فصلنامه انجمن علمی دانشجویی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
شماره ۲۶ | پاییز ۱۴۰۴



موتور GP7200
قدرتی برای ایرباس A380

روایت تولید گرن بین ایرانی

گزارش کامل از نمایشگاه Hannover Messe 2024

شماره‌های قبلی نشریه گشتاور



گشتاور

تاریخ اخذ مجوز | ۱۳۹۰/۰۸/۲۹
شماره مجوز | ۵۴۴ ک.ن.ت.

فصلنامه علمی دانشجویی انجمن مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
شماره ۲۶ | پاییز ۱۴۰۴

صاحب امتیاز | انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
استاد مشاور | دکتر حسن بیگلری
مدیر مسئول | امیر شیرسوار
سردبیر | امیرحسین شیری
دبیر علمی | عرفان رحمت‌زاده
دبیر فرهنگی | امیرحسین سلطانی
دبیر خبری | علی پورمحمدی
ویراستار علمی | حمیدرضا طلوعی نسب
ویراستار فنی | کیمیا اقبال
گرافیک و صفحه‌آرایی | مهتاب پورزکی، علی زید آبادی‌نژاد، ثمین شایان‌مهر
mahtab.pourzaki@gmail.com

اعضای هیئت تحریریه | آیدین بدیعی، علی پورمحمدی، ماهان حبیب آذر، مهدی ذالی، عرفان رحمت زاده، علی زیدآبادی‌نژاد، امیرحسین سلطانی، امیرشیرسوار، امیرحسین شیری، پویا عبدالمنافی



تبریز | فلکه دانشگاه | بلوار ۲۹ بهمن | دانشگاه تبریز | دانشکده فنی مهندسی مکانیک (ساختمان ۱۴ - دانشکده فنی) | طبقه اول | دفتر انجمن علمی دانشجویی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
gashtavar@sametbz.ir
www.sametbz.ir
۰۴۱-۳۳۳۹۳۰۴۷

برای دسترسی به سایر شماره‌های نشریه گشتاور می‌توانید به وبسایت انجمن علمی-دانشجویی مهندسی مکانیک مراجعه فرمایید.

فهرست

۴ سخن سردبیر

۶ بخش علمی:
موتور GP7200 - قدرتی برای ایرباس A380

۲۹ بخش مصاحبه:
از مهندسی تا خودباوری، روایت تولید گژن پین ایرانی
مصاحبه با مهندس سلطانی

۳۴ بخش سرگرمی: معمایی برای مهندسان



در نسخه الکترونیکی نشریه با کلیک روی هر شماره صفحه، به مقاله همان صفحه منتقل خواهید شد.

۳۷ **بخش خبری:**
سجیل و سنگرشکن
ترندهای موشکی در جنگ۱۲ روزه

۴۳ **درآمدی بر تجزیه و تحلیل آماری جنگ**

بخش مستند خبری:
۵۰ **گزارش کامل از نمایشگاه Hannover Messe**
2024 نمایشگاهی برای آینده صنعت



بخش فرهنگی: **معرفی فیلم** | منصور،
۷۱ بازخوانی یک تلاش ملی در مسیر خودکفایی هوایی

۷۳ **مرمت ذهن پس از روزهای سخت**

۷۵ **سخن مدیر مسئول**

سخن سردبیر

به نام آفریدگار نظم و حرکت

در فرهنگ‌نامه‌ی مکانیک، «گشتاور» تلاقیِ هوشمندانه نیرو و فاصله است؛ عاملی که سکون را می‌شکند و چرخ‌های صلب را به چرخش وامی‌دارد. اما برای ما که بر صندلی‌های دانش و تخصص تکیه زده‌ایم، این واژه فراتر از یک کمیت فیزیکی، نمادی از مسئولیت ما در پیشگاه تاریخ و میهن است. گشتاور، استعاره‌ای است از اراده نسلی که می‌خواهد با تکیه بر بازوی دانش و تکیه‌گاه اصالت، تغییراتی شگرف و مثبت در ساختار صنعتی و علمی ایران عزیزپدید آورد.

وطن، برای ما تنها یک جغرافیا نیست؛ بلکه موجودیتی پویا و شکوهمند است که پایداری و پیشرفت آن، به دقت محاسبات و همت مهندسانش گره خورده است. ما معتقدیم که هر فرمول، هر طراحی و هر ایده، قطعه‌ای از یک ماشین عظیم است که برای حرکت در مسیر اعتلای کشور، به «گشتاورِ» اندیشه‌های نو نیاز دارد. تعهد به خاک، در دنیای ما، با تخصص معنا می‌یابد؛ آنجا که دانش را نه برای انباشتن، بلکه برای چرخاندنِ چرخ‌های توسعه و آبادانی به کار می‌بندیم.

در این میان، «نشریه» بستری است برای تمرین این آگاهی. در عصر هجوم اطلاعات پراکنده و گذرا، پناه بردن به عمق صفحات یک مجله تخصصی، مجالی برای درنگ و تأمل است. خواندن نشریه، ذهن مهندس را از چارچوب‌های محدودِ جزوات فراتر برده و او را بر مدار تحلیل و نقد قرار می‌دهد. نشریه حلقه وصلی است که پراکندگیِ ذهن‌ها را به وحدت رویه تبدیل می‌کند و به ما می‌آموزد که چگونه با هم افزایی، توان علمی خود را دوچندان کنیم. ورق زدن این صفحات، گامی است برای صیانت از فرهنگ مطالعه و پاسداشت دانشی که با دقت و وسواس، از میان انبوه تجربه‌ها استخراج شده است.

شماره‌ای که پیش روی شماست، با ایمان به قدرت آگاهی و عشق به سربلندی این مرز و بوم فراهم آمده است. امید است که «گشتاور»، محرکی باشد تا بازوی دانش‌مان را بلندتر و اثرگذاری‌مان را بر سرنوشت میهن، عمیق‌تر سازیم. یادمان باشد که چرخ‌های این سرزمین، برای چرخیدن، پیش از هر چیز به ذهن‌های بیدار و نگاه‌های پرسشگرِ ما چشم دوخته‌اند.

نکوهش مکن چرخ نیلوفری را — برون کن ز سر باد خیره سری را
به دانش شود کار گیتی به سامان — به دانش توان یافتن سروری را
درخت تو گر بار دانش بگیرد — به زیر آوری چرخ نیلوفری را

ناصر خسرو

امیرحسین شیری

سردبیر نشریه گشتاور

بخش

علمی

نبض تپنده غول پیکرها



تمامی حقوق این مقاله متعلق به شرکت جنرال الکتریک (General Electric Company) بوده و با کسب مجوز رسمی از SAE International، ترجمه و انتشار آن به زبان فارسی صورت گرفته است.
این ترجمه با رعایت کامل حقوق مالکیت فکری و با هدف ارتقاء دانش تخصصی در حوزه مهندسی هوافضا تهیه شده است.

نسخه اصلی مقاله

موتور GP7200
قدرتی برای ایرباس A380

نویسنده: آل کرک (Al Creque)، شرکت GE-P&W Engine Alliance, LLC

شماره مقاله: SAE 2002-01-3023
محل ارائه: کنگره جهانی هوانوردی، نوامبر ۲۰۰۲، فینیکس، آریزونا





عرفان رحمت‌زاده
کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

چکیده

این مقاله به بررسی پیشرفت‌های فنی مهمی می‌پردازد که در موتور توربوفن GP7200، از شرکت Engine Alliance (همکاری شرکت های General Electric و Pratt & Whitney)، برای هواپیمای جدید ایرباس، A380، به کار گرفته شده‌اند. در ادامه، روند تولد این موتور از تجربیات شرکت‌های جنرال الکتریک و پرات اند ویتنی و مزایای معماری موتور GP7200 مورد بحث قرار خواهند گرفت.

مقدمه

هواپیماهای جت تجاری مدرن طی پنج دهه گذشته به سطح بی‌سابقه‌ای از عملکرد، قابلیت اطمینان و سازگاری زیست‌محیطی رسیده‌اند. شرکت‌های هواپیمایی و مسافران انتظار دارند که هر نسل جدید از هواپیماها، عملکرد بهتر و صرفه‌جویی اقتصادی بیشتری داشته باشد. موتورهای توربوفن با نسبت گذر بالا۱ که این هواپیماها را به حرکت درمی‌آورند، همچنان پیشرفت‌های فنی را در خود جای می‌دهند که موجب کاهش هزینه‌های عملیاتی، کاهش آلودگی صوتی و زیست‌محیطی، و افزایش قابلیت اطمینان می‌شوند.

شـرکت Engine Alliance (محصـول همـکاری GE وPratt & Whitney) در حـال توسـعه موتـور توربوفـن GP7200، بـا نسـبت گـذر بـالا[1] بـرای هواپیمـای جدیـد ایربـاس، A380، بـا ظرفیـت ۵۵۵ نفـر اسـت کـه در سـال ۲۰۰۶ وارد خدمـت خواهـد شـد. ایـن مقالـه بـه انتظـارات بـالای شـرکت‌های هواپیمـایی از سـامانه پیشـران A380 می‌پـردازد و نشـان می‌دهـد کـه ایـن انتظـارات چگونـه طـراحی و فرآیندهـای تأییـد موتـور GP7200 را تـا زمـان ورود بـه خدمـت تحـت تأثیـر قـرار داده‌انـد.



انتظارات شرکت‌های هواپیمایی

شـرکت Engine Alliance بـا انجـام نظرسـنجی از بسـیاری از شـرکت‌های هواپیمـایی بـزرگ جهـان، الزامـات فـنی حیـاتی بـرای موتـور GP7200 را شناسـایی کـرد. ایـن الزامـات در چهـار دسـته اصـلی قـرار می‌گیرنـد:

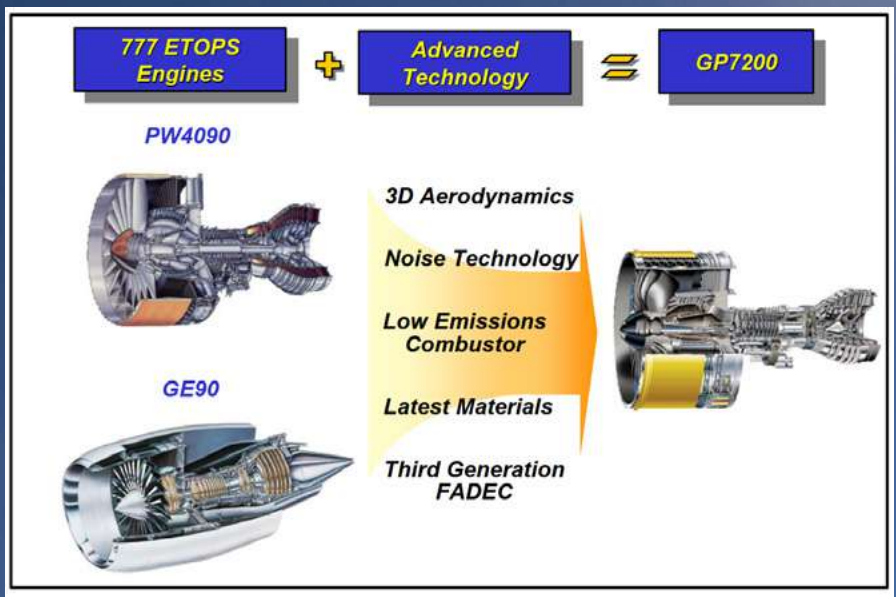
- **عملکـرد کارآمـد:** مصـرف سـوخت پایین و قابلیـت افزایـش نیـروی پیشـران در آینده؛
- **سـازگاری زیسـت‌محیطی فعـال:** کاهـش بیشـتر در سـطح نویـز و آلاینده‌هـا، بـا در نظـر گرفتـن مقـررات سـخت‌گیرانه‌تر در آینـده؛
- **قابلیـت اطمینـان بـالا در زمـان ورود بـه خدمـت:** مشـابه بـا قابـل اعتمادتریـن هواپیماهـای ETOPS؛
- **کاهـش هزینـه مالکیـت:** عمـر عملیـاتی طـولانی (حداقـل ۲۰,۰۰۰ سـاعت) و قابلیـت نگهـداری بهتـر.

شـرکت Engine Alliance هـر یـک از این انتظـارات مشـتریان را بـه الزامـات فـنی خاص در سـطح اجـزا، ماژول‌هـا و سـامانه‌های موتـور ترجمـه کـرده اسـت. بخش‌هـای بعـدی مقالـه بـه بـررسی نوآوری‌هـای فـنی کلیـدی در موتـور GP7200 می‌پردازنـد کـه اهـداف عملکـرد، قابلیـت اطمینـان و هزینـه مالکیـت بـرای هواپیمـای ایربـاس A380 را محقـق می‌سـازند.

اسـتفاده از تجربیـات قبـلی بـرای قابلیـت اطمینـان

موتـور GP7200 از دو خانـواده موفـق موتورهـای پهن‌پیکر در صنعـت هوانوردی مشتق شده اسـت: GE90 و PW4000. ایـن موتورها که در هواپیماهـای دو موتوره

[1] High Bypass Ratio



شکل ۱. موتور GP7200 از موتورهای ETOPS بوئینگ 777 مشتق شده تا قابلیت اطمینان بالا را تضمین کند. فناوری‌های پیشرفته انتخاب‌شده موجب بهبود عملکرد، کاهش نویز و آلاینده‌ها، و کاهش هزینه‌های عملیاتی بلندمدت شده‌اند.

بوئینگ ۷۷۷ به کار گرفته شده‌اند، تا زمان ورود GP7200 به خدمت، بیش از ۱۳ میلیون ساعت تجربه عملیاتی ETOPS را جمع‌آوری کرده‌اند. این سابقه عملیاتی گسترده، نقش مهمی در دستیابی به اهداف قابلیت اطمینان بالا برای موتور GP7200 دارد.

خانواده موتور GP7200 به گونه‌ای طراحی شده‌اند که الزامات فعلی و آینده در زمینه قدرت، نویز و آلاینده‌ها را برآورده کنند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، شرکت Engine Alliance با دقت بالایی فناوری‌های اثبات‌شده و فرآیندهای تولید پیشرفته را انتخاب کرده تا اهداف عملکرد، قابلیت اطمینان و هزینه مالکیت برای هواپیمای ایرباس A380 را محقق سازد.

معماری توربوفن دو محوره با نسبت گذر بالا در موتور GP7200 حفظ شده است که به‌طور ذاتی موجب کاهش هزینه مالکیت می‌شود:

- سادگی مکانیکی: تعداد کمتر یاتاقان‌ها، محفظه‌ها، آب‌بندها و قاب‌ها برای افزایش قابلیت اطمینان کلی؛
- ساختار ماژولار که تعمیر و نگهداری موتور را ساده می‌کند؛
- روتور مرکزی صلب و فشار بالا با طراحی منسجم که موجب حفظ عملکرد و افزایش زمان ماندگاری موتور روی بال می‌شود.

علاوه بر این، جدیدترین روش‌های طراحی آیرودینامیک سه‌بعدی در سراسر موتور GP7200 به‌کار گرفته شده‌اند تا به بازدهی جهانی اجزای توربوماشین دست یابند. این طراحی‌ها موجب بهبود بهره‌وری سوخت موتور شده و به برد طراحی ۸۰۰۰ مایل دریایی[۲] و اهداف کاهش هزینه عملیاتی هواپیمای A380 کمک می‌کنند.

شرکت Pratt & Whitney مسئول طراحی و ساخت روتور فشار پایین (فن، کمپرسور فشار پایین و توربین فشار پایین) و جعبه‌دنده جانبی موتور است. روتور فشار پایین شامل فن تیتانیومی توخالی با طراحی خمیده است که از فن مقاوم PW4090 در بوئینگ ۷۷۷ مشتق شده و دارای ویژگی کاهش

[۲] 8000 nm (nautical miles)

بار (یاتاقان شکننده) برای کاهش وزن تأیید موتور و کاهش بارهای نامتعادل دینامیکی در هنگام شکست تیغه فن است. همچنین، طراحی پره‌های توربین فشار پایین با ضریب لیفت بالا، موجب افزایش بازدهی شده است. شرکت Pratt & Whitney همچنین مسئول مونتاژ نهایی و آزمایش موتور است.

شرکت GE مسئول طراحی و ساخت روتور فشار بالا (کمپرسور فشار بالا، محفظه احتراق و توربین فشار بالا) و سامانه کنترل موتور است. روتور فشار بالا مشتق‌شده از مدل GE90-115B بوده و شامل کمپرسور ۹ مرحله‌ای با نسبت فشار ۱۹ به ۱ و توربین فشار بالای دو مرحله‌ای است. محفظه احتراق از نوع تک‌حلقه‌ای با آلایندگی پایین و سامانه کنترل دیجیتال نسل سوم FADEC نیز توسط GE طراحی شده‌اند.

رتبه‌بندی نیروی پیشران A380

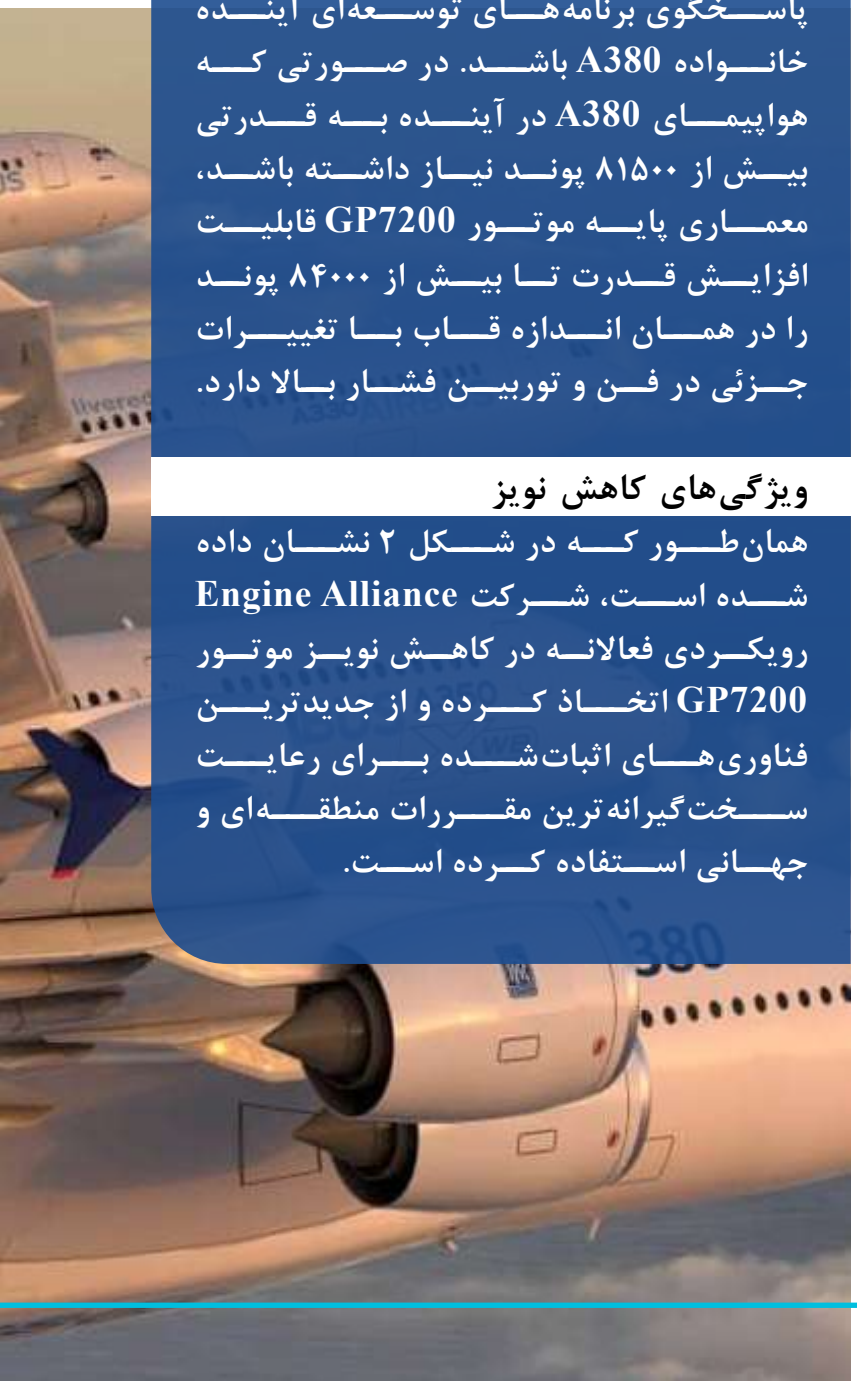
موتور GP7200 در حال حاضر با دو رتبه قدرت متفاوت برای هواپیمای مسافربری و باری ایرباس A380 ارائه می‌شود. مدل GP7270 دارای قدرت برخاست[۳] ۷۰۰۰۰ پوند (۴/۳۱۱ کیلو نیوتن) برای هواپیمای مسافربری A380-800 با وزن برخاست ۵۶۰ تن است. مدل GP7277 با قدرت ۷۶۵۰۰ پوند (۳/۳۴۰ کیلو نیوتن) برای هواپیمای باری A380-800 با وزن برخاست ۵۹۰ تن طراحی شده است.

هر دو مدل موتور در شرایط سطح دریا تا دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد (۸۶ درجه فارنهایت) به‌صورت تخت رتبه‌بندی شده‌اند.

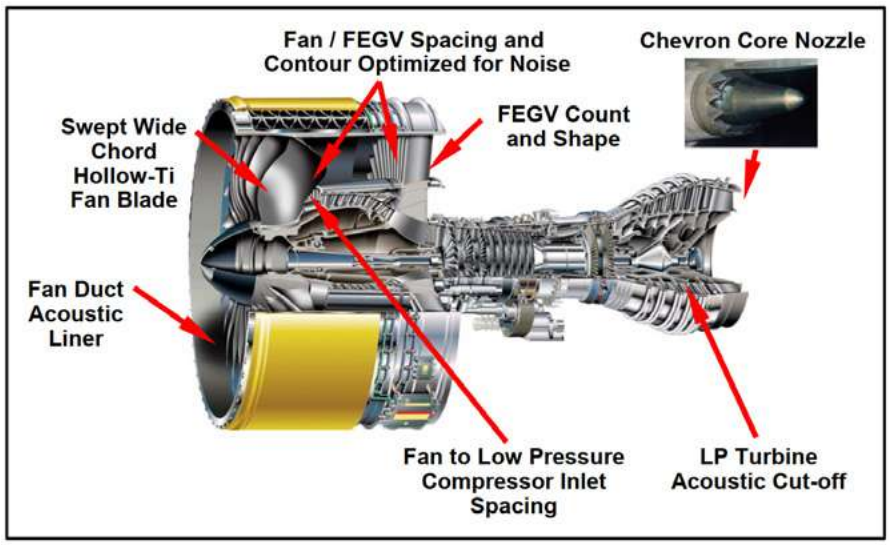
افزایش قدرت در آینده بخشی از برنامه محصول GP7200 است. در سال ۲۰۰۵، موتور GP7200 به‌طور هم‌زمان با قدرت‌های برخاست ۷۶۵۰۰ پوند (۳/۳۴۰کیلو نیوتن) و ۸۱۵۰۰ پوند (۵/۳۶۲ کیلو نیوتن) تأیید خواهد شد. شرکت Engine Alliance تصمیم گرفته است که قدرت بالاتر ۸۱۵۰۰ پوند را نیز تأیید کند تا پاسخگوی برنامه‌های توسعه‌ای آینده خانواده A380 باشد. در صورتی که هواپیمای A380 در آینده به قدرتی بیش از ۸۱۵۰۰ پوند نیاز داشته باشد، معماری پایه موتور GP7200 قابلیت افزایش قدرت تا بیش از ۸۴۰۰۰ پوند را در همان اندازه قاب با تغییرات جزئی در فن و توربین فشار بالا دارد.

ویژگی‌های کاهش نویز

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شرکت Engine Alliance رویکردی فعالانه در کاهش نویز موتور GP7200 اتخاذ کرده و از جدیدترین فناوری‌های اثبات‌شده برای رعایت سخت‌گیرانه‌ترین مقررات منطقه‌ای و جهانی استفاده کرده است.



[۳] takeoff thrust



شکل ۲. ویژگی های کاهش صدا در موتور GP7200

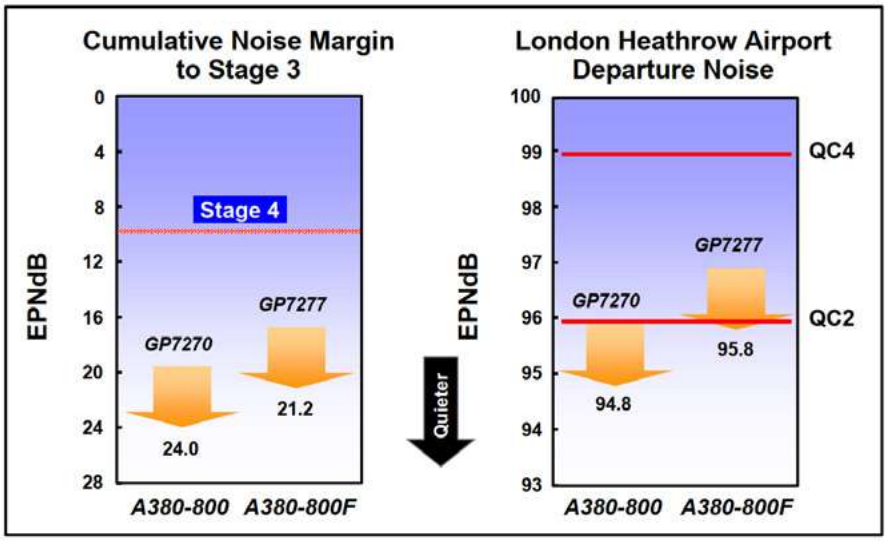
ویژگی‌های کاهش نویز شامل موارد زیر هستند:

- نسبت فشار فن کاهش‌یافته به‌دلیل طراحی چرخه با نسبت گذر بالا (۹ به ۱)؛
- فن با تیغه‌های پهن و خمیده؛
- استفاده گسترده از مواد آکوستیک در محفظه فن؛
- فاصله محوری قابل‌توجه بین تیغه‌های فن و پره‌های راهنمای خروجی فن با طراحی کانتور؛
- بهینه‌سازی تعداد و شکل پره‌ها در کمپرسور فشار پایین و توربین فشار پایین برای حذف آکوستیکی؛
- نازل خروجی مرکزی با طراحی شِورون (دندانه‌دار).

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، موتورهای GP7270 و GP7277 بسیار کم‌صداتر از الزامات فعلی مرحله ۳ و الزامات پیشنهادی مرحله ۴ هستند. هواپیمای A380-800 مجهز به موتور GP7270، در وزن برخاست حداکثری، سطح نویز[۴] در هنگام برخاست از فرودگاه هیترو لندن را نیز رعایت می‌کند.

[۴] Quota Count (QC2)





شکل ۳. حاشیه نویز اسمی موتور GP7200

فن خمیده سه‌بعدی با وتر پهن

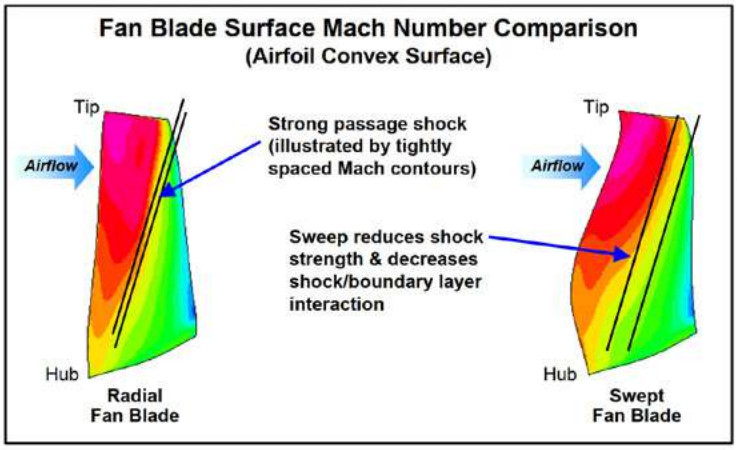
فن موتور GP7200 از طراحی خمیده سه‌بعدی با وتر پهن بهره می‌برد که از فن مقاوم PW4090 در موتور بوئینگ ۷۷۷ مشتق شده است. این طراحی موجب افزایش بازدهی آیرودینامیکی، کاهش نویز، و بهبود عملکرد پیشرانش می‌شود. تیغه‌های فن از جنس تیتانیوم توخالی ساخته شده‌اند تا وزن موتور کاهش یابد و در عین حال مقاومت ساختاری حفظ شود.

فن خمیده با وتر پهن GP7200 از جدیدترین طراحی آیرودینامیک سه‌بعدی برای بهبود بهره‌وری سوخت و جریان هوا استفاده می‌کند. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، تیغه فن تیتانیومی توخالی و مقاوم که از موتورهای PW4084، PW4090 و PW4098 بوئینگ ۷۷۷ مشتق شده، موجب کاهش وزن موتور و مقاومت اثبات‌شده در برابر آسیب‌های ناشی از اجسام خارجی، برخورد پرندگان و فرسایش ذرات سخت می‌شود.



شکل ۴. موتور GP7200 از فن خمیده تیتانیومی توخالی بهره می‌برد که از تجربیات اثبات‌شده خانواده موتورهای PW4000 مشتق شده است.

آیرودینامیک پیشرفته سه‌بعدی فن خمیده، بالاترین سطح عملکرد فن را ارائه می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، جریان هوا و بازدهی فن به‌شدت تحت تأثیر قدرت موج ضربه‌ای مافوق صوتی است که در مسیر جریان بین تیغه‌های مجاور فن ایجاد می‌شود. طراحی خمیده آیرودینامیکی، موجب کاهش قدرت موج ضربه‌ای و تعامل آن با لایه مرزی ویسکوز شده و بازدهی فن را تا دو درصد نسبت به تیغه‌های فن شعاعی معمولی در همان جریان هوا افزایش می‌دهد.



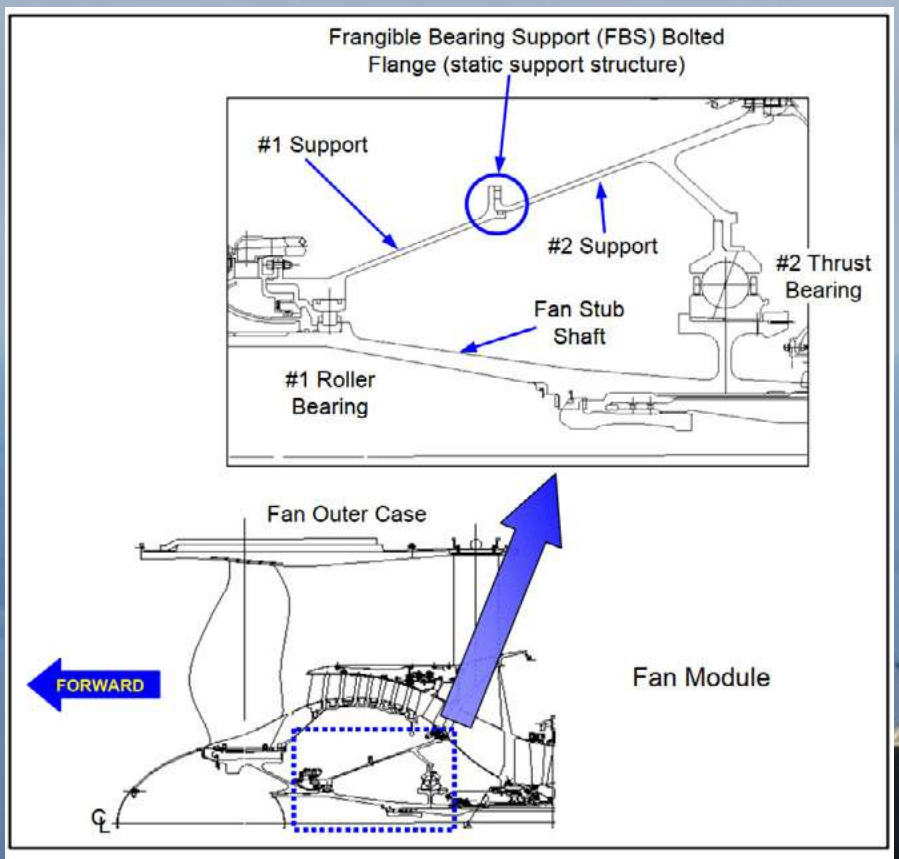
شکل ۵. آیرودینامیک سه‌بعدی فن خمیده موجب افزایش بازدهی و ظرفیت جریان هوا نسبت به تیغه‌های فن شعاعی با لبه‌های جلویی مستقیم و قطر کلی مشابه می‌شود.

کاهش بار ناشی از شکست تیغه فن

موتور GP7200 همچنین شامل فناوری جدیدی است که در صورت وقوع نادرِ جدا شدن تیغه فن در حین پرواز، به‌طور قابل‌توجهی بارهای ارتعاشی اوج ناشی از عدم تعادل را که به موتور و ساختار بدنه هواپیما منتقل می‌شوند، کاهش می‌دهد. کاهش این بارهای اوج عدم تعادل فن، موجب صرفه‌جویی قابل‌توجهی در وزن پوسته‌های موتور، پایه‌ها و ساختار نازل بال در مقایسه با طراحی‌های فن با پشتیبانی سخت می‌شود، در حالی که همچنان با الزامات تأییدیه موتور و بدنه هواپیما کاملاً مطابقت دارد.

مکانیزم پشتیبانی شکننده یاتاقان[۵] که در شکل ۶ نشان داده شده است، از برنامه موتور PW6000 برای هواپیمای ایرباس A318 مشتق شده است. این مکانیزم شامل یک فلنج پیچ‌شده با طراحی ویژه است که به‌صورت یکپارچه با ساختار پشتیبانی ثابت روتور فن ساخته شده است.

[۵] Frangible Bearing Support (FBS)



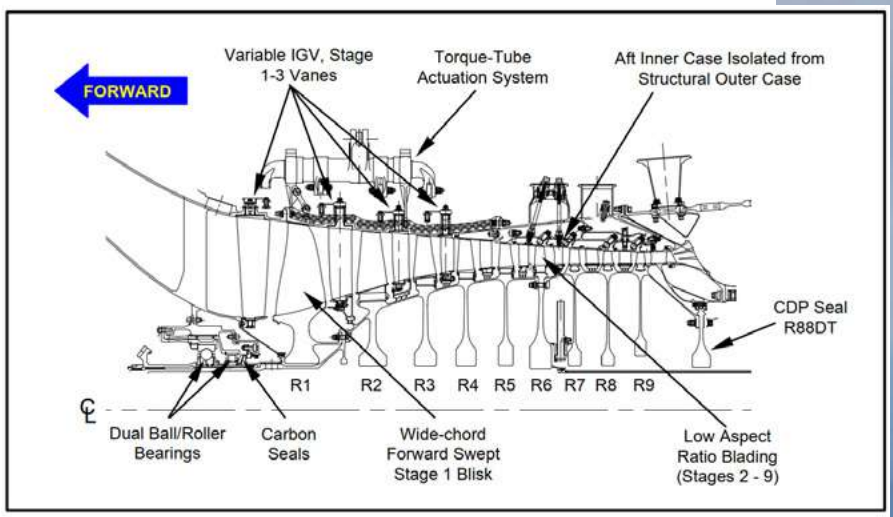
شکل ۶. ماژول فن GP7200 شامل مکانیزم پشتیبانی شکننده یاتاقان

پیچ‌های فیوزی که فلنج پیچ‌شده‌ی مکانیزم FBS را متصل می‌کنند، به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در صورت وقوع بارهای عدم تعادل شدید در روتور فن، بلافاصله پس از جدا شدن تیغه فن، جدا شوند. این جدایش پیچ‌های فیوزی مسیر انتقال بارهای شعاعی عدم تعادل فن را به شفت انتهایی فن و ساختار پشتیبانی یاتاقان شماره ۲ منتقل می‌کند که منجر به کاهش قابل توجهی در سختی شعاعی پشتیبانی‌کننده روتور فن می‌شود.

کاهش سختی شعاعی موجب کاهش چشمگیر بارهای عدم تعادل منتقل‌شده به پایه‌های موتور و ساختار نازل بال در سرعت‌های بالای چرخش فن می‌شود. روتور فشار پایین فن همچنان توسط یاتاقان کفگرد جلویی[۶] (شماره ۲) و یاتاقان غلتکی انتهایی توربین فشار پایین (شماره ۵) به‌طور کامل پشتیبانی می‌شود.

پس از آنکه خدمه پرواز موتور آسیب‌دیده را خاموش کردند، روتور فن ممکن است با سرعت پایین‌تری به‌صورت "بادبزنی" بچرخد. طراحی دقیق مکانیزم FBS تضمین می‌کند که بارهای عدم تعادل ناشی از چرخش بادبزنی فن به‌اندازه‌ای پایین باقی بمانند که ارتعاشات حاصل موجب حواس‌پرتی خدمه پرواز نشده و مانع ادامه ایمن عملیات پروازی هواپیما نشوند.

[۶] Thrust Bearing



شکل ۷. کمپرسور فشار بالای GP7200 نسخه‌ای مقیاس‌شده از موتور GE90-115B است.

کمپرسور فشار بالای موتور[۷] GP7200 که در شکل ۷ نشان داده شده است، نسخه‌ای با مقیاس جریان ۷۲ درصد از خانواده موفق موتورهای GE90 محسوب می‌شود و از نظر آیرودینامیکی با موتور GE90-115B با توان رانشی ۱۱۵۰۰۰ پوند که در حال گذراندن مراحل تأییدیه است، ریشه مشترک دارد.

هر دو موتور GE90-115B و GP7200 از جدیدترین طراحی آیرودینامیکی سه‌بعدی بهره می‌برند که موجب افزایش بازدهی کمپرسور فشار بالا و کاهش مصرف سوخت می‌شود.

این کمپرسور فشار بالا دارای نسبت فشار طراحی ۱۹ به ۱ است و نسبت به مدل‌های اولیه GE90، یک مرحله کمتر دارد (۹ مرحله در مقابل ۱۰ مرحله). حذف مرحله پایانی از کمپرسور ۱۰ مرحله‌ای GE90 موجب افزایش ظرفیت جریان هوای هسته موتور شده است. استفاده از ایرفویل‌های با نسبت ابعادی[۸] پایین در سراسر کمپرسور فشار بالا، مقاومت در برابر واماندگی و تحمل در برابر آسیب ناشی از اجسام خارجی را بهبود بخشیده است.

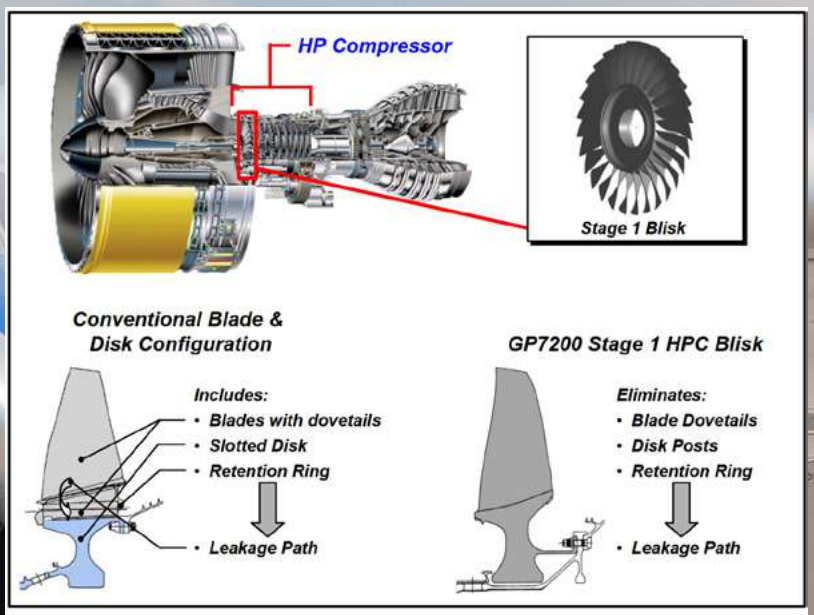
دیسک یکپارچه پره‌دار مرحله اول کمپرسور فشار بالا

برای مرحله اول کمپرسور فشار بالای موتور GP7200، از دیسک یکپارچه پره‌دار[۹] با ایرفویل‌هایی با نسبت ابعادی پایین استفاده شده است. ویژگی‌های سودمند این دیسک در مرحله اول GP7200 در مقایسه با پیکربندی معمول پره و دیسک، که در شکل ۸ نشان داده شده است، کاملاً قابل رویت هستند.

علاوه بر بهبود عملکرد موتور و کاهش قابل توجه وزن روتور و تعداد قطعات، استفاده از این دیسک موجب حذف تعدادی از حالت‌های فرسایش کمپرسور می‌شود که به کاهش قابلیت اطمینان موتور و افزایش هزینه‌های تعمیر منجر می‌شوند:

- ترک یا سایش در دم‌تیغه پره‌ها
- ترک یا سایش در پایه دیسک و شیار دیسک
- ترک در شراود میانی پره‌ها
- ترک یا سایش در حلقه نگهدارنده پره‌ها

[۷] High Pressure Compressor (HPC)
[۸] Aspect Ratio (AR)
[۹] Integrally bladed disk, or Blisk rotor

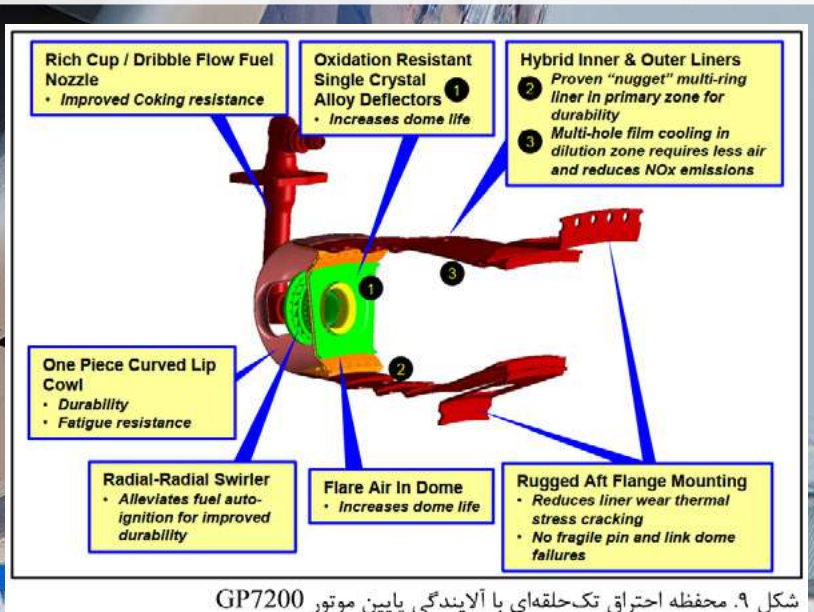


شکل ۸. دیسک یکپارچه پره‌دار مرحله اول کمپرسور فشار بالای GP7200

*روتورهای کمپرسور Blisk با ایرفویل‌هایی مقاوم و دارای نسبت ابعادی پایین، مقاومت بالاتری در برابر آسیب ناشی از اجسام خارجی ارائه می‌دهند. در کاربردهای دیگر موتوری، روش‌های تعمیر متعددی برای Blisk‌ها توسعه یافته‌اند و تجربه عملیاتی نشان داده است که Blisk‌هایی با ایرفویل‌های با نسبت ابعادی پایین، امکان گسترش محدوده تعمیرات ترکیبی ایرفویل را نسبت به پره‌هایی که به‌صورت جداگانه قابل تعویض هستند، فراهم می‌کنند.

محفظه احتراق تک‌حلقه‌ای با آلایندگی پایین[10]

همان‌طور که در شکل ۹ در صفحه بعد نشان داده شده است، محفظه احتراق موتور GP7200 دارای طراحی تک‌حلقه‌ای فشرده با طول محوری کوتاه است که بسیاری از ویژگی‌های اثبات‌شده موجود در موتورهای CF6، CFM56 و GE90 را برای دوام بالا، آلایندگی پایین و عملکرد عملیاتی عالی حفظ کرده است.



شکل ۹. محفظه احتراق تک‌حلقه‌ای با آلایندگی پایین موتور GP7200

محفظه احتراق موتور GP7200 از لاینرهای داخلی و خارجی ترکیبی بهره می‌برد که مشابه طراحی موتور GE90-115B هستند. این لاینرهای ترکیبی در ناحیه اولیه جلویی، از طراحی اثبات‌شده «ناگت»[11] با حلقه نورد شده‌ی موتور CF6 استفاده می‌کنند و در ناحیه پشتی، از طراحی خنک‌سازی فیلمی چندسوراخ بهره می‌برند.

طراحی چندسوراخ اثبات‌شده در میدان عملیاتی، دمای لاینر پشتی را کاهش می‌دهد و موجب افزایش دوام آن می‌شود؛ در حالی که هوای خنک‌کننده مورد استفاده برای کاهش آلایندگی را نیز حفظ می‌کند. محفظه احتراق GP7200 با تمامی الزامات فعلی و پیش‌بینی‌شده آینده در زمینه آلایندگی مطابقت دارد، همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است.

[10] LOW EMISSIONS SINGLE ANNULAR COMBUSTOR
[11] nugget

جدول ۱. مقادیر اسمی آلایندگی موتور GP7270 (با توان رانشی ۷۰۰۰۰۰ پوند)

	درصد محدودیت‌های ICAO CAEP4
نیتروکسیدها (NOX)	۵۷/۶٪
هیدروکربن‌ها	۲۱/۷٪
کربن‌مونوکسید (CO)	۲۲/۰٪
شماره دود (Smoke Number)	۳۵/۷٪



محفظه احتراق، از نازل سوخت نوع «Rich Cup» و طراحی Swirler مشابه با محفظه‌های احتراق تک‌حلقه‌ای[۱۲] موتورهای CF6 و CFM56 بهره می‌برد که بیش از ۱۰۰ میلیون ساعت تجربه عملیاتی قابل‌اعتماد دارند. استراتژی احتراق به‌کاررفته در این موتور از نوع Rich-Burn / Quick-Quench / Lean-Burn است که با زمان حضور بهینه در محفظه احتراق، کنترل بهتر آلاینده‌ها در توان بالا و پاسخ‌گویی مناسب به نیازهای روشن‌سازی مجدد را در توان پایین فراهم می‌سازد.

طراحی ترکیبی لاینر[۱۳] انعطاف‌پذیری در تخصیص هوای احتراق و بهینه‌سازی سوراخ‌های رقیق‌سازی را فراهم کرده که موجب برتری این سامانه احتراق شده است.

محفظه احتراق GP7200 در جلوی توربین فشار بالا و بر روی ساختار پشتیبانی نازل داخلی نصب شده است. قابلیت اطمینان طراحی محفظه احتراق نصب‌شده در عقب، طی ۴۰ سال گذشته اثبات شده است. این ساختار پشتیبانی، امکان انبساط حرارتی متفاوت بین لاینر داخلی و خارجی محفظه احتراق را فراهم می‌سازد که موجب کاهش تنش‌های منجر به ترک‌های خستگی می‌شود.

در مقابل، محفظه‌های احتراق نصب‌شده با پین، مستعد شکست خستگی در پین و لینک و از دست دادن پشتیبانی در محل اتصال Clevis جوش‌شده به گنبد محفظه احتراق هستند.

سایر پیشرفت‌های محفظه احتراق شامل موارد زیر هستند:

- دیفیوزر سه‌مسیره برای کاهش طول کلی محفظه احتراق و افت فشار
- کاول[۱۴] یک‌تکه برای دوام بیشتر و کاهش سایش
- چرخنده نوع شعاعی-شعاعی[۱۵]، مشابه GE90، برای حذف احتراق خودکار سوخت و افزایش دوام چرخنده
- دفلکتورهای آلیاژی تک‌کریستالی[۱۶] برای دوام پوشش و مقاومت عالی در برابر اکسیداسیون در دمای بالا

[۱۲] Single Annular Combustors (SAC)
[۱۳] Hybrid Liner Design
[۱۴] Cowl
[۱۵] Radial-Radial swirler
[۱۶] Single crystal alloy deflectors

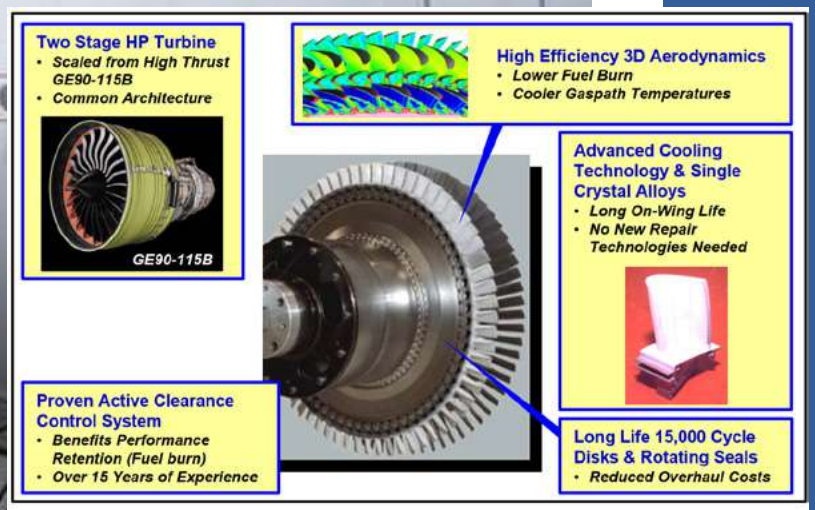
توربین فشار بالا

توربین فشار بالای GP7200 که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، نسخه‌ای با مقیاس ۷۲ درصدی از توربوفن با نسبت گـذر بالای GE90-115B محسوب می‌شود. طراحی دو مرحله‌ای توربین فشار بالا شامل آلیاژهای پیشرفته برای پره‌ها، پره‌های ثابت و دیسک‌ها، آیرودینامیک سه‌بعدی، ساختار دیسک بدون پیچ با عمر طولانی، ایرفویل‌های پره و پره ثابت با پوشش‌های حرارتی از جنس آلیاژ تک‌کریستالی و فناوری خنک‌کاری پیشرفته، و دیسک‌ها و آب‌بندهای ساخته‌شده از پودر فلز با آهنگری ایزوترمال است.

هوای خنک‌کننده به‌طور بهینه بین پره‌های مرحله اول و دوم توزیع میشود تا دوام و عملکرد افزایش یابد. مقدار هوای خنک‌کننده توربین فشار بالا در موتور GP7200 نیز افزایش یافته تا عمر اجزای داغ توربین بیشتر شده و هزینه مالکیت موتور کاهش یابد. این افزایش هوا موجب کاهش دمای اوج فلز حجیم در پره‌ها و پره‌های ثابت می‌شود. دمای حداکثر فلز حجیم در توربین فشار بالای GP7277 (با توان رانشی ۷۶۵۰۰ پوند)، بین ۴۰ تا ۱۳۰ درجه فارنهایت پایین‌تر از تجربه موتورهای تجاری GE با آلیاژ تک‌کریستالی مشابه است.

افزایش عمر و دوام روتور توربین فشار بالا – موتور GP7200 از آلیاژ پودری نیکل جدیدی در دیسک مرحله اول روتور توربین فشار بالا استفاده خواهد کرد که قابلیت تحمل دمای بالاتر و بهبود عمر قطعه را فراهم می‌سازد. این آلیاژ با نام ME3 برای موتورهای تجاری مافوق صوت آینده توسعه یافته است. ارزیابی‌های استحکام و عمر خستگی با استفاده از قطعات واقعی موتور، ویژگی‌های مفید زیر را برای آلیاژ ME3 نسبت به بهترین آلیاژهای پودری آهنگری ایزوترمال موجود تأیید کرده‌اند:

- افزایش ۷۵ درجه فارنهایت در قابلیت تحمل دمای بالا؛
- افزایش ۳ الی ۱۰ برابری در زمان نگهداری عمر خستگی کم چرخه[۱۷]، بسته به مقدار تنش و دما؛
- حدود ۶۰ درجه فارنهایت بهبود در زمان نگهداری رشد ترک (ترک ۸ در ۸ میل[۱۸]).



شکل ۱۰. توربین فشار بالای GP7200 از موتور توربوفن GE90-115B مشتق شده است.

[۱۷] low cycle fatigue life

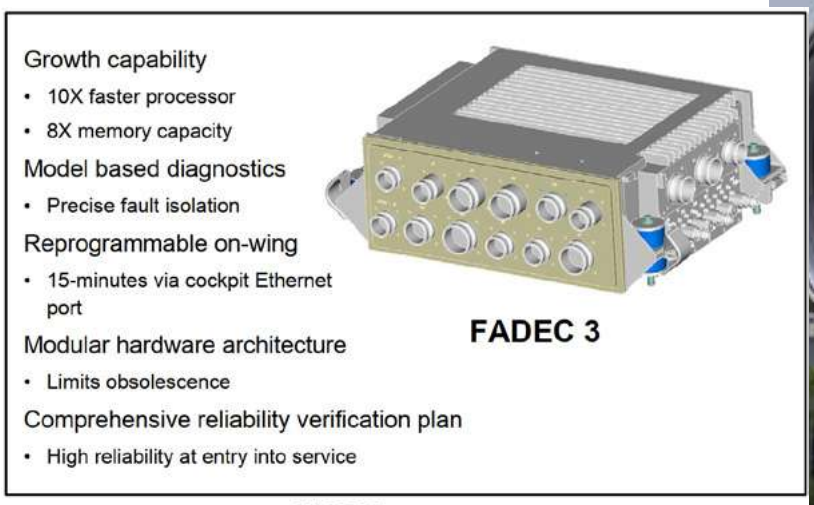
[۱۸] 1 mil = 0.001 inch ≈ 0.0254 mm

توربین فشار پایین GP7200 دارای طراحی شش‌مرحله‌ای جدیدی است که از خانواده موتورهای PW4000 مشتق شده است. این توربین برای دستیابی به بازده بالا و کاهش هزینه‌های عملیاتی مرتبط با کاهش مصرف سوخت و حاشیه دمای گاز خروجی[۱۹] طراحی شده تا زمان ماند موتور روی بال افزایش یابد. بر اساس تجربیات حاصل از کاربردهای موتورهای PW2000، V2500 و PW4000، این توربین فشار پایین دوام بیشتر و قابلیت نگهداری بهتری را ارائه می‌دهد.

طراحی ایرفویل سه‌بعدی با نیروی بالابر زیاد در ترکیب با زمان‌بندی مناسب مراحل توربین، موجب بهبود بازده توربین و کاهش مصرف سوخت ویژه[۲۰] شده که منجر به صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه سوخت می‌شود. استفاده از ایرفویل‌های توخالی در توربین نیز وزن روتور را کاهش می‌دهد. پیکربندی آب‌بند داخلی روتور توربین فشار پایین، از حلقه‌های شناور مرکزی استفاده می‌کند که کنترل بهتری بر روی فاصله‌های شعاعی فراهم می‌سازد. پوشش‌های داخلی و خارجی نیز مقاومت در برابر اکسیداسیون و خوردگی را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، بهینه‌سازی فاصله محوری بین پره‌ها و پره‌های ثابت و طراحی سه‌مرحله‌ای قطع‌کننده، موجب کاهش سطح نویز موتور می‌شود.

کنترل دیجیتال نسل سوم

سامانه کنترل موتور تأثیر قابل‌توجهی بر قابلیت اطمینان کلی موتور دارد. قلب هر سامانه کنترل و تشخیص موتور توربوفن مدرن، سامانه کنترل الکترونیکی دیجیتال با اختیار کامل[۲۱] است. موتور GP7200 از سامانه کنترل دیجیتال دوکاناله نسل سوم (FADEC 3) بهره می‌برد که سرعت پردازش، ظرفیت حافظه و توان عبور داده‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش داده است. همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده، پردازنده FADEC 3 ده برابر سریع‌تر و دارای هشت برابر ظرفیت حافظه بیشتر نسبت به واحدهای FADEC قبلی مورد استفاده در موتورهای توربوفن تجاری GE است. این ویژگی‌ها، افزونگی بیشتر در سامانه کنترل را فراهم کرده و موجب افزایش قابلیت اطمینان موتور و امکان افزودن ویژگی‌های جدید در آینده می‌شود.



شکل ۱۱. سامانه کنترل دیجیتال دوکاناله نسل سوم FADEC

[۱۹] Exhaust Gas Temperature (EGT)
[۲۰] Specific Fuel Consumption (SFC)
[۲۱] Full Authority Digital Electronic Control (FADEC)



سامانه FADEC 3 بر پایه ۸۶ میلیون ساعت تجربه موفق موتورهای تجاری بزرگ GE در دو نسل قبلی FADEC توسعه یافته است FADEC 3 .به‌زودی به استاندارد تمامی موتورهای تجاری بزرگ GE تبدیل خواهد شد و پیش از ورود به خدمت موتور GP7200، چندین سال در موتورهای GE90-115B و CFM56-7 مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

قابلیت اطمینان عملیاتی، از طریق معماری کنترل دوکاناله با بهره‌گیری از سیگنال‌های حسگر افزونه و منطق تشخیص خطا که اجزای معیوب را ایزوله می‌کند، تضمین می‌شود. معماری پردازنده دوکاناله FADEC 3 قادر است خطاهای تک‌پارامتری و بسیاری از خطاهای چندپارامتری را بدون تأثیر بر عملکرد موتور مدیریت کند. هر دو کانال FADEC 3 کاملاً مشابه و قادر به کنترل کامل تمامی سامانه‌های موتور هستند.

در صورت شناسایی خرابی در یکی از دو کانال، سامانه FADEC 3 به‌صورت خودکار کنترل اصلی موتور را به کانال جایگزین (استندبای) منتقل کرده و اعلان خطا را به سامانه‌های پایش خطای موتور و هواپیما ارسال می‌کند.

قابلیت‌های افزوده FADEC 3، دقت ایزوله‌سازی خطای اجزا را افزایش داده و موجب کاهش چشمگیر خطاهای مزاحم می‌شود که منجر به تأخیرها و لغوهای پروازی پرهزینه و اختلال‌آفرین می‌شوند.

قابلیت‌های تشخیص پیشرفته – موتور GP7200 چندین قابلیت جدید تشخیص خطا را در خود جای داده است که انتظار می‌رود قابلیت اعزام هواپیما را افزایش داده و از خاموشی‌های ناگهانی موتور در حین پرواز جلوگیری کند.

تشخیص مبتنی بر مدل – برای نخستین بار، افزایش سرعت پردازش و ظرفیت حافظه FADEC 3 امکان افزودن یک مدل عملکردی دقیق موتور به منطق تشخیص خطا را فراهم کرده است. این مدل عملکردی موتور می‌تواند با محاسبه مقدار "حسگر مجازی[۲۲]" و مقایسه آن با سایر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده موتور، تفاوت بین خرابی حسگر و سایر مشکلات موتور را تشخیص دهد. مقایسه مقادیر، به همراه سایر منطق‌های تشخیص خطا می‌تواند به‌سرعت حسگرهای خارج از محدوده را شناسایی و ایزوله کند.

پایشگر کمی ذرات فرسایشی[۲۳] - موتور GP7200 دارای یک پایشگر الکترونیکی QDM است که بار کاری تعمیر و نگهداری مربوط به بازرسی های دستی دوره‌ای اشکارسازهای تراشه مغناطیسی سیستم روان‌کاری را حذف می‌کند. این QDM مشابه نمونه اثبات‌شده‌ای است که در موتور توربوفن GE90 مورد استفاده قرار گرفته است. QDM شمارش دقیقی از ذرات فلزی فرسایشی موجود در روغن برگشتی ارائه می‌دهد و تاریخچه شمارش ذرات را در حافظه FADEC

[۲۲] virtual sensore
[۲۳] Quantitative Debris Monitor (QDM)



ذخیره می‌کند. اگر اندازه یا تعداد ذرات فلزی از مقدار از پیش تعیین‌شده فراتر رود، FADEC هشدار «وضعیت» احتیاطی را برای خدمه پرواز و رایانه نگهداری هواپیما صادر می‌کند تا اقدامات تعمیراتی پس از پرواز انجام شود. تجربه موتور GE90 نشان داده که QDM بسیار قابل‌اعتماد بوده و پیش‌بینی‌کننده عالی‌ای برای آسیب‌های غیرعادی در یاتاقان‌ها یا سایر اجزای مکانیکی در تماس با روغن است. این تجربه همچنین ثابت کرده که قابلیت پیش‌بینی QDM از آسیب جدی موتور و خاموشی‌های ناگهانی در حین پرواز جلوگیری کرده است.

پایش ارتعاش پیشرفته[۲۴] - موتور GP7200 نخستین موتوری خواهد بود که قابلیت فیلترسازی پیشرفته سیگنال‌های ارتعاشی را در FADEC به‌کار می‌گیرد تا ارتعاشات مکانیکی غیرعادی که نشانه‌ای از آسیب قریب‌الوقوع اجزای سخت‌افزاری هستند، شناسایی و تحلیل شوند. تحلیل طیفی از الگوهای شناخته‌شده خرابی اجزا، مانند پوسته‌پوسته شدن مسیر یاتاقان، هشدار تعمیراتی احتیاطی برای بررسی پس از پرواز صادر خواهد کرد. مقادیر از پیش تعیین‌شده مشخص می‌کنند که آیا اقدام تعمیراتی فوری لازم است یا اینکه هواپیما می‌تواند با ایمنی به خدمت بازگردد و تعمیرات به تعداد محدودی چرخه یا ساعت پروازی آینده موکول شود. در حالت دوم، تعمیر موتور می‌تواند در دوره نگهداری برنامه‌ریزی‌شده هواپیما انجام شود و از اختلال در عملیات برنامه‌ریزی‌شده شرکت هواپیمایی جلوگیری کند.

انتظار می‌رود که تشخیص زودهنگام مشکلات مکانیکی احتمالی توسط سیستم پایش سلامت موتور GP7200، به‌طور چشمگیری قابلیت اطمینان و ایمنی موتور در حین سرویس را افزایش دهد و همچنین از بروز آسیب‌های ثانویه و پرهزینه به موتور که اغلب رخ می‌دهند جلوگیری کند.

حفظ عملکرد

موتور GP7200، عملکرد مصرف سوخت ویژه و حفظ عملکرد بلندمدت بسیار بهتری نسبت به موتورهای فعلی هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ ارائه خواهد داد. فناوری‌هایی که این بهبودهای چشمگیر را ممکن می‌سازند، هم‌اکنون توسط موتورهای GE90 و PW4000 که در هواپیمای بوئینگ ۷۷۷ در حال خدمت هستند، به نمایش گذاشته شده‌اند.

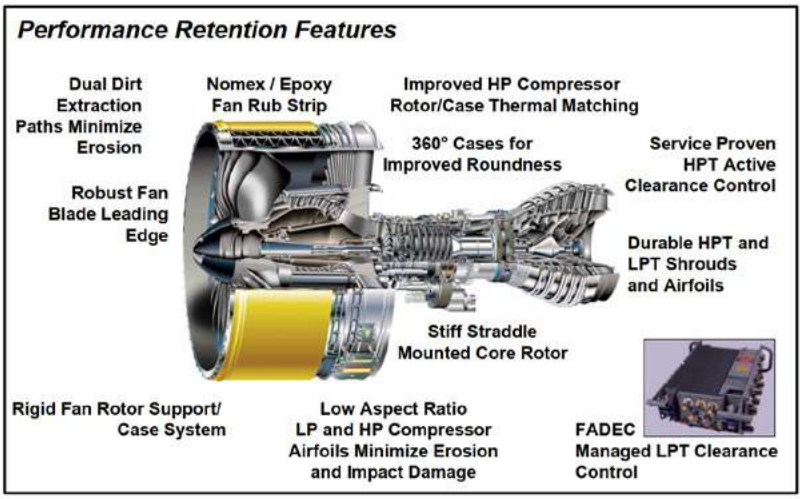
چند ویژگی مهم که به حفظ عملکرد کمک می‌کنند، عبارت‌اند از:

- **ساختار صلب و دو محوره موتور برای حفظ فاصله دقیق بین نوک پره‌ها و پوسته بیرونی؛**

[۲۴] Advanced Vibration Monitoring (AVM)

• کنترل فعال فاصله توربین از طریق قابلیت‌های توسعه یافته FADEC، به همراه آلیاژهای پیشرفته توربین و دمای پایین‌تر قطعات سخت‌افزاری توربین؛
• کاهش ورود ذرات به هسته موتور، همراه با طراحی پره‌های کمپرسور با نسبت ابعادی پایین که موجب کاهش فرسایش و آسیب ناشی از برخورد به پره‌ها و تیغه‌ها می‌شود.

این ویژگی‌ها و بسیاری دیگر که در شکل ۱۲ نشان داده شده‌اند، به موتور GP7200 امکان می‌دهند تا در طول عمر هواپیما، هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد. این موتور دارای حاشیه دمایی قابل توجهی در دمای گازهای خروجی است که میانگین عمر عملیاتی آن روی بال هواپیما را به حدود ۳۰۰۰ چرخه، بر اساس میانگین زمان پرواز ۷.۵ ساعته، می‌رساند. ویژگی‌های حفظ عملکرد مصرف سوخت ویژه آن به‌طور قابل‌توجهی بهتر از موتورهای فعلی بوئینگ ۷۴۷ است.



شکل ۱۲. ویژگی‌های حفظ عملکرد موتور GP7200 در خانواده موتورهای GE90 و PW4000 به اثبات رسیده‌اند.

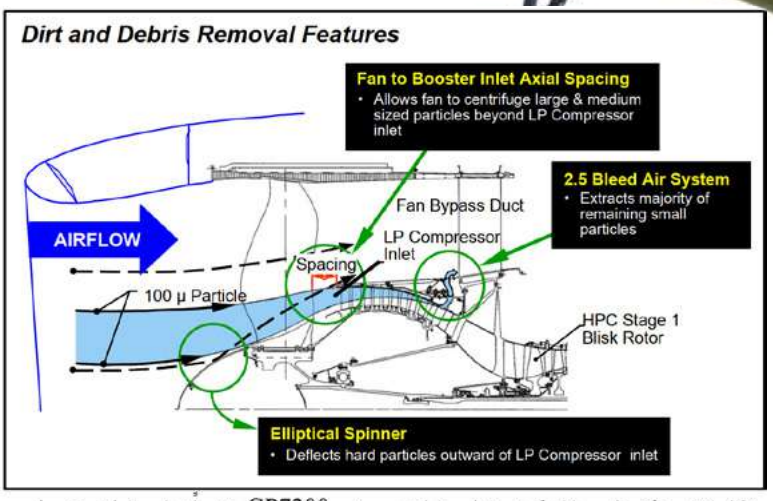


حذف گرد و غبار و ذرات

خانواده موتورهای GP7200 از طراحی اثبات‌شده‌ای برای حذف گرد و غبار و ذرات بهره خواهد برد؛ طراحی‌ای که در موتورهای PW4000 مورد استفاده در هواپیمای بوئینگ ۷۷۷، اثربخشی بالای خود را نشان داده است. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، ویژگی‌های سیستم حذف گرد و غبار و ذرات در موتور GP7200 شامل موارد زیر است:

- اسپینر بیضی‌شکل که برای منحرف کردن ذرات سخت به سمت بیرون و دور از ورودی کمپرسور فشار پایین[۲۵] طراحی شده و آن‌ها را به داخل کانال بای‌پس فن هدایت می‌کند؛
- نیروی گریز از مرکز حاصل از فن مقاوم با پره‌های پهن، همراه با فاصله محوری مناسب بین لبه انتهایی پره فن و ورودی بوستر، ذرات بزرگ و متوسط را به‌طور شعاعی به بیرون رانده و به کانال بای‌پس فن منتقل می‌کند؛
- ذرات کوچکتری که وارد ورودی کمپرسور فشار پایین می‌شوند، به‌وسیله نیروی گریز از مرکز به سمت بیرون رانده شده و توسط سیستم تخلیه هوای مرحله ۲.۵ حذف می‌گردند و مثل قبل، این ذرات نیز به کانال بای‌پس فن تخلیه فرستاده می‌شوند.





شکل ۱۳. ویژگی‌های حذف گرد و غبار و ذرات در موتور GP7200، تقریباً تمامی ذرات مضر را پیش از ورودی کمپرسور فشار بالا حذف می‌کنند.

ترکیب این ویژگی‌ها به‌طور چشمگیری ورود ذرات به هسته موتور را در مراحل حرکت زمینی، برخاست و فرود هواپیما کاهش می‌دهد. این امر موجب حفظ بهتر عملکرد موتور شده و به‌طور قابل توجهی تعداد موارد خارج‌سازی غیرمنتظره موتور به دلیل آسیب ناشی از اجسام خارجی را کاهش می‌دهد.

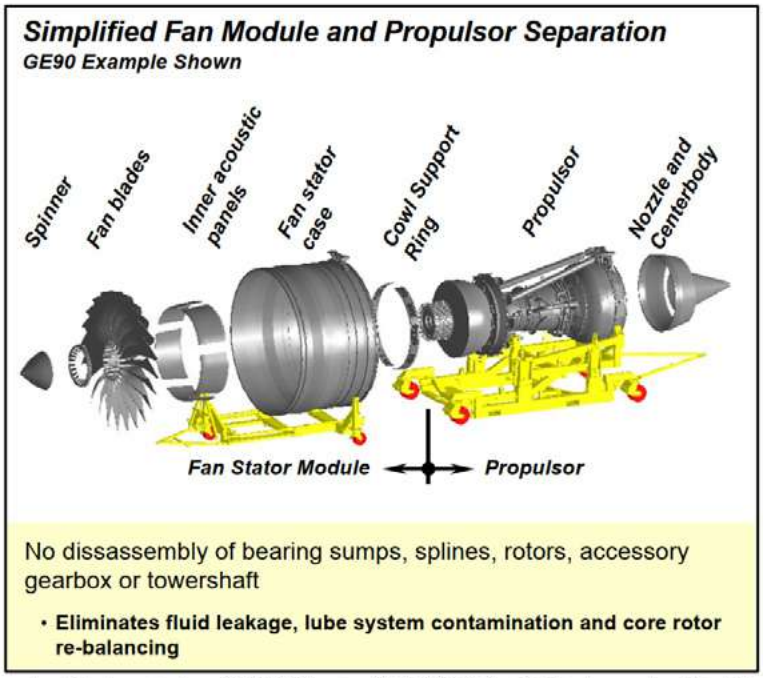
قابلیت حمل موتور

موتور GP7200 به‌گونه‌ای طراحی شده است که با روش‌های استاندارد حمل‌ونقل زمینی و هوایی، مشابه خانواده موتورهای GE90 و PW4000، سازگار باشد. این موتور از قابلیت «حمل تفکیکی[۲۶]» برخوردار است که امکان ارسال ماژول یدکی پیشران یا فن را با انواع مختلف هواپیماهای باری فراهم می‌سازد. این ویژگی انعطاف پذیری لجستیکی بیشتری را برای تعویض پیشران یا ماژول فن در مکان‌های دورافتاده – در صورت نیاز – فراهم می‌کند.

مفهوم حمل تفکیکی، همان‌طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده، در ابتدا برای موتورهای بسیار بزرگ GE90 و PW4000 توسعه یافت؛ جایی که قطر پوسته بیرونی فن، از ارتفاع عمودی درهای جانبی بار اکثر هواپیماهای باری بزرگ، بیشتر بود. این موضوع حمل هوایی موتورهای یدکی کامل را غیرممکن می‌ساخت، مگر با تعداد محدودی از هواپیماهای باری تخصصی مانند AN-124 یا AN-225.

[۲۵] Low Pressure Compressor (LPC)
[۲۶] Split Ship

با توجه به مزایای مفهوم حمل تفکیکی، بسیاری از شرکت‌های هواپیمایی تصمیم گرفته‌اند که بخش عمده‌ای از نیازهای موتور یدکی خود را صرفاً به‌صورت پیشران‌ها[۲۷] تأمین کنند. این رویکرد، سرمایه‌گذاری اولیه شرکت هواپیمایی را برای موتورهای یدکی به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد، زیرا موجودی پره‌های فن، کانال‌های فن و سایر قطعات گران‌قیمت فن که معمولاً باعث خارج شدن موتور از بال نمی‌شوند، به حداقل می‌رسد.



شکل ۱۴. مفهوم حمل تفکیکی (Split Ship) موتور GP7200 بر پایه تجربیات اثبات‌شده در موتورهای GE90 و PW4000 بنا شده است.

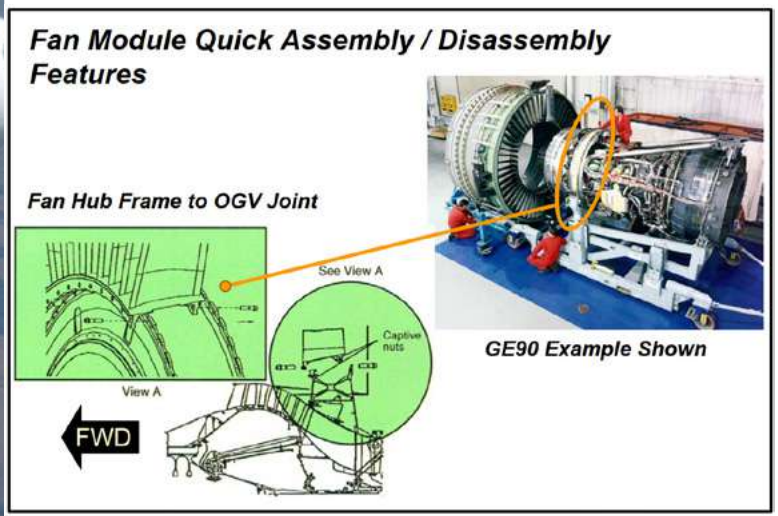
ویژگی‌های مونتاژ و دمونتاژ سریع

برای ساده‌سازی و تسریع در تعویض پیشران، موتور GP7200 از اتصال پیچ‌شده‌ی دوفلنجی[۲۸] ساده‌ای بین پوسته استاتور فن و پیشران بهره خواهد برد، همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است. باز کردن این اتصال و جدا کردن پوسته استاتور فن، نیازی به دسترسی به یاتاقان‌ها یا جداسازی اتصالات اسپلاین روتور[۲۹] یا جعبه‌دنده ندارد. استفاده از مهره‌های ثابت[۳۰]، فرآیند دمونتاژ و مونتاژ مجدد را ساده کرده و تعداد قطعات آزاد را به حداقل می‌رساند، که این امر خطر ورود اجسام خارجی را کاهش می‌دهد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم در مفهوم موتور یدکی GP7200 این است که امکان تطبیق تصادفی ماژول‌های فن با هر پیشرانی را فراهم می‌سازد، بدون آن‌که نیاز به انجام آزمون‌های تضمین توان بالا برای اطمینان از رانش وجود داشته باشد.

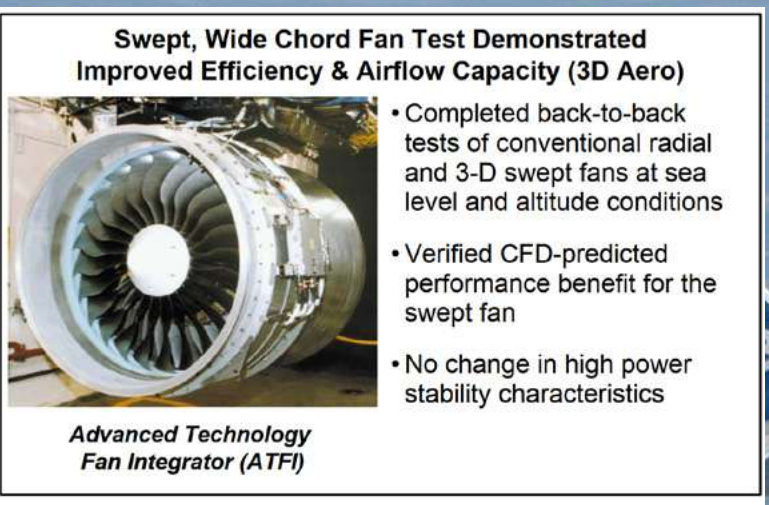
آزمایش قطعات و موتور

شرکت Engine Alliance سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی را برای انجام آزمایش‌های پایه‌ای قطعات موتور GP7200 اختصاص داده است. این اقدام، بخشی از راهبرد این مجموعه برای اعتبارسنجی مستمر عملکرد بهبودیافته و فناوری‌های بالغ‌شده پیش از آغاز طراحی دقیق سخت‌افزار موتور به‌شمار می‌رود.



شکل ۱۵. موتور GP7200 به‌گونه‌ای طراحی شده است که جداسازی سریع و آسان ماژول فن از پیشران را امکان‌پذیر می‌سازد.

[۲۷] as propulsors
[۲۸] dual-flange bolted joint
[۲۹] rotor spline
[۳۰] Captive Nuts



شکل ۱۶. واحد یکپارچه فن فناوری پیشرفته شرکت P&W در آوریل ۲۰۰۱ با موفقیت نسخه ای مقیاس‌شده به اندازه ۴۲٪ از فن خمیده با پره‌های پهن موتور GP7200 را آزمایش کرد.

آزمایش فن با طراحی خمیده[۳۱]

همان‌طور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، واحد یکپارچه فناوری پیشرفته شرکت P&W، با موفقیت بهبود عملکرد آیرودینامیکی فن‌های سه‌بعدی خمیده با پره‌های پهن را نسبت به پره‌های سنتی دوبعدی مستقیم و شعاعی، در آزمایش‌های پشت‌سرهم به اثبات رسانده است.

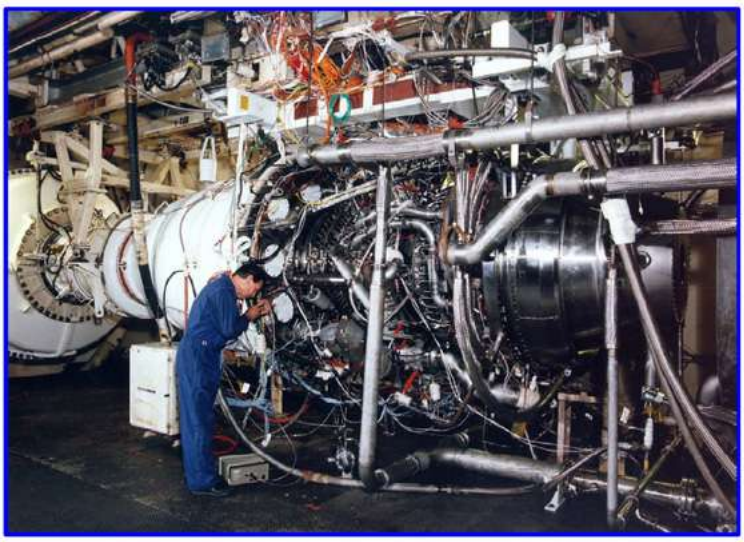
افزایش بهره‌وری و جریان هوا در فن خمیده، حاصل کاهش شدت شوک در مسیرهای جریان بین پره‌ها و کاهش تعامل بین شوک و لایه مرزی است. آزمایش نسخه‌ای بزرگ‌تر و مقیاس‌شده به اندازه ۹۳٪ از فن خمیده موتور GP7200، با ساختار تیتانیومی توخالی، بر روی موتور PW4098 در اوایل سال ۲۰۰۳ انجام خواهد شد تا عملکرد فن و ویژگی‌های آئرومکانیکی آن مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد.

آزمایش هسته موتور - بازده و قابلیت عملکرد کمپرسور فشار بالا با ۹ مرحله، در دو آزمایش جداگانه از هسته موتور GP7200 با مجموع بیش از ۳۹۰ ساعت، با موفقیت به اثبات رسید. همان‌طور که در شکل ۱۷ نشان داده شده، این آزمایش‌ها در مرکز تست ارتفاع شرکت GE انجام شد تا شرایط ورودی و فشار برگشتی هسته موتور در سراسر محدوده پروازی به‌طور دقیق شبیه‌سازی شود.

آزمایش انجام‌شده در ژوئن ۲۰۰۰، بازده و عملکرد کمپرسور فشار بالا را در تمامی تنظیمات توان تأیید کرد. همچنین این آزمایش، بهبود جریان و بازده را در مرحله اول بلیسک با طراحی پره‌های خمیده به جلو و اصلاحات آیرودینامیکی دیگر در کمپرسور فشار بالا تأیید نمود. استفاده از استاتور مرحله چهارم ثابت (غیر متغیر) نیز با موفقیت آزمایش شد که منجر به ساده‌سازی مکانیکی و افزایش قابلیت اطمینان گردید.

آزمایش دوم هسته موتور که در آوریل ۲۰۰۱ انجام شد، اصلاحات آیرودینامیکی بیشتری را در کمپرسور فشار بالا مورد ارزیابی قرار داد که باعث افزایش بازده کمپرسور و حاشیه واماندگی[۳۲] شد. در نتیجه این دو آزمایش، افزایش بازده کمپرسور تا حدود دو درصد نسبت به کمپرسورهای مشابه با طراحی آیرودینامیکی دوبعدی حاصل شد. بازده بالاتر کمپرسور به کاهش مصرف سوخت موتور و افزایش حاشیه دمای گازهای خروجی کمک می‌کند.

[۳۱] Swept Fan Testing
[۳۲] stall margin



شکل ۱۷. آزمایش هسته موتور GP7200 ، ویژگی‌های عملکردی کمپرسور فشار

آزمایش‌های پایه‌ای محفظه احتراق و توربین فشار بالا –

شرکت Engine Alliance در اوایل سال ۲۰۰۲ با موفقیت آزمایش‌های پایه‌ای مربوط به محفظه احتراق حلقوی تک‌مرحله‌ای با آلایندگی پایین و روتور توربین فشار بالای دومرحله‌ای را به پایان رساند. در آزمایش پایه‌ای محفظه احتراق در مقیاس کامل، نمونه‌برداری از آلاینده‌ها انجام شد، حدود آستانه خاموشی در شرایط سوخت رقیق و قابلیت روشن‌سازی مجدد در ارتفاع ارزیابی گردید، و اثربخشی خنک‌کاری در ناحیه پوسته و پوشش داخلی مورد سنجش قرار گرفت.

در آزمایش آیرودینامیکی توربین فشار بالا، فاصله نوک پره‌ها، جریان‌های خنک‌کننده و موقعیت زاویه‌ای پره‌های نازل مرحله دوم، نسبت به پره‌های نازل مرحله اول بهینه‌سازی شد. این اصلاحات منجر به افزایش بازده اوج توربین به میزان ۰٫۹٪ گردید.

آزمایش دوام موتور - موتور GP7200 پیش از ورود به خدمت در خطوط هوایی تجاری، تحت گسترده‌ترین مجموعه آزمایش‌های دوام قرار خواهد گرفت. برنامه تأییدیه این موتور شامل بیش از ۲۳،۰۰۰ چرخه دوام و ۷،۰۰۰ ساعت زمان آزمایش بر روی هفت موتور مختلف خواهد بود تا پایداری و قابلیت اطمینان سخت‌افزار پیش از آغاز بهره‌برداری عملیاتی به‌طور کامل اعتبارسنجی شود. این میزان، بیش از ۵،۰۰۰ چرخه دوام بیشتر از آن چیزی است که در برنامه‌های اولیه تأییدیه ETOPS برای موتورهای GE90 و PW4084 اجرا شده بود.

علاوه بر این، هواپیمای آزمایشی GE مدل ۷۴۷ (Flying Test Bed)، برای ارزیابی پاسخ موتور به تغییرات توان[۳۳]، قابلیت روشن‌سازی مجدد در ارتفاع، و بهینه‌سازی برنامه‌های کنترل فاصله قطعات، همگی پیش از آغاز رسمی آزمایش‌های تأییدیه A380 در ژانویه ۲۰۰۶، مورد استفاده قرار خواهد گرفت.



نتیجه‌گیری

موتور توربوفن GP7200 در حال توسعه است تا انتظارات شرکت‌های هواپیمایی بهره‌بردار از هواپیمای جدید Airbus A380 را برآورده سازد؛ انتظاراتی شامل قابلیت اطمینان بی‌نظیر، بهره‌برداری اقتصادی، سازگاری زیست‌محیطی و هزینه مالکیت پایین. در همین راستا، Engine Alliance راهبردی با محوریت مشتری اتخاذ کرده است. این راهبرد بر پایه میراث اثبات‌شده‌ای از موتورهای مشتق‌شده GE90 و PW4000 با قابلیت ETOPS[۳۴] برای دستیابی به قابلیت اطمینان بالا بنا شده و با بهره‌گیری گزینشی از نوآوری‌های فنی اثبات‌شده برای ارتقاء عملکرد و کاهش اثرات زیست‌محیطی، همچنین با قابلیت افزایش رانش در آینده تکمیل شده است.

سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی برای انجام آزمایش‌های اولیه قطعات صورت گرفته تا اطمینان حاصل شود که موتور GP7200، در زمان ورود به خدمت در سال ۲۰۰۶، تمامی تعهدات عملکردی خود را برآورده خواهد کرد. شرکت Engine Alliance اطمینان دارد که موتور GP7200 نه‌تنها انتظارات شرکت‌های هواپیمایی بهره‌بردار از هواپیمای A380 را برآورده می‌کند، بلکه فراتر از آن خواهد رفت و تا سال‌های آینده در قرن بیست‌ویکم عملکردی ممتاز ارائه خواهد داد.

[۳۳] Throttle Response
[۳۴] Extended-range Twin-engine OPerationS (ETOPS)

بخش

مصاحبه

در مدار تجربه، از قلب صنعت تا مرزهای دانش





مصاحبه با
مهندس غلامرضا سلطانی

از مهندسی تا خودباوری؛
«روایت تولید گرژن پین ایرانی»



تیم مصاحبه نشریه گشتاور

از آرزوهای دانشجویی تا مدیریت پروژه‌های صنعتی



سال ۱۳۷۰ برای غلامرضا سلطانی یک نقطه عطف بود. او در رشته ساخت و تولید دانشگاه تبریز پذیرفته شد؛ رشته‌ای که آن روزها کمتر شناخته شده بود، اما برای او حکم یک رؤیا را داشت. می‌گوید از همان دوران دبیرستان علاقه عجیبی به کارهای فنی و صنعتی داشت و تصورش این بود که می‌تواند از دل این رشته وارد قلب صنعت کشور شود. فضای دانشگاه آن زمان با امروز تفاوت زیادی داشت. استادان مطرحی از تهران دعوت می‌شدند تا به دانشجویان درس بدهند و جالب اینکه خود دانشجویان هزینه بلیت و اقامت آن‌ها را فراهم می‌کردند. سلطانی با خنده یاد می‌کند که برای آوردن یک استاد جوشکاری، جمعی از دانشجویان دست‌به‌جیب شدند تا هزینه سفر او تأمین شود؛ چون همه می‌دانستند یادگیری از بهترین‌ها سرمایه‌ای است که بعدها نتیجه‌اش را خواهند دید.

او در سال ۱۳۷۵ فارغ‌التحصیل شد و تقریباً بدون فاصله وارد صنعت شد. ابتدا مدتی کوتاه در شرکت ایدم به عنوان کاراموز و سپس در «پمپ ایران» کار کرد، اما خیلی زود سرنوشت مسیر او را به پیستون سازی ایران کشاند. همان‌جا بود که اولین مسئولیت جدی را برعهده گرفت و مدیر پروژه‌ای شد که بعدها به یکی از مهم‌ترین نقاط تاریخچه صنعت خودروسازی ایران تبدیل شد:

پروژه تولید گژن‌پین.

تا آن زمان، گژن‌پین یکی از قطعات کلیدی موتور خودرو بود که به طور کامل از آلمان وارد می‌شد. نه‌تنها تجهیزات لازم برای تولید آن در کشور وجود نداشت، بلکه بسیاری حتی باور نمی‌کردند که بتوان چنین قطعه حساسی را در ایران ساخت. سلطانی و چند نفر از همکارانش برای یادگیری فناوری تولید به آلمان اعزام شدند. او با هیجان تعریف می‌کند که در اولین بازدید از خطوط تولید

آلمانی‌ها، همه متعجب شدند. در آن کارخانه‌ها فولاد در دمای اتاق تحت فرایند اکستروژن سرد به شکل قطعه در می‌آمد. سلطانی می‌گوید: «ما فکر می‌کردیم چنین چیزی فقط در دمای بالا شدنی است، اما وقتی دیدیم آلمانی‌ها چطور این کار را انجام می‌دهند، فهمیدیم باید هرطورشده این فناوری را به تبریز بیاوریم».

بازگشت آن‌ها به ایران نقطه شروع یک تغییر بزرگ بود. فناوری اکستروژن سرد وارد کشور شد و نتایج حیرت‌انگیزی به بار آورد. پرتی مواد اولیه تقریباً نصف شد و ظرفیت تولیدی که تا پیش از آن ۲۰۰ قطعه در هر شیفت بود، به ۱۵ هزار قطعه رسید. این فقط یک بهبود ساده نبود؛ به معنای آن بود که ایران برای نخستین‌بار توانست خودکفا شود و نیاز خودروسازان بزرگ کشور مثل ایران‌خودرو و سایپا را بدون اتکا به واردات تأمین کند.

باگذشت زمان، سلطانی و تیمش تلاش کردند فناوری را بهبود دهند. او تعریف می‌کند که بعدها دستگاه‌های مدرن‌تری از چین و اتریش وارد کردند. یکی از این دستگاه‌ها توانست فرایند یازده مرحله‌ای تولید را تنها در یک مرحله انجام دهد و ظرفیت تولید را به ده‌ها هزار قطعه در روز برساند. نتیجه این تلاش‌ها فقط تأمین بازار داخل نبود؛ حتی صادرات به فرانسه هم آغاز شد. سلطانی می‌گوید وقتی کارشناسان پژو از خط تولید تبریز بازدید کردند، شگفت‌زده شدند که در آسیا تنها ایران توانسته با این روش قطعات را تولید کند و کیفیتی قابل‌رقابت با اروپا ارائه دهد.

بعد از موفقیت در پروژه گژن‌پین، سلطانی وارد حوزه‌های دیگری هم شد. او چند سالی را در کلیبر گذراند و پروژه دسته‌سیم‌سازی را از صفر، بنا کرد. در آن زمان نزدیک به ۲۶۰ نفر نیرو در کارخانه مشغول شدند و بعدها قرار بود این تعداد به بیش از ۹۰۰ نفر برسد. او همچنین خط تولید استکان تایپت را در پیستون سازی راه‌اندازی کرد. تولید روزانه پنج هزار استکان تایپت تنها بخش کوچکی از ظرفیت کارخانه‌ای بود که او مدیریت می‌کرد. این اعداد و ارقام نشان می‌دهند که مسیر یک دانشجوی مکانیک، اگر باپشتکار و یادگیری مداوم همراه باشد، می‌تواند تا چه حد تأثیرگذار باشد.



صنعت و دانشگاه؛
فرصت‌هایی که منتظر کشف‌شدن هستند

در خلال مصاحبه، سلطانی بارها به موضوعی اشاره کرد که برای دانشجویان امروز بسیار مهم است: فاصله زیاد میان دانشگاه و صنعت. او معتقد است که این فاصله یکی از بزرگ‌ترین موانع پیشرفت کشور است و اگر پر نشود، استعدادها هدر خواهند رفت. به باور او، دانشجو باید صنعت را لمس کند، نه اینکه فقط به خواندن کتاب‌ها بسنده کند. او پیشنهاد می‌دهد هر دانشجو دست‌کم ماهی دو بازدید صنعتی در برنامه داشته باشد. تجربه‌ای که از نزدیک در کارخانه‌ها به دست می‌آید، هیچ‌وقت پشت نیمکت کلاس قابل‌درک نیست.



سلطانی مثال‌های روشنی هم برای این ادعا دارد. یکی از آن‌ها استکان تایپت هیدرولیکی است. به گفته او، ایران سالانه بیش از یک و نیم‌میلیون خودرو تولید می‌کند و هر کدام شانزده استکان تایپت نیاز دارند. یعنی تقاضای داخلی سالانه بیش از بیست میلیون قطعه است، اما تا امروز هیچ تولیدکننده داخلی برای آن وجود ندارد و همه واردات است. سلطانی با حسرت می‌گوید که اگر چند دانشجوی باانگیزه همین امروز تصمیم بگیرند چنین قطعه‌ای را تولید کنند، نه‌تنها بازار داخلی آماده خرید از آن‌هاست، بلکه حتی ظرفیت صادرات هم وجود دارد.

او شرایط اقتصادی امروز را یک فرصت طلایی برای دانشجویان می‌داند. بالارفتن نرخ ارز و سخت‌شدن واردات باعث شده است تولید داخلی بیش از هر زمان دیگری ارزشمند باشد. او به تجربه شخصی خود اشاره می‌کند و می‌گوید: «وقتی دستگاه جدید را وارد کردیم و تولید از ۱۰۰۰ قطعه به ۷میلیون قطعه رسید، فهمیدم که همیشه می‌شود یک پله بالاتر رفت. کافی است جسارت تجربه داشته باشید».

سلطانی تأکید می‌کند که دوران دانشجویی بهترین زمان برای آغاز کار است. در این دوره کسی از شما انتظار درآمد بالا ندارد، اما فرصت دارید تیم تشکیل دهید، پروژه‌ای را شروع کنید و تجربه عملی به دست آورید. به گفته او، بسیاری از محصولات وارداتی ایران ساده‌تر از آن چیزی هستند که تصور می‌کنیم و تولیدشان به سرمایه‌های نجومی نیاز ندارد. کافی است گروهی از دانشجویان دور هم جمع شوند، از امکانات دانشگاه استفاده کنند و با صنعت ارتباط برقرار کنند.

او در طول گفت‌وگو بارها توصیه‌های انگیزشی به زبان آورد، اما شاید مهم‌ترین جمله‌اش این بود: «یک پروژه کوچک می‌تواند زندگی شما را تغییر دهد. اگر سه سال روی آن بمانید، مطمئن باشید مشتری ثابت پیدا می‌کنید و رشد بزرگی خواهید داشت».

سلطانی در پایان به آینده صنعت ایران هم نگاهی انداخت. او معتقد است هرچند چالش‌ها زیاد است، اما همین چالش‌ها فرصت ایجاد می‌کنند. باتوجه‌به قیمت بالای واردات، هر قطعه‌ای که در داخل تولید شود شانس بالایی برای فروش دارد. او یادآور می‌شود که صنعت ایران پر از ظرفیت‌های کشف‌نشده است و تنها منتظر جوانانی است که جرئت شروع‌کردن داشته باشند.



مسیر غلامرضا سلطانی نشان می‌دهد که موفقیت فقط در گرو نمره‌های بالا یا مدرک دانشگاهی نیست. او از یک دانشجوی ساده در دانشگاه تبریز به مدیری رسید که توانست فناوری روز اروپا را وارد کشور کند، ظرفیت تولید را از چند صد قطعه به ده‌ها هزار قطعه برساند و حتی پای محصولات ایرانی را به بازار فرانسه باز کند. روایت او برای دانشجویان مکانیک یک پیام روشن دارد: آینده صنعت ایران در دست کسانی است که امروز به‌جای تماشاگر بودن، قدم در میدان عمل بگذارند.

بخش

سرگرمی



معمایی برای مهندسان



امیرحسین سلطانی

کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

پروژه‌ای که گیر کرد...

چهار دانشجوی سال آخر مهندسی مکانیک روی پروژه‌ای مشترک کار می‌کردند: طراحی و ساخت یک مکانیزم انتقال نیرو برای تبدیل حرکت دورانی موتور به حرکت خطی. این مکانیزم قرار بود به‌عنوان بخشی از ماژول تست آیرودینامیکی در یک پهپاد سبک آزمایشی (UAV) استفاده شود و در جشنواره حرکت ارائه گردد. تا سه روز مانده به تحویل، همه‌چیز طبق برنامه پیش می‌رفت؛ اما ناگهان مکانیزم از کار افتاد. سیستم شامل یک موتور الکتریکی، سه چرخ‌دنده واسط، یک میل‌لنگ تبدیل و یک ریل خطی برای جابه‌جایی محور خروجی بود. با روشن شدن موتور، هیچ حرکتی در بخش خطی مشاهده نمی‌شد.

سارا (مسئول کنترل کیفیت) اولین کسی بود که وارد کارگاه شد. صدای موتور طبیعی بود، اما چند ثانیه پس از روشن شدن، سیستم دچار لرزش خفیف می‌شد و سپس به‌طور کامل قفل می‌کرد.

سامان (طراح مکانیکی پروژه) توضیح داد که طبق نتایج شبیه‌سازی، اگر ترتیب چرخ‌دنده‌ها تغییر کند یا یکی از آن‌ها اشتباه نصب شود، احتمال قفل شدن سیستم وجود دارد. با این حال، او تأکید کرد که همه‌چیز مطابق نقشه مونتاژ شده است.

طهورا (مسئول مونتاژ) نیز گفت که تمام فواصل بین چرخ‌دنده‌ها را با فیلر گیج اندازه‌گیری کرده و از نصب دقیق آن‌ها اطمینان کامل دارد.

نوید (سرپرست تیم) در حال بررسی دیاگرام‌های انتقال توان بود. او گفت: «نرخ گشتاور خروجی تقریباً صفره یعنی یا انتقال نیرو انجام نمی‌شه، یا انرژی جایی در مسیر تلف می‌شه.» سارا شروع به بررسی دستی جهت چرخش چرخ‌دنده‌ها کرد:

چرخ‌دنده ۱: ساعت‌گرد می‌چرخد (تغذیه‌شده از موتور)

چرخ‌دنده ۲: هم جهت با چرخ‌دنده ۱ می‌چرخد

چرخ‌دنده ۳: کاملاً قفل است و هیچ حرکتی ندارد

میل‌لنگ خروجی: لرزش دارد ولی بدون هیچ حرکت خطی

سارا گفت: (یا ترتیب درگیری دنده‌ها اشتباهه، یا یکی از چرخ‌دنده‌ها روی محور آزاد نصب شده و انتقال گشتاور رو مختل کرده)

اما سامان پاسخ داد: (اگر چرخ‌دنده روی محور آزاد بود، نباید هم جهت با چرخ‌دنده قبلی می‌چرخید. این یعنی مشکل عمیق‌تری در طراحی یا انتقال نیرو وجود داره)

نوید هم احتمال داد که میل‌لنگ تحت خمش یا پیچش ناپایدار قرار گرفته و انرژی به‌جای تبدیل به حرکت خطی، صرف تغییر شکل غیرمؤثر شده باشد.

سؤال چالشی گشتاوری:

به‌نظر تو تحلیل سارا درست بود؟ یا سامان و نوید به منشأ دقیق‌تری از مشکل اشاره کردند؟

اگر تو عضو این تیم بودی، قدم بعدی‌ات برای یافتن علت واقعی مشکل چه بود؟

پاسخ‌هایت را به اکانت تلگرام انجمن علمی مهندسی مکانیک ارسال کن تا در شماره‌ی بعدی گشتاور منتشر شوند.

بخش

خبری

نبض استراتژیک، تلاقی دانش و بازدارندگی



سجیل و سنگرشکن، ترندهای موشکی در جنگ ۱۲ روزه





علی پورمحمدی امامیه

کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

موشک سجیل

در طی این جنگ به‌قدری اتفاقات مختلفی برای تمامی مردم ایران افتاد که گویا این ۱۲ روز هر روزش یک سال تمام بود، اما در این دوران یک موشکی در فضای مجازی بسیار مورد بازدید مردم واقع شد که علاوه بر ایران در تمامی دنیا به آن بسیار توجه کردند؛ موشک سجیل که خارجی‌ها به آن آنجل (angel) می‌گویند، موشکی که در آسمان ایران گویا رقصید و تمامی توجهات دنیا را به خود جلب کرد؛ اما این موشک چه توانمندی‌هایی دارد؟

موشک سجیل در واقع یک موشک بالستیک دومرحله‌ای و با سوخت جامد است که توسط ایران طراحی و ساخته شده است.

منظور از چندمرحله‌ای بودن موشک این است که موشک از دو یا سه بخش مجزا تشکیل شده است که هر بخش موتور و منبع سوخت مخصوص به خود را دارد. به‌این‌ترتیب، پس از اتمام سوخت یک بخش، آن بخش از موشک جدا می‌شود و بخش بعدی با سوخت و موتور خود به کار خود ادامه می‌دهد. این کار باعث افزایش برد و کارایی موشک می‌شود.

مشخصات فنی موشک سجیل

نام موشک	سجیل (Sejjil)
نوع	موشک بالستیک میان‌برد (MRBM)
سوخت	سوخت جامد دومرحله‌ای
برد تخمینی	حدود ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلومتر
طول	حدود ۱۸ متر
قطر بدنه	حدود ۱/۲۵ متر
وزن پرتاب	حدود ۲۳۰۰۰ کیلوگرم
نوع کلاهک	تک کلاهک (قابل تجهیز به کلاهک‌های متعارف یا خاص)
سرعت در فاز نهایی	حدود ۱۳ ماخ
هدایت و ناوبری	هدایت اینرسیایی (احتمالاً GPS داخلی) با اصلاح
دقت (CEP)	حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر (تقریبی)
تعداد مرحله	دومرحله‌ای
تاریخ آزمایش اولیه	آبان ۱۳۸۷ (نوامبر ۲۰۰۸)
کشور سازنده	جمهوری اسلامی ایران
مزیت اصلی	زمان آماده‌سازی کوتاه‌تر نسبت به موشک‌های سوخت مایع



Sejjil Missile



Fuel
Solid (two-stages)

Flight trajectory
Ballistic

Accuracy
Error below 10 meters

Range
2000 to 2500 km

Length
17·57 meters

Diameter
1·25 meters

Weight
23623 kg

Warhead
High Explosive materials from 500 kg



توسعه سجیل

توسعه موشک سجیل احتمالاً در اواخر دهه میلادی آغاز شد، اما مستقیماً از کار توسعه موشک‌های قبلی ایران به‌ویژه موشک بالستیک کوتاه‌برد زلزال، ناشی می‌شود. استفاده از سوخت جامد در آن به دلیل پیشرفت فناوری سوخت است که دررابطه‌با برنامه زلزال در دهه ۱۹۹۰ انجام شد.

اگرچه این موشک از نظر اندازه، وزن و برد مشابه انواع شهاب ۳ است، اما استفاده از سوخت جامد در آن، پیشرفت بزرگی در طراحی شهاب محسوب می‌شود. سوخت جامد امکان زمان پرتاب سریع‌تر را فراهم می‌کند و موشک را در حین پرتاب بسیار کمتر آسیب‌پذیر می‌کند. ازآنجاکه موشک‌های سوخت جامد نیازی به سوخت‌گیری بلافاصله قبل از پرتاب ندارند، حمل‌ونقل آنها آسان‌تر است. از سوی دیگر، موشک‌های سوخت جامد ویژگی‌های عملکردی خاصی دارند که هدایت و کنترل آنها را دشوارتر می‌کند. اما مهندسان ایرانی توانسته‌اند از این مانع رد بشوند.

مشخصات

موشک سجیل ۱۸ متر طول، ۱.۲۵ متر قطر و وزن کلی پرتاب ۲۳۶۰۰ کیلوگرم دارد. این موشک می‌تواند محموله‌ای حدود ۷۰۰ کیلوگرم را تا برد ۲۰۰۰ کیلومتری خود حمل کند. حداکثر برد این موشک حدود ۲۰۰۰ کیلومتر است، اگرچه این ارقام بر اساس بدنه موشکی با وزن و ویژگی‌های عملکردی فولاد درجه یک هوانوردی محاسبه شده‌اند.

تاریخچه‌خدمات

اولین پرتاب آزمایشی در سال ۲۰۰۸ انجام شد و طبق گزارش‌ها، این موشک ۸۰۰ کیلومتر پرواز کرد. پرتاب دوم در ماه مه ۲۰۰۹ برای آزمایش سیستم‌های هدایت و ناوبری بهبودیافته انجام شد. از سال ۲۰۰۹ چهار آزمایش پروازی دیگر نیز انجام شده است که ششمین آزمایش تقریباً ۱۹۰۰ کیلومتر در اقیانوس هند پرواز کرد.

موشک سجیل یک طراحی منحصربه‌فرد ایرانی است. اگرچه برخی گمانه‌زنی‌ها این موشک را به موشک‌های چینی DF-11 و DF-15 مرتبط دانسته‌اند، اما اندازه و مشخصات این موشک نشان می‌دهد که موشک ایرانی منحصربه‌فرد است. ازآنجاکه طراحی جدید است، ایران احتمالاً باید قبل از عملیاتی‌کردن منظم این موشک، آن را در معرض آزمایش‌های زیادی قرار داده باشد.

ممکن است نسخه‌های متعددی از سامانه سجیل وجود داشته باشد. در سال ۲۰۰۹، ایران از پرتاب آزمایشی به‌عنوان سجیل نام برد. یک گزارش تأیید نشده حاکی از آن است که سجیل ۳ ممکن است درحال‌توسعه باشد. بنا به گزارش‌ها، سجیل ۳ دارای سه مرحله، حداکثر برد ۴۰۰۰ کیلومتر و وزن پرتاب ۳۸۰۰۰ کیلوگرم خواهد بود.

از سجیل مدت‌ها خبری نبود و در هیچ نبردی استفاده نشده بود و پرتابی آزمایشی در رزمایش‌ها داشت، تا اینکه امسال، در ۲۸ خردادماه ۱۴۰۴، در دوازدهمین موج حملات ایران به اسرائیل، خود را به‌صورت رسمی آشکار کرد و ثابت کرد که ایرانیان چه توانمندی‌هایی دارند.

بمب سنگرشکن GBU-57

در طی این مدت جنگ ۱۲ روزه بین ایران و اسرائیل شاید مهم‌ترین اتفاقی که افتاد، ورود آمریکا به جنگ و حمله به تأسیسات هسته‌ای مهم ایران بود؛ ولی چیزی که دراین‌بین برای اولین‌بار در صحنه جنگ خود را نشان داد، این بمب‌های سنگر شکن بودند.

سری GBU-57 یک بمب هدایت‌شونده دقیق از نوع «سنگرشکن» با وزن ۳۰۰۰۰ پوند (۱۴۰۰۰ کیلوگرم) و طول ۲۰/۵ فوت (۶/۲ متر) است که توسط بوئینگ برای نیروی هوایی ایالات متحده (USAF) توسعه داده شده است. این بمب از بدنه بمب BLU-127 و یک بسته هدایت GPS/INS یکپارچه تشکیل شده است و (به‌طور کلی) هفت نوع GBU-57 وجود دارد که جدیدترین آنها GBU-57F/B است. باتوجه‌به اندازه و وزن آن، GBU-57 MOP فقط می‌تواند توسط بمب‌افکن استراتژیک Northrop B-2 Spirit و B-21 Raider حمل شود، اگرچه آزمایش‌های اولیه با بوئینگ B-52 Stratofortress انجام شده است.



مشخصات و قابلیت‌ها

طول:۲۰/۵ فوت (۶/۲ متر)

قطر: ۳۱/۵ اینچ (۰/۸ متر)

وزن بدنه بمب BLU-127: ۲۷۱۲۵ پوند (۱۲۳۰۴ کیلوگرم)

وزن انفجاری: ۵۳۴۲ پوند (۲۴۲۳ کیلوگرم)

میزان نفوذ: در مورد قابلیت‌های نفوذ این بمب بحث وجود دارد. نیروی هوایی ایالات متحده گفته است که GBU-57 می‌تواند قبل از انفجار تا ۲۰۰ فوت (۶۰ متر) در مواد نامشخص نفوذ کند. بی‌بی‌سی گزارش می‌دهد که تحلیلگران خدمات اطلاعاتی جینز می‌گویند این سلاح می‌تواند حدود ۶۰ متر (۲۰۰ فوت) از زمین یا ۱۸ متر (۶۰ فوت) از بتن نفوذ کند. یک منبع جداگانه نفوذ تا ۱۸ متر (۶۰ فوت) در بتن مسلح با مقاومت فشاری ۳۴ مگاپاسکال و ۶/۴ متر (۸ فوت) در بتن مسلح با مقاومت فشاری ۶۹ مگاپاسکال را پیشنهاد می‌دهد.

GBU-57 دارای یک فیوز «هوشمند» است که قادر به دستیابی به اثراتی علیه اهدافی است که اطلاعات محدودی در مورد آنها وجود دارد. همچنین می‌توان آن را از قبل برنامه‌ریزی کرد تا در عمق مشخصی منفجر شود.

اولین استفاده جنگی از بمب‌های سنگرشکن GBU-57 در ۲۲ ژوئن ۲۰۲۵ رخ داد، زمانی که هفت بمب‌افکن رادارگریز نورثروپ B-2 Spirit، ۱۴بمب GBU-57 را بر روی کارخانه غنی‌سازی اورانیوم فردو و تأسیسات هسته‌ای نطنز ایران انداختند.

این بمب بسیار بزرگ‌تر از بمب‌های سنگرشکن قبلی نیروی هوایی ایالات متحده مانند GBU-28 و GBU-37 با وزن ۵۰۰۰ پوند (۲۳۰۰ کیلوگرم) است.

درآمدی بر تجزیه و تحلیل آماری جنگ

در تاریخ معاصر منطقه خاورمیانه، جنگ‌ها و درگیری‌های متعددی رخ داده است که هر کدام تاثیرات عمیقی بر سرنوشت ملت‌ها و آینده منطقه گذاشته‌اند. یکی از این رویدادها، جنگ ۱۲ روزه رژیم صهیونیستی اسرائیل و ایران است که در تاریخ معاصر به عنوان یک نقطه عطف تلخ و پرحادثه شد.

به این دلیل نام اسرائیل را اول می‌نویسیم که این کشور جنایتکار آغازگر جنگ بود.

این جنگ، نه تنها نشانگر شدت تنش‌ها و خصومت‌های دیرینه میان دو کشور، بلکه نمادی از تجاوزگری و بی‌عدالتی است که باید با قاطعیت و همبستگی ملی پاسخ داده شود.



مهدی ذالی

کارشناسی تاریخ دانشگاه تبریز



گزارش تحلیلی

جنگ ۱۲ روزه ایران و اسرائیل:

تجاوز آشکار، مقاومت تاریخی و اتحاد بی‌نظیر ملت ایران



پیشگفتار

آغازگر جنگ کیست؟ اسرائیل، متجاوز به حریم ایران

جنگ ۱۲ روزه خرداد-تیر ۱۴۰۴، با حمله غافلگیرانه و تجاوزکارانه اسرائیل به خاک ایران آغاز شد. اسرائیل با نقض آشکار حقوق بین‌الملل و حاکمیت ملی ایران، به بهانه‌های واهی درباره برنامه هسته‌ای صلح‌آمیز ایران، حملات گسترده‌ای را به تأسیسات حیاتی و مناطق مسکونی ایران ترتیب داد. این تجاوز نظامی، نه تنها یک اقدام جنایتکارانه بود، بلکه آزمونی بزرگ برای وحدت ملی و روحیه مقاومت مردم ایران به شمار می‌رفت.

اسرائیل، آغازگر جنگ و نقض حاکمیت ایران

حمله اولیه اسرائیل: در بامداد ۲۳ خرداد ۱۴۰۴، جنگنده‌های اسرائیلی بدون اخطار قبلی، پایگاه‌های نظامی در اصفهان، نطنز و فردو را بمباران کردند. این حمله با استفاده از موشک‌های پیشرفته و پهپادهای جاسوسی صورت گرفت و ده‌ها شهید و زخمی بر جای گذاشت.

اهداف تجاوز اسرائیل:

- تضعیف توان دفاعی ایران با ترور هدفمند فرماندهان نظامی و دانشمندان هسته‌ای و اساتید دانشگاهی.
- ایجاد رعب و وحشت در میان مردم ایران با مانورهای هوایی در روزهای اول جنگ که متاسفانه سیستم‌های پدافندی در شوک فرو رفته بودند.
- تحریک ناآرامی‌های داخلی با هدف فروپاشی امنیت ملی
- نقشه شوم نتانیاهو: اسناد منتشرشده نشان می‌دهد که اسرائیل قصد داشت با یک حمله برق‌آسا، ایران را به زانو درآورد، چرا که خودشان نیز اذعان داشتند هشت ماه برای این حمله برنامه ریزی کرده بودند اما اراده آهنین ملت ایران این توطئه را خنثی کرد.

مقاومت جانانه ایران: از خاکریزهای نظامی تا خیابان‌های شهرها

واکنش فوری نیروهای مسلح:

- انهدام مراکز فرماندهی اسرائیل توسط پهپادهای انتحاری "شاهد-۱۳۶"

قیام مردمی:

- حضور گسترده مردم در خیابان‌ها با شعار "مرگ بر اسرائیل، مرگ بر آمریکا"
- تشکیل زنجیره‌های انسانی برای حمایت از رزمندگان و اهدای خون
- کمک‌های خودجوش مردمی به مناطق آسیب‌دیده



اتحاد ملی؛ سلاح پیروزی ایران همبستگی بی‌سابقه مردم

- گردهمایی‌های میلیونی در تهران، مشهد و شیراز در حمایت از جبهه مقاومت
- اعلام آمادگی داوطلبان برای اعزام به خط مقدم
- همکاری بی‌وقفه پزشکان، پرستاران و مهندسان برای بازسازی خرابی‌ها و حرکات خود جوش مردم عادی برای کمک رسانی اعم از خون رسانی به بخش های پزشکی و گشت‌های شبانه برای کشف سلاح‌ها و جاسوس‌های دشمن.
- رسانه‌های داخلی و افشای جنایات اسرائیل:
- پخش لحظه‌به‌لحظه مقاومت مردم از صداوسیما
- سطح آگاهی بالای مردم و عدم افتادن در تله جنگ رسانه‌ای دشمن

پیروزی ملی ایران؛ اتحاد

- اثبات کارایی "doctrine دفاع فعال" ایران
- افزایش محبوبیت گفتمان مقاومت در منطقه که پایانی بود بر چندین سال هجمه علیه جبهه مقاومت توسط دشمن.
- تقویت صنایع دفاعی داخلی پس از جنگ که مشخص شد باید در همه ابعاد از تولید صنایع دفاع بومی حمایت کرد زیرا در این جنگ تحمیلی به خوبی از کیان ملی دفاع کرد حتی در حد سامانه‌های معروف نظامی، حتی جامعه ایران با هر تفکری بر روی این موضوع اتفاق نظر دارند.



درس‌های جنگ: چرا اسرائیل پیروز نشد؟

۱. اشتباه محاسباتی اسرائیل: تصور می‌کرد مردم ایران درگیر اختلافات داخلی هستند، اما اتحاد ملی آن‌ها را غافلگیر کرد؛ زیرا همان طور که گفته شد بعد از وقوع این جنگ تحمیلی به طور بسیار درخشان در تاریخ ایران یک همبستگی عالی به وجود آمد.

۲. قدرت بازدارندگی ایران: موشک‌های بالستیک ایران، اسرائیل را مجبور به عقب‌نشینی کرد. همچنین کمک مردم به نیروهای مسلح برای پیدا کردن و کشف جواسیس و مزدوران رژیم صهیونی در داخل شهرها و روستاها که گاها به صورت خود جوش بود.

۳. روحیه مقاومت مردم: از کودکان تا سالمندان، همه یکصدا فریاد زدند: "ایران را تنها نخواهیم گذاشت". هچنین کودکی مشاهده شد که فریاد میزد شرف من مهم‌تر از جان من است.



جمع‌بندی

تجاوزگر شکست خورد، ملت ایران پیروز شد

جنگ ۱۲ روزه ثابت کرد که ملت متحد ایران، بزرگ‌ترین سد در برابر تجاوزگری‌های اسرائیل است. اسرائیل با آغاز این جنگ، نه تنها به اهداف شوم خود نرسید، بلکه چهره واقعی خود را به عنوان یک رژیم جنگ‌طلب و تروریست به جهانیان نشان داد. امروز، ایران قوی‌تر از گذشته، با افتخار از این حماسه مقاومت یاد می‌کند و آماده است تا در برابر هر تجاوز دیگری بایستد و با این روند قوی‌تر خواهد شد زیرا انسجام و وحدت ملی را در خودش تقویت و بیشتر خواهد شد.

شعار پایانی

اسرائیل آغازگر جنگ بود، اما ایران پایان‌دهنده آن شد.

زیرا این خواست ملت ایران بود تا عاملانی که به کشور و خاکشان تجاوز و صد ها مردم بی گناه را به شهادت رساندند مجازات شوند.

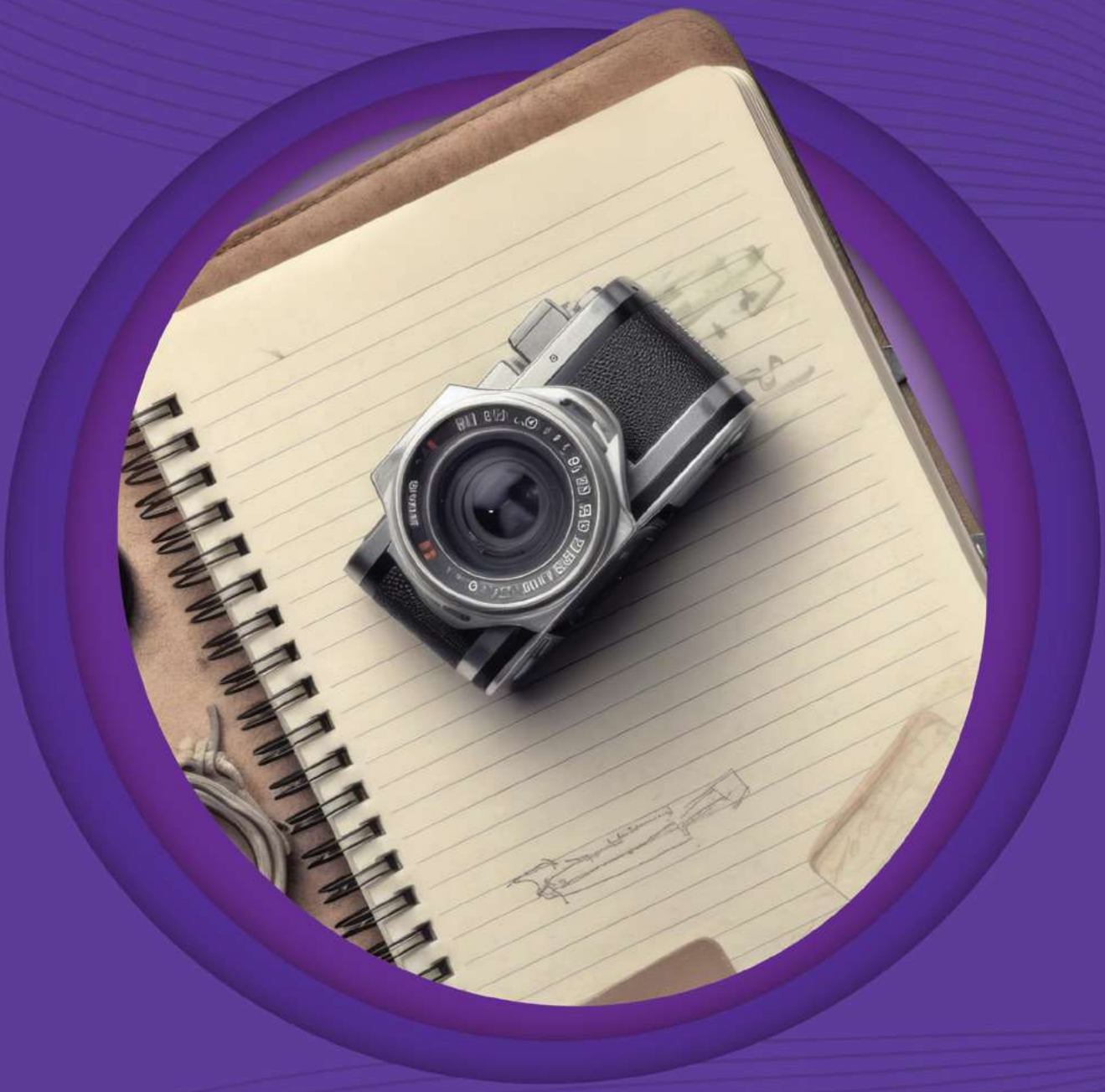
منابع:

- گزارش‌های میدانی خبرگزاری تسنیم و فارس
- اسناد منتشرشده از سوی ستاد کل نیروهای مسلح ایران
- تحلیل‌های مرکز مطالعات راهبردی خاورمیانه

بخش

مستند خبری

گزارش ویژه: مرزهای نوین تکنولوژی



گزارش کامل از نمایشگاه

Hannover Messe 2024

نمایشگاهی برای آینده صنعت



امیرحسین شیری

کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

نمایشگاه Hannover Messe ، یکی از بزرگ‌ترین و معتبرترین رویدادهای صنعتی جهان، از تاریخ ۲۲ تا ۲۶ آوریل ۲۰۲۴ (۳ تا ۷ اردیبهشت ۱۴۰۳) در شهر هانوفر آلمان برگزار شد . این نمایشگاه که به‌عنوان «خانه پیشگامان صنعتی» شناخته می‌شود، بار دیگر صحنه‌ای برای نمایش نوآوری‌ها و راه‌حل‌های پیشرفته در حوزه‌های مهندسی مکانیک، مهندسی برق، صنعت دیجیتال و انرژی بود.

با حضور بیش از ۴۰۰۰ شرکت از سراسر جهان، این رویداد به‌عنوان یک اکوسیستم صنعتی متصل، نشان داد که چگونه فناوری‌های نوین می‌توانند به پایداری و کارایی صنعت کمک کنند.







موضوع اصلی و شعار نمایشگاه

شعار Hannover Messe 2024، «پیشرفت از طریق تداخل و همکاری بین بخش‌های مختلف صنعت» بود. تمرکز اصلی این دوره بر سه محور کلیدی بود: تولید دوست‌دار محیط‌زیست، دیجیتالی‌سازی و اتوماسیون و راه‌حل‌های نوین برای مدیریت انرژی. این نمایشگاه نشان داد که چگونه الکتریفیکیشن (برقی‌سازی)، هوش مصنوعی و فناوری‌های سبز می‌توانند آینده صنعت را شکل دهند.



حضور پررنگ نوآوری‌ها و استارت‌آپ‌ها

یکی از نقاط قوت این نمایشگاه نمایش آخرین دستاورد های فناوری بود .







شـــرکت‌کنندگان بـــا طیـــف گســـترده‌ای از نوآوری‌هـــا مواجـــه شـــدند. از ربات‌هـــای هوشـــمند و سیســـتم‌های تولیـــد خـــودکار گرفتـــه تـــا راه حـــل هـــای مبتـــنی بـــر هیـــدروژن بـــرای کاهـــش انتشـــار کربـــن. به‌عنـــوان مثـــال، غرفـــه اتحادیـــه اروپـــا کـــه بـــا حضـــور اوزولا فوندرلایـــن(Ursula von der Leyen)، رئیـــس کمیسیـــون اروپـــا، افتتـــاح شـــد، پروژه‌هـــایی را بـــه نمایـــش گذاشـــت کـــه نشـــان‌دهنده حمایـــت ایـــن اتحادیـــه از تحـــول ســـبز و دیجیتـــال در صنعـــت اســـت. ایـــن غرفـــه بـــا مســـاحت ۵۰۶ متـــر مربـــع، میزبـــان بیـــش از ۳۰ نشســـت تخصـــصی بـــا موضوعـــاتی چـــون رباتیـــک، انـــرژی پایـــدار و مهارت‌هـــای آینـــده بـــود .





آمار و ارقام قابل توجه

بر اساس گزارش رسمی برگزارکنندگان ، این نمایشگاه میزبان بیش از ۱۳۰۰۰۰ بازدید کننده از سراسر جهان بود که حدود یک سوم آن ها از خارج از آلمان آمده بودند . همچنین بیش از ۲۵۰۰ غرفه‌دار و ۱۵۰ استارت‌آپ در این رویداد حضور داشتند و بیش از ۸۰۰۰ محصول و راه‌حل نوآورانه ارائه شد. این اعداد نشان‌دهنده جایگاه بی‌بدیل این نمایشگاه به‌عنوان بزرگ‌ترین پلتفرم بین‌المللی برای تحولات صنعتی است.





جایزه هرمس

تقدیر از خلاقیت صنعتی:

یکی از بخش های جذاب نمایشگاه ، اهدای جایزه معتبر هرمس (Hermes Award) بود که از سال ۲۰۰۴ به نوآوری های برجسته در حوزه صنعت اعطا می‌شود . این جایزه که تحت حمایت وزارت آموزش و تحقیقات فدرال آلمان و ایالت نیدرساکسن قرار دارد، به پروژه‌هایی تعلق گرفت که پتانسیل بالایی برای ورود به بازار و تأثیرگذاری بر صنعت داشتند.





کشور مهمان: نروژ

کشور نروژ به عنوان کشور مهمان نقش پررنگی در این رویداد داشت. این کشور تمرکز اصلی خود را بر توسعه و ارائه فناوری‌های مرتبط با انرژی پاک، به‌ویژه هیدروژن سبز، قرار داد. شرکت‌های برجسته نروژی مانند NEL Hydrogen و Equinor راه‌حل‌های نوینی را معرفی کردند که فرآیند تولید، ذخیره‌سازی و بهره‌برداری از هیدروژن را به‌عنوان منبعی پاک و پایدار برای صنایع سنگین تسهیل می‌کند. این فناوری‌ها، که برای اولین بار در مقیاس صنعتی به نمایش درآمدند، با هدف کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای طراحی شده‌اند و نشان‌دهنده تعهد نروژ به دستیابی به اهداف زیست‌محیطی جهانی است.

اهمیت برای مهندسان مکانیک

Hannover Messe 2024 منبعی غنی از الهام و دانش برای دانشجویان و اساتید دانشکده مهندسی مکانیک بود . بخش هایی مانند «اتوماسیون صنعتی» و «انتقال نیرو و کنترل حرکت» مستقیما به حوزه مهندسی مکانیک مرتبط بودند و جدیدترین پیشرفت ها در طراحی ماشین آلات ، رباتیک و سیستم های تولید را به نمایش گذاشتند . این نمایشگاه همچنین فرصتی برای شبکه سازی با متخصصان صنعت و آشنایی با نیازهای بازار کار آینده فراهم کرد .



«گشتاوری از نوآوری: دستاوردهای Hannover Messe 2024»

در این بخش، به معرفی چند از تکنولوژی‌ها و نوآوری‌هایی می‌پردازیم که برای نخستین بار در این نمایشگاه به نمایش گذاشته شدند:

۱

ربات‌های هوشمند با هوش مصنوعی یکپارچه





شرکت‌های Siemens و Festo نسل جدیدی از ربات‌های صنعتی را معرفی کردند که از هوش مصنوعی برای یادگیری و انطباق با محیط‌های متغیر استفاده می‌کنند. این ربات‌ها می‌توانند وظایف پیچیده‌تری مثل مونتاژ قطعات ظریف یا بازرسی کیفیت را با دقت بالا انجام بدهند و برای اولین بار در این نمایشگاه رونمایی شدند .



کاربرد در مهندسی مکانیک:

این ربات‌ها در خطوط تولید خودکار و سیستم‌های رباتیک صنعتی که نیاز به انعطاف‌پذیری دارند، می‌توانند مفید باشند.



۲ فناوری‌های الکتریفیکیشن صنعتی

کاربرد در مهندسی مکانیک:
در طراحی موتورها و سیستم‌های انتقال قدرت که به انرژی پاک نیاز دارند، کاربرد دارد.

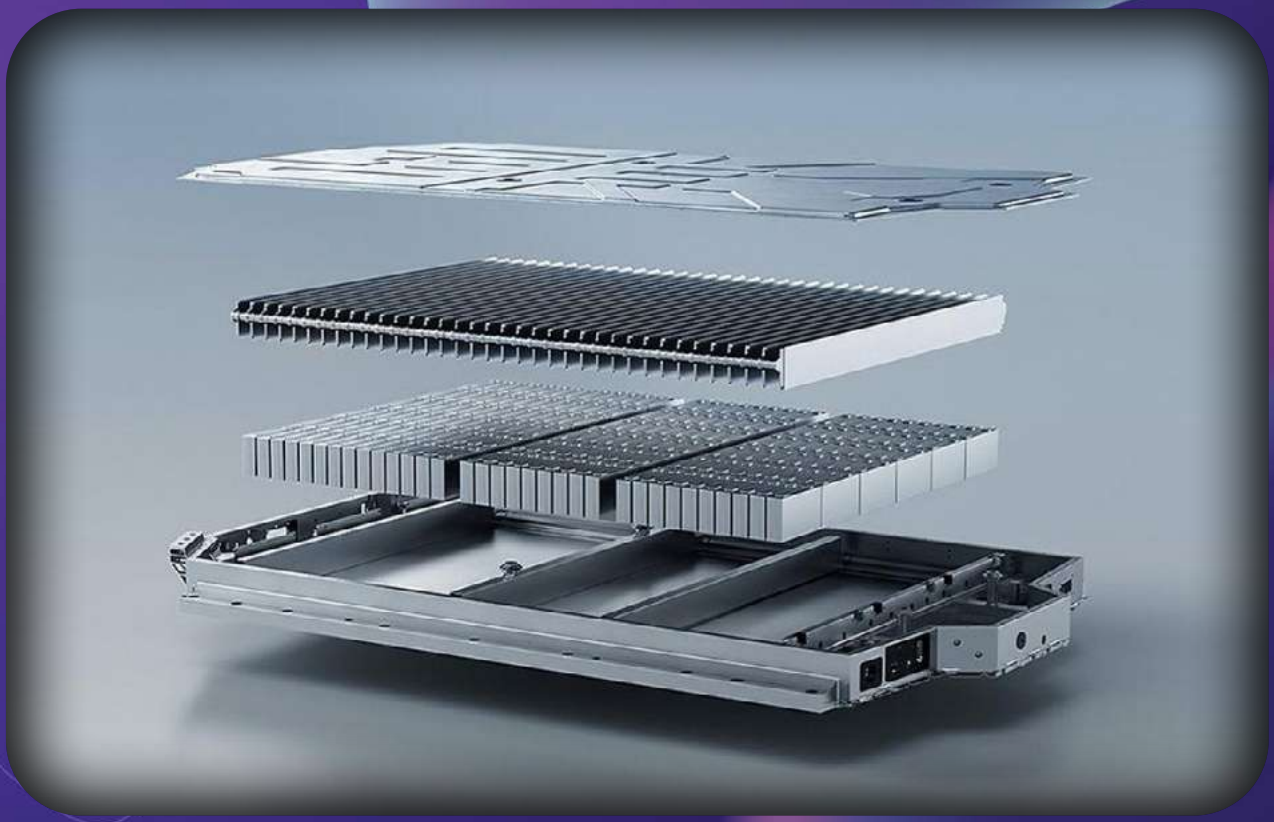
شرکت‌های Schneider Electric و ABB سیستم‌های الکتریکی جدیدی را به نمایش گذاشتند که برای برقی‌سازی فرآیندهای صنعتی و مدیریت هوشمند انرژی، وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کم می‌کنند. این سیستم‌ها با استفاده از اینترنت اشیا (IOT)، بهره‌وری را بالا می‌برند . این فناوری برای اولین باردر این مقیاس معرفی شد.



۳ باتری‌های جامد



شرکت های Varta و CATL باتری‌های جامد جدیدی را معرفی کردند که ظرفیت بالاتر و ایمنی بیشتری نسبت به باتری‌های لیتیومی دارند . این باتری‌ها برای اولین بار در مقیاس صنعتی به نمایش گذاشته شدند و می‌توانند در ماشین‌آلات برقی و ذخیرسازی انرژی استفاده شوند.



کاربرد در مهندسی مکانیک:

در طراحی سیستم‌های برقی و ذخیره‌سازی انرژی برای تجهیزات سنگین کاربرد دارند.

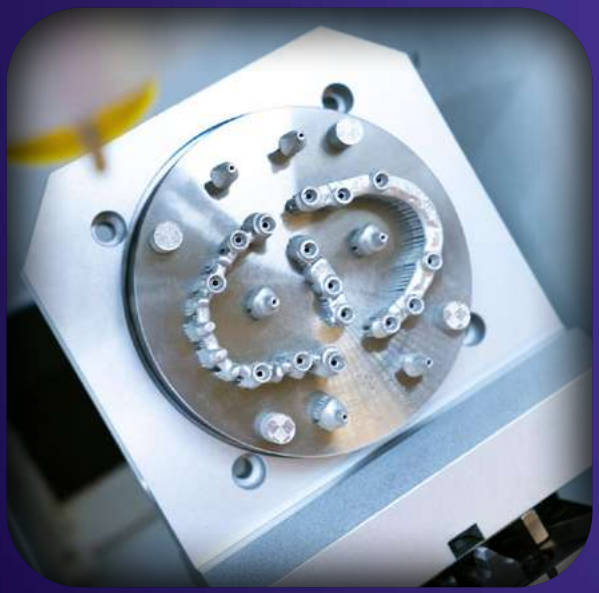
۴

پرینت سه بعدی فلزات با دقت نانومتری

شرکت Trumpf پرینتر سه بعدی فلزی جدیدی به نمایش گذاشت که با تکنولوژی لیزر پیشرفته، قطعاتی با دقت نانومتری تولید می‌کند. این دستگاه برای ساخت قطعات پیچیده مثل توربین‌ها یا ایمپلنت‌های پزشکی طراحی شده است و می‌تواند آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت را با سرعت بالا پرینت کند.

کاربرد در مهندسی مکانیک:

این فناوری، تولید قطعات پیچیده با هندسه‌های غیرممکن در روش‌های سنتی را ممکن می‌کند و در طراحی و ساخت سیستم‌های مکانیکی تحول ایجاد می‌کند.







۵

ربات‌های مدولار با طراحی مکانیکی انعطاف پذیر







شرکت KUKA سری ربات‌های مدولار جدیدی را معرفی کرد که با ساختار مکانیکی قابل تنظیم طراحی شدند. این ربات‌ها می‌توانند با تعویض سریع قطعات (مثل بازوها یا گریپرها) برای وظایف مختلف مثل جوشکاری، مونتاژ یا حمل و نقل استفاده بشوند. این نوآوری که برای اولین بار در این نمایشگاه رونمایی شد، با هوش مصنوعی ترکیب شده تا انعطاف بیشتری در خطوط تولید داشته باشد.

کاربرد در مهندسی مکانیک:

طراحی مدولار این ربات‌ها، به مهندسان مکانیک اجازه می‌دهد سیستم‌های تولید را سریع‌تر و با هزینه کمتر بازطراحی کنند.



۶
حسگرهای مکانیکی هوشمند برای پایش وضعیت

شرکت SKF با معرفی حسگرهای مکانیکی هوشمند، ابزاری قدرتمند برای پایش وضعیت یاتاقان‌ها، گیربکس‌ها و موتورها ارائه کرد.

این حسگرها ارتعاشات، دما و تنش‌های مکانیکی را به‌صورت بلادرنگ اندازه‌گیری می‌کنند و با انتقال داده‌ها به سیستم‌های دیجیتال دوقلو، خرابی‌های احتمالی را پیش‌بینی می‌کنند. این نوآوری با بهبود طراحی و امکان نگهداری پیش‌بینانه، نقشی کلیدی در افزایش کارایی سیستم‌های مکانیکی ایفا می‌کند.



کاربرد در مهندسی مکانیک:

این حسگرها به مهندسان کمک می‌کنند تا طراحی سیستم‌های مکانیکی را بهینه‌تر کنند و نگهداری پیش‌بینانه را اجرا کنند تا سیستم عمر مفید بیشتری داشته باشد.



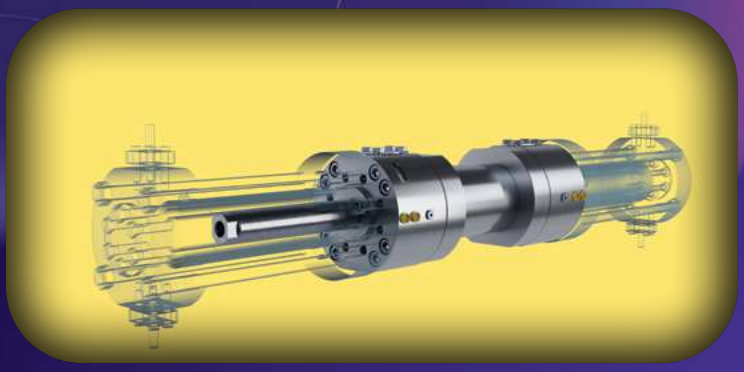
۷

سیستم‌های انتقال قدرت هوشمند با بهره‌وری بالا

شرکت بوش رکسروت (Bosch Rexroth) در این نمایشگاه از یک سیستم انتقال قدرت هیبریدی نوین رونمایی کرد که با تلفیق فناوری هیدرولیک هوشمند و موتورهای الکتریکی، بهره‌وری انرژی را تا سی درصد افزایش می‌دهد. این سیستم از حسگرهای پیشرفته و الگوریتم‌های کنترلی بهره می‌برد تا فشار و جریان را به‌صورت لحظه‌ای تنظیم کند. کاربرد اصلی آن در ماشین‌آلات سنگین نظیر بیل‌های مکانیکی، پرس‌های

صنعتی و جرثقیل‌هاست که نیازمند گشتاور بالا و مصرف انرژی بهینه هستند. این نوآوری نه‌تنها اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد، بلکه با کم کردن تنش‌های مکانیکی، دوام قطعات را نیز بهبود می‌بخشد.





کاربرد در مهندسی مکانیک:

این سیستم نشان‌دهنده پیشرفت در طراحی انتقال قدرت مکانیکی است که نه‌تنها مصرف انرژی را کم می‌کند، بلکه با کاهش تنش‌های مکانیکی، عمر مفید قطعات را هم بالا می‌برد.



۸

سیستم‌های خنک‌کننده پیشرفته مبتنی بر مایعات نانو

آلفا لاوال (Alfa Laval) با معرفی یک سیستم خنک‌کننده نوین مبتنی بر مایعات نانویی، راه‌حلی کارآمد برای مدیریت حرارتی ارائه داد.

این سیستم با ترکیب نانوذرات با سیالات پایه، انتقال حرارت را تا بیست‌وپنج درصد بهبود می‌بخشد و اندازه تجهیزات خنک‌کننده را کاهش می‌دهد. طراحی آن برای ماشین‌آلات صنعتی و موتورهای پرقدرت است که در آن‌ها دفع گرما نقشی حیاتی دارد. این نوآوری با افزایش کارایی و جلوگیری از خرابی‌های ناشی از گرما، در مهندسی مکانیک کاربرد گسترده‌ای خواهد داشت.



کاربرد در مهندسی مکانیک:

مدیریت حرارتی بهتر در موتورها و سیستم‌های مکانیکی، کارایی را بالا می‌برد و از خرابی ناشی از گرمای بیش از حد جلوگیری می‌کند.

نوآوری‌های معرفی‌شده در HannoverMesse2024 نشان‌دهنده حرکت مهندسی مکانیک به سوی آینده‌ای هوشمند، پایدار و کارا است. از انتقال قدرت بهینه و تولید قطعات دقیق گرفته تا مدیریت حرارتی و پایش وضعیت، این فناوری‌ها نه‌تنها در صنعت بلکه در پژوهش‌های فرادانشگاهی نیز کاربرد دارند.



منابع:

evolution.skf.com

www.hannovermesse.de

www.alfalaval.com

www.linkedin.com

www.boschrexroth.com

www.skf.com

بخش

معرفی فیلم

بازخوانی یک تلاش ملی



منصور، بازخوانی یک تلاش ملی در مسیر خودکفایی هوایی

بدون اسپویل





امیر شیرسوار

کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

جنگ همیشه تلخ است، اما واقعیتی انکارناپذیر وجود دارد: جنگ، ناخواسته موتور محرک بسیاری از جهش‌های علمی و صنعتی شده است. از جنگ جهانی اول که پیشرفت موتورهای هواپیما و هوانوردی را شتاب داد، تا جنگ جهانی دوم که به تولد جت‌های جنگنده، رادار، کامپیوتر و حتی بمب اتم انجامید. جنگ سرد نیز رقابتی بود که انفجار فناوری در صنایع فضایی و شکل‌گیری اینترنت را رقم زد. اما تصور کنید در میانه یک جنگ تمام‌عیار، کشورتان از هر طرف تحریم شده و برای تأمین هواپیما مجبورید دست به خرید از کشورهای آفریقایی بزنید. اینجا نقطه‌ای است که یا تسلیم می‌شوید، یا دست به کاری می‌زنید که همه ناممکن می‌دانند.



برای نسل ما دهه هشتادی‌ها، «هشت سال دفاع مقدس» مفهومی تاریخی بود؛ تفاوت چندانی با حمله مغول به ایران نداشت. هر دو مربوط به گذشته بودند. البته پدرانمان خاطرات جنگ را برایمان گفته‌اند و سینما همیشه به این موضوع از زوایای مختلف پرداخته است. اما همچنان لمس نکرده بودیم. تا اینکه پس از جنگ ۱۲روزه، با ۱۰۶۴ شهید، برایمان ملموس شد و فهمیدیم «جنگ» یعنی چه(مفهوم جنگ برای ما معنا پیدا کرد). این تجربه باعث شد نگاهمان به روایت‌های سینمایی جنگ تغییر کند.

فیلم «منصور» به کارگردانی و نویسندگی سیاوش سرمدی و تهیه‌کنندگی جلیل شعبانی، محصول سال ۱۳۹۹، روایتی از همین دست است. داستان مردی که بیشتر شبیه یک شمع است؛ شمعی که می‌سوزد تا کورسوی پیشرفت خاموش نشود. نشان می‌دهد آدم بعضی وقت‌ها می‌تواند بزرگ حرف بزند و تا حدودی به آنها برسد؛ حداقل وقتی مجبور باشد!

منصور ستاری، نامی آشنا در میان قهرمانان ایرانی است که در سال ۱۳۶۵ و در اوج جنگ ایران و عراق به‌عنوان فرمانده نیروی هوایی ایران منصوب شد. در سالی که نه کسی به ایران جنگنده می‌فروخت و نه به دلیل تحریم‌های شدید توانایی این را داشتیم که جنگنده‌های موجود را تعمیر کنیم. وی باهمت بالایش عهده‌دار این قضیه شد تا هرطور شده بتواند نیروی هوایی ایران را در آن برهه حساس بازآفرینی کند. با جمع‌کردن متخصص‌های ایرانی و سماجت و ممارست خودش در این امر توانست موفقیت‌های چشمگیری به دست بیاورد.

در فیلم به چالش‌های پیشروی تیمسار ستاری برای رسیدن به هدفش پرداخته شده است. مشکلاتی که از ساخت و تأمین قطعات شروع می‌شود و تا ازدست‌دادن سرمایه شخصی‌اش در این راه ادامه دارد. اما چیزی دراین‌بین او را توقف‌ناپذیر کرده است... چیزی که رفته‌رفته در این مرزوبوم کمی رنگ‌باخته است. او عبارت «جانم فدای وطن» را به معنای واقعی کلمه ادا کرد.

تیمسار ستاری در ۱۵ دی‌ماه ۱۳۷۳، پس از سال‌ها جان‌کندن در راه وطن با موفقیت‌های بزرگ در ارتقا سامانه‌های دفاعی، پروژه‌های نظامی دفاعی و جان‌بخشی به نیروی هوایی ایران، در یک سانحه سقوط هواپیما در نزدیکی فرودگاه بین‌المللی شهید بهشتی اصفهان، دیده از این دنیا بست تا برای دلسوزان متخصص وطن، الگویی کامل و والا باشد.

فیلم منصور سرشار از حس وطن‌پرستی و تعهد به خدمت به میهن است. در شکست‌ها با او اندوهگین می‌شوید و در لحظات پیروزی، غرور را با تمام وجود حس می‌کنید. امید است از تماشای این فیلم لذت ببرید.

مرمت ذهن پس از روزهای سخت



پویا عبدالمنافی

کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

نشریه گشتاور و روان‌درمانی؟ دو تا چیزی که هرگز با هم دیگر تصور نمی‌کردیم؛ اما در این دوران و شرایط، شاید بد نباشد تا هوای همدیگر را داشت.

نوشتن ابرازی راه درمانی است که فرد از احساسات و شرایط و موقعیت زندگی خود برای خود می‌نویسد؛ نه نیازمند نوشتن یک متن ادبی سنگین و نه موقعیت و حوصله آدم است. نوشتن از دردها و زخم‌های خود باعث می‌شود تا دردها به‌مرور تسکین شوند و آدم به‌مرورزمان با خود مهربان‌تر است.

و همچنین نوشتن ابرازی فقط در گفتار قشنگ نیست، بلکه آزمایش‌های متعدد و نتایج این‌ها را نشان می‌دهد که:

۱. کاهش استرس و اضطراب:

پژوهش‌های دکتر James Pennebaker(روان‌شناس دانشگاه تگزاس)، از پیش‌گامان این حوزه، نشان داد که نوشتن ابرازی به مدت تنها ۱۵ تا ۲۰ دقیقه در روز، طی چند روز، می‌تواند به کاهش چشمگیر استرس، اضطراب و حتی افسردگی منجر می‌شود.

۲. تقویت سیستم ایمنی بدن:

در مطالعات مختلف، افرادی که نوشتن ابرازی انجام داده‌اند، واکنش ایمنی قوی‌تری به ویروس‌ها و واکسن‌ها نشان داده‌اند. به نظر می‌رسد تخلیه هیجانی، عملکرد بدن در مقابله با بیماری‌ها رو بهبود می‌دهد.

۳. کمک به بهبود زخم‌ها و دردهای مزمن:

تحقیقات نشان داده است که افرادی که احساسات سرکوب‌شده خود را روی کاغذ میاورند، سریع‌تر بهبود پیدا می‌کنند؛ چه در زخم‌های پوستی و چه در دردهای مزمن مثل میگرن یا سندرم روده تحریک‌پذیر.

۴. تقویت تمرکز، حافظه و تصمیم‌گیری:

با نوشتن ابرازی، ذهن از آشفتگی‌های پنهان تخلیه می‌شود و فضای بیشتری برای تحلیل منطقی، و باعث افزایش تمرکز و خلاقیت می‌شود. انگار که طوفان مغز خود آرام می‌کنیم و اکنون می‌شود فکرهای نو و تازه‌ای با خود آورد.

۵. افزایش همدلی و درک نسبت به خود و دیگران:

وقتی احساسات خود را صادقانه می‌نویسیم، به‌تدریج درک عمیق‌تری از زخم‌ها، نیازها و انگیزه‌هایمان پیدا می‌کنیم و این آگاهی، پایه‌ی ارتباط سالم‌تری با دیگران می‌سازد.

پس سعی کنیم روزانه حداقل برای پنج دقیقه هم در روز هم شده برای خود وقت بگذاریم و تأثیرش را در زندگی خود ببینیم، شاید با همین زمان اندکی که برای خود می‌زاریم؛ در این شرایط که بمباران اخبار زرد و منفی هستیم، بتوانیم حال خود و عزیزانمان را بهتر کنیم.



سخن مدیرمسئول

به نام جان آفرین،

هنگامی که به لغت «قلم» می اندیشم، یک جمله آشنا به ذهنم می آید که می گفت «کم رنگ ترین جوهرها از قوی ترین حافظه‌ها ماندگارترند.» و این بدان معناست که تراوش افکار نویسنده شاهد فراموشی افکار و شخص نویسنده خواهد بود. هرچه فردوسی و حافظ و مولانا نوشتند، باقی ماند و هر پنداری که روی کاغذ به دنیا نیامد در بافت خاکستری عاقل، کنار دیگر ابداعاتش دفن شد.

چه بسا برترین عاقل، فرقان را به وسیله رسالتش به بشریت سپرد و آن را معجزه نامید تا قدرت کلام را آشکار کرده باشد. پس نشریه گشتاور را این ارج می دهد که فرصت خلق کلمات را برایمان میسر ساخت. بدین لحظه که شماره بیست و ششم آن را به نگارش در می آوریم، مهندسان و متفکران و خلاقانی فرصت قلم فرسایی در لابه‌لای صفحات این مجله را داشتند. امید است رسالت بنیادین گشتاور از خاطرمان نرود و برای تحقق این امر باید در هر نوشته‌مان، همان آرمان‌ها را تکرار کنیم تا به دست کسی که باید، برسد.

در این شماره سعی در آن داشتیم با افراد متخصصی مصاحبت داشته باشیم تا برایمان از مسیر صنعت تعریف کنند، بر روایت‌های فیلم منصور نیم‌نگاهی داشته باشیم و در باب اتفاقاتی که بر این مرزوبوم تحمیل شد روایتی داشته و از منظر علمی، فناوری‌های جنگ‌افزاری را بررسی کنیم. همچنین باید سلامت روان خود را همچون سلامت جسمی خود مهم دانست و به همین منظور به قدرت نوشتن راجع به افکار خویش پرداخته‌ایم.

در نهایت قابل ذکر است شاید در روزگاری به سر می بریم که کلمات ارزان‌تر از ارزش وجودی‌شان شده‌اند، به‌گونه‌ای که با یک پرامپت می‌توان در عرض چند ثانیه اندازه شاهنامه کتابی دیگر تولید کرد؛ اما هرچه تقلا کنیم این تولید بازمانده افکار گذشتگان است، نه خلق وهمی که بشر بدان رسیده است. هرچه انسان «ابزار»های پیشرفته‌تری برای تولید کلمه بسازد، باز همان ابزار از سخنان انسان‌های بدیع گذشته بهره خواهند جست.

امیر شیرسوار

مدیرمسئول نشریه گشتاور


Amirkabir
Technical and Vocational Training Center
آموزشگاه امیرکبیر
با مجوز رسمی از سازمان آموزش فنی حرفه ای کشور
CATIA, CATIA advanced, abaqus, solidworks, ansys,
powermill, MATLAB, python, Fluent, geomagic design X
با ارائه مدرک معتبر بین الملل
تبریز ، خیابان آزادی ، مابین ۴راه ابوریحان و
آخر شریعتی، جنب سجادیه جنوبی، پلاک ۲ ، طبقه ۲
34766779 - 34799296
www.amirkabirtvtc.ir
amirkabirtabriz

همای اوجِ سعادت به دامِ ما افتد
اگر تو را گذری بر مقامِ ما افتد

حباب‌وار براندازم از نشاط کلاه
اگر ز روی تو عکسی به جامِ ما افتد

شبی که ماهِ مراد از افق شود طالع
بود که پرتو نوری به بامِ ما افتد

به بارگاهِ تو چون باد را مجالِ عبور
نباشد ار نه خطایی ز گامِ ما افتد

جمالِ چهرهٔ تو حجتِ موجهِ ماست
اگر که لطف تو بر حُسنِ نامِ ما افتد

بیا که حافظِ مظلوم چون رهد ز غمت
اگر تو باز به دادِ غلامِ ما افتد

حافظ





GASHTAVAR

No. 26 | Autumn 2025