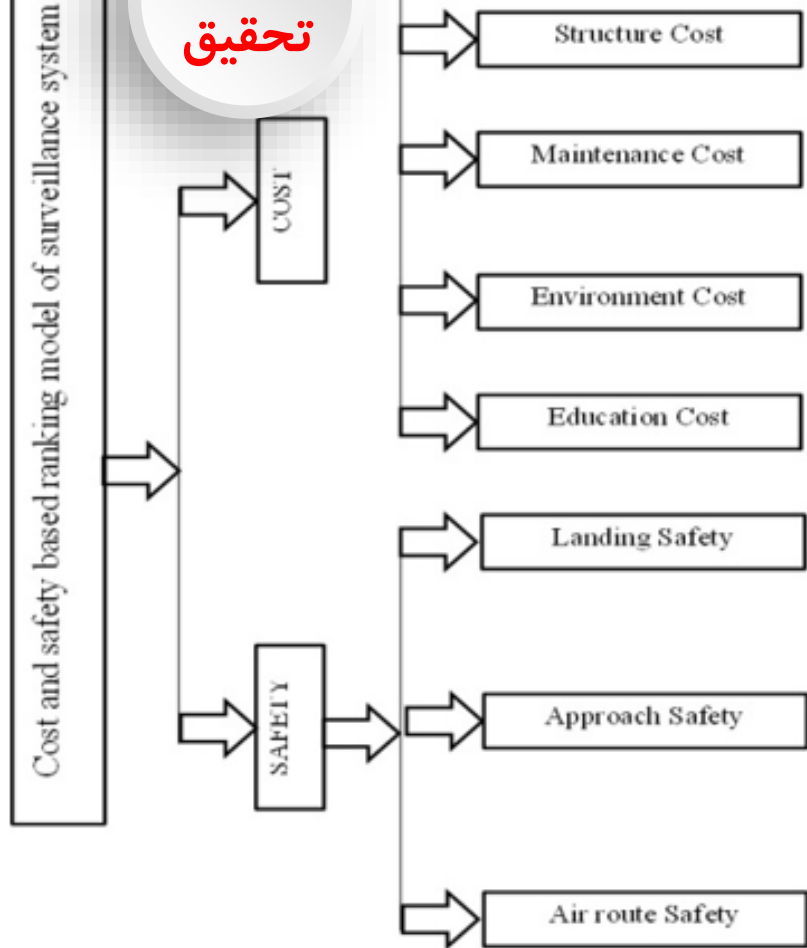
دو سیستم اصلی مورد تجزیه و تحلیل در این مقاله، سیستم نظارت ثانویه SSR و سیستم MLAT هستند. این دو سیستم بر اساس پارامترهای فنی و اقتصادی ارزیابی شدند و یک مدل رده بالا نیز پیشنهاد شد. مدل توسعه یافته در سه فرودگاه کوهستانی ایلام، سسندج و شهرکرد ارزیابی شد.

سیستم MLAT نشان داده است که **مقرون به صرفه ترین سیستم نظارت هوایی برای فرودگاه های کوهستانی** است. مدل توسعه یافته می تواند برای ارزیابی هر نوع سیستمی در هر مجموعه ای از فرودگاه ها استفاده شود.

در مطالعه حاضر، با توجه به اهمیت بالای سیستم های نظارت هوایی، تلاش شد تا با به دست آوردن پارامترهای نظارتی مؤثر، معیارهای فنی و اقتصادی برای مقایسه گزینه های مختلف این سیستم ها پیدا شود. نکته کلیدی در ارائه استراتژی برای به کارگیری سیستم های نظارتی جدید و طراحی رویکردهای جدید، مطالعه و بررسی سیستم های نظارتی با در نظر گرفتن الزامات فنی، عملیاتی، اقتصادی، علمی، سازه ای و زیست محیطی است که از طریق آن می توان نقاط قوت و ضعف یک سیستم نظارتی را در مقایسه با سیستم های نظارتی موجود در سایر کشورها مقایسه کرد.

در این بخش، یک مدل بهینه از سیستم نظارتی برای هر پارامتر مؤثر معرفی شده و سپس یک مدل بهینه سازی جامع برای تمام پارامترها ارائه شده است. برای هر پارامتر، ابتدا نمودار سلسله مراتبی پارامترها معرفی شده و سپس وزن های جزئی و در نهایت اهمیت هر پارامتر تعیین شده است. با توجه به مدل های ارائه شده، برای هر مورد امتیازی در محدوده ۰ تا ۱۰۰ اختصاص داده شده است.

نتیجه تحقیق



در این تحقیق، با استفاده از یک رویکرد نوین، تکنیکی برای رتبه‌بندی سیستم‌های نظارت هوایی بر اساس سطوح هزینه و ایمنی ارائه شد. با توجه به تجزیه و تحلیل پارامترهای پیشنهادی (هزینه، ایمنی و زیرشاخه‌های آنها)، نتایج زیر بدست آمد:

سیستم MLAT : وزن نهایی ۸۸٪ و رتبه A

سیستم SSR : وزن نهایی ۵۸٪ و رتبه C

بنابراین، مشخص است که سیستم‌های MLAT می‌توانند بهترین گزینه برای انتخاب سیستم نظارتی بهینه باشند و برای فرودگاه‌های **کوهستانی** قابل استفاده هستند. علاوه بر این، با آزمایش مدل توسعه‌یافته در سه فرودگاه واقع در مناطق کوهستانی شامل سندنج، شهرکرد و ایلام مشخص شد که سیستم‌های MLAT در مقایسه با SSR، سیستم‌های نظارتی کارآمدتری (رتبه A) هستند.

System Type	Ranking classification	System Value
MLAT	A	88%
SSR	C	58%

فاز صفر

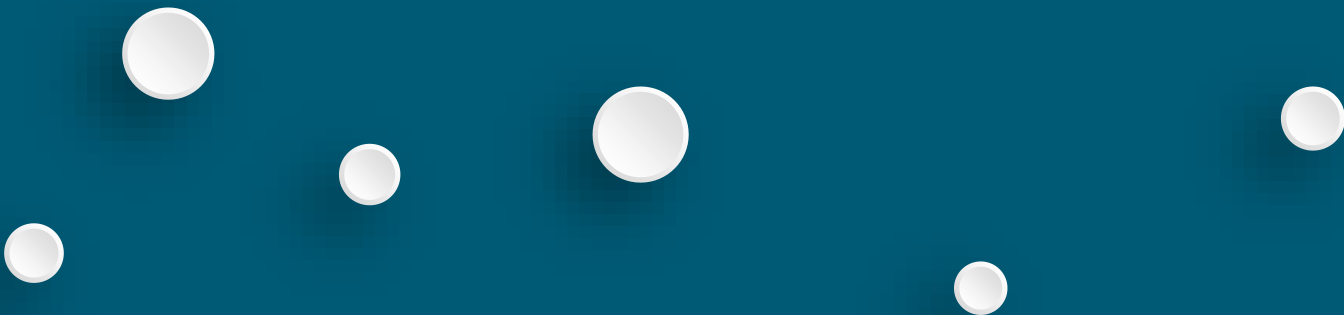
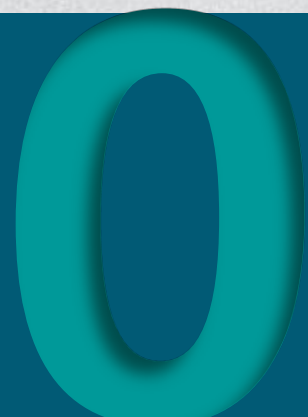
در قالب «فاز صفر»، توجه به اقدامات ذیل قابل تأکید است:

بازطراحی ساختار فضا و مسیرهای پروازی،

بازنگری و به‌روزرسانی دستورالعمل‌های عملیاتی، و

تقویت سرمایه انسانی از ابعاد انگیزشی، مهارتی و آموزشی،

در راستای ارتقاء سطح ارائه خدمات سرویس Procedural، به‌عنوان الزامی مکمل،



فاز یک

بر این مبنا، و در چارچوب **فاز نخست** مدیریت و برون‌رفت از شرایط موجود، با لحاظ ملاحظات از جمله تسریع در زمان استقرار، بهینه‌سازی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، کاهش وابستگی به منابع و تأمین‌کنندگان خارجی، امکان بهره‌برداری از زیرساخت‌ها و تجهیزات موجود، و قابلیت توسعه‌پذیری و یکپارچه‌سازی با سایر سامانه‌های نظارتی در افق میان‌مدت و بلندمدت، بررسی امکان راه‌اندازی سامانه **MLAT** در فرودگاه‌ها و مسیرهای حیاتی و آسیب‌دیده، به‌عنوان یک راهکار بالقوه، توصیه می‌گردد.



RADAR

MLAT

ADS-B

بالا	متوسط	کم	● استهلاك دستگاه
بالا	متوسط	پایین	● قیمت
خوب	خوب	بالا	● دقت
متوسط	بالا	بالا	● مشاهده ترافیک های ارتفاع پایین
طولانی	متوسط	خوب	● راه اندازی سریع
بالا	متوسط	کم	● تعمیر و نگهداری
متوسط	خوب	بالا	● قدرت تفکیک ترافیک های مجاور
ندارد	ندارد	دارد	● نیاز به نصب دستگاه جدید در هواپیما
طولانی	متوسط	خوب	● زمان خرید و نصب
مستقل	مستقل	متکی	● متکی به GPS
دارد	ندارد	ندارد	● پدیده های garbling و FRUIT
متوسط	خوب	بالا	● به روز رسانی داده ها

سخن پایانی

مستند به بررسی‌های میدانی، مطالعات تطبیقی، تحلیل تجارب بین‌المللی و برگزاری جلسات متعدد کارشناسی، و با لحاظ شرایط عملیاتی موجود کشور، نتایج ذیل جهت استحضار و بهره‌برداری تقدیم می‌شود:

مستند به تجارب موفق بین‌المللی و رهنمودهای تخصصی سازمان بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی، بهره‌گیری از **رویکرد ترکیبی** در استقرار سامانه‌های نظارتی، مشتمل بر RADAR ، MLAT و ADS-B ، به‌عنوان **الگوی بهینه** در **ارتقاء سطح پوشش**، **افزایش ظرفیت** و **بهبود کارایی** مدیریت ترافیک هوایی مورد تأیید قرار گرفته است. با تأکید بر نصب سامانه MLAT در فرودگاه‌ها (علی‌الخصوص مهاباد) و در برخی مسیرهای تاکتیکی و پر ترافیک و نه کل فضا.



از توجه شما سپاسگزاریم
جامعه متخصصین مراقبت پرواز ایران
سعید شیرزادی