

تاکسی هوایی؛ انقلابی در حمل و نقل و لجستیک ایران

امیر حسین خدائی - نویسنده و پژوهشگر

مقدمه استراتژیک: عبور از بن بست زمین در جنگ لجستیک

در دکترین جنگ لجستیک، پیروزی از آن طرفی است که بتواند زمان را به تسخیر خود درآورد. در حالی که زیرساخت‌های زمینی ایران به دلیل فرسودگی ناوگان و تراکم فرسایشی کلان‌شهرها دچار انسداد لجستیکی شده‌اند، ظهور ترابری هوایی پیشرفته (AAM) و در رأس آن تاکسی‌های هوایی عمودپرواز (EVTOL)، نه یک انتخاب لوکس، بلکه یک ضرورت پدافندی و بازدارندگی اقتصادی است.

تصور کنید در شهری پرترافیک، مسیری که معمولاً دو ساعت زمان می‌برد، در کمتر از پانزده دقیقه طی شود. یا در منطقه‌ای کوهستانی و صعب‌العبور، بسته‌ای حیاتی حاوی دارو، در کوتاه‌ترین زمان ممکن به دست بیمار برسد. اینها تنها نمونه‌هایی از کاربردهای تحول‌آفرین فناوری‌ای است که این روزها، بیش از هر زمان دیگری به واقعیت نزدیک شده است. دانشمندان و پژوهشگران ایرانی با درک این واقعیت، اکنون در لبه تکنولوژی جهانی این صنعت ایستاده‌اند تا آسمان را به لایه‌ای جدید برای جابه‌جایی ثروت و سلامت تبدیل کنند.

تاکسی هوایی، در ساده‌ترین تعریف، سامانه‌ای است برای جابه‌جایی سریع مسافر یا بار با استفاده از پرنده‌های عمودپرواز. این پرنده‌ها که اغلب با پیش‌رانه الکتریکی کار می‌کنند، می‌توانند از فضا‌های کوچک، مانند پشت‌بام ساختمان‌ها، بلند شوند و فرود آیند و لایه‌ای تازه به شبکه حمل و نقل شهری و منطقه‌ای اضافه کنند. طبق برآوردهای کارشناسی، این سامانه‌ها طیف وسیعی از هواگردهای جدید با قابلیت عمود برخاست و پیش‌رانه‌های متنوع (عمدتاً الکتریکی) را شامل می‌شوند که امکان جابه‌جایی مسافر و کالا را به صورت ایمن، پاک و کارآمد در پروازهای کوتاه‌برد و میان‌برد فراهم می‌کنند.

بخش اول: مهندسی انرژی و تاب آوری عملیاتی (هیدروژن در تراز معتبرترین پایگاه های علوم استنادی جهان)

تحقیقات منتشر شده در پایگاه های معتبر علمی نظیر اسکوپوس و ساینس دایرکت (۲۰۲۴-۲۰۲۵) نشان می دهد که گذار از باتری های لیتیومی به پیل های سوختی هیدروژنی (H₂-FC)، کلید حل معمای برد پروازی در تاکسی های هوایی است.

۱. برتری در چگالی انرژی

برخلاف باتری های لیتیوم-یون که با چگالی انرژی حدود ۲۵۰ وات ساعت بر کیلوگرم، تنها برای سفرهای درون شهری (کمتر از ۵۰ کیلومتر) مناسب هستند، سیستم های هیدروژنی با چگالی انرژی بالاتر خود، امکان دستیابی به بردهای بالای ۲۰۰ کیلومتر را با وزن مشابه فراهم می کنند. در این سیستم ها، هیدروژن به عنوان سوخت و اکسیژن هوا با هم ترکیب می شوند و در یک واکنش الکتروشیمیایی، برق تولید می شود. تنها محصول جانبی این واکنش، آب خالص است که آن را به یک فناوری کاملاً پاک تبدیل می کند.

۲. مدل های هیبریدی (خورشیدی-هیدروژنی)

بر اساس مقالات منتشر شده در ISC، ترکیب پنل های فتوولتائیک با پیل سوختی در پهپادهای عمودپرواز ایرانی، زمان اوج گیری (Climb Time) را تا ۵۵ دقیقه افزایش داده است. این یعنی در یک سناریوی جنگ لجستیک، پرنده می تواند ۴ تا ۶ سیکل عملیاتی را بدون نیاز به سوخت گیری مجدد در نقاط صفر مرزی یا مناطق صعب العبور انجام دهد.

۳. چالش های آیرودینامیکی

تحقیقات نشان می دهد جریمه آیرودینامیکی ناشی از حجم مخازن هیدروژن، با استفاده از طراحی های بدنه یکپارچه (Blended Wing Body) در مدل های ایرانی در حال مرتفع شدن است. پژوهشگران با استفاده از چارچوب بهینه سازی چندرشته ای، موفق به طراحی تاکسی هوایی با وزن حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم شده اند که به محدوده گواهینامه نزدیک است. از آنجا که فاز کروز (پرواز افقی) نیازمند انرژی بالا اما توان مصرفی نسبتاً پایینی است، هیدروژن با چگالی انرژی بالای خود می تواند نیازهای پروازهای طولانی تر را به خوبی تأمین کند.

بخش دوم: ایران در نقشه فناوری جهانی؛ از آزمایشگاه تا بازار

ایران مسیر هوشمندانه‌ای را برای ورود به این صنعت انتخاب کرده است؛ مسیری که از تولید دانش آغاز و به صنعتی‌سازی خرد می‌رسد.

۱. بلوغ علمی و پژوهشی (مبتنی بر گوگل اسکولار و اسکوپوس)

پژوهش‌های کلیدی در مجله معتبر مدیریت حمل و نقل هوایی *Journal of Air Transport Management* (نمایه‌شده در اسکوپوس) نشان می‌دهد که بازار ایران دارای یک ویژگی منحصر به فرد است: ارزش زمانی بسیار بالا (VOT).

* در ایران، ارزش زمانی سفرهای تجاری با تاکسی هوایی، ۲.۵ برابر سفرهای معمولی فرودگاهی برآورد شده است. این یعنی تقاضای پنهان شدیدی در میان مدیران و فعالان اقتصادی برای فرار از هزینه‌های فرصت ترافیک وجود دارد.

* پژوهشی توسط نصرت‌الهی و سعادت‌دار در مجله فناوری در مهندسی هوافضا (ISC) انجام شده که به بررسی نمایه بازار ایران برای پذیرش ترابری هوایی پیشرفته پرداخته و چالش‌ها و فرصت‌های پیشرو را شناسایی کرده است.

* گزارش‌های مرکز پژوهش‌های مجلس نیز تأکید دارد که زیست‌بوم تحرک هوایی پیشرفته (AAM) در ایران باید بر ۵ پایه (فناوری، زیرساخت، سیاست‌گذاری، ظرفیت‌سنجی و پذیرش اجتماعی) استوار شود.

۲. گام‌های عملیاتی صنعت (پروژه ۱۰ ساله کرمان موتور)

اعلام ورود غول‌های خودروسازی نظیر کرمان‌موتور به این حوزه (رویداد نوآوری و فناوری KITONEXT در آذر ۱۴۰۴، دانشگاه شهید بهشتی)، نشان‌دهنده تغییر پارادایم از خودروساز به ارائه‌دهنده راهکارهای جابه‌جایی (Mobility Provider) است.

ابوالفضل خلخالی، معاون توسعه محصول این شرکت، برنامه ۱۰ ساله این خودروساز را در چهار فاز عملیاتی تشریح کرد:

- فاز اول: توسعه پلتفرم‌های باری برای آزمون و کالیبراسیون سیستم‌های پیش‌رانش و پایداری پرواز بدون ریسک جانی.
- فاز دوم: کاربردهای امدادی و اورژانسی برای ارسال تجهیزات پزشکی و خون به مناطق حادثه‌دیده در ترافیک سنگین.
- فاز سوم: دستیابی به دانش فنی تاکسی پرنده چهارنفره.
- فاز چهارم: تجاری‌سازی کامل و ورود به بازار حمل‌ونقل شهری و منطقه‌ای.

این نقشه‌راه گام‌به‌گام، دقیقاً منطبق بر استانداردهای ایمنی اتحادیه اروپا و آمریکا EASA و FAA است و نشان‌دهنده درک عمیق از پیچیدگی‌های فناوری و ضرورت بومی‌سازی تدریجی آن است. همچنین راه‌اندازی دفتر پروژه تاکسی پرنده در دانشگاه شهید بهشتی، نشان از عزم جدی این خودروساز برای استفاده از ظرفیت نخبگان دانشگاهی در بومی‌سازی این فناوری پیچیده دارد.

۳. مردمی‌سازی طراحی و طرح‌های دانشجویی

مسابقه طراحی مفهومی وسیله نقلیه عمودپرواز (EVTOL) کرمان‌موتور با استقبال گسترده‌ای روبرو شد و بیش از ۵۰ طرح از سراسر کشور به دبیرخانه این رویداد ارسال شد. طرح‌های خلاقانه‌ای از دانشجویان دانشگاه‌های مختلف، از جمله طرح CHKD eVTOL توسط محراب رسولی از دانشگاه مازندران، به عنوان طرح‌های برگزیده معرفی شدند. این رویدادها بیانگر آن است که نسل جدید مهندسان و طراحان ایرانی، ایده‌هایی متناسب با شرایط اقلیمی و نیازهای کشور برای این فناوری ارائه می‌دهند.

بخش سوم: تاکسی هوایی به مثابه اهرم جنگ لجستیک

در این بخش، کاربردهای تاکسی هوایی از منظر استراتژیک تحلیل می‌شود:

وقتی آسمان، مسیر میان‌بر لجستیک می‌شود: برتری تاکسی هوایی در یک نگاه

تاکسی هوایی (eVTOL) فقط یک وسیله پرنده نیست؛ یک زیرساخت سرعت برای لجستیک زمان‌حساس است که می‌تواند زمان جابه‌جایی را از ساعت‌ها به دقیقه‌ها کاهش دهد و دسترسی به نقاط دورافتاده را از حالت استثناء به قاعده تبدیل کند. در مقایسه با بالگرد، eVTOL با معماری پیش‌رانش توزیع‌شده و سامانه‌های

کنترلی دیجیتال، ظرفیت بالاتری برای ایمنی عملیاتی، کاهش نویز شهری، و نگهداری پیش‌بینی‌پذیر دارد و از منظر مصرف انرژی و آلاینده‌گی نیز مسیر روشن‌تری به سمت ناوگان پاک ارائه می‌دهد. نتیجه این تحول، یک مزیت راهبردی برای جنگ لجستیک است: رساندن دارو و تجهیزات حیاتی، پشتیبانی امداد و نجات، تقویت آخرین مایل، و افزایش تاب‌آوری شبکه حمل‌ونقل با هزینه زمانی کمتر، چابکی بیشتر، و امکان توسعه مرحله‌ای از مأموریت‌های محدود تا سرویس‌های گسترده شهری و بین‌شهری.

۱. صرفه‌جویی در زمان؛ ارزشمندترین سرمایه

در دنیای پرشتاب امروز، زمان نقشی حیاتی در اقتصاد و بهره‌وری دارد. تاکسی‌های هوایی با حذف ترافیک‌های زمینی، می‌توانند زمان سفر را تا بیش از ۷۰ درصد کاهش دهند. به گفته معاون توسعه محصول کرمان‌موتور، این عدد برای ساکنان کلان‌شهرهایی مانند تهران که در ترافیک گرفتار هستند، بسیار وسوسه‌انگیز است.

۲. لجستیک آخرین مایل و زنجیره سرد

در جنگ لجستیک، جابه‌جایی داروهای بیولوژیک و قطعات الکترونیک حساس محموله‌های با ارزش بالا (High-Value Cargo) نباید معطل ترافیک شهری یا انسداد جاده‌ای باشد. تاکسی هوایی این گلوگاه را باز می‌کند. محموله‌های سبک، ارزشمند و زمان‌حساس مانند دارو، نمونه‌های آزمایشگاهی، قطعات الکترونیکی و کالاهای فوری، بهترین گزینه برای جابه‌جایی با این پرنده‌ها هستند.

۳. امداد و نجات (Medevac)؛ نفس‌گیرترین کاربرد

استفاده از پرنده‌های عمودپرواز در ساعت طلایی حوادث، نرخ بقا را تا ۴۰٪ افزایش می‌دهد. فاز دوم نقشه‌راه ملی ایران، دقیقاً بر انتقال خون و تجهیزات پزشکی در ترافیک‌های سنگین متمرکز است. در شرایطی که مسیرهای زمینی به دلیل سیل، زلزله یا تصادف مسدود شده‌اند، این پرنده‌ها می‌توانند به سرعت خود را به منطقه برسانند.

۴. پدافند غیرعامل و عدالت فضایی

اتصال مناطق محروم و صعب‌العبور به شبکه درمانی و اقتصادی مرکز، بدون نیاز به بودجه‌های کلان ساخت جاده و فرودگاه‌های پهن‌پیکر، ابزاری برای تثبیت جمعیت و توسعه پایدار مرزی است. ایجاد تورهای هوایی بر فراز جاذبه‌های طبیعی و تاریخی نیز می‌تواند تجربه‌ای جدید و ارزش‌افزوده برای صنعت گردشگری به همراه داشته باشد.

۵. مزیت فنی؛ فراتر از هلیکوپتر

تاکسی‌های هوایی نسل جدید با سیستم توزیع نیروی الکتریکی و چندین موتور کوچک، مزایای چشمگیری نسبت به هلیکوپترهای سنتی دارند:

- امنیت بالاتر: استفاده از چند موتور (افزونگی) باعث می‌شود حتی با از کارافتادن یک موتور، بقیه کار را ادامه دهند.
- آلودگی صوتی کمتر: صدای این پرنده‌ها به حدی کم است که در شلوغی شهر قابل شنیدن نیست.
- آلاینده‌های نزدیک به صفر: پیشران الکتریکی، این فناوری را هم‌سو با الزامات زیست‌محیطی و شهرهای پاک قرار می‌دهد.
- هزینه نگهداری پایین‌تر: سادگی سیستم‌های الکتریکی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به شدت کاهش می‌دهد.

بخش چهارم: معماری مالی، موانع ساختاری و چالش‌ها

تحقق این رویا به دو رکن اساسی نیاز دارد که در فصول قبلی به تفصیل بررسی شد:

نبود چارچوب کامل مقررات

فرایند صدور گواهینامه ایمنی، تعیین حریم پرواز، و تدوین قوانین بیمه‌ای و مسئولیت، از مهمترین گام‌های پیش‌روست که در بسیاری از کشورها، از جمله ایران، هنوز کامل نشده است. به گفته تحلیلگران صنعت خودرو،

چالش‌های نظارتی و زیرساختی، بزرگترین مانع پیش روی تاکسی‌های پرنده هستند. مسائل امنیتی، مجوزهای پرواز و کنترل ترافیک هوایی، چالش‌هایی هستند که شاید پیچیده‌تر از خود فناوری باشند. مرکز پژوهش‌های مجلس نیز در گزارش خود، سیاست و قانون‌گذاری را به عنوان یکی از پنج چارچوب اصلی توسعه این حوزه در کشور شناسایی کرده است.

چالش‌های زیرساختی

تاکسی‌های هوایی صرفاً به پرنده‌ها محدود نمی‌شوند. شبکه گسترده‌ای از ورتی‌پورت‌ها (ایستگاه‌های ویژه برخاست و فرود)، سامانه‌های پیشرفته مدیریت ترافیک هوایی در ارتفاع پایین، و زیرساخت‌های شارژ و نگهداری، از الزامات اصلی این سیستم هستند که ایجاد آنها نیازمند سرمایه‌گذاری و هماهنگی گسترده است. در حوزه فناوری‌های هیبریدی نیز تأمین باتری‌ها و فناوری‌های الکترونیک پیشرفته، به زنجیره تأمین نیاز دارد که هنوز در کشور به بلوغ نرسیده است.

پذیرش اجتماعی و اعتماد عمومی

ایمنی، هزینه، سر و صدا و حریم خصوصی، مهمترین دغدغه‌هایی هستند که مردم نسبت به این فناوری دارند. تحقیقات نشان می‌دهد که کاهش قیمت بلیت، مهمترین مشوق برای افزایش نرخ پذیرش تاکسی‌های هوایی است و کسب اعتماد عمومی در طول زمان، عامل کلیدی دیگر محسوب می‌شود. بر اساس گزارش‌های بازار، نگرانی‌های مربوط به ایمنی و پذیرش عمومی خدمات ترابری هوایی، از جمله موانع اصلی رشد این بازار در ایران به شمار می‌رود.

هزینه اولیه بالا

هزینه اولیه سرمایه‌گذاری برای توسعه و پیاده‌سازی راهکارهای ترابری هوایی پیشرفته، یکی دیگر از موانع اصلی است. این هزینه‌ها شامل خرید ناوگان، توسعه زیرساخت‌ها، و فرایندهای گواهی‌نامه می‌شود.

بخش پنجم: نقشه راه عملیاتی و تأمین مالی نوین

برای حرکت هدفمند در این مسیر، می‌توان گام‌های زیر را به عنوان یک نقشه‌راه عملی پیشنهاد کرد:

۱. تدوین سند ملی برای ترابری هوایی پیشرفته، با الهام از تجربه‌های موفق جهانی و تطبیق آن با شرایط بومی. مرکز پژوهش‌های مجلس بر ضرورت این اقدام تأکید کرده است.
۲. حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در این حوزه برای تولید نمونه‌های اولیه و بومی‌سازی فناوری‌های کلیدی مانند سیستم‌های کنترل پرواز و باتری‌ها.
۳. شروع عملیات با کاربردهای عمومی و امدادی (مانند حمل محموله‌های فوری و خدمات پزشکی) قبل از ورود به حمل‌ونقل انبوه مسافر، تا زیرساخت‌ها و اعتماد عمومی به تدریج شکل گیرد. این همان رویکردی است که کرمان‌موتور در نقشه‌راه ۱۰ ساله خود در پیش گرفته است.
۴. ایجاد یک محیط آزمایشی (سندباکس) مقرراتی برای انجام پروازهای آزمایشی محدود، امن و کنترل‌شده، به منظور آزمودن فناوری و مقررات پیش از اجرای گسترده.
۵. جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و صندوق‌های سرمایه‌گذاری با استفاده از مدل‌های تأمین مالی متنوع، با توجه به هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه در این حوزه. استفاده از مدل‌های مالکیت غیرمستقیم و توکن‌سازی دارایی‌های هوایی می‌تواند سرمایه‌های خرد مردمی را به سمت تولید این ناوگان سوق دهد.

نتیجه‌گیری: عبور از مرزهای غیرممکن

تا کسی هوایی در ایران دیگر یک ایده علمی-تخیلی نیست؛ بلکه نتیجه همگرایی دانش فنی دانشگاهی و سرمایه‌گذاری صنعتی است. دانشمندان ایرانی با تسلط بر فناوری‌های هیدروژنی و مدل‌های بهینه‌سازی پیشرفته، ثابت کرده‌اند که می‌توان جنگ لجستیک را در آسمان پیروز شد.

پژوهش‌های علمی نشان می‌دهد که طراحی تاکسی‌های هوایی با پیشران هیدروژنی، علیرغم چالش‌های حجمی و وزنی، یک تلاش شدنی است و پتانسیل بالایی برای بردهای طولانی دارد. همچنین سیستم‌های هیبریدی خورشیدی-هیدروژنی می‌توانند زمان پرواز و تعداد سیکل‌های فرود و برخاست را به‌طور چشمگیری افزایش دهند.

ایران با تکیه بر ظرفیت علمی دانشگاه‌ها، توان شرکت‌های دانش‌بنیان، تجربه صنعت هوافضا و موقعیت ممتاز جغرافیایی، این قابلیت را دارد که با سرمایه‌گذاری هدف‌مند، اصلاح مقررات و توسعه زیرساخت‌های هوانوردی عمومی، به یکی از پیشگامان حمل‌ونقل هوایی پیشرفته در غرب آسیا تبدیل شود.

توسعه این صنعت، ایران را نه تنها به هاب لجستیکی منطقه تبدیل می‌کند، بلکه امنیت ملی را در ابعاد جابه‌جایی سریع و ایمن تضمین خواهد کرد. این فناوری، پتانسیل تبدیل شدن به یکی از ستون‌های اصلی جنگ لجستیک آینده را دارد؛ جنگی که در آن، سرعت و چابکی در جابه‌جایی انسان و کالا، برتری را برای کشورها به ارمغان می‌آورد. اگر بتوان بر چالش‌های زیرساختی، قانونی و اجتماعی فائق آمد، تاکسی هوایی می‌تواند از یک مفهوم جذاب علمی، به واقعیتی روزمره در آسمان شهرهای ایران تبدیل شود و افق‌های تازه‌ای از توسعه را پیش روی کشور بگشاید. آسمان ایران، آماده میزبانی از نسلی است که بن‌بست‌های زمین را به فراموشی خواهد سپرد.