

## بهینه سازی شبیه ساز پرواز Xplane مبتنی بر واقعیت مجازی جهت آموزش مهارت های خلبانی

تاریخ دریافت:

۲۸ آذرماه ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش:

۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۳

منصور سلیمی<sup>۱</sup>، محمود دی پیر<sup>۲\*</sup>

۱. کارشناس ارشد مخابرات سیستم، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی رایانه و سایر، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران.

### چکیده

آموزش خلبانی در گذشته مستلزم استفاده از هواپیماهای واقعی و پذیرش خطرات احتمالی حین پروازهای آموزشی بود، اما به تدریج انواع مختلفی از شبیه سازهای پرواز سخت افزاری و نرم افزاری وارد سیستم آموزش خلبانی شد که تأثیر زیادی در بهبود آموزش های پرواز داشت. شبیه سازهای پرواز نرم افزاری با قابلیت واقعیت مجازی دارای مزیت های زیادی نسبت به شبیه سازهای سخت افزاری ثابت و متحرک است. از جمله این مزایا، ارتقاء کیفیت آموزش، کاهش هزینه ها، کاهش زمان و افزایش بهره آموزشی، کاهش خطرات احتمالی پروازهای آموزشی با مدل های واقعی و همچنین انجام پروازهای آموزشی و تمرینی در محیطی واقع گرایانه و مبتنی بر واقعیت مجازی با حس غوطه وری بالا هستند. در این تحقیق، شبیه ساز پرواز نرم افزاری Xplane که دارای قابلیت واقعیت مجازی است انتخاب و در بخش مناظر فرودگاهی، با طراحی و افزودن مناظر فرودگاه کوشک نصرت به محیط خام فرودگاه و در بخش هواپیماها، با طراحی و افزودن لیوری جنگنده کوثر، بهینه سازی و بومی سازی گردیده است. از طرفی انواع افزونه های واقعی کننده نیز جهت طبیعی تر شدن محیط شبیه ساز و افزایش حس حضور در محیط واقعی، به آن افزوده شده است. این شبیه ساز پس از بهینه سازی و اعمال افزونه های مختلف در آن، هم به صورت دستکاپ و هم در محیط واقعیت مجازی پیاده سازی، اجرا و آزمایش گردیده است. شبیه ساز مذکور می تواند به عنوان ابزاری نوین، ارزان و کارآمد جهت آشنایی دانشجویان خلبانی با تمام جزئیات یک پرواز واقعی، در مراکز هوانوردی مورد استفاده قرار گیرد و خلبانان نیز جهت تمرین و ارتقاء مهارت های پروازی خود و یا تجربه پرواز با دیگر هواپیماها، از آن استفاده نمایند.

واژه های کلیدی: شبیه ساز پرواز، واقعیت مجازی، Xplane، VR.

## Optimization of the Xplane flight simulator based on virtual reality to review flight skills

Mansur salami<sup>1</sup>, Mahmood deypir<sup>2\*</sup>

1. MSc in Telecommunication System, Graduate Faculty, Shahid Sattari Aeronautical University, Tehran, Iran .

2. Associate Professor, Faculty of Computer, Shahid Sattari Aeronautical University, Tehran, Iran.

### Abstract

In the past, pilot training required the use of real aircraft and the acceptance of potential risks during training flights, but gradually various types of hardware and software flight simulators entered the pilot training system, which had a great impact on improving flight training. Software flight simulators with virtual reality capabilities have many advantages over fixed and mobile hardware simulators, including improving the quality of training, reducing costs, reducing time and increasing training efficiency, reducing the potential risks of training flights with real models, and also conducting training and practice flights in a realistic and virtual reality-based environment with a high sense of immersion. In this research, the Xplane software flight simulator, which has virtual reality capabilities, was selected and optimized and localized in the airport scenery section by designing and adding the scenery of Kushk-e Nusrat Airport to the raw airport environment, and in the aircraft section by designing and adding the Kowsar fighter jet livery. On the other hand, various realistic add-ons have been added to make the simulator environment more natural and increase the sense of presence in the real environment. After optimizing and applying various add-ons to it, this simulator has been implemented, run, and tested both in desktop and virtual reality environments. The aforementioned simulator can be used as a new, cheap, and efficient tool to familiarize pilot students with all the details of a real flight in aviation centers, and pilots can also use it to practice and improve their flying skills or experience flying with other aircraft.

Key words: Flight simulator, Optimization, Virtual reality, Xplane, VR.

از زمانی که صنعت هوانوردی شروع و بروز پیدا کرد استفاده از شبیه‌سازهای پرواز ثابت و متحرک نیز جهت آموزش مهارت‌های پروازی مورد توجه قرار گرفت. با توجه به هزینه و خطرات بالای استفاده از هواپیمای واقعی، استفاده از شبیه‌سازهای پرواز یکی از روش‌های متداول آموزشی در آموزشگاه‌های هوانوردی و نیروهای نظامی کشورهاست. دانشجویان خلبانی قبل از انجام یک پرواز واقعی با استفاده از شبیه‌سازهای پرواز با کمترین هزینه و خطر آسیب‌پذیری نفرت و تجهیزات، با جزئیات و چالش‌های حین پرواز آشنا خواهند شد. ساخت شبیه‌سازهای ثابت و متحرک کنونی مستلزم صرف هزینه زیادی است و نیاز به فضای بزرگی جهت استقرار و بهره‌برداری دارد و همیشه نیز در دسترس دانشجویان جهت تمرین و استفاده نیست. اما در سال‌های اخیر با رشد فناوری، نوع دیگری از شبیه‌سازهای پرواز عرضه شده است که به عنوان یک برنامه شبیه‌ساز پرواز نرم‌افزاری، بصورت دستکناپ مورد استفاده گیمرها و سیمرها قرار گرفته است. این شبیه‌سازها نه تنها هزینه بالایی نیاز ندارند بلکه فضای کمی را نیز اشغال کرده و در هر مکان و زمانی نیز به راحتی در دسترس قرار داشته و قابل استفاده هستند. با ظهور و گسترش فناوری واقعیت مجازی، شرکت‌های سازنده این شبیه‌سازها نیز به سمت استفاده از این فناوری گرایش پیدا کرده‌اند و به همین دلیل در ورژن‌های جدید برنامه‌های شبیه‌ساز پرواز، قابلیت واقعیت مجازی نیز افزوده شده است. مطالعات متعددی درخصوص اثبات و ارزیابی اهمیت و میزان تأثیر شبیه‌سازهای پرواز از جمله شبیه‌سازهای مبتنی بر دستکناپ و واقعیت مجازی در کیفیت آموزش‌های پروازی و همچنین حفظ و ارتقاء مهارت دانشجویان و خلبانان صورت گرفته است. شبیه‌سازهای پرواز نرم‌افزاری از سه بخش فرودگاه، هواپیما و واقعی‌کننده‌ها تشکیل یافته‌اند. انواع مختلفی از هواپیماها و فرودگاه‌های جهان برای استفاده در این شبیه‌سازها توسط شرکت سازنده و توسعه‌دهندگان آن‌ها طراحی شده‌اند. شبیه‌ساز پرواز Xplane یکی از معروف‌ترین و جامع‌ترین شبیه‌سازهای پرواز موجود است که طرفداران زیادی دارد و گزینه مناسبی جهت استفاده در مراکز آموزش هوانوردی است. بنابراین در این مطالعه با بهینه‌سازی این شبیه‌ساز پرواز در بخش فرودگاه و هواپیما (طراحی فرودگاه کوشک نصرت به عنوان فرودگاه آموزشی و لیوری جنگنده کوثر به عنوان هواپیمای بومی) و همچنین افزودن واقعی‌کننده‌های ضروری و نهایتاً اجرای آن به صورت دستکناپ و واقعیت مجازی، مورد آزمایش و ارزیابی عملکرد قرار گرفته است.

## ۲- کلیاتی از واقعیت مجازی<sup>۱</sup>

واقعیت مجازی نوعی فناوری شبیه‌سازی شده رایانه‌ای هست که در آن افراد این امکان را دارند تا با استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی مخصوص مثل هدست مجازی در یک محیط سه‌بعدی شبیه‌سازی شده مجازی قرار گرفته و با آن تعامل داشته باشند. افراد در واقعیت مجازی

قادرند با استفاده از هدست‌های مخصوص به بالا، پایین و هر جهتی که دوست دارند نگاه کنند طوری که انگار در دنیای واقعی قرار دارند و می‌توانند تجربه دنیای واقعی را به دست آورند[۱]. سیستم‌های واقعیت مجازی استاندارد از هدست‌های VR یا محیط‌های چند پروژه‌ای برای تولید تصاویر، صداها و سایر احساسات واقعی استفاده می‌کنند که حضور فیزیکی کاربر را در یک محیط مجازی شبیه‌سازی می‌کنند. فردی که از تجهیزات واقعیت مجازی استفاده می‌کند قادر است به اطراف دنیای مصنوعی نگاه کند، در آن حرکت کند و با ویژگی‌ها یا اَتم‌های مجازی تعامل داشته باشد. این جلوه از واقعیت مجازی معمولاً توسط هدست VR متشکل از یک نمایشگر روی سر با یک صفحه نمایش کوچک در جلوی چشم ایجاد می‌شود. واقعیت مجازی معمولاً بازخورد شنیداری و تصویری را در بر می‌گیرد، اما ممکن است انواع دیگر بازخورد حسی و نیرویی را از طریق فناوری لمسی نیز برآورده کند. واقعیت مجازی دارای ویژگی‌های زیر است [۲]:

- **باورپذیری<sup>۲</sup>:** از طریق آنچه می‌بینید و می‌شنوید احساس می‌کنید در دنیای مجازی خود هستید.
  - **همه‌جانبه<sup>۳</sup>:** همانطور که سر به اطراف حرکت می‌کند، آنچه می‌بینید نیز تغییر می‌کند.
  - **رایانه‌ای:** جهان واقعیت مجازی معمولاً با گرافیک‌های رایانه‌ای سه‌بعدی پیچیده ایجاد می‌شوند.
  - **تعاملی<sup>۴</sup>:** می‌توان با اشیاء مختلف در صحنه سه بعدی مجازی تعامل داشت، چه فشار یک دکمه یا باز کردن یک درب باشد.
- واقعیت مجازی یکی از فناوری‌های جدید و جذاب این روزهاست و با توجه به حوزه‌های کاربردی متنوعی که دارد روز به روز طرفداران بیشتری پیدا می‌کند. این تکنولوژی تجربه نوینی را در استفاده از دستگاه‌های الکترونیکی به ارمغان آورده است. با ادغام آن در دستگاه‌های الکترونیکی پرکاربرد و محبوب، اهمیت یادگیری مفاهیم، ساز و کار و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها نیز بیشتر شده است. آموزش، یکی از پرکاربردترین حوزه‌های بکارگیری این فناوری است. در سال‌های اخیر با مشخص شدن کاربردهای وسیع و موثر VR در حوزه نظامی،

ارتش‌ها و سازمان‌های نظامی بلافاصله سرمایه‌گذاری‌های بزرگی را در این حوزه با هدف کاهش خطرات نظامی و افزایش احتمال پیروزی و نیز تربیت نیروی کارآمدتر انجام داده‌اند. به کمک VR به سادگی می‌توان هر شرایط و محیطی را شبیه‌سازی کرد، مهارت‌های نیروها را افزایش و هزینه‌های سنگین آموزش‌ها و تمرین واقعی نظامی را کاهش داد. یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌ها در هر کشوری به روز کردن ارتش و تمرینات نظامی آن است. برای مثال یک شخص که می‌خواهد به انواع هواپیماهای جنگی مسلط شود مراحل سخت و طاقت فرسایی را باید طی کند که هزینه‌های زیادی از جمله هزینه آموزش، هزینه سوخت هواپیما، هزینه تعمیر و نگهداری وسایل غیره را برای آن نیروی نظامی

<sup>3</sup> Immersive

<sup>4</sup> Interactivity

<sup>1</sup> Virtual reality

<sup>2</sup> Believability

در بر دارد. بخش عمده‌ای از این هزینه‌ها را می‌توان با آموزش‌های مبتنی بر واقعیت مجازی کاهش داد و محیطی نزدیک به واقعیت را برای آموزش نیروها فراهم کرد. آموزش‌های نظامی مخصوصاً در زمینه هواپرد، فوق‌العاده گران است، بنابراین استفاده از شبیه‌سازهای پرواز مقرون به صرفه‌تر از آموزش با هواپیمای واقعی است. همچنین معرفی یک عامل خطرآفرین به کارآموزان در محیط حقیقی بدون ایجاد آسیب فیزیکی واقعی میسر نیست در حالی که محیط واقعیت مجازی این امکان را به ما می‌دهد. شبیه‌سازی پرواز هواپیما باعث می‌شود خلبان در شرایط حساس و خطرناک بتواند بهترین تصمیم را اتخاذ کند. شبیه‌ساز پرواز، یک موضوع محبوب در آموزش VR نظامی است.

### ۳- شبیه‌سازهای پرواز و اهمیت آنها

گرچه برادران رایت با ساختن هواپیما رویای پرواز را برای بشر میسر کردند ولی آرزوی خلبانی همچنان برای بسیاری از انسان‌ها یک حسرت بزرگ محسوب می‌شود. امروزه پیشرفت علم و تکنولوژی هوایی و به کارگیری آن در بازارهای تجاری موجب شده رویاهای بشر رنگ حقیقت به خود ببیند و هر شخص با هر توانی و بدون نیاز به طی کردن مراحل دشوار و دوره‌های طولانی مدت و پرهزینه خلبانی، به آسانی می‌تواند لذت بی‌نظیر پرواز را حتی در خانه خود تجربه نماید. این امکان فوق‌العاده را شبیه‌سازهای پرواز فراهم نموده‌اند. امکانی که نه تنها هوانوردی عمومی بلکه پرواز در کابین یک هواپیمای سنگین مسافربری و یا یک هواپیمای رزمی را نیز مهیا نموده است. شبیه‌سازها در حال حاضر پایه اصلی فعالیت نیروهای نظامی در جهان به شمار می‌روند و استفاده از شبیه‌سازهای پرواز در حوزه تربیت و آموزش دانشجویان و کارآموزان خلبانی و پروازی به طور قابل توجهی در حال استفاده و بهره برداری است به گونه‌ای که هم اکنون به عنوان یکی از الزامات آموزشی در نیروهای مسلح می‌توان به آنها نگاه کرد.

#### ۳-۱- شبیه‌ساز پرواز<sup>۱</sup>

شبیه‌سازهای پرواز، نرم‌افزارها و سخت‌افزارهایی هستند که به‌طور مجازی پرواز هواپیما و محیطی که در آن پرواز انجام می‌گیرد را برای آموزش خلبانی، طراحی یا اهداف دیگر بازسازی می‌کند. این شامل تکرار معادلات حاکم بر نحوه پرواز هواپیما، نحوه واکنش آنها به کاربردهای کنترل پرواز، اثرات سایر سیستم‌های هواپیما و نحوه واکنش هواپیما به عوامل خارجی مانند چگالی هوا، تلاطم، برش باد، ابر، بارش و غیره است. شبیه‌سازی پرواز به دلایل مختلفی از جمله آموزش پرواز، طراحی و توسعه هواپیما و تحقیق در مورد ویژگی‌های هواپیما و کیفیت کنترل استفاده می‌شود [۳]. با توجه به پیشرفت تکنولوژی پرواز، با افزایش تعداد هواپیماها برای اهداف مختلف، آموزش خلبانان با هواپیماهای واقعی روز به روز دشوارتر می‌شود و از طرفی خطرات خاصی در آموزش پرواز واقعی هواپیما وجود دارد. بنابراین، شبیه‌سازی پرواز، راه‌حل خوبی برای آموزش پرواز ارائه می‌دهد. شبیه‌سازهای پرواز

هواپیما دارای کارایی مناسب، قابلیت استفاده مجدد و ایمنی پرواز بالا هستند. همه خطوط هوایی و شرکت‌های سازنده هواپیما آن را به عنوان تجهیزات آموزشی پیچیده برای شبیه‌سازی زمینی پرواز انتخاب می‌کنند که به طور موثر هزینه‌های آموزش را کاهش می‌دهد، ایمنی دانشجویان خلبانی و همچنین استهلاک کمتر هواپیما و تجهیزات پروازی را تضمین می‌کند [۴]. به کمک شبیه‌سازها می‌توان از ابتدایی‌ترین آموزش‌ها مانند تاکسی کردن تا آموزش نشست و برخاست و حتی شرایط اضطراری مانند از دست دادن موتورها، آتش‌سوزی، از دست دادن ژنراتور برق هواپیما و غیره را در محیطی نزدیک به واقعیت شبیه‌سازی کرد. از دیگر مزیت‌های استفاده از شبیه‌ساز پرواز می‌توان ثبت و ضبط عملکرد خلبان در هنگام پرواز و احصاء نقاط ضعف و قوت را برشمرد که باعث می‌شود عملکرد خلبان توسط مربی مورد تحلیل قرار بگیرد که به بهبود روند آموزش با تکرار شرایط مختلف پروازی کمک قابل توجهی خواهد کرد. اگر چه شبیه‌سازهای پرواز از نظر طراحی به دلیل سطح و تعداد زیاد فناوری‌های به کار رفته در آن گران قیمت محسوب می‌شوند، اما در عین حال استفاده از آن‌ها برای آموزش خلبانی به مراتب ارزاتر از آموزش با هواپیمای واقعی است. یکی از اولین شبیه‌سازهای پرواز توسط ادوارد لینک، در ۱۹۲۹ عرضه شد که مربی پرواز [Link trainer] نام داشت [۵]. توماس فرنس، در ۱۹۶۶ اولین شبیه‌ساز پرواز را برای نیروی هوایی ایجاد کرد. این به پیشرفت VR کمک کرد [۶]. در ۲۰۲۱، EASA اولین دستگاه آموزش شبیه‌سازی پرواز مبتنی بر VR را تایید کرد. این دستگاه، برای خلبانان روتورکرافت، با امکان تمرین مانورهای مخاطره آمیز در یک محیط مجازی، ایمنی را افزایش می‌داد [۷].

#### ۳-۲- برخی شبیه‌سازهای نظامی موجود در ایران

در ایران با توجه به تحریم‌های اعمال شده در حوزه نظامی از ابتدای انقلاب و همچنین در اختیار داشتن ناوگان هوایی متنوع غربی و شرقی، همواره توسعه و استفاده از شبیه‌سازهای پرواز با توجه به هزینه‌های سنگین آموزش خلبانی، در دستور کار قرار داشته که شاهد مثال آن نیز طراحی و ساخت شبیه‌سازهای پروازی مختلف در نیروی هوایی ارتش است، به‌طوری‌که در حال حاضر هر پایگاه نیرو هوایی ارتش حداقل یک شبیه‌ساز پرواز را در اختیار دارد، از آن جمله می‌توان شبیه‌سازهای هواپیمای آموزشی پی‌سی ۷، سوخو ۲۴، میگ ۲۹، میراژ اف ۱، اف ۵، اف ۱۴، سی ۱۳۰، بوئینگ ۷۰۷، بوئینگ ۷۴۷ و شبیه‌ساز تاکتیکی جنگنده اف ۴ را نام برد [۸].

#### ۳-۳- شبیه‌سازهای پرواز مبتنی بر واقعیت مجازی

پیشرفت‌های اخیر در فناوری واقعیت مجازی باعث شده تا کاربران با گرافیک‌های سه‌بعدی با کیفیت بالا و بدون تأخیر تعامل داشته باشند. این پیشرفت، کاربردهای آموزشی سیستم‌های واقعیت مجازی حرفه‌ای از جمله برای آموزش خلبانان هواپیما را تقویت کرده است. در شبیه‌ساز

<sup>۱</sup> Flight simulator

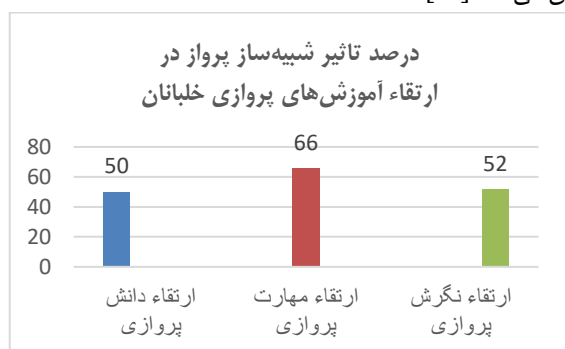
شبیه‌سازها را کافی نمی‌دانند.

### ۳-۶- مزیت شبیه‌سازهای پرواز برای خلبانان

با وجود این که هیچ چیزی مانند کار کردن با هواپیمای واقعی نیست، اما استفاده از شبیه‌ساز پرواز می‌تواند روشی بسیار خوب برای آموزش پرواز به خلبانان باشد. برخی از مهمترین مزیت‌های شبیه‌ساز پرواز برای خلبانان به شرح زیر است:

- آموزش پیشرفته پرواز
- تمرین ماندن در کابین خلبان
- تمرین ارتباطات رادیویی خلبانی
- تمرین مهارت‌های ناوبری
- تمرین با امکانات راداری و جنگ الکترونیک جنگنده
- تمرین پرواز در شرایط اضطراری هواپیما
- فراگیری بیشتر در زمان کمتر
- امکان تمرین پرواز در هر زمان [۹].

همچنین یافته‌های پژوهشی مؤید آن است که به‌کارگیری شبیه‌سازها تأثیر مثبت و معناداری بر ارتقاء آموزش خلبانان بال ثابت هوانیروز دارد. تحلیل کمی آماری نیز برابر نمودار (۱) میزان تأثیر بر ارتقاء آموزش را نشان می‌دهد [۱۰].



نمودار ۱- درصد تاثیر شبیه‌سازها بر ارتقاء آموزش خلبانان

### ۳-۷- پیشینه تحقیقات در زمینه اهمیت شبیه‌ساز پرواز

طی مطالعه‌ای که در آکادمی خلبانی Banyuwangi اندونزی صورت گرفت ثابت شده که آموزش با شبیه‌ساز پرواز می‌تواند در افزایش سطح مهارت‌های پروازی خلبانان موثر باشد. این آکادمی از شبیه‌سازهای پرواز برای بهبود قابلیت‌های خلبانان و حفظ مهارت‌های آنها استفاده می‌کند [۱۱]. در تحقیقی مشابه در فنلاند، با هدف بررسی کاربرد شبیه‌ساز پرواز در آموزش خلبانان، مشخص شد که شبیه‌سازهای پرواز برای آموزش بسیار ارزشمند هستند. محیط کابین خلبان واقعی و ایونیک شبیه‌ساز، همراه با مدل‌سازی دقیق زمین و مانورپذیری خوب، ابزاری با کارایی بالا را ایجاد می‌کند که قادر به برآورده کردن الزامات آموزش اولیه پرواز است. با توجه به تجربه کاربری مربیان پرواز، شبیه‌ساز پرواز در عملکرد عالی و در استفاده آسان و قابل اعتماد است.

پرواز معمولی می‌توان با نصب سکوه‌های حرکتی و نمایشگرهایی جهت نمایش مناظر داخل کابین و بیرون هواپیما در مقابل خلبان، شرایطی واقع‌گرایانه را ایجاد کرد، اما این کار پرهزینه است و نیاز به صفحه نمایش‌هایی با زاویه ۳۶۰ درجه دارد. در این شبیه‌سازها از کنترل‌ها، کلیدها و برخی تجهیزات الکترونیکی کابین خلبان استفاده می‌کنند تا بازخورد لمسی برای کاربر ایجاد کنند، به‌گونه‌ای که تمام عملکردها را می‌توان با کنترل‌های دستی، کنترل و دستکاری کرد. اما در فن‌آوری VR، دستکاری کنترل‌های کابین خلبان با حرکات دست کاربران و با استفاده از کنترلرها و دستکش‌های واقعیت‌مجازی انجام می‌شود. از طرفی، برای نمایش پرواز نیازی به صفحه نمایش‌های بزرگ ۳۶۰ درجه نیست چرا که محیط پیرامون خلبان و مناظر مقابل او در نمایشگر هدست واقعیت‌مجازی به طور همه‌جانبه و ۳۶۰ درجه نمایش داده می‌شود و تصویر با حرکت سر خلبان حرکت می‌کند، همچنین صداهای محیط نیز از طریق هدست به خلبان منتقل می‌شود. شبیه‌سازی پرواز در واقعیت‌مجازی باعث می‌شود تا کاربر حس واقع بینانه‌تری از حضور در یک محیط پرواز مجازی داشته باشد به‌گونه‌ای که در آن فضا غوطه‌ور شده و تجربه فوق‌العاده و لذت بخشی را خواهد داشت.

### ۳-۴- مزیت شبیه‌سازهای پرواز VR در مراکز هوانوردی

- کاهش هزینه عملیات: هزینه ساعات پرواز واقعی برای هواپیماهای بزرگ به میلیون‌ها تومان می‌رسد، در حالی که شبیه‌سازها این هزینه را تا ۹۰٪ کاهش می‌دهند.
- ایمنی بالا: تمرین سناریوهای پرخطر مانند فرود اضطراری یا آتش‌سوزی موتور بدون خطر جانی امکان‌پذیر می‌شود.
- انعطاف‌پذیری آموزش: مربیان می‌توانند پارامترهایی مانند آب و هوا، نقص فنی یا ترافیک هوایی را به‌صورت دلخواه تنظیم کنند.
- آمادگی برای شرایط واقعی: خلبانان با تکرار پرواز در شبیه‌ساز، حافظه عضلانی و تصمیم‌گیری تحت فشار را تقویت می‌کنند.
- پشتیبانی از مدل‌های متنوع هواپیما: از X-Plane هواپیماهای سبک گرفته تا جت‌های تجاری را پوشش می‌دهد که برای مراکز آموزشی با بودجه‌های مختلف مناسب است.

### ۳-۵- چالش‌های شبیه‌سازهای VR در مراکز هوانوردی

- در کنار مزیت‌های فوق‌اینگونه شبیه‌سازها دارای چالش‌هایی نیز می‌باشند که سه مورد از مهمترین آنها عبارتند از:
  - هزینه اولیه راه‌اندازی: خرید سخت‌افزارهای پیشرفته VR و شبیه‌سازهای پرواز ممکن است برای برخی مراکز هزینه مالی سنگینی داشته باشد.
  - نیاز به آموزش مربیان: ادغام فناوری VR با آموزش سنتی نیازمند تربیت مربیان متخصص است.
  - مقاومت در برابر تغییر: برخی مؤسسات سنتی هنوز به آموزش عملی پرواز یا شبیه‌سازهای سنتی وابسته‌اند و استفاده از این نوع

خلبان را به توانایی‌هایش تقویت می‌کند. نتایج مطالعه دیگری که با هدف تقویت آموزش خلبانی از طریق واقعیت مجازی صورت گرفته است حاکی از بهبود معنی‌داری در نمره آگاهی و خودکارآمدی پس از آموزش با این نوع از شبیه‌ساز است. همچنین از نظر آماری افزایش قابل توجه در نمره ارزیابی، شواهد قانع‌کننده‌ای در حمایت از اثربخشی این رویکرد آموزشی خاص ارائه داد [۱۴]. در آزمایش‌های دیگری که انجام شده، شرکت‌کنندگان به‌طور کلی گزارش دادند که هدست واقعیت مجازی سنگین و عدم وجود بازخورد لمسی خلبان در کابین هواپیما، بزرگترین نقص VRFS در طول آزمایش‌ها بوده است و مشاهده شده که نرخ فریم محیط مجازی در طول آزمایش‌ها سریعتر از ۲۵ فریم در ثانیه است. نرخ فریم به متغیرهای زیادی متکی است. به عنوان مثال، نتایج حاصل از همه این مطالعات، تحقیقات و آزمایش‌ها که در خصوص فعال کردن شرایط آب و هوایی در محیط مجازی یا افزایش تعداد اجسام و مناظر در کابین هواپیما، برنامه را کند می‌کند [۱۵]. کاربرد و اهمیت شبیه‌سازهای پرواز در ارائه آموزش‌های پروازی به کارآموزان خلبانی و تاثیر آن در ارتقاء و تقویت مهارت‌های پروازی آنان صورت گرفته است بر این موضوع اذعان دارد که شبیه‌سازهای پرواز اعم از شبیه‌سازهای پرواز معمولی و مبتنی بر VR به دلیل کاهش هزینه‌ها، افزایش امنیت و عملکرد مؤثر آنها در بهبود کیفیت آموزش و ارتقاء سطح مهارت‌های پروازی کارآموزان و خلبانان، از اهمیت ویژه‌ای در آموزشگاه‌های خلبانی، مراکز هوانوردی و نیروهای هوایی کشورها برخوردار است.

#### ۴- معرفی و مقایسه‌ی شبیه‌ساز پرواز Xplane

در حال حاضر برنامه‌های شبیه‌ساز پرواز مایکروسافت فلایت سیمولاتور (FSX)، Perpar3D و X-Plane از معروفترین و پرطرفدارترین شبیه‌سازهای پرواز موجود است که علاقه‌مندان به این حوزه و یا کارآموزان و خلبانان می‌توانند برای آموزش و یا تمرین پرواز از آنها استفاده نمایند.

#### ۴-۱- مقایسه Xplane با سایر شبیه‌سازهای پرواز

شبیه‌ساز FSX 2020 در نیمه دوم سال ۲۰۲۰ میلادی به بازار عرضه شد که در آن از جلوه‌های بصری بسیار خاصی استفاده شده است. مخاطب در این بازی می‌تواند هم خلبان و هم کمک خلبان باشد یا حتی در نقش یک کنترل‌کننده ترافیک هوایی ظاهر شود و آموزش ببیند، این نرم‌افزار شبیه‌ساز برای استفاده در سیستم‌های کامپیوتری و دستگاه‌های بازی ایکس باکس طراحی شده است. شبیه‌ساز پرواز Perpar3D مختص کمپانی لاکید مارتین هست. این مورد ادامه شبیه‌ساز فلایت سیمولیتور ایکس FSX است. کمپانی تولید هواپیماهای جنگنده، پس از توقف مایکروسافت برای تولید شبیه‌ساز، سورس مایکروسافت را خریداری کردند و آن را تکامل داده‌اند که امروز به یک شبیه‌ساز دیگر تبدیل شده است ولی پایه و مبنای آن همان شبیه‌ساز قبلی است. این شبیه‌ساز از نظر تصویری خیلی به زیبایی‌های بیرونی نپرداخته و فقط هم برای آموزش در نظر گرفته شده است. این محصول در حال حاضر به ورژن ۵.۱ رسیده است و برای آموزش دانشجویان خلبانی و حتی

بر همین اساس آموزش پرواز با شبیه‌ساز بخشی جدایی‌ناپذیر از آموزش پرواز نیروی هوایی فنلاند است و در آنجا استفاده از پروازهای شبیه‌ساز اجباری است. در آموزش پروازهای ابتدایی در نیروی هوایی فنلاند، هدف از آموزش شبیه‌ساز این است که قبل از اولین پروازها به دانشجویان خلبانی احساس پرواز با هواپیما بدهند، اصول پرواز با ابزار را به آن‌ها آموزش دهند و واکنش‌های غریزی برای دانشجویان در برابر شرایط اضطراری ایجاد کنند [۱۲]. در زمینه شبیه‌سازهای مبتنی بر واقعیت مجازی و بررسی اهمیت آن نیز تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. نظیر این مورد که در آن یک شبیه‌ساز پرواز واقعیت‌مجازی برای ارزیابی نحوه درک خلبانان هواپیما از پروازهای شبیه‌سازی شده در محیط VR در مقایسه با شبیه‌سازهای مبتنی بر ماکت‌های معمولی، پیاده‌سازی و چند آزمایش پروازی در شرایط مختلف با شبیه‌ساز توسط تعدادی از دانشجویان و خلبان مربی‌ها انجام دادند. آنها دریافتند که شبیه‌ساز پرواز VR مورد استفاده، مشابه یا بهتر از شبیه‌سازهای معمولی است و تکرار انجام پروازهای تمرینی با شبیه‌ساز مذکور، عملیات پرواز در شرایط پروازی شدید را آسان‌تر می‌کند. با این حال، دستکاری سیستم‌های الکترونیکی کابین خلبان به راحتی شبیه‌سازهای معمولی نبود اگر چه با تکرار آسان‌تر شد. ضمن اینکه شرکت‌کنندگان در آزمایش، از قابلیت شبیه‌ساز VR در کمک به تجسم زاویه ۳۶۰ درجه از مناظر راضی بودند و شبیه‌ساز پرواز VR، با ویژگی‌های ذاتی آن در سطح بالایی از واقع‌گرایی نسبت به شبیه‌سازهای معمولی بوده است. اما محدودیت‌هایی هم مشاهده شد از جمله دشواری و دقت زیاد مورد نیاز در دستکاری کنترل‌های کابین خلبان که با تمرین بهبود یافت [۱۳]. با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژیکی فعلی، واقعیت‌مجازی به طور قابل توجه‌ای هزینه‌های مرتبط با آموزش پرواز سستی را کاهش می‌دهد. کارآموزان با شبیه‌ساز هواپیما VR می‌توانند اعتماد به نفس و مهارت‌های خود را ایجاد کنند. آموزش واقعیت‌مجازی در دسترس و انعطاف‌پذیر است و نیازهای یادگیری فردی و برنامه‌های آموزشی مختلف را برآورده می‌کند. علاوه بر این، VR قرار گرفتن در موقعیت‌های غیرمعمول و شرایط بحرانی را به منظور پرورش دادن تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی ایجاد می‌کند. ماهیت تکراری تمرین شبیه‌سازها، کارآموزان را قادر می‌سازد تا سناریوهای خاص را مجدداً بررسی کنند، هوش تصمیم‌گیری خود را تقویت کرده و پاسخ خود را به چالش‌های پیچیده، اصلاح کنند. با استفاده از فناوری واقعیت‌مجازی، خلبان‌ها می‌توانند بسیار واقعی و تعاملی با محیط مجازی کار کنند. حس حضور و مشارکت بیشتری را در محیط پرواز تجربه کنند و ارتباط عمیق‌تری را با محتوای آموزشی برقرار کنند، که منجر به رشد سریع مهارت و بهبود تصمیم‌گیری تحت فشار می‌شود. محیط یادگیری بدون خطر آموزش واقعیت‌مجازی در تقویت خودکارآمدی در بین خلبانان بسیار مفید است. خلبانان می‌توانند با خیال راحت محدودیت‌های خود را کشف کنند، اشتباه کنند و از آنها درس بگیرند بدون اینکه از عواقب دنیای واقعی بترسند. این فرآیند آزمون و خطا، همراه با بازخورد فوری، یادگیری مستمر و بهبود مهارت‌ها را ممکن می‌سازد و در نهایت باور

جنگی از آن استفاده می‌شود. شبیه‌ساز پرواز X-Plane توسط یک کمپانی نرم‌افزاری کوچک به نام Laminar Research جهت تمرینات نظامی و بررسی قوانین فیزیک توسعه یافت که پس از مدتی در سال ۲۰۰۰ برای نسخه خانگی منتشر شد. طراحی این برنامه با استفاده از قابلیت‌های هوش مصنوعی انجام شده است. این برنامه که در حال حاضر با نسخه ۱۱ و ۱۱.۵۵ در بازار موجود بوده و اخیراً نیز نسخه ۱۲ آن عرضه شده است و بر روی سیستم عامل‌های ویندوز، لینوکس و مک اجرا می‌شود. این مورد یکی از بهترین شبیه‌سازها برای آموزش خلبانی واقعی است و جالب اینجاست که این محصول مورد تأیید سازمان هوانوردی آمریکا قرار دارد. از این شبیه‌ساز به طور قانونی در مدارس پرواز می‌توان استفاده کرد و مدارس هوایی بسیاری هستند که در آموزش خود از این شبیه‌ساز استفاده می‌کنند. در جدول (۱) این سه شبیه‌ساز از لحاظ برخی ویژگی‌ها به صورت اجمالی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند [۱۶]:

جدول ۱- مقایسه ویژگی شبیه‌سازها

ویژگی‌ها	X-Plane	FSX	P3D
دقت فیزیکی	بسیار بالا	متوسط	بالا
VR پشتیبانی از	بله	خیر	خیر
افزونه‌ها	بسیار زیاد	زیاد	متوسط
شبیه‌سازی شرایط جوی	بله	بله	بله
هزینه	متوسط	پایین	بالا

همانطور که در جدول فوق دیده می‌شود، شبیه‌ساز Xplane برتری محسوسی نسبت به سایر شبیه‌سازهای این حوزه دارد.

#### ۴-۲- معرفی شبیه‌ساز پرواز Xplane

شبیه‌ساز پرواز Xplane یکی از جامع‌ترین و قدرتمندترین شبیه‌ساز پرواز در جهان برای رایانه‌های شخصی است و واقعی‌ترین مدل پرواز موجود را ارائه می‌دهد [۱۷]. از آنجایی که Xplane عملکرد و کارکرد تقریباً هر هواپیما را پیش‌بینی می‌کند، برای خلبانان ابزاری عالی برای حفظ آمادگی خود در شبیه‌سازی‌هایی است که مانند هواپیمای واقعی پرواز می‌کنند و برای مهندسان برای پیش‌بینی نحوه پرواز یک هواپیمای جدید است. Xplane شامل بیش از ۱۵ هواپیما در نصب پیش فرض است که صنعت هوانوردی و تاریخچه آن را در بر می‌گیرد، علاوه بر این حدود ۲۰۰۰ مدل هواپیمای اضافی را می‌توان از اینترنت دانلود کرد، همچنین کاربران می‌توانند هواپیماهای خود را طراحی کرده و آنها را آزمایش کنند. بسته کامل مناظر Xplane زمین را با وضوح خیره‌کننده از عرض جغرافیایی ۷۴ شمالی تا ۶۰ جنوبی پوشش می‌دهد. کاربران می‌توانند در هر یک از بیش از ۳۵۰۰۰ فرودگاه، فرود بیابند یا توانایی خود را بر روی ناوهای هواپیمابر، سکوهای نفتی، ناوچه‌ها یا سکوهای هلیکوپتری بالای ساختمان‌ها، آزمایش کنند. آنها همچنین می‌توانند به طور واقع بینانه پرواز هواپیماهای مدل کنترل از راه دور را مدل‌سازی کنند، با دوستان خود بر فراز اینترنت یا شبکه LAN پرواز و آب را روی

آتش‌سوزی جنگل‌ها رها کنند. موقعیت‌هایی که می‌توان شبیه‌سازی کرد به طرز باورنکردنی متنوع هستند. آب و هوا در Xplane از آسمان صاف و دید زیاد تا رعد و برق با باد قابل کنترل، وزش باد، باران، برف و ابر برای چالش پرواز در دسترس است. شرایط آب و هوایی واقعی را می‌توان از اینترنت بارگیری کرد و به کاربر این امکان را داد که در آب و هوایی که واقعاً در مکان فعلی آنها وجود دارد پرواز کند. Xplane دارای مدل‌سازی دقیق خرابی هواپیما است، با سیستم‌های متعددی که می‌توانند به صورت دستی به دستور مربی یا به‌طور تصادفی زمانی که کاربران انتظارش را ندارند از کار بیفتند. کاربران می‌توانند ابزارها، موتورها، کنترل‌های پرواز، کابل‌های کنترل، آنتن‌ها، چرخ‌های فرود یا هر یک از ده‌ها سیستم دیگر را در هر لحظه از کار بیاندازند. همچنین مربی پرواز می‌تواند زمان، شرایط آب و هوایی و وضعیت خرابی صداها سیستم و اجزای هواپیما را تغییر دهد. مدل‌های هواپیما نیز بسیار انعطاف‌پذیر هستند و به کاربران این امکان را می‌دهند که به راحتی مناظر، صداها و پانل‌های ابزار را ایجاد کنند تا هر هواپیمایی را که انتخاب می‌کنند را تغییر دهند. حتی می‌توان با استفاده از نرم‌افزار Plane Maker طرح‌های سفارشی هواپیما یا هلیکوپتر ایجاد و یا طرح‌های موجود را اصلاح کرد و با Airfoil Maker می‌توان پروفایل‌های عملکرد ایرفویل، ایجاد کرد. Xplane توسط پیمانکاران دفاعی پیشرو در جهان، نیروهای هوایی، سازندگان هواپیما و حتی آژانس‌های فضایی برای کاربردهای مختلف از آموزش پرواز تا طراحی مفهومی و آزمایش پرواز استفاده می‌شود.

برای مثال، Xplane در بررسی‌های سانحه برای به تصویر کشیدن منظره‌ای که خلبانان لحظاتی قبل از برخورد در هوا تجربه کرده‌اند، یا برای ارائه گرافیکی به هیئت منصفه و قضاوت نیروهایی که بر هواپیما در حین پرواز ضربه می‌زنند، استفاده شده است. شرکت Scaled Composites از Xplane برای تجسم پروازهای Space Ship One به لبه جو در شبیه‌ساز آموزش خلبانی خود استفاده کرد. کالیتا از Xplane برای آموزش خلبانان خود برای پرواز کردن با هواپیماهای ۷۴۷ در نیمه شب استفاده کرده است. Northwest و Japan Airlines از Xplane برای بررسی و آموزش پرواز استفاده می‌کنند. سنساز از Xplane برای آموزش مشتریان جدید در مورد پیچیدگی‌های Garmin G1000 استفاده می‌کند. ناسا از Xplane برای آزمایش ورود مجدد گالیدرها به جو مریخ استفاده کرده است. این فهرست از استفاده‌کنندگان شاید مهم‌ترین تأییدیه قابلیت‌های باورنکردنی این شبیه‌ساز باشد. علاوه بر این، Xplane گواهینامه FAA را برای استفاده در ساعات ثبت تجربه پرواز و رتبه‌بندی دریافت کرده است. البته گواهینامه FAA یک شبیه‌ساز مستلزم داشتن نسخه Professional و همچنین سخت‌افزار مناسب (کابین و کنترل پرواز) است. شبیه‌ساز پرواز Xplane دارای یک سیستم جلوه‌ای جدید برای روشنایی، صداها و انفجارهاست. هواپیماهای واقع‌گرایانه، فرودگاه‌های شلوغ و زنده، کامیون‌های سوخت‌پرسه زنان در محیط که می‌توانند به هواپیماها خدمات ارائه دهند. ساختمان‌ها و

## جدول ۲- مشخصات سیستم مورد نیاز [۱۶]

مشخصات مورد نیاز	اجزای رایانه
ویندوز ۷، ۸.۱ یا ۱۰ با پردازنده ۶۴ بیتی	سیستم عامل
cpu اینتل core i3, i5, i7 با ۲ هسته یا بیشتر	پردازنده
حافظه رم ۸ گیگا بایت یا بیشتر	حافظه
DirectX 11 یا بالاتر با حافظه ۵۱۲ مگ یا بیشتر	گرافیک
تقریباً برابر با ۲۰ گیگ (بستگی به مناظر نصب شده)	فضای لازم

### ۵- توسعه و سفارشی سازی شبیه ساز

شبیه ساز پرواز Xplane به روش های مختلف از جمله افزودن هواپیما یا مناظر سفارشی، افزودن پلاگین واقعی کننده و نصب برخی برنامه های با اهمیت دیگر، قابل توسعه و سفارشی سازی است [۱۸].

#### ۱-۵- اضافه کردن هواپیما

فایل هواپیمای سفارشی شامل هواپیما، رنگ آمیزی ها، ایرفویل ها، صداهای سفارشی و پانل های ابزار است. این فایل را باید به پوشه Aircraft برنامه شبیه ساز منتقل کرد. با کمی دانش برنامه نویسی می توان هواپیمای مورد نظر خود را با Plane Maker ایجاد کرد.

#### ۲-۵- اضافه کردن مناظر سفارشی<sup>۱</sup>

بسته مناظر سفارشی فرودگاهی از منابع مختلف مثل سایت Xplane.org قابل تهیه است. این بسته مناظر سفارشی به پوشه 'Custom Scenery' برنامه شبیه ساز منتقل می شود. سایت بعدی سایت Xplane Developer است که اطلاعات زیادی در مورد ایجاد مناظر دارد. برای ایجاد مناظر سفارشی در فرودگاه ها باید از ابزار ویرایشگر World Editor (WED) استفاده کرد.

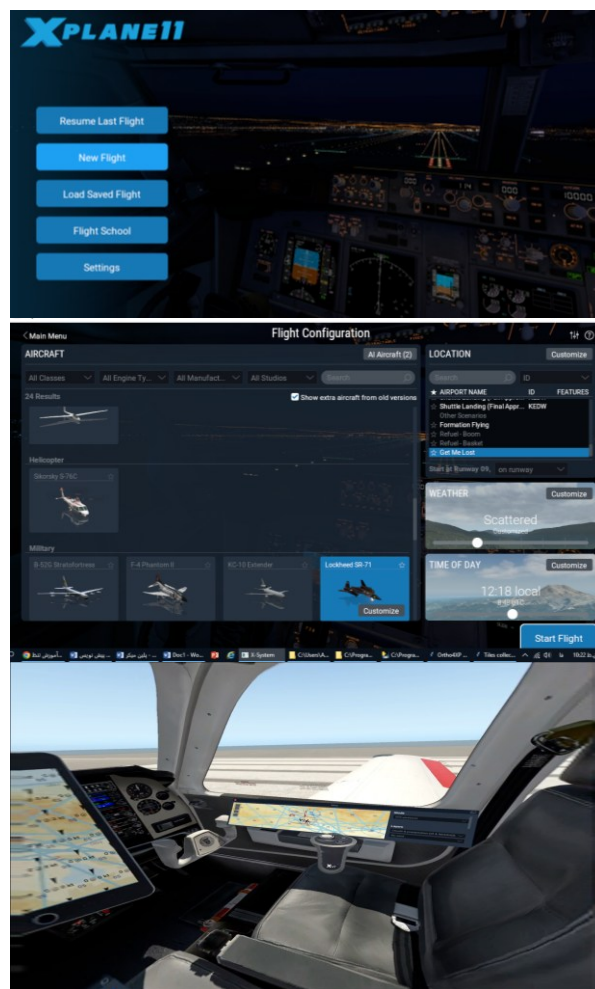
#### ۳-۵- نصب افزونه<sup>۲</sup> واقعی کننده

افزونه های واقعی کننده برنامه های کوچکی هستند که باعث ایجاد تغییراتی در شبیه ساز پرواز Xplane می شوند. سایت Xplane.org مکان خوبی برای یافتن پلاگین های مختلف و چیزهای دیگر برای بهینه سازی شبیه سازی است. همچنین سایت XplaneSDK نیز مستنداتی در مورد توسعه افزونه ها ارائه می دهد.

#### ۴-۵- برنامه های مرتبط با شبیه ساز پرواز

نقشه little map موقعیت هواپیما را در تمام جهان به صورت دقیق نشان می دهد. همچنین موقعیت فرودگاه ها، وضع هوا، میزان باد، میزان بارش و هواپیماهایی که در اطراف پرواز می کنند را به صورت کامل نشان می دهد. قابلیت نمایش پروازهای واقعی در لحظه را که در آسمان واقعی در حال انجام هستند را دارد. برنامه دیگر، Navige raf است. یک برنامه به روز که تمام چارت ها و موقعیت هواپیماها را نشان می دهد. یعنی هواپیما را به صورت یک پیکان روی این نقشه نمایش می دهد که هر لحظه روی چارت حرکت است.

جاده های جدید برای شبیه سازی بهتر شهرها، همگی در شبیه ساز پرواز Xplane تعبیه شده اند، تصاویر بصری و بافت های هواپیماهای موجود در این برنامه بسیار فوق العاده شبیه سازی شده اند. گذشته از خود هواپیماها، محیط هایی که برای پرواز انتخاب می شوند، به دلیل وجود شهرهای واقع گرایانه که مطابق با دنیای واقعی طراحی شده اند، حس عالی به کاربر منتقل می کنند. بزرگ ترین مسئله در گرافیک Xplane، بهینه سازی مناظر و جزئیات پرواز است که می تواند منجر به کمی افت فریم گردد ولی با کاهش تنظیمات گرافیکی می توان تا حدودی این مشکل را برطرف کرد. این نرم افزار قابلیت VR نیز دارد. بنابراین می توان با استفاده از هدست واقعیت مجازی تجربه یک پرواز فوق العاده، متفاوت و کاملاً شبیه به واقعیت را تجربه کرد، به نحوی که به کاربر کاملاً حس حضور در کابین هواپیما می دهد و می تواند یک دید ۳۶۰ درجه داشته باشد و با آزادی کامل به اطراف خود و فضای بیرون نگاه کند. در شکل (۱) تصاویری از محیط برنامه شبیه ساز پرواز Xplane نشان داده شده است.



شکل ۱- تصاویری از محیط شبیه ساز Xplane.

با سیستمی با مشخصات جدول (۲) می توان با حداقل تنظیمات گرافیکی، نرخ حدود ۲۵ فریم بر ثانیه را تجربه کرد.

<sup>2</sup> Plugin

<sup>1</sup> Custom Scenery

## ۶- شبیه‌سازی پیشرفته در Xplane

تعداد زیادی ویژگی و ابزار در Xplane در دسترس است که به ما در اجرای یک شبیه‌سازی واقع بینانه تر کمک می‌کند.

### • نگه داشتن دفترچه گزارش

هر بار که هواپیما در Xplane پرواز می‌کند، برنامه زمان پرواز در یک دفترچه دیجیتال ثبت می‌شود. به طور پیش‌فرض، Xplane یک فایل متنی به نام «Xplane Pilot.txt» ایجاد می‌کند. در داخل این فایل متنی جزئیات پروازهای قبلی ثبت می‌شود.

### • کار با کنترل ترافیک هوایی<sup>۱</sup>

سیستم کنترل ترافیک هوایی ATC زمانی قدرتمند و واقع‌بینانه است تا پروتکل‌های دنیای واقعی پرواز در شبیه‌ساز تمرین شود.

### • استفاده از چک لیست

Xplane قابلیت نمایش چک لیست ساده در شبیه‌ساز را دارد و می‌توان از آن هنگام پرواز استفاده کرد.

### • تغییر نحوه تأثیر آسیب بر هواپیما

با به کارگیری ویژگی‌های مدل‌سازی آسیب، شبیه‌ساز Xplane هم پروازهای آسان و احتمالاً غیرواقعی و هم شبیه‌سازی‌های بسیار دقیق‌تر و چالش برانگیزتر را امکان‌پذیر می‌کند.

### • تنظیم وزن، تعادل و سوخت

تغییر وزن، تعادل و سوخت هواپیما در Xplane امکان‌پذیر است. از آنجایی که Xplane در زمان واقعی محاسبه می‌کند که هواپیما چگونه سوخت می‌سوزاند، سوخت مشخص شده در پرواز، واقعاً مهم است.

### • شبیه‌سازی خرابی تجهیزات

Xplane می‌تواند خرابی‌های زیادی را شبیه‌سازی کند. استفاده از این ویژگی باعث می‌شود تا خلبان تجربه کند وقتی قطعات مهم کار خود را به‌درستی انجام نمی‌دهند، چه اتفاقی خواهد افتاد.

### • سوخت‌گیری در وسط هوا

برای امتحان قدرت سوخت‌گیری با هواپیمای نظامی در هوا و حین پرواز استفاده می‌شود.

## ۷- بهینه‌سازی شبیه‌ساز Xplane

Xplane این قابلیت را دارد تا هواپیما و فرودگاه دلخواه و جدید را به آن افزود و افزونه‌های واقعی‌کننده را به آن اضافه کرد. بنابراین در این تحقیق با استفاده از این قابلیت نسبت به بهینه‌سازی شبیه‌ساز اقدام شده است. این بهینه‌سازی با طراحی فرودگاه آموزشی و بومی کوشک نصرت و ایجاد آبجکت‌ها و مناظر واقع‌گرایانه فرودگاه و همچنین طراحی لیوری جنگنده بومی کوثر و بارگذاری آن در شبیه‌ساز پرواز و از طرفی افزودن برخی واقعی‌کننده‌ها برای طبیعی‌تر شدن و واقعی‌تر شدن مناظر طبیعی و در نهایت نصب و راه‌اندازی هندست واقعیت‌مجازی در محیط شبیه‌ساز، صورت گرفته که در ادامه به آن پرداخته شده است. در این

شبیه‌ساز دینامیک پرواز به خوبی مدل‌سازی و پیاده‌سازی شده است و تلاش شده است آنچه در هنگام پرواز با یک هواپیمای واقعی در شرایط آب و هوایی مختلف رخ می‌دهد، در هنگام استفاده از این شبیه‌ساز نیز اتفاق بیفتد. دینامیک پرواز معمولاً در شبیه‌سازهای مختلف پرواز به صورت جرم نقطه ای مدل می‌شود. یک مدل جرم نقطه ای (PMM) برای مدل‌سازی دینامیک هواپیما استفاده می‌شود. مدل یک سیستم دینامیکی، غیرخطی با سه ورودی کنترلی که با نمادهای  $([\delta, \mu, \gamma])$  و پنج متغیر حالت با نمادهای  $([x1, x2, h, V, \psi])$  است. معادلات حرکت هواپیما عبارتند از:

$$\dot{x}_1 = V \cos(\varphi) \cos(\gamma) \quad (۱)$$

$$\dot{x}_2 = V \sin(\varphi) \cos(\gamma) \quad (۲)$$

$$\dot{h} = V \sin(\gamma) \quad (۳)$$

$$V = -\frac{C_D S \rho V^2}{2m} - g \sin(\gamma) + \frac{T \cos(\alpha)}{m} \quad (۴)$$

$$\dot{\varphi} = \left( \frac{C_L S \rho V}{2m} + \frac{T \sin(\alpha)}{mV} \right) \frac{\sin(\mu)}{\cos(\gamma)} \quad (۵)$$

که در آن رانش (T) با توجه به سطح دریچه گاز ( $\delta$ ) ایجاد می‌شود. اما با وجود مدل‌سازی دقیق ریاضی و گرافیکی، این شبیه‌ساز باید برای هر استفاده‌ای شخصی‌سازی شود. در شبیه‌ساز بهینه شده که مبتنی بر موتور شبیه‌سازی Xplane است، از این معادلات به منظور دینامیک پرواز و ارائه یک پرواز شبیه‌سازی شده مشابه آنچه در واقعیت رخ می‌دهد، استفاده شده است.

### ۷-۱- ایجاد و ویرایش فرودگاه کوشک نصرت با (WED)

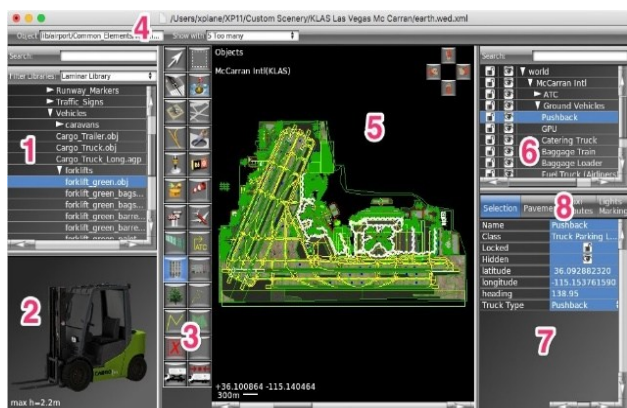
برنامه World Editor یک ویرایشگر پوششی با رابط کاربری گرافیکی برای تسهیل ویرایش فرودگاه‌ها است. هدف اصلی این ابزار اصلاح طرح‌بندی فرودگاه است. طراحی مناظر فرودگاه کوشک نصرت توسط WED در چند مرحله به شرح ذیل انجام شده است:

#### • مرحله اول: import نقشه فرودگاه به برنامه WED

برای شروع کار ابتدا نقشه خام فرودگاه دانلود می‌شود. این کار از طریق گزینه فایل در برنامه WED و سپس گزینه Import gateway و دانلود فایل نقشه فرودگاه از سایت اصلی آن انجام می‌شود. در روش دیگر کد ایکائو فرودگاه را از Skyvector.com مطابق شکل (۲) استخراج می‌شود (کد ایکائو در اینجا OIIC است) [۱۹]. سپس طبق شکل (۳) وارد سایت Gateway.x-plane.com شده و پس از ثبت نام و ساخت اکانت، با جستجوی OIIC، نقشه فرودگاه را در قالب یک فایل apt (OIIC\_Scenery\_Pack). دانلود و سپس فایل دریافتی در مسیر نصب برنامه Xplane در پوشه Custom Scenery ذخیره می‌شود. در این تحقیق، از این روش استفاده شده است [۲۰].

<sup>۱</sup> Air traffic control

طراحی فرودگاه ایراد داشته باشد پیغام خطا نمایش داده و لیست ایرادات هم نمایش داده می‌شود تا بتوان به راحتی آن را اصلاح کرد.



شکل ۴- پنجره کاربری برنامه WED.

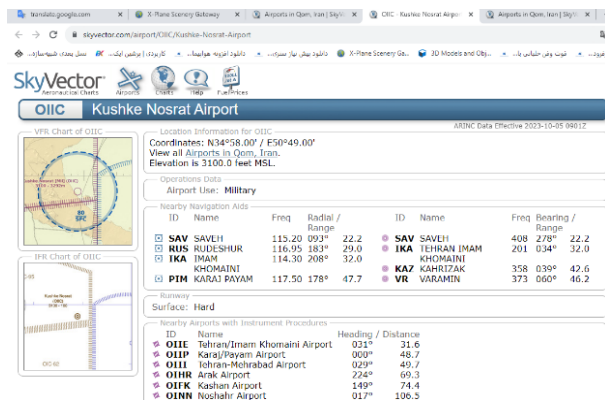


شکل ۵- تصاویر فرودگاه طراحی شده کوشک نصرت در WED.

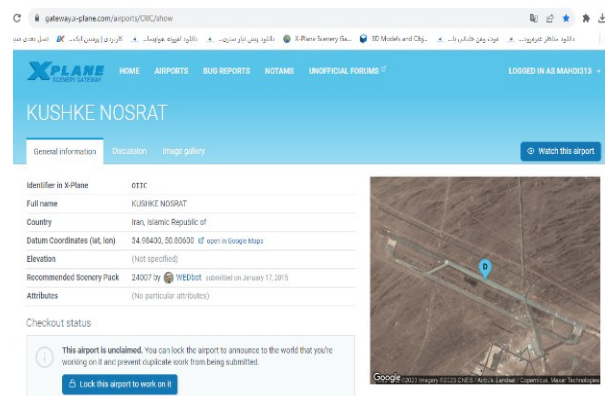
مرحله سوم: انتقال فرودگاه طراحی شده به شبیه‌ساز در انتها جهت اعمال و انتقال فرودگاه طراحی شده به برنامه Xplane و نمایش آن، از منوی فایل گزینه Export scenery pack را انتخاب و خروجی کار به برنامه شبیه‌ساز منتقل می‌شود. با اجرای شبیه‌ساز، در لیست فرودگاه‌ها، فرودگاه طراحی شده کوشک نصرت مشاهده می‌شود و می‌توان آن را انتخاب کرد.

### ۷-۲- ساخت آبجکت‌ها با SketchUp و Photoshop

خیلی از آبجکت‌ها و اشکال در فرودگاه کوشک وجود داشت که در کتابخانه برنامه Xplane مشابه آن پیدا نشد بنابراین برای شبیه بودن هرچه بیشتر فرودگاه طراحی شده با فرودگاه واقعی لازم بود تا خیلی از جزئیات با استفاده از تصاویر واقعی فرودگاه ساخته و به کتابخانه برنامه اضافه شود. برنامه‌های گرافیکی مختلفی وجود دارد که می‌توان از آنها برای ساختن اشکال سه‌بعدی استفاده کرد همچون BELENDER، 3D MAX و AC3D اما در این مطالعه از برنامه SketchUp استفاده شد. همچنین با برنامه فتوشاپ، بافت هر آبجکت بر اساس تصاویر واقعی به دست آمده از اماکن و اشیاء موجود در فرودگاه، طراحی شد. روش کلی این کار به شرح ذیل است:



شکل ۲- مشخصات فرودگاه کوشک نصرت در skyvector.com [۱۹].



شکل ۳- نقشه فرودگاه از سایت Gateway.x-plane.com [۲۰].

### مرحله دوم: افزودن اشیاء<sup>۱</sup> و ایجاد مناظر در فرودگاه

برنامه WED اجرا و از لیست فرودگاه‌های موجود فرودگاه کوشک نصرت انتخاب شد و با گزینه OPEN نقشه فرودگاه در پنجره کاربری برنامه اجرا می‌شود. همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود، در پنجره باز شده، هشت بخش شامل موارد زیر دیده می‌شود: ۱- صفحه کتابخانه ۲- صفحه پیش نمایش کتابخانه ۳- نوار ابزار ۴- پیش فرض‌های ابزار ۵- صفحه نقشه ۶- بخش موارد استفاده شده قبلی در منظره ( Hierarchy Pane) ۷- صفحه ویژگی‌ها ۸- ویرایش برگه‌ها. با استفاده از کتابخانه موجود در برنامه و همچنین نوار ابزار برنامه، تمامی اشیاء و پارامترهای فرودگاه مطابق با مناظر واقعی آن، بر روی نقشه اعمال شد. تمامی اماکن و تأسیسات موجود در یک فرودگاه از قبیل آشیانه<sup>۲</sup>، ساختمان‌های اداری، برج مراقبت، هواپیمابها، پوشش گیاهی، خودروها و غیره که در بخش کتابخانه برنامه موجود است، به برنامه اضافه شد. دقیقاً منطبق با نقشه سه‌بعدی فرودگاه، آبجکت‌ها، جایگذاری و برای پیاده‌سازی باند، جاده‌ها، خطوط جاده و باند، علامت‌ها و خیلی موارد دیگر نیز از نوار ابزار استفاده شد و نتیجه نهایی کار در شکل (۵) دیده می‌شود. پس از هر بار ویرایش در نقشه فرودگاه باید تغییرات ذخیره شود. در آخر برای اطمینان از درستی تغییرات انجام شده، از منوی فایل و گزینه Validate صحت عملیات بررسی می‌شود. در صورت انجام صحیح تغییرات پیغام داده می‌شود که هیچ مشکلی پیدا نشد. در صورتی که جایی از ویرایش و

<sup>2</sup> Hangar

<sup>1</sup> Object

در محل نصب Xplane در پوشه custom scenery و در پوشه فرودگاه کوشک نصرت (OIIC\_Scenery\_Pack) یک پوشه با عنوان Objects ایجاد شد. سپس فایل‌های تولید شده هر آبجکت مطابق شکل (۸)، داخل این پوشه کپی شد.

This PC > New Volume (D:) > xplane11 > X-Plane 11 > Custom Scenery > OIIC\_Scenery\_Pack > OBJECTS



شکل ۸- تصاویر مراحل افزودن آبجکت‌ها به شبیه‌ساز.

مرحله پنجم: نوشتن دستور خواندن آبجکت‌ها  
در همین پوشه یک فایل متنی با نام library ایجاد و در آن دستورات مربوط به خواندن آبجکت‌ها به شرح زیر نوشته می‌شود.

A

800

LIBRARY

```
EXPORT objects/CANECS.obj objects/CANECS.obj
EXPORTobjects/SALON_1.obj objects/SALON_1.obj
##TZD=0d01d7656b7
##ATTR=0.1
##END
```

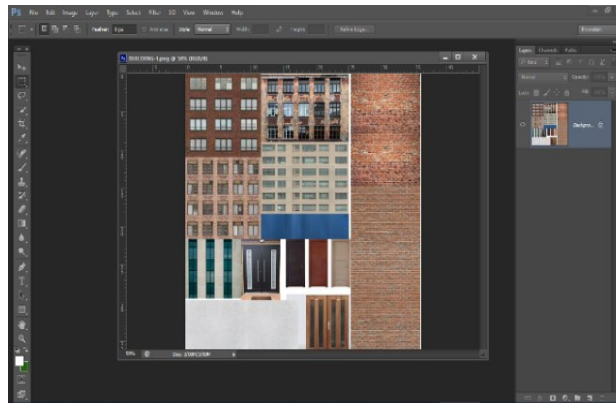
همانطور که در کد دستوری نمونه فوق دیده می‌شود سه سطر اول و سه سطر آخر این دستورات ثابت هستند و هر سطر نیز به یک آبجکت اختصاص یافته است برای مثال برای آبجکتی با عنوان CANECS ابتدا کلمه EXPORT و بعد آبجکت مذکور به صورت objects/CANECS.obj نوشته می‌شود. سپس به اندازه ۴ کاراکتر فاصله گذاشته و عنوان بافت مربوط به آن آبجکت، در ادامه آن نوشته می‌شود. (ترجیحاً اسم آبجکت و نام بافت آن یکسان تعیین شود). این دستور برای هر آبجکتی که ایجاد شده، باید نوشته شود. در اینجا برای شش آبجکت مختلف کدهای دستوری شکل (۹) نوشته شده است. حال اگر وارد برنامه WED شویم مطابق شکل (۱۰) لیست آبجکت‌هایی را که درست کرده‌ایم را می‌توانیم در سمت چپ برنامه در کتابخانه با عنوان آبجکت‌های Local مشاهده کنیم و مانند سایر آبجکت‌های برنامه، از آنها در طراحی فرودگاه بهره ببریم. در شکل (۱۱) آبجکت‌های اضافه شده به فرودگاه کوشک نصرت در محیط شبیه ساز دید می‌شود.

## مرحله اول: دریافت فایل نقشه فرودگاه

با توجه به تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر واقعی گرفته شده، مشخصات مختلف اماکن و اشیاء داخل فرودگاه همچون، ابعاد، رنگ، نوع بافت و غیره بررسی و اطلاعات لازم جمع آوری شد.

## مرحله دوم: ساخت بافت اشیاء<sup>۱</sup>

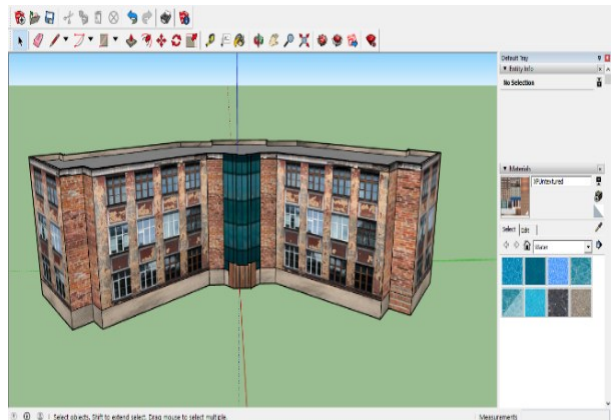
بر اساس اطلاعات به دست آمده از آبجکت‌ها، ابتدا با استفاده از برنامه photoshop و با بهره‌گیری از بافت‌های در دسترس و همچنین بافت تصاویر واقعی هر شیء، یک فایل بافت (texture) مانند شکل (۶) که در برگزیده تمام بخش‌های بافت ظاهری است، ایجاد شد.



شکل ۶- نمونه Texture طراحی شده.

## مرحله سوم: ساخت اشکال سه‌بعدی

با برنامه SketchUp شکل سه‌بعدی اشیاء با ابعادی متناسب با شکل واقعی آن ایجاد و با استفاده از texture ایجاد شده برای هر شیء در مرحله قبل، بافت ظاهری هر شکل نیز بر روی آن کشیده شد که یک نمونه از آن در شکل (۷) دیده می‌شود. در نهایت نیز از منوی FAIL گزینه Export x-plane Object فایل خروجی برای Xplane ایجاد شد. خروجی این طراحی سه تا فایل مختلف با فرمت‌های (obj)، (skb) و (png) است. باید توجه داشت که برای هر آبجکت حتماً نام آبجکت و نام بافت باید یکسان باشد.



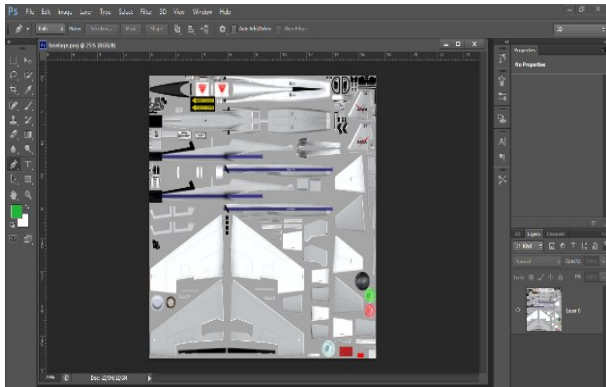
شکل ۷- نمونه آبجکت طراحی شده با SketchUp.

## مرحله چهارم: افزودن آبجکت‌ها به برنامه WED

<sup>۱</sup> Texture

• **مرحله اول: انتخاب هواپیمای الگو**

ابتدا افزونه این هواپیما از سایت اسکایتو دانلود شد. این افزونه یک پوشه مشتمل بر Airfoils، Cockpit، liveries، objects و sounds است. همان طور که از محتویات ذکر شده مشخص است، بخش‌های مختلف هواپیما به صورت جداگانه طراحی و دسته‌بندی شده است. یکی از این بخش‌ها، پوشه لیوری هواپیماست که شامل فایل‌های train moteur و fuselage است. بافت ظاهری بدنه هواپیما همان فایل fuselage مطابق شکل (۱۲) است. از پوشه liveries فایل fuselage با فرمت PNG انتخاب می‌شود.



شکل ۱۲- فایل fuselage با فرمت png .

• **مرحله دوم: انتخاب لیوری مورد نظر**

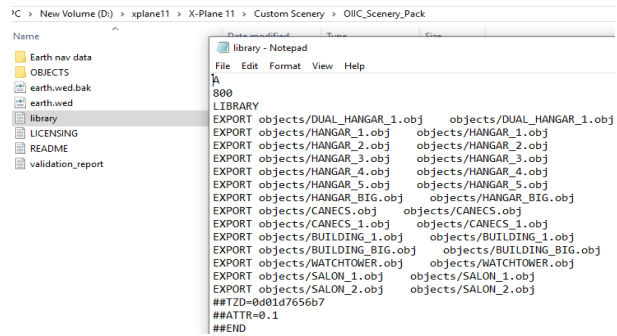
برای انجام تغییرات مورد نظر بر روی فایل fuselage تصویری از زوایای مختلف هواپیمای کوثر مطابق شکل (۱۳) تهیه شد.



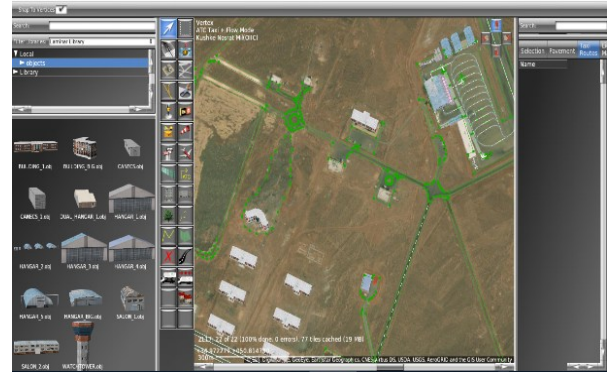
شکل ۱۳- تصویری از هواپیمای کوثر برای ساخت لیوری این جنگنده

• **مرحله سوم: طراحی لیوری بدنه جنگنده کوثر**

فایل fuselage را در photoshop باز و با ابزارهای در اختیار، بافت بدنه جنگنده کوثر بر روی قطعات از هم تفکیک شده بدنه، طراحی و رنگ‌آمیزی شد. پس از اعمال تمام تغییرات مورد نظر در قطعات بدنه هواپیما، فایل مذکور، مجدداً با نام fuselage ذخیره شد. نتیجه کار در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۹- تصویر کد دستوری خواندن آبجکت‌ها در شبیه‌ساز



شکل ۱۰- آبجکت‌های افزوده شده به فرودگاه.



شکل ۱۱- نمونه آبجکت‌های فرودگاه در محیط شبیه‌ساز.

۳-۷- **طراحی و ویرایش بافت بدنه<sup>۱</sup> جنگنده کوثر**

در این مطالعه برای طراحی لیوری هواپیمای کوثر از نمونه آماده هواپیمای آموزشی (Northrop T-38 Talon)، استفاده شده است. هواپیمای کوثر از نظر ظاهری بسیار شبیه به این هواپیما است.

**Livery**

- **طبیعی کننده فیزیک هواپیما XP REALSTIC**

هر چند شبیه‌ساز پرواز ایکس پلین به دقت بالا در فیزیک هواپیماها معروف است اما این افزونه دقت آن را افزایش داده و حس واقعی‌تری برای پرواز با شبیه‌ساز را ایجاد می‌کند. قدرتمندترین پلاگین طبیعی کننده شبیه‌ساز پرواز X-Plane که پرواز با آن کیفیت بالاتری خواهد داشت، XPRealistic است، که به شبیه‌ساز اضافه شده است.

- **طبیعی کننده شهرها و سطح زمین SFD GLOBAL**

افزونه طبیعی کننده شهرها و سطح زمین SFD Global یک واقعی کننده بی نظیر برای Xplane11 است که شهرها و ساختمان‌ها را بسیار واقعی و لذت پرواز را با تماشای مناظر طبیعی سطح زمین و شهرها دو چندان می‌کند، که به شبیه‌ساز افزوده شد.

- **افزونه مناظر فرودگاهی ایران**

مناظر فرودگاهی یا همان سینری‌های ساخته شده را می‌توان از سایت‌های Xplane.com، Skyto.org و persianxplane.i دانلود و به شبیه‌ساز اضافه کرد. تعدادی از مناظر فرودگاهی نظیر فرودگاه امام، مهرآباد، قزوین، کرمان، رشت، ابوموسی، پیام و... به شبیه‌ساز افزوده شد.

- **افزونه هواپیماهای Xplane**

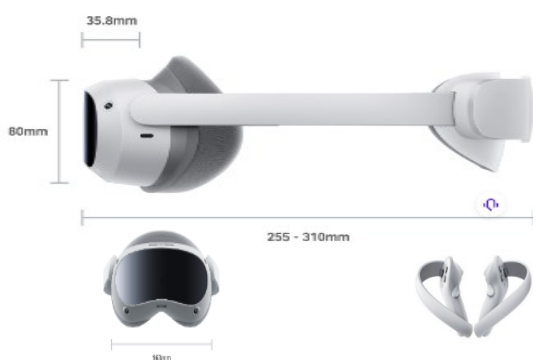
برای تجربه پرواز با هواپیماهای مختلف در شبیه‌ساز پرواز Xplane می‌توان انواع هواپیماهای عمومی و نظامی را از سایت‌هایی همچون Xplane.com، Skyto.org و Persianxplane.ir تهیه و به شبیه‌ساز اضافه نمود. هواپیمای بونانزا به عنوان نمونه افزوده شد.

- **افزونه صدا مکالمه با برج مراقبت ATCCHATTER**

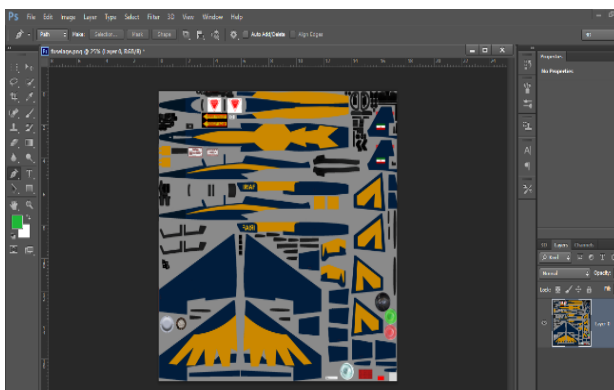
یک افزونه جذاب برای صدای مکالمات ATC است، با استفاده از این پلاگین زمانی که بر روی فرکانس‌های مختلف سوئیچ می‌کنیم، صدای مربوط به هر فرکانس و هر منطقه جغرافیایی را می‌شنویم و حس واقع گرایانه‌تری به شبیه‌ساز اضافه می‌شود.

- **۸- اتصال هدست Pico4 به رایانه**

در اینجا از هدست واقعیت مجازی pico4 شکل (۱۶) دارای حافظه ۲۵۶ گیگ و باند فرکانسی ۵ گیگاهرتز استفاده شده است. باید دقت شود که رایانه مورد استفاده نیز از وای فای باند فرکانسی ۵ گیگاهرتز پشتیبانی نماید. هدست pico4 به سه طریق به رایانه متصل می‌شود:



شکل ۱۶- هدست واقعیت مجازی PICO4 و کنترلر آن



شکل ۱۴- فایل fuselage طراحی شده.

- **مرحله چهارم: انتقال فایل جدید به شبیه‌ساز**

این فایل با فایل fuselage در پوشه افزونه هواپیمای T-38A جایگزین و سپس با تغییر آن به KOSAR IRIAF در مسیر نصب Xplane به پوشه Aircraft انتقال داده شد. حال با اجرای شبیه‌ساز می‌توان از لیست موجود هواپیماها، جنگنده کوثر با لیوری جدید طراحی شده را انتخاب کرد که حاصل کار در شکل (۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۵- لیوری طراحی شده برای بدنه هواپیمای کوثر.

- **۷-۴- افزودن واقعی کننده‌ها به شبیه‌ساز**

شبیه سازهای پرواز به صورت پیش فرض هواپیماها و مناظر فرودگاهی حرفه‌ای ندارند به همین دلیل ممکن است عملکرد نرم‌افزاری آنها با واقعیت تفاوت داشته باشد و یا مناظر محیط اطراف بیش از حد کامپیوتری باشد و کسی که از آن استفاده می‌کند حس پرواز واقعی را به خود نگیرد. به همین دلیل افزونه‌های حرفه‌ای مناظر طبیعی، مناظر فرودگاهی، شهرها، صدای محیط و هواپیماها و غیره در شبیه‌ساز پرواز Xplane، برای طبیعی تر شدن و واقعی تر شدن محیط پرواز، به این شبیه‌ساز افزوده شد. این افزونه‌ها عبارتند از:

- **فتوریل‌ها با برنامه Ortho4XP**

این برنامه از نقشه‌ها و سورس‌های مختلف ماهواره‌ای استفاده کرده و داده‌هایی را می‌گیرد و تبدیل به عکس کرده و در شبیه‌ساز قرار می‌دهد بطوریکه بافت زمین مشابه بافت دنیای واقعی می‌شود. عکس منطقه تهران و برخی مناطق همجوار نمونه به شبیه‌ساز اضافه شد.

## • اتصال با کابل USB-C از طریق Stream Assistant

- 1- روی رایانه و هدست، نصب می‌شود.
- 2- Stream Assistant روی رایانه اجرا و هدست روی سر قرار می‌گیرد.
- 3- Stream Assistant در هدست اجرا و به رایانه متصل می‌شویم.

## • اتصال بی‌سیم از طریق Virtual Desktop

- 1- Virtual Desktop روی هدست و Virtual Desktop Streamer روی رایانه نصب می‌شوند.
- 2- Virtual Desktop Streamer اجرا و هدست روی سر قرار می‌گیرد.
- 3- برنامه Virtual Desktop در هدست اجرا و به رایانه متصل می‌شویم.

## • اتصال بی‌سیم از طریق Streaming Assistant

- این همان روشی است که در این مطالعه از آن استفاده شده است.
- 1- Streaming Assistant روی رایانه و هدست pico نصب می‌شود.
  - 2- Streaming Assistant در رایانه اجرا و هدست بر سر قرار می‌گیرد.
  - 3- Streaming Assistant در هدست اجرا و به رایانه وصل می‌شود.
- باند وای‌فای این هدست ۵ گیگاهرتز است، بنابراین رایانه‌ای با وای‌فای ۵ گیگ انتخاب شد و برای اتصال هدست به رایانه نیز از یک روتر مودم با باند فرکانسی ۵ گیگ استفاده گردید. در اشکال (۱۷) تصاویری از محیط شبیه‌ساز در هدست واقعیت مجازی که بصورت بی‌سیم متصل شده، از دید کارآموز پرواز که در حال کار با کنترلرها و تنظیم شرایط پروازی، فرودگاه مبداء و مقصد و انتخاب هواپیما است نشان داده شده است.



شکل ۱۷- تصاویر محیط شبیه‌ساز پرواز در واقعیت مجازی

## ۹- تنظیمات سخت افزار

به منظور واقعی‌سازی و غوطه‌وری هرچه بیشتر شبیه‌ساز پرواز، تجهیزات سخت‌افزاری مثل یوک، تراتل و پدال شکل (۱۸)، به شبیه‌ساز پرواز اضافه شد.



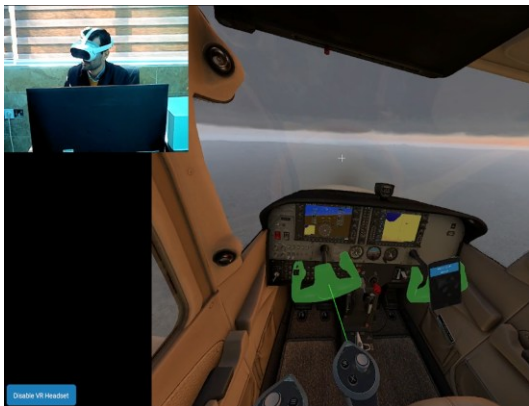
شکل ۱۸- تصاویر یوک، تراتل و پدال

این تجهیزات نیاز به تنظیماتی دارند تا خلبان بتواند حرکت در جهات Roll، Pitch و Yaw را به کمک آنها انجام دهد، همانطور که در پرواز واقعی نیز تجهیزاتی به این منظور وجود دارند. بعد از اتصال سخت‌افزاری این تجهیزات به کامپیوتر اجرا کننده شبیه‌ساز، باید تنظیمات لازم بر روی آنها انجام گیرد. به منظور تنظیم دقیق هر کدام از تجهیزات سخت‌افزاری، ما از منحنی پاسخ در نرم‌افزار Xplane استفاده می‌کنیم. منحنی پاسخ (Response Curve) برای تغییر حساسیت جوی‌استیک به غیر یکنواخت بودن در محدوده یک محور، استفاده می‌شود. برای نمونه اگر یک خط مورب مسطح برای منحنی Pitch داشته باشیم، پاسخ در سراسر محدوده محور ما یکنواخت خواهد بود. اما جوی‌استیک ممکن است برد حرکت یک یوک واقعی در هواپیما را نداشته باشد. حرکات فیزیکی روی جوی‌استیک کوچکتر از مقدار آن در هواپیماهای واقعی برای رسیدن به همان مقدار انحراف سطح کنترل هستند. بنابراین می‌توان منحنی پاسخ تجهیزات سخت‌افزاری متصل شده به شبیه‌ساز را به منظور بازدهی بهتر اصلاح کنیم. به عنوان نمونه منحنی‌های پاسخ pitch و roll یوک و همچنین تراتل متصل به شبیه‌ساز به ترتیب در شکل‌های (۱۹، ۲۰ و ۲۱) نشان داده شده‌اند. منحنی‌های پاسخ مشابهی نیز برای حرکت در محورهای مختلف جوی‌استیک جنگنده بعد از اتصال آن به شبیه‌ساز خواهیم داشت، که به طور مشابه می‌توان آنها را ویرایش و اصلاح نمود. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، محور افقی میزان حرکت در سخت‌افزار و محور عمودی میزان تأثیر گذاری در محور مربوطه است. در اشکال (۱۹ و ۲۰) که مربوط به محورهای pitch و roll هستند، میزان تأثیر گذاری در ابتدای حرکت یا چرخش یوک کم بوده اما در انتهای آنها افزایش می‌یابد. اما در شکل (۲۱) منحنی پاسخ تراتل تقریباً خطی است هر چند که در انتها، تأثیر گذاری حرکت کشویی تراتل کمی بیشتر می‌شود. دلیل

مناسب و مطلوبی جهت استفاده در مراکز هوانوردی برای ارائه آموزش و ارتقاء مهارت پرواز کارآموزان و خلبانان می باشد.



شکل ۲۲- تصاویر پرواز با جنگنده کوثر در شبیه ساز بهینه شده

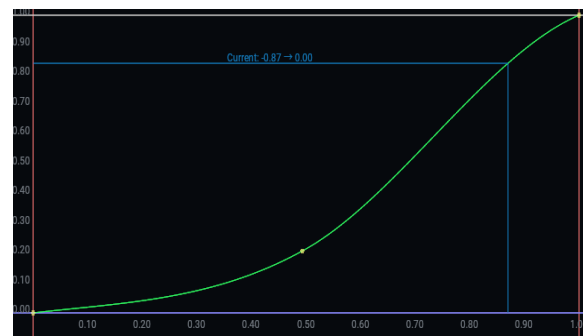


شکل ۲۳- پرواز آزمایشی با سسنا ۱۷۲ در شبیه ساز بهینه شده

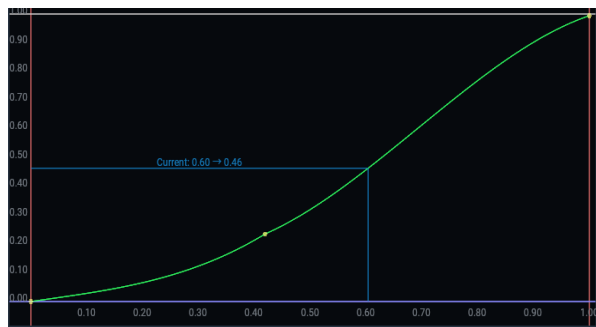
جدول ۳- ارزیابی شبیه ساز پرواز دسکتاپ و واقعیت مجازی

پارامترهای ارزیابی	اجرای برنامه شبیه ساز پرواز در دسکتاپ	اجرای برنامه شبیه ساز پرواز در واقعیت مجازی
سهولت کاربری	زیاد	زیاد
واقع گرایی	بسیار زیاد	متوسط
غوطه وری	بسیار زیاد	متوسط
ارتقاء آموزش	زیاد	زیاد
میزان هزینه	متوسط	کم
میزان امنیت	بسیار زیاد	بسیار زیاد
دسترسی پذیری	بسیار زیاد	بسیار زیاد
فضای مورد نیاز	کم	کم
جذابیت آموزش	بسیار زیاد	زیاد

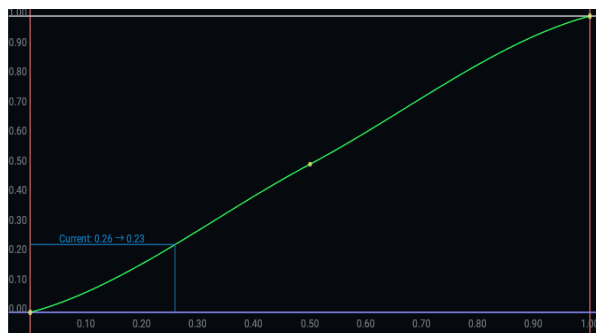
اینگونه تنظیمات سخت افزار مربوط به انتظاری می شود که از آنها برای کنترل پرواز داریم.



شکل ۱۹- منحنی پاسخ مربوط به pitch سخت افزار یوک



شکل ۲۰- منحنی پاسخ مربوط به roll سخت افزار یوک



شکل ۲۱- منحنی پاسخ مربوط به throttle سخت افزار

### ۱۰- آزمایش پرواز با شبیه ساز Xplane بهینه شده

پس از طراحی فرودگاه کوشک نصرت، طراحی لیوری جنگنده کوثر و فعالسازی قابلیت محیط واقعیت مجازی برای شبیه ساز Xplane، بهینه سازی های مورد نظر به پایان رسید. سپس شبیه ساز اجرا و با جنگنده کوثر و یک هواپیمای سبک (سسنا ۱۷۲) در فرودگاه کوشک نصرت تست شد که تصاویر آنها به ترتیب در شکل های (۲۲) و (۲۳) نشان داده شده اند. پروازهای آزمایشی به صورت دسکتاپ و همچنین واقعیت مجازی صورت گرفت و مراحل مختلف پرواز نظیر تاکسی کردن، تیک آف و لندینگ و غیره انجام و عملکرد شبیه ساز ارزیابی گردید. ارزیابی های صورت گرفته از پروازهای آزمایشی و تمرینی با شبیه ساز پرواز بهینه شده در دو محیط دسکتاپ و واقعیت مجازی نتایج زیر مطابق جدول (۳) را در برداشت. بر اساس نتایج حاصله می توان با اطمینان عنوان کرد، برنامه شبیه ساز پرواز مبتنی بر واقعیت مجازی گزینه بسیار

- [1] D. Brutzman, "'X3D Graphics and VR'," In W3C Workshop, Virtual Reality (VR) and the Web, 2016.
- [2] M. Mihelj, D. Novak, and S. Beguš, "Virtual reality technology and applications," 2014.
- [3] P. A. Hebbar, S. Vinod, A. K. Shah, A. A. Pashilkar, and P. Biswas, "Cognitive load estimation in VR flight simulator," *Journal of Eye Movement Research*, vol. 15(3), 2022.
- [4] M. Y. Wei, S. A. Fang, and J. W. Liu, , "Design and implementation of a new training flight simulator system," *Sensors*, vol. 22(20), 7933, 2022.
- [5] E. Sargent, "The Link Trainer," Royal United Services Institution. *Journal*, vol. 84(535), pp. 590-592, 1939.
- [6] N. C. Weingarten, "History of in-flight simulation at general dynamics," *Journal of aircraft*, vol. 42(2), pp. 290-298, 2005.
- [7] I. Guerrero, and T. Vallès-Català, "Virtual reality flight simulation for pilot training: studying arousal levels during an emergency landing," In *INTED2023 Proceedings*, pp. 2594-2599, 2023.
- [8] "tinnn," [Online]. Available: <https://www.tinn.ir/fa/tiny/news-199795>. [Accessed Febuary 8 2025].
- [9] The Editors of Encyclopaedia Britannica, "Encyclopedia Britannica," 9 nov 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/flight-simulator>. [Accessed Febuary 8 2025].
- [10] H. Mohamad-Hosein, T. Zeinoddin, E. Ijabi, "The Obligation to Use the Flight simulators to Enhance Training of I.R.I.A.A Fix Wing Pilots," [https://www.qjmst.ir/article\\_32658.html](https://www.qjmst.ir/article_32658.html), 13, 42, 1396, 31-61.
- [11] H. Prayitno, M. Cholikh, L. Anifah, A. Wardhono, and P. Wicaksono, "Improving Pilot Competence Through Flying Practice Learning Using Flight Simulator at the Indonesia Civil Pilot Academy of Banyuwangi," *Journal of Law and Sustainable Development*, vol. 12, 2024.
- [12] K. Saastamoinen, K. Maunula, "Usefulness of flight simulator as a part of military pilots training—case study: Grob G 115E," *Procedia Computer Science*, vol. 192, pp. 1670-1676, 2021.
- [13] C. G. Oh, "Pros and cons of a VR-based flight training simulator; empirical evaluations by student and instructor pilots," In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol. 64, No. 1, pp. 193-197, 2020.
- [14] R. L. Thomas, J. L. Albelo, and M. Wiggins, "Enhancing Pilot Training Through Virtual Reality: Recognizing and Mitigating Aviation Visual and Vestibular Illusions," *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, vol. 10(3), 10, 2023.
- [15] T. Aslandere, D. Dreyer, F. Pankratz, and R. Schubotz, "A generic virtual reality flight simulator," In *Virtuelle und Erweiterte Realität*, 11. Workshop der GI-Fachgruppe Tagung Band, pp. 1-13, Shaker Verlag, 2014.
- [16] dastanpour, "flight-simulator," [Online]. Available: <https://skyto.org/flight-simulator>. [Accessed Febuary 8 2025].
- [17] C. Lombardo, I. Miller, J. Wallace, "Studying the interaction of UAS and human pilots using the X-Plane flight simulator," In *2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp. 557-561, 2016.

با توجه به ارزیابی‌های انجام شده و تکرار چندین باره پرواز با شبیه‌ساز بهینه‌شده توسط دو نفر از دانشجویان خلبانی، دو نفر از خلبانان و دو نفر از اساتید دانشگاه هوایی شهید ستاری و همچنین نویسندگان این مقاله، مشاهده شد که استفاده از فرودگاه و هواپیماهای بومی طراحی شده در شبیه‌ساز Xplane و همچنین انجام پرواز در واقعیت مجازی با بهره‌گیری از هدست‌های VR، حس حضور فوق‌العاده جذابی از یک پرواز، به کاربر می‌دهد. این جذابیت و جزئیات دقیق و واقع‌گرایانه از محیط پرواز، تأثیر قابل توجهی در کیفیت و کمیت آموزش‌های خلبانی دارد. شبیه‌ساز بهینه شده، به دلیل دقت بالا، قابلیت‌های گسترده و پشتیبانی از VR، ابزاری ایده‌آل برای آموزش خلبانان در مراکز آموزش هوانوردی است. استفاده از این شبیه‌ساز نه تنها هزینه‌های آموزشی را کاهش می‌دهد، بلکه ایمنی و کارایی آموزش را نیز به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. چنین شبیه‌ساز پروازی نه تنها یک ابزار آموزشی، بلکه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در هوانوردی مدرن است و می‌تواند به عنوان روشی نوین، مؤثر و جذاب در مراکز و آموزشگاه‌های هوانوردی جهت آشنایی دانشجویان خلبانی با جزئیات پرواز با هواپیمای واقعی باشد. همچنین می‌تواند توسط خلبانان برای مرور مهارت‌های پروازی خود در هر مکان و زمانی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین مراکز هوانوردی با به‌کارگیری این فناوری می‌توانند خلبانانی کارآمدتر، ایمن‌تر و با اعتماد به نفس بالاتر تربیت کنند. نتایج ارزیابی شبیه‌ساز پرواز بهینه شده در هنگام انجام پروازهای آزمایشی به شرح ذیل است:

- ۱- تمام بهینه‌سازی‌ها و طراحی‌ها در شبیه‌ساز به درستی عمل کردند.
- ۲- در پرواز به صورت واقعیت مجازی، حس حضور خلبان در محیط واقعی پرواز به مراتب بیشتر از پرواز به صورت دسکتاپ است.
- ۳- غوطه‌وری خلبان در محیط سه‌بعدی و همه‌جانبه‌ی کابین هواپیما در واقعیت مجازی بسیار جذاب و جالب است.
- ۴- پرواز با شبیه‌ساز پرواز Xplane در فرودگاه کوشک‌نصرت و هواپیمای کوثر، این حس را به خلبان انتقال می‌دهد که گویی واقعاً در حال پرواز با همان هواپیما و در همان فرودگاه در دنیای واقعی قرار دارد.
- ۵- فضای کم مورد نیاز و دسترس‌پذیری زیاد شبیه‌ساز در هر زمان و مکانی جهت استفاده و انجام تمرین‌های پروازی، کاملاً مشهود بود.
- ۶- در دفعات اول استفاده از هدست VR، کمی خستگی چشم و در زمان جابجایی و تغییر مسیر ناگهانی در حین پرواز کمی حالت تهوع به کاربر دست می‌دهد. اما با تکرار پرواز، این حالت‌ها کمتر و عادی می‌شود.
- ۷- دستکاری دکمه‌ها و ابزار داخلی کابین خلبان در واقعیت مجازی با استفاده کنترلرهای لیزری، به راحتی انجام نمی‌شد اما با تکرار و در دفعات بعد تسلط و مهارت خلبان در این کار بیشتر شده و به سهولت انجام شد.
- ۸- جهت توسعه و بهبود عملکرد شبیه‌ساز، حرفه‌ای‌تر شدن و کارآمدتر شدن و همچنین استقبال بیشتر در به‌کارگیری آن در مراکز آموزش خلبانی می‌توان یک استند مخصوص مشابه کابین هواپیما جهت جاگذاری تجهیزات سخت افزاری و همچنین سکویهای متحرک شش درجه آزادی را به آن اضافه کرد.

- [18] "saysunleashingthe full potentialofthesimulator," xplane, [Online]. Available: <https://xplane.com/manuals/desktop/11/index.html#experiences>. [Accessed Dec 2024].
- [19] "<https://skyvector.com/airport/OIIC/Kushke-Nosrat-Airport>," [Online]. [Accessed Dec 2024].
- [20] XPlane,"<https://gateway.xplane.com/airports/OIIC/show>," [Online]. [Accessed Dec 2024].