

(علمی - ترویجی)

# بررسی ماژول FRTO از دیدگاه ناوبری با رویکرد PBN

در این مقاله به بررسی نحوه پیاده‌سازی و اجرای ماژول FRTO از طرح جامع ASBU که جدیدترین و آخرین سند هوانوردی ایکائو برای کمک به رفع نیازهای آتی صنعت هوانوردی و افزایش ظرفیت‌های عملیاتی با هدف بالا بردن ایمنی، صرفه اقتصادی و ظرفیت مسیرهای هوایی است، پرداخته شده است. هدف از اجرای این ماژول استفاده بهینه از فضای پروازی در کشور ایران و منطقه خاورمیانه می‌باشد. بنابراین، در بخش دوم این مطالعه زیرساخت‌های ناوبری مورد نیاز را تشریح و سپس اقدامات لازم جهت اجرایی شدن این ماژول از دیدگاه PBN در TMA تهران مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: FRTO, PBN, ASBU, TMA

محسن کاظمی<sup>۱\*</sup>، کارشناس ارشد مهندسی مخابرات، اداره مهندسی الکترونیک هواپیمایی فرودگاه بین‌المللی مهرآباد

به‌نور رضایی نیارکی<sup>۲</sup>، کارشناس الکترونیک، فرودگاه بین‌المللی مهرآباد

زهرا حمیدزاده دلوزی<sup>۳</sup>، دانشجوی کارشناسی الکترونیک هواپیمایی، دانشکده صنعت هواپیمایی

\*نویسنده مخاطب، آدرس: تهران، کدپستی: ۱۳۸۷۸۳۵۱۵۰

## Investigation of FRTO Module from a PBN Approach with Navigation Perspective

*This article study how to implement FRTO Module of ASBU Master Plan (the latest and most recent ICAO aviation document) to help meet the future needs of aeronautical industry and to increase operational capacity with the aim of increasing safety, cost-effectiveness, and airways capacity. The purpose of this module is to optimally use the airspace of the Islamic Republic of Iran and the Middle East region. Therefore, in the second part of this study, the navigational infrastructure required is described and the steps for the implementation of this module from the perspective of PBN in Tehran's TMA have been investigated.*

**Keywords:** TMA, ASBU, PBN, FRTO

M. Kazemi<sup>1\*</sup>, M.Sc., Deputy of CMS Department at Mehrabad International Airport

B. Rezaei Niyaraki<sup>2</sup>, Electronics Expert, Specialist in Navigating Equipment Mehrabad Airport

Z. Hamidzadeh Delarzi<sup>3</sup>, B.Sc. Student, Aviation Electronics, Civil Aviation Technology College

\*Corresponding Author, Postal Code: 1387835150, Tehran, IRAN

mo.kazemi@airport.ir

## مقدمه

رشد ترافیک هوایی جهانی از یک سو و فراهم کردن ایمنی پروازها از سوی دیگر باعث شد تا ایکائو برای حل مشکلات مربوطه یک قالب کاری جامع و در برگیرنده اصول کلیدی و سیاست هوانوردی در راستای اجرای طرح‌های ناوبری هوایی جهانی ارائه نماید. این طرح با نام ارتقاء بلوک سیستم هواپیمایی، ماژول‌های آن و تکنولوژی پوشش‌دهنده وابسته به آن شامل ناوبری، ارتباطات، نظارت، مدیریت اطلاعات و ایونیک می‌باشد.

زمانی که بلوک‌ها و ماژول‌های این طرح توسط اعضای ایکائو پذیرفته می‌شوند ارتقا‌های بلوکی برای دولت‌ها، سازندگان تجهیزات، اپراتورها و فراهم‌کنندگان خدمات ایجاد تعهد می‌نماید. در این خصوص یکی از مهم‌ترین اولویت‌های ایکائو توجه به آلاینده‌های زیست محیطی و جلوگیری از پخش مواد مضر در فضا و همچنین کاهش نویز ناشی از پروازها بود. از این‌رو، ایکائو در بلوک صفر همه دولت‌ها را به طراحی مسیرهای هوایی انعطاف‌پذیر و خدمات ترافیک هوایی مطابق با مفهوم ناوبری کارایی محور ملزم می‌کند. بنابراین، ایکائو ماژول عملیات مسیر آزاد (بهینه‌سازی مسیر پروازی در راه‌های هوایی) را برای پیاده‌سازی توسط همه دولت‌های عضو در کوتاه مدت در نظر گرفته است که در ادامه به تشریح این ماژول می‌پردازیم [۱].

## بررسی ماژول FRTO

در این ماژول برای استفاده بهینه از یک فضای پروازی، یک نقطه به عنوان ورودی به آن فضا و یک نقطه به عنوان خروجی تعیین می‌شود. در فضای گفته شده، مسیریابی به کمک مجموعه‌ای از نقاط میانی به نام نقاط راهنما<sup>۱</sup> که از قبل تعریف شده است و یک سری نقاط تعریف نشده دیگر (در صورت عدم وجود مناطق ممنوع پروازی) با استفاده از سرویس کنترل ترافیک هوایی انجام می‌پذیرد. همچنین، در راستای بهینه‌سازی مسیرهای پروازی با کمک روش‌ها و امکانات بالقوه موجود در فضای پروازی، استفاده از فضا را بهبود می‌دهد. این ماژول فرصتی است برای بهره‌برداری از قابلیت‌های ناوبری مبتنی بر عملکرد به منظور از بین بردن محدودیت‌های طراحی فضا و انعطاف‌پذیری بیشتر عملیات هوانوردی به طوری که مدیریت و اداره جریان ترافیک را تسهیل می‌کند. ماژول مذکور از سه مفهوم کلی زیر تشکیل شده است [۱]:

**الف- برنامه‌ریزی فضای پروازی:** در برنامه‌ریزی فضای پروازی<sup>۲</sup>، فراهم کردن امکان برنامه‌ریزی، هماهنگی و اطلاع‌رسانی برای استفاده بهینه از فضای پروازی مد نظر است. لازمه اجرایی شدن این مفهوم برنامه‌های کاربردی مانند تصمیم‌گیری مشارکتی<sup>۳</sup> برای فضای پروازی En-Route و پیش‌بینی بر پایه دانش در مورد استفاده از فضای موجود با در نظر گرفتن اولویت‌ها و همچنین اطلاع‌رسانی در مورد محدودیت‌ها است [۱].

**ب- استفاده انعطاف‌پذیر از فضای پروازی:** این مفهوم اجازه استفاده از فضاهایی که به نحوی جدا شده‌اند و همین‌طور قسمت‌های ذخیره شده برای مقاصد خاص را می‌دهد. همچنین، شامل تعریف مسیرهای پروازی موقت نیز می‌شود. بنابراین، استفاده انعطاف‌پذیر از فضای پروازی<sup>۴</sup> باید بیانگر اصول زیر باشد:

- ۱- باید هماهنگی بین مسئولان کشوری و نظامی در سطوح بالا و استراتژیک انجام شود. سپس، با کمک مدیریت فضای پروازی از طریق ایجاد توافقات و طرح‌های جدید برای افزایش امنیت و ظرفیت فضای مورد نظر، در راستای بهبود بهره‌وری و انعطاف‌پذیری عملیات‌های پروازی، سازماندهی شود.
- ۲- انطباق بین مدیریت فضای پروازی، مدیریت جریان ترافیک هوایی و سرویس‌های ترافیک هوایی باید در سطح مدیریت فضای کشور برای اطمینان از بهره‌مندی تمام کاربران، به بهترین نحو برنامه‌ریزی، ایجاد، بهره‌برداری و نگهداری شود.
- ۳- ذخیره فضای پروازی برای استفاده منحصر به فرد و خاص گروه‌هایی از کاربران باید به صورت موقت باشد و در یک مدت زمان محدود یا زمان واقعی استفاده اشغال شود و به محض مشخص شدن علت استفاده از آن، فضای هوایی آزادسازی می‌شود.
- ۴- دولت‌ها باید همکاری لازم با کشورها و کاربران دیگر برای اجرای کارآمد و سازگار مفهوم FUA در سراسر مرزهای ملی و یا مرزهای پروازی را به عمل آورند و به طور خاص در فعالیت‌های مرزی، این همکاری باید تمام مسائل قانونی، عملیاتی و فنی را پوشش دهد و
- ۵- واحدها و کاربران خدمات ترافیک هوایی<sup>۵</sup> باید به بهترین صورت ممکن استفاده از فضای موجود را در اختیار داشته باشند [۲].

2. Airspace Planning  
3. Collaborative Decision- Making (CDM)  
4. Flexible Use of Airspace (FUA)  
5. Air Traffic Services (ATS)

1. Waypoint

مرکز عملیات پرواز<sup>۱۲</sup> سیستم برنامه‌ریزی پرواز<sup>۱۳</sup> و سیستم های ناوبری هوایی آینده<sup>۱۴</sup> با قابلیت تبادل ارتباطات و نظارت به وسیله کنترل ترافیک هوایی<sup>۱۵</sup>، لازم می‌باشد [۵].

**ب- سیستم‌های زمینی:** با توجه به رشد فناوری‌ها در خصوص هوانوردی و حمایت و پشتیبانی بخشی از آن توسط سیستم‌های کمک ناوبری سنتی، جهت انجام عملیات حمل و نقل هوایی جهانی توسط کشورهای عضو، استانداردسازی اطلاعات و ارائه آن به طور فزاینده مورد نیاز می‌باشد. سیستم‌های کمک ناوبری سنتی دارای یک سری محدودیت‌ها در پوشش دادن تمامی نواحی مورد نیاز هستند. با این وجود برای استفاده پیشرفته‌تر از مسیرهای موقت، یک سیستم تصمیم‌گیری مشارکتی قوی و یک سیستم کمک ناوبری با عملکرد بالا برای هدایت و نمایش مسیرهای انعطاف‌پذیر مورد نیاز خواهد بود. علاوه بر رفع مشکل هماهنگی ممکن است سازگاری خاصی برای هدایت از نقاطی که روی آن‌ها کنترلی وجود ندارد نیاز باشد [۲].

**ج- سیستم‌های ماهواره‌ای:** اولین قدم در راستای پیاده‌سازی و استفاده از ناوبری کارایی محور PBN بدون نیاز به دستگاه‌های کمک ناوبری زمینی استفاده از رویه‌های براساس سیستم الحاقی ماهواره‌ای است. از این‌رو مسیریابی، افزایش ایمنی، بازدهی و دسترس‌پذیری با کمک سیستم ماهواره‌های ناوبری جهانی<sup>۱۶</sup> امکان‌پذیر است. یکی از سیستم‌های الحاقی ماهواره‌ای سیستم تقویت بر مبنای ماهواره<sup>۱۷</sup> است، در طراحی فضا به روش ناوبری کارایی محور نیازی به دستگاه‌های کمک ناوبری زمینی نیست که این عدم نیاز به طراحان انعطاف‌پذیری و آزادی کامل در محاسبه و طراحی مسیرهای هوایی را می‌دهد که این دستورالعمل‌ها می‌تواند با طرح‌های PBN یکپارچه طراحی شود. طراحی و پیاده‌سازی این ماژول به کمک ماهواره‌های سیستم موقعیت یاب جهانی<sup>۱۸</sup> و سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی<sup>۱۹</sup> صورت می‌گیرد [۳].

### مزایای FRTO

مزایای پیاده‌سازی ماژول FRTO عبارتند از [۱]:

- تعریف فضاها و مسیرهای خاص و مشترک بین کاربران نظامی و تجاری،

**ج- مسیریابی انعطاف‌پذیر:** مسیرهای هوایی برای الگوهای ترافیکی خاص پیکربندی و طراحی شده‌اند. از این‌رو، استفاده از مسیرهای جایگزین کوتاه‌تر در شرایط خاص پروازی مدنظر است. در نتیجه باید طراحی مسیرهای هوایی به گونه‌ای باشد که از یک طرف با الگوی ترافیک<sup>۶</sup> و از طرف دیگر با سایر عوامل متغیر مانند شرایط جوی و هواشناسی مطابقت داشته باشد. مفهوم مسیریابی انعطاف‌پذیر<sup>۷</sup> را می‌توان در شرایط خاص و پر تردد ترافیک هوایی مانند تعطیلات آخر هفته و یا تعطیلات فصلی، رویدادهای مهم مانند اجلاس‌های سیاسی و شرایط جوی از طریق ارائه یک سری مسیرهای جایگزین کوتاه‌تر درک نمود. این ماژول اولین قدم به سمت سازماندهی و مدیریت بهینه‌تر از فضای پروازی است اما نیاز به کمک‌های تخصصی‌تری دارد. برای مثال پیاده‌سازی اولیه ناوبری منطقه‌ای<sup>۸</sup>، PBN که از تکنولوژی زمینی موجود و اویونیک استفاده می‌کند و اجازه می‌دهد تا همکاری گسترده‌ای بین ارائه‌دهندگان خدمات ناوبری<sup>۹</sup> و سایر شرکا مانند ارگان‌های نظامی و شرکت‌های هواپیمایی و کشورهای همسایه شکل بگیرد [۲].

### امکان سنجی در FRTO

یک مفهوم هوافضایی<sup>۱۰</sup> طراحی و تعریف شده می‌بایستی حاوی مفاد زیر باشد:

- ساختار و نحوه انجام عملیات پروازی در این فضا می‌بایستی به طور کامل و با جزئیات لازم تشریح شود.
- می‌بایست کلیه اهداف استراتژیک شناسایی شده و در نتیجه انجام پروژه بیان شود.
- کلیه المان‌های کلیدی مورد نیاز در حوزه ارتباطات، ناوبری و نظارت/مدیریت ترافیک هوایی<sup>۱۱</sup> بیان و تشریح شود.
- کلیه مفروضات فنی و عملیاتی بیان و تشریح شود.
- سیستم‌های اویونیک، ناوبری و ماهواره‌ای تجهیز شود که عبارتند از:

**الف- اویونیک:** استفاده از PBN رو به افزایش است و ارائه خدمات به پرواز می‌تواند تسهیل و افزوده شود، اما چگونگی انتقال آن به هواپیما باقی خواهد ماند. مسیریابی مجدد پویا نیاز به تجهیز هواپیما به گیرنده‌ها و پردازشگرهای مناسب دارد. برای ردیابی پرواز و آپلود مسیرهای جدید محاسبه شده توسط

12. Flight Operating Center (FOC)  
13. Flight Planning System (FPS)  
14. Future Air Navigation Systems (FANS1/A)  
15. Air Traffic Control (ATC)  
16. Global Navigation Satellite System (GNSS)  
17. Satellite-based Augmentation System (SBAS)  
18. Global Positioning System (GPS)  
19. Global Navigation Satellite System (GLONASS)

6. Traffic Pattern  
7. Flexible Routing  
8. Area Navigation (RNAV)  
9. Air Navigation Service Provide (ANSP)  
10. Airspace Concept  
11. Communications, Navigation, and Surveillance/Air Traffic Management (CNS/ATM)

- قابلیت به‌روزرسانی لحظه‌ای طرح پروازی،
- محاسبه و کاهش هزینه، زمان و سایر عوامل مرتبط با پرواز با توجه به مسیر پروازی جدید،
- دریافت پیش‌بینی و وضعیت جوی از مراکز هواشناسی،
- دریافت و پردازش داده‌ها از سنسورهای مختلف نظارتی و
- مزایای زیست محیطی از طریق کاهش مصرف سوخت.

## طراحی فضا

تعیین حداقل فاصله جدائی افقی (طولی و عرضی) میان پروازها در مسیرهای هوایی از اصلی‌ترین پارامترهای طراحی فضا می‌باشد که تابعی از فاکتورهای زیر است:

- الف- ارتباطات،  
ب- زیرساخت ناوبری،  
ج- نظارت و  
د- کنترل ترافیک<sup>۲۰</sup>.

معرفی PBN و زیرساخت ناوبری آن تقریباً تمامی انتظارات جامعه هوانوردی را برآورده کرده است و به‌کارگیری آن در عملیات پروازی روی مسیرهای هوایی اقیانوسی، مسیرهای قاره‌ای، فرآراره‌ای و ورود و خروج محدوده منطقه کنترل ترمنال<sup>۲۱</sup> را بهبود می‌بخشد. بنابراین، پیاده‌سازی PBN جزو اصول اولیه مسیریابی انعطاف‌پذیر محسوب می‌شود [۴].

## مسیر اجرای PBN

در شرایطی که زیرساخت‌های مناسب ناوبری موجود باشد، مفهوم PBN و الزامات عملکرد سامانه‌های مورد نیاز هواپیما معنا پیدا می‌کند. این الزامات بایستی بصورت دقت، یکپارچگی، میزان در دسترس بودن، تداوم سامانه و کارایی عملکرد برای یک فضای هوایی خاص تعیین گردند. مراحل مختلف طراحی و اجرای PBN باید بصورت گام‌به‌گام انجام شود. عقب ماندن از برنامه‌های تدوین شده از سوی دفتر منطقه‌ای خاورمیانه باعث عدم استقبال پروازهای عبوری جهت عبور از فضای ایران شده و به تبع آن می‌تواند باعث افت درآمدهای اقتصادی شود. ناوبری مبتنی بر عملکرد شامل دو مفهوم ناوبری ناحیه‌ای و کارایی ناوبری موردنیاز است. با استفاده از RNAV هواپیما قادر به پرواز در هر مسیر پروازی دلخواه که توسط سیستم‌های کمک

ناوبری زمینی یا فضای پشتیبانی می‌شود، خواهد بود. این مفهوم برای RNP نیز صدق می‌کند. یکی از ویژگی‌های بارز عملیات RNP تجهیز هواپیما به سیستم نظارت و هشدار بر عملکرد ناوبری است که در صورت برآورده نشدن نیازمندی‌ها به خدمه اطلاع داده می‌شود. اجرای ناوبری کارایی محور یعنی استفاده از خصوصیات ناوبری و ساختار وابسته ناوبری در مسیرهای هوایی و دستورالعمل‌های تقرب است. پشتیبانی RNAV با توجه به خصوصیات آن انجام می‌شود و اجرای یک RNP با توجه به خصوصیات آن قابلیت اجرا دارد. بطورمثال، خصوصیات RNAV1 نشان می‌دهد که هرکدام از حسگرهای ناوبری DME/DME یا GNSS یا DME/IRU می‌تواند الزامات کارائی را تأمین کند. تأمین الزامات کارائی حسگرها برای خصوصیات RNAV1 در یک کشور خاص، بستگی به هواپیما و توانائی سامانه‌های ناوبری آن کشور دارد. که در زیر به نحوه و روش پیاده‌سازی آن می‌پردازیم [۳].

**الف - عملکرد ناوبری، محاسبه اطلاعاتی شامل موقعیت هواپیما، سرعت، زاویه مسیر، زاویه مسیر عمودی پرواز، زاویه پرتی، اختلاف مغناطیسی، ارتفاع فشاری اصلاح شده و جهت و مقدار باد را انجام می‌دهد.** این عملکرد تنظیم رادیویی خودکار و دستی را نیز پشتیبانی می‌نماید. در حالی که ناوبری می‌تواند بر مبنای نوع ناوبری تک‌حسگر مثل ناوبری ماهوره‌ای جهانی GNSS باشد، بسیاری از سامانه‌های ناوبری منطقه‌ای با چند حسگر می‌باشد. این‌گونه سامانه‌ها از انواع حسگرهای ناوبری شامل، ناوبری ماهوره‌ای جهانی IRS و VOR و DME برای محاسبه موقعیت و سرعت هواپیما استفاده می‌کنند. ضمن آنکه بهره‌برداری از این سامانه‌ها ممکن است متفاوت باشد، این سامانه‌ها بطور کلی محاسبات خود را براساس دقیق‌ترین حسگر مکان‌یاب در دسترس انجام می‌دهد [۳].

سامانه RNAV صحت هر حسگر را تأیید می‌کند و همچنین مطابقت و سازگاری داده‌های مجموعه‌های مختلف را قبل از آنکه مورد استفاده قرار گیرد مورد تأیید قرار می‌دهد. داده‌های مربوط به GNSS معمولاً به منظور یکپارچگی و دقت بسیار بالا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، قبل از اینکه برای تعیین موقعیت و محاسبه سرعت مورد قبول قرار گیرد. داده‌های دریافت شده از VOR و DME قبل از اینکه برای به روزسازی رادیویی رایانه مدیریت پرواز مورد استفاده قرار گیرد، به‌طور کلی منوط به یک سری بررسی‌های منطقی بودن می‌باشد. این اختلاف در توانائی و مشخصات به دلیل قابلیت‌ها و خصوصیات است که در طراحی فناوری حسگر ناوبری در تجهیزات به کار برده شده است. اگر برای سامانه‌های ناوبری منطقه‌ای چند حسگر GNSS برای محاسبه موقعیت و سرعت موجود نباشد، سیستم ممکن است به

20. Air Traffic Management (ATM)  
21. Terminal Control Area (TMA)

- باعث ایجاد نظم و ترتیب در پروازهای ورودی و خروجی و در نتیجه اجرای مدیریت جریان ترافیک هوایی و پردازش طرح پروازی مناسب شود.

ایکائو طی نامه رسمی راهبردها و راهنمایی‌های لازم را در پیاده‌سازی قالب جدید طرح پروازی با هدف ایجاد هماهنگی در پیاده‌سازی جهانی قالب جدید طرح پروازی، تسهیل در استفاده همزمان استفاده کنندگان فضا و سامانه‌های پردازشگر داده‌های پروازی سرویس‌دهندگان ناوبری هوایی، به کشورها اعلام نمود که عبارتند از:

**راهبرد ۱:** در طول زمان انتقال به طرح پروازی جدید، همه سرویس‌دهندگان ناوبری هوایی باید از قالب طرح پروازی حاضر پشتیبانی نمایند. هیچ الزامی برای دریافت و پردازش طرح‌های پروازی وجود ندارد مگر اینکه توسط مقامات مسئول مشخص شده باشد.

**راهبرد ۲:** گروه‌های برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی منطقه‌ای PIRG، روش‌های اجرای منطقه‌ای را در زمان مناسب برنامه‌ریزی و منتشر نمایند تا کاربران فضا و سرویس‌دهندگان ناوبری هوایی بتوانند مباحث و مشکلات عملیاتی پیش‌بینی نشده را استخراج و نسبت به حل آن اقدام نمایند.

**راهبرد ۳:** در طول انتقال، بعضی از سرویس‌دهندگان ناوبری هوایی نیاز دارند تا طرح‌های پروازی جدید را به طرح‌های پروازی حاضر، جهت سرویس‌دهندگان ناوبری هوایی مجاور که قادر به دریافت طرح پروازی جدید نیستند، تبدیل نمایند. در ضمن جدولی جهت تبدیل توسط ایکائو در این سند به منظور درک مشترک از تبدیل جدید به حاضر ارائه شد و به کشورها توصیه اکید شد که از این جدول به منظور تبدیل طرح پروازی جدید به حاضر استفاده نمایند [۲]. در ادامه، راهبردهایی را که کاربران و ارائه‌کنندگان خدمات باید در توسعه PBN یا در طراحی و اجرای آن مد نظر قرار دهند، عنوان می‌شود:

**الف-** مفهوم PBN باید به صورت تدریجی و متناسب با نیازهای ناوبری گسترش یابد.

**ب-** سیستم‌های کمک‌ناوبری موجود در طی مرحله انتقال و تا مدتی پس از آن قابل استفاده باقی بمانند.

**ج-** طراحی فضا باید به گونه‌ای باشد که همه هواپیماها در زمان انتقال بتوانند از فضای کشور استفاده کنند.

**د-** سیستم‌های ارتباطی، نظارتی و اتوماسیون متناسب با سیستم ناوبری ارتقاء یابند.

### ملزومات PBN

برای بکارگیری ناوبری در فضا و مسیرهای هوایی منقطع، بایستی الزامات بصورت واضح و مشخص تعریف شده باشد و

طور اتوماتیک حسگر در تقدم پائین‌تری را برای به هنگام نمودن سامانه گزینش کند و از حسگرهای DME/DME یا VOR/DME مطابق با خصوصیت ناوبری استفاده نماید و اگر سیگنال رادیویی آن‌ها موجود نباشد و یا انتخاب نشده باشد، سیستم ممکن است به‌طور اتوماتیک با حسگر INS ناوبری انجام دهد. برای سامانه‌های تک حسگر، نقص حسگر ممکن است منجر به عملیات بر مبنای موقعیت محاسباتی شود [۳-۴].

**ب -** هدایت عمودی و عرضی می‌تواند برای خلبان روی نشان‌دهنده سیستم RNAV و یا سایر نشان‌دهنده‌های مرتبط در دسترس قرار گیرد. در بسیاری از سامانه‌های پیشرفته، سیستم نشان‌دهنده شامل یک نقشه الکترونیکی با یک علامت هواپیما، مسیر برنامه‌ریزی شده و دستگاه‌های زمینی مورد نظر مثل کمک‌ناوبری‌ها و فرودگاه‌ها می‌باشد.

وظیفه ناوبری محاسبه اطلاعات است که می‌تواند شامل موقعیت هواپیما، سرعت، زاویه مسیر، زاویه صعود، انحراف مغناطیسی، ارتفاع و فشارسنج، جهت و سرعت باد و همچنین ممکن است شامل تنظیم اتوماتیک رادیویی باشد. برای نیل به این اهداف نیاز به زیرساخت ناوبری با شرایط زیر است:

ناوبری می‌تواند براساس نوع تک‌حسگر مانند GNSS باشد. تعداد زیادی از سیستم‌ها چند حسگری می‌باشد. چنین سیستم‌هایی از تعداد زیادی از حسگرها استفاده می‌کنند مانند IRS و GNSS-DME-VOR تا بتوانند موقعیت و سرعت هواپیما را تعیین نمایند. بر این اساس ایکائو پیاده‌سازی تقرب‌های ناوبری کارایی لازم RNP و PBN با هدایت عمودی APV با سیستم تقویت بر مبنای ماهواره SBAS یا ناوبری هوایی بارومتريک Baro-VNAV را درخواست نموده است. زیرا دستورالعمل و طرح‌های پروازی سنتی مورد استفاده در فرودگاه‌ها براساس زیرساخت‌ها و سیستم‌های کمک‌ناوبری موجود طراحی شده‌اند که در بیشتر موارد به علت عدم پوشش کامل سیگنال‌ها مسیرهای ورود و خروج طولانی‌تری را طی می‌کنند. بنابراین، طبق بخش نامه ایکائو باید در پیاده‌سازی مفهوم PBN دستورالعمل‌های ورودی و خروجی با هدایت عمودی APV اجرایی شود، در دستورالعمل پروازی APV مسیرهای تقرب کوتاه‌تر و با ظرفیت بیشتری طراحی می‌شود. دستورالعمل‌های ورودی و خروجی براساس مفهوم PBN می‌تواند کمک‌های زیر را ارائه نماید [۳]:

- باعث کاهش مکالمه بین خلبان و کنترلر شود،

- باعث کاهش مسیر طی شده و به تبع آن کاهش مصرف سوخت و حفظ محیط زیست شود،

- به صورت بی‌وقفه باعث الحاق هواپیماها به مسیرهای هوایی و ترک مسیرهای هوایی شود و

### زیرساخت‌های ناوبری مورد نیاز

GNSS تکنولوژی اصلی است که منجر به ایجاد PBN شده است. سیستم‌های ماهواره‌ای GPS و GLONASS در طول یک دهه به خوبی عملیاتی بوده‌اند و در پشتیبانی از عملیات هوانوردی در وضعیت مناسبی قرار دارند. به عنوان یک نتیجه، استفاده هوانوردی از GNSS در حال گسترش و ماهواره‌ها در حال ارتقاء یافتن برای فراهم کردن خدمات در چندین باند فرکانسی هستند. همچنین، سیستم‌های ماهواره‌ای دیگر، به نام گالیله اروپایی و BEIDOU چینی در حال توسعه هستند. GNSS چند سیستمی و چند فرکانسی فواید فنی واضحی دارد که یکی از این فواید پشتیبانی جامع از عملیات هوانوردی فراقاره‌ای است. به منظور درک این مزایا، دولت‌ها، ایکنائو، مؤسسات استاندارد، سازندگان و اپراتورهای هواپیما، نیازمند هماهنگی فعالیت‌ها برای جهت‌دهی و حل موضوعات مرتبط هستند [۱].

### عملکرد ناوبری

وظیفه ناوبری محاسبه اطلاعاتی شامل موقعیت هواپیما، سرعت هواپیما، زاویه مسیر، زاویه صعود، انحراف مغناطیسی و ارتفاع هواپیما است. درحالی‌که ناوبری می‌تواند بر مبنای ناوبری تک حسگر مانند ناوبری ماهواره‌ای جهانی GNSS باشد، بسیاری از سامانه‌های ناوبری منطقه‌ای با چند حسگر به کار گرفته می‌شوند. این گونه سامانه‌ها از انواع حسگرهای ناوبری مانند IRS، VOR، DME و GNSS برای محاسبه موقعیت و سرعت هواپیما استفاده می‌کنند. ضمن آنکه بهره‌برداری از این سامانه‌ها ممکن است متفاوت باشد، این سامانه بطور کلی محاسبات خود را براساس دقیق‌ترین حسگر مکان‌یاب در دسترس انجام می‌دهند. برای سامانه‌های ناوبری منطقه‌ای اگر سیگنال GNSS برای محاسبه موقعیت و سرعت در دسترس نباشد، سیستم بطور اتوماتیک حسگر با تقدم پایین‌تری را انتخاب می‌کند و از حسگرهای DME/DME مطابق با خصوصیت ناوبری مورد نیاز خود استفاده می‌نماید و اگر سیگنال رادیویی دستگاه‌های کمک ناوبری نیز موجود نباشد و یا انتخاب نشده باشد سیستم می‌تواند با حسگر IRS ناوبری انجام دهد. [۱ و ۳].

### پیاده‌سازی ماژول FRTO (PBN) در TMA

#### تهران

با توجه به آشنایی با FRTO (PBN)، در این بخش سعی خواهد شد که این ماژول در TMA تهران پیاده‌سازی شود.

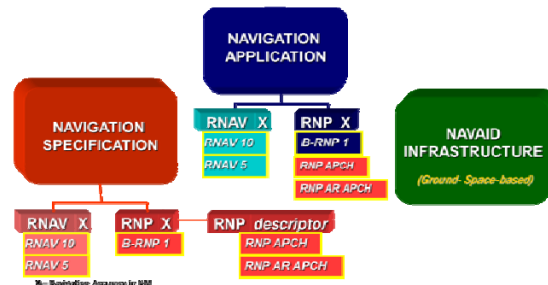
حسگرهای پیش‌بینی شده در FRTO شامل DME/DME، IRS، ABAS و SBAS پیاده‌سازی شوند. براساس ناوبری کارایی محور الزامات کلی هوانوردی، ابتدا براساس الزامات عملکردی تعریف می‌شود و سپس شرکت‌های هواپیمایی و سرویس‌دهندگان براساس تکنولوژی و سرویس‌های هوانوردی در دسترس، گزینه‌های مختلف را مورد ارزیابی قرار می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها آموزش طراحی فضا و توسعه زیرساخت‌های ناوبری با خصوصیات مورد نیاز است [۱].

### خصوصیات ناوبری PBN

خصوصیات ناوبری PBN عبارتند از:

**الف-** در حال حاضر مسیرهای انعطاف‌پذیر را می‌توان با قابلیت‌های جدید کنترلی ATM، تکنولوژی به روز هواپیماها و نظارت خودکار وابسته به بهبود بخشید. کاربرد فعلی این سیستم، برنامه‌ریزی مسیر هوایی پویا<sup>۲۲</sup> است که پیاده‌سازی آن در مناطق اقیانوس آرام استفاده از مسیرهای انعطاف‌پذیر را ممکن ساخته است و در مناطق یاد شده با کمک RNP4، ADS و CPDLC<sup>۲۵</sup> جدایی افقی را به ۳۰ ناتی‌کال مایل کاهش می‌دهد [۳].

**ب-** روش ناوبری RNP برخلاف RNAV می‌تواند مسیرهای نزدیک‌تر و منحنی را برای استفاده در فضای خاص تعیین کند. بنابراین، تعیین خصوصیات ناوبری بایستی مطابق با خصوصیات RNP باشد. خصوصیات معین شده برای RNP با یک پیشوند یا پسوند در نظر گرفته شده است. تفاوت خصوصیات ناوبری علاوه بر پیشوند یا پسوندها در مکان و زمان استفاده از آن‌ها نیز است. عامل متمایزکننده RNAV از RNP قابلیت مانیتورینگ و هشدار در داخل کابین می‌باشد که شکل ۱ انواع روش‌های ناوبری مورد استفاده در FRTO را نشان می‌دهد [۳].

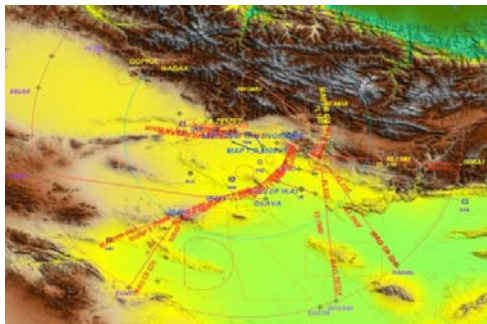


شکل (۱): روش‌های ناوبری مورد استفاده در FRTO (PBN) [۳].

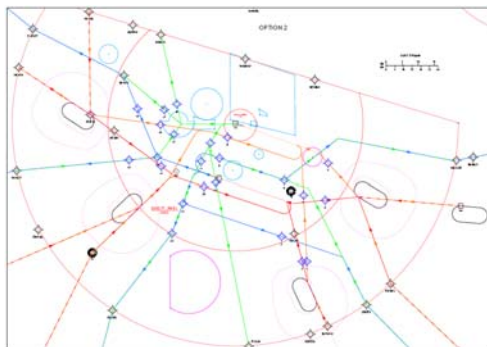
22. Airborne Based Augmentation Systems  
23. Automatic Dependent Surveillance (ADS)  
24. Dynamic Air Route Planning System (DARPS)  
25. Controller-pilot data link communications



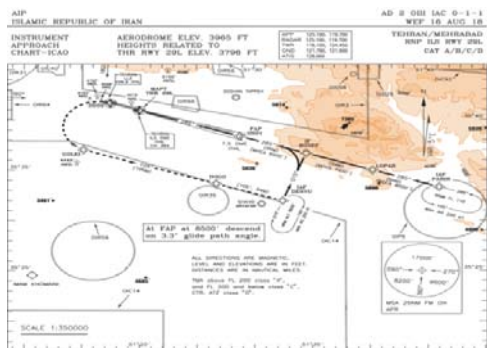
تهران با یک شرکت خارجی به نام ADS به عنوان مشاور طراحی قرارداد منعقد شده است. در حال حاضر بخش‌های از طرح‌های پروازی مبتنی بر PBN برای فرودگاه‌های بین‌المللی امام خمینی (ره) و مهرآباد طراحی شده که به عنوان نمونه در شکل ۲ نمای طرح‌های تقرب PBN مهرآباد و در شکل ۳ طرح‌های مبتنی بر PBN در محدوده TMA تهران نشان داده شده است. شکل ۴ یک طرح تقرب مبتنی بر PBN برای فرودگاه مهرآباد تهیه و در انتشار اطلاعات هوانواری فرودگاه مهرآباد ثبت شده است.



شکل (۲): نمای کلی طرح‌های تقرب PBN مهرآباد [۵].



شکل (۳): نمای کلی طرح‌های PBN در TMA تهران [۵].



شکل (۴): یکی از طرح‌های تقرب PBN مهرآباد [۵].

## زیرساخت موجود در تهران

با توجه به پیش شرط‌های عنوان شده در مازول جهت اجرایی شدن آن در سطح کشورها از نقطه‌نظر زیرساخت‌های مورد نیاز آن در مناطق پروازی، با وجود دستگاه‌های کمک ناوبری DME/DME در فرودگاه مهرآباد، فرودگاه حضرت امام (ره) ایستگاه رودشور و فرودگاه پیام می‌توان گفت زیرساخت ناوبری زمینی مورد نیاز در محدوده TMA تهران در دسترس است. در راستای اجرای نقشه‌راه ملی، سازمان هواپیمایی کشوری شرکت‌های هواپیمایی را ملزم به تجهیز ناوگان خود به سیستم پیشرفته IRS و گیرنده‌های ABAS نموده است تا ضمن عقب نماندن از تکنولوژی روز، قابلیت بهره‌برداری از مسیرها و طرح‌های پروازی بر مبنای PBN را دارا باشند.

## چالش‌های پیش رو در TMA تهران

همان‌طور که در مازول عنوان شده است، اجرای دقیق FUA نیازمند هماهنگی سطوح بالا بین واحدهای نظامی، کاربران و هواپیمایی کشوری است. از آنجاکه تهران از نظر جغرافیایی و سیاسی امنیتی شرایط ویژه‌ای دارد، بنابراین مشکلاتی در مسیر اجرا و پیاده‌سازی FRTO انکارناپذیر است که عبارتند از:

- ۱- وجود رشته کوه البرز در شمال،
- ۲- مناطق ممنوعه سیاسی امنیتی سطح شهر،
- ۳- پادگان‌های نظامی متعدد و پراکنده در محدوده TMA،
- ۴- عدم وجود پایگاه داده دقیق و متمرکز در TMA تهران و
- ۵- عدم وجود تجهیزات اعتبارسنجی طرح‌ها.

## فاز اجرای (PBN) FRTO در تهران

رشد ترافیک هوایی تهران موجب تأخیرات متعدد پروازهای ورودی و خروجی از فرودگاه مهرآباد با استفاده از دستگاه‌های ناوبری زمینی شده است. مفهوم PBN در جهت رفع این تأخیرت توانائی بسیاری دارد. به نحوی که این مفهوم با ارائه و استفاده از مسیرهای ورودی و خروجی RNAV با قابلیت استفاده در مسیرهای متعدد، تلاقی پروازها را به حداقل خود خواهد رساند.

ارائه دستورالعمل‌های ورودی و خروجی RNAV1 در فرودگاه‌های بین‌المللی امام خمینی (ره) و مهرآباد به عنوان یک استراتژی کوتاه مدت در برنامه‌های شرکت فرودگاه‌های کشور قرار دارد. در این استراتژی، کاهش ارتفاع پروازی کلیه مسیرهای هوایی RNAV5 به FL160، تغییر ماهیت برخی از مسیرهای فوق بنا به ضرورت به RNAV1 و همچنین ایجاد مسیرهای موازی با جدایی‌های موردنظر در RNAV5 مورد تأکید است. در این راستا و در فاز اجرایی مازول فوق در TMA

پیش‌بینی‌پذیری<sup>۳۴</sup>: برنامه‌ریزی بهبود یافته به بهره‌برداران فضا اجازه می‌دهد که شرایط مورد انتظار را پیش‌بینی کرده و بهتر برای آن آماده شوند.

تجزیه و تحلیل سود هزینه‌ای<sup>۳۵</sup>: این معیار در دو عنصر FUA و مسیریابی انعطاف‌پذیر مطرح می‌باشد و در ادامه در برخی از کشورهای که این ماژول در آن‌ها اجرا شده بصورت جداگانه بررسی شده است.

**عنصر FUA:** در امارات متحده عربی به خاطر شرایط خاص آن کشور بیش از نیمی از فضای هوایی آن نظامی است. باز شدن این فضای هوایی به طور بالقوه می‌تواند منجر به صرفه‌جویی سالانه ۴/۹ میلیون لیتر سوخت و ۵۸۱ ساعت پرواز شود. در ایالات متحده آمریکا در مطالعه‌ای که برای ناسا انجام شده نشان داد حداکثر صرفه‌جویی در استفاده پویا از FUA برابر ۷/۸ میلیون دلار بصورت سالیانه می‌باشد [۲].

**عنصر مسیریابی انعطاف‌پذیر:** مدل‌سازی اولیه از مسیریابی انعطاف‌پذیر نشان می‌دهد که شرکت‌های هواپیمایی که ۱۰ ساعت پرواز بین قاره‌ای را انجام می‌دهند می‌توانند زمان پرواز را به مدت شش دقیقه کاهش دهند، مصرف سوخت را تا ۲ درصد کم کنند و ۳,۰۰۰ کیلوگرم انتشار CO<sub>2</sub> را ذخیره نمایند. این پیشرفت‌ها به طور مستقیم به صنعت در دستیابی به اهداف زیست محیطی کمک می‌کند. برخی از مزایای برنامه‌های مسیریابی انعطاف‌پذیر در منطقه‌های در حال اجرا عبارتند از [۲]:

- کاهش هزینه‌های عملیاتی پرواز (۱ تا ۲ درصد هزینه‌های عملیاتی در پروازهای طولانی)،
- کاهش مصرف سوخت (۱ تا ۲ درصد در پروازهای طولانی)،
- استفاده موثرتر از فضاهای هوایی (دسترسی به فضاهای هوایی خارج از مسیرهای ثابت)،
- برنامه‌ریزی پروازی پویاتر (توانایی خطوط هواپیمایی به استفاده قدرتمند از سیستم‌های برنامه‌ریزی پروازی به صورت حرفه‌ای)،
- کاهش اثرات دی‌اکسیدکربن (کاهش بیش از ۳,۰۰۰ کیلوگرم CO<sub>2</sub> در پروازهای طولانی)،
- کاهش حجم کاری کنترلر (جا دادن هواپیماها در یک منطقه وسیع‌تر) و
- افزایش ظرفیت مسافر و بار برای پروازهای شرکت‌کننده (حدود ۱۰ مسافر اضافی در پروازهای طولانی).

همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با توجه به شرایط فرودگاه مهرآباد ۴ طرح تقرب براساس CCO<sup>۲۶</sup> و CDO<sup>۲۷</sup> بر مبنای PBN طراحی شده که دو طرح ورودی و خروجی برای باند ۱۱ راست و دو طرح ورودی و خروجی برای باند ۲۹ چپ طراحی شده است. طرح‌های ورودی و خروجی مبتنی بر PBN در محدوده TMA تهران در شکل ۳ نشان داده شده است. با عملیاتی شدن طرح‌های مذکور در TMA تهران، بخشی از عملیات کنترل پرواز از فضای TMA تهران، به مرکز کنترل فضای کشور منتقل می‌شود. این امر موجب کاهش حجم کاری برج مهرآباد شده و جریان ورودی و خروجی پروازها به مهرآباد بسیار منظم‌تر خواهد شد. در شکل ۳ طرح‌های ورودی مهرآباد با رنگ نارنجی و طرح‌های خروجی آن با رنگ سبز نمایش داده شده است. همچنین، طرح‌های ورودی فرودگاه امام با رنگ قرمز و طرح‌های خروجی آن با رنگ آبی نمایش داده شده است.

### سنجش میزان موفقیت اجرای ماژول

معیارهای قابل اندازه‌گیری (متریک) تعیین موفقیت این ماژول در کتابچه راهنمای عملکرد جهانی سیستم ناوبری هوایی ارائه شده است که بر اساس آن میزان موفقیت ماژول<sup>۲۸</sup> پس از اجرا در هر منطقه سنجیده می‌شود [۴]. این معیارها عبارتند از: دسترسی و برابری<sup>۲۹</sup>: دسترسی به فضای پروازی با کاهش فضاهای هوایی اختصاصی شده.

ظرفیت<sup>۳۰</sup>: استفاده انعطاف‌پذیر از فضای هوایی، فرصت‌های بیشتری را برای جدا کردن پرواز به صورت افقی فراهم می‌کند. PBN به کاهش طول مسیرهای هوایی و همچنین کاهش جدایی هواپیماها کمک می‌کند. این به نوبه خود اجازه می‌دهد تا حجم کار کنترلر کاهش یابد.

بهره‌وری<sup>۳۱</sup>: اجرای ماژول باعث کاهش طول پرواز و مصرف سوخت و انتشار گازهای آلاینده می‌شود. ماژول میزان تأخیر و لغو پرواز را کاهش می‌دهد. همچنین، از ورود به مناطق حساس به صدا دوری می‌شود [۴].

محیط زیست<sup>۳۲</sup>: مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد.

انعطاف‌پذیری<sup>۳۳</sup>: توابع مختلف تاکتیکی اجازه واکنش سریع را به تغییر شرایط می‌دهند.

26. Continuous Climb Operations  
27. Continuous Descent Operations  
28. Key Performance Areas (KPA's)  
29. Access and Equity  
30. Capacity  
31. Efficiency  
32. Environment  
33. Flexibility

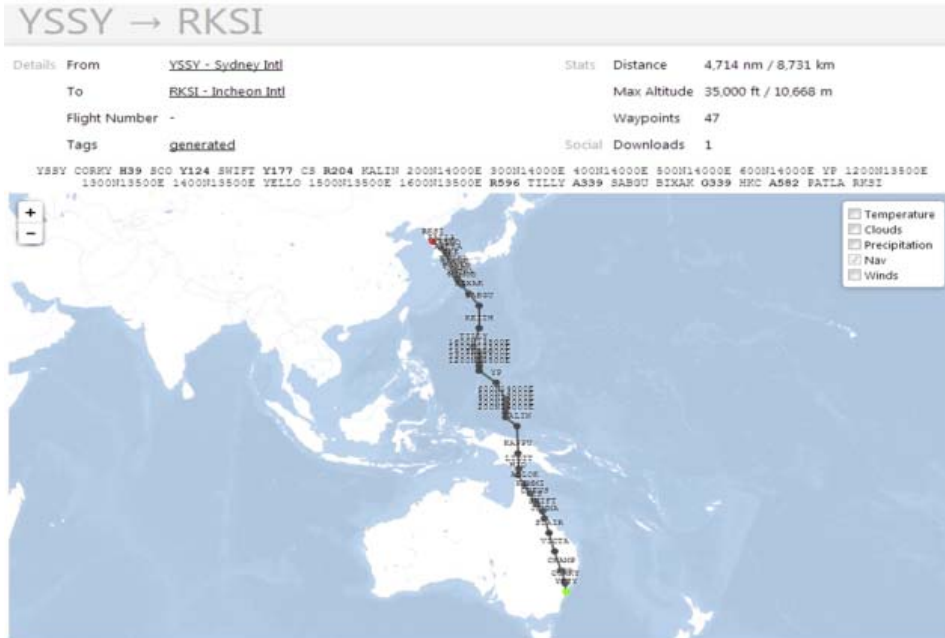
34. Predictability  
35. Cost Benefit Analysis



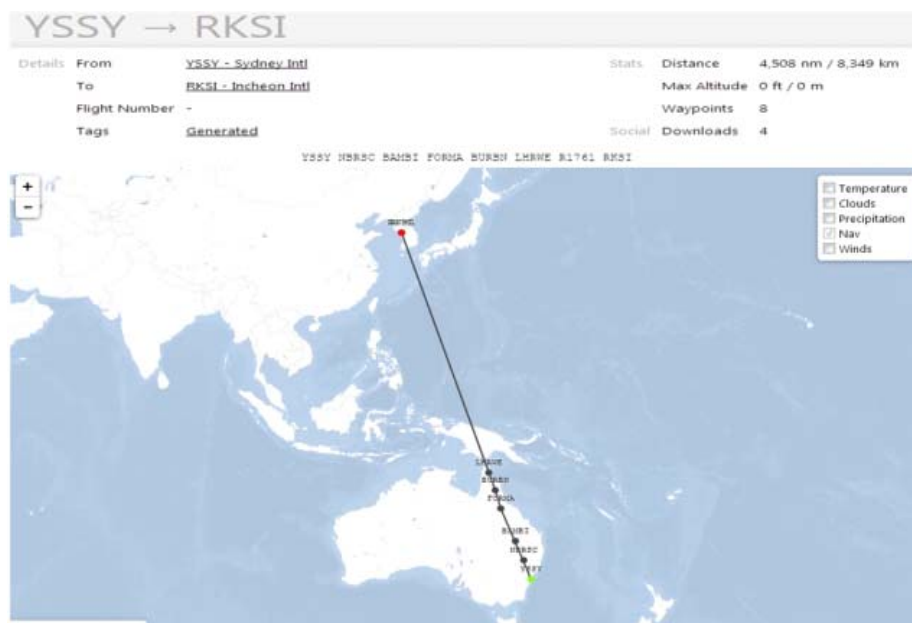
## نتیجه گیری

می‌کنند. با اجرای مفهوم PBN در مسیرهای هوایی جهت ورود و خروج هواپیماها به فضای پروازی، موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها و افزایش ایمنی پروازها خواهد شد. برای مقایسه از لحاظ فاصله و نقاط طی شده در یک فضای پروازی شکل ۵ مسیر سیدنی تا اینچون قبل از پیاده‌سازی FRTO و شکل ۶ همان مسیر پس از اجرای ماژول FRTO را نشان می‌دهد.

با اجرای این ماژول یک مجموعه بزرگتر از امکانات مسیریابی و استفاده انعطاف‌پذیر از هوافضا با کاهش ازدحام روی مسیرهای اصلی و در نقاط شلوغ به کمک جداسازی بهینه پروازها در دسترس خواهد بود که محصول آن کاهش بار کاری کنترلر است. همچنین، مفاهیم ناوبری مثل RNAV، RNP و PBN یک گستره‌ای از امکانات اختیاری برای استفاده از فضا را فراهم



شکل (۵): مسیریابی با سیستم‌های کمک ناوبری سنتی [۱].



شکل (۶): مسیریابی در FRTO به کمک waypointها [۱].

- [4] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Manual on Global Performance of the Air Navigation System*, Doc. 9883, Montréal, Canada, 2009.
- [5] AIP ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN, *Aerodrome: Aerodrome Location Indicator and Name*, AD 2 OIII IAC 0-1-1, WEF 16 AUG 18.

## مراجع

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), *2013–2028 Global Air Navigation Plan*, Doc 9750-AN/963, 4th Edition, Montréal, Canada, 2013.
- [2] International Civil Aviation Organization (ICAO), *ASBU WORKING DOC*, Montréal, Canada, 2016.
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Performance-based Navigation (PBN) Manual*, Doc. 9613-AN/937, 3rd Edition, Montréal, Canada, 2008.