هندسه‌ی مرکز پرتاب ماهواره‌ی سیمرغ؛ مسیر صعب، زمان کوتاه و دقت ۱۲ ثانیه‌ای

□ گفت‌وگو با دکتر رامین صادقی‌پور، مهندس ارشد سامانه‌ی هدایت موشک سیمرغ-۲ و استاد دانشگاه صنعتی نارون

دکتر رامین صادقی‌پور، مهندس ارشد سامانه‌ی هدایت موشک سیمرغ-۲ و استاد دانشگاه صنعتی نارون، از طراحی مسیر پرتاب ماهواره‌ی «پرنده‌ی سبز» در ارتفاع ۶۰۰ کیلومتر سخن می‌گوید. او توضیح می‌دهد چرا زاویه‌ی ورود به مدار باید با دقت ۰٫۲ درجه محاسبه شود و چرا یک خطای کوچک در ابتدا می‌تواند ماهواره را تا صدها کیلومتر از جایگاه هدف دور کند. گفت‌وگو شامل جزئیات محاسبات، آزمون‌های میدانی و تصمیم‌های سخت مهندسی است.

پرتاب ماهواره‌ی «پرنده‌ی سبز» در ۱۲ مهر ۱۴۰۱ از مرکز پرتاب ساحل نارون انجام شد. موشک سیمرغ-۲ ماهواره را در مدار ۶۰۰ کیلومتری قرار داد و ظرف ۹۰ دقیقه پس از پرتاب، نخستین سیگنال از ماهواره دریافت شد. اما مسیر طی‌شده تا آن لحظه پر از تصمیم‌های فنی بود که هر کدام می‌توانست یا موفقیت را تضمین کند یا کل ماموریت را به خطر بیندازد. در این گفت‌وگو، دکتر صادقی‌پور توضیح می‌دهد چرا تیم طراحی به جای مسیر ساده‌تر، مسیری را انتخاب کرد که مصرف سوخت بیشتر داشت اما احتمال برخورد با زباله‌های فضایی را کاهش می‌داد.

دکتر صادقی‌پور توضیح می‌دهد که مسیر مدار از سه بخش تشکیل می‌شود: صعود عمودی، چرخش افقی و تزریق نهایی. در بخش سوم، موشک باید با سرعت ۷٫۸ کیلومتر بر ثانیه حرکت کند و زاویه‌ی ورود باید در بازه‌ی ۰٫۱ تا ۰٫۳ درجه باشد. او می‌گوید اگر زاویه کمتر باشد، ماهواره به جو برخورد می‌کند و اگر بیشتر باشد، ماهواره به فضای خالی پرتاب می‌شود و هیچ ایستگاه زمینی قادر به کنترل آن نخواهد بود. این بازه را تیم با شبیه‌سازی ۱۲ هزار سناریو آزمود و تنها در ۳ درصد سناریوها موفق بود.

یکی از بحث‌های اصلی گفت‌وگو استفاده از موتور کمکی برای اصلاح مسیر در مدار است. دکتر صادقی‌پور می‌گوید موتور کمکی ۴۰ کیلوگرم سوخت حمل می‌کرد و قرار بود ۱۲ ثانیه روشن بماند. اگر موتور زودتر خاموش می‌شد، ماهواره در مدار پایین‌تر می‌ماند و عمر آن کاهش می‌یافت. اگر دیرتر خاموش می‌شد، سوخت تمام می‌شد و ماهواره نمی‌توانست به مدار برسد. تیم برای این تصمیم ۳ گزینه طراحی کرد و در نهایت گزینه‌ی میانی انتخاب شد که با ۱۰ درصد حاشیه‌ی ایمنی کار می‌کرد.

در بخش پایانی گفت‌وگو، دکتر صادقی‌پور درباره‌ی آزمون میدانی سامانه‌ی هدایت صحبت می‌کند. پرتاب آزمایشی در ۳ مهر ۱۴۰۰ با موشک کوچک‌تر انجام شد و داده‌های به‌دست آمده مستقیم وارد نسخه‌ی ۲ شد. او می‌گوید یادگیری از شکست برای تیم ارزشمندتر از موفقیت بود و بدون آن، نسخه‌ی ۲ هرگز به مدار نمی‌رسید. در پایان، او توصیه‌ی خود را به دانشجویان مهندسی هوافضا ارائه می‌دهد و می‌گوید مهم‌ترین مهارت، توانایی ترجمه‌ی مسئله‌ی واقعی به معادله است.

«پرنده‌ی سبز» در ۱۲ ثانیه مدار را هدف گرفت و ۹۰ دقیقه بعد سیگنال گرفت

(مصاحبه‌ی اختصاصی با دکتر رامین صادقی‌پور)

مهندس صادقی‌پور، مسیر پرتاب سیمرغ-۲ را از کجا محاسبه کردید و چرا زاویه‌ی ورود این‌قدر کم است؟ «در ابتدا مدل ساده‌ای با زاویه‌ی ۰٫۵ درجه داشتیم اما در شبیه‌ساز دیدیم که ماهواره به جو برخورد می‌کند. زاویه‌ی ۰٫۱ تا ۰٫۳ درجه به ما اجازه می‌دهد هم از جو عبور کند و هم به مدار برسد. این بازه را ما با ۱۲ هزار سناریو آزمودیم و در ۳ درصد سناریوها موفق بود. اگر کسی بگوید دقت مهم نیست، من می‌گویم یک خطای ۰٫۱ درجه در ابتدا می‌تواند ماهواره را صدها کیلومتر از جایگاه هدف دور کند.»

موتور کمکی ۴۰ کیلوگرم سوخت حمل می‌کرد و قرار بود ۱۲ ثانیه روشن بماند. چرا تیم به جای مسیر ساده‌تر، مسیری را انتخاب کرد که مصرف سوخت بیشتر داشت؟ «اگر موتور زودتر خاموش می‌شد، ماهواره در مدار پایین‌تر می‌ماند و عمر آن کاهش می‌یافت. اگر دیرتر خاموش می‌شد، سوخت تمام می‌شد و ماهواره نمی‌توانست به مدار برسد. تیم برای این تصمیم ۳ گزینه طراحی کرد و در نهایت گزینه‌ی میانی انتخاب شد که با ۱۰ درصد حاشیه‌ی ایمنی کار می‌کرد. در پایان، او توصیه‌ی خود را به دانشجویان مهندسی هوافضا ارائه می‌دهد و می‌گوید مهم‌ترین مهارت، توانایی ترجمه‌ی مسئله‌ی واقعی به معادله است.»

«پرنده‌ی سبز» در ۱۲ ثانیه مدار را هدف گرفت و ۹۰ دقیقه بعد سیگنال گرفت

(مصاحبه‌ی اختصاصی با دکتر رامین صادقی‌پور)

مهندس نیما رحیمی‌فر، سرپرست تیم کنترل پرواز، از لحظه‌ی پرتاب تا جدایی ماهواره از موشک، ۱۲ ثانیه طول کشید. تیم کنترل در اتاق کنترل ساحل نارون با ۴۰ صفحه نمودار کار می‌کرد و هر ثانیه یک عدد جدید وارد سامانه می‌شد. اگر زاویه خارج از بازه‌ی ۰٫۱ تا ۰٫۳ درجه می‌بود، موشک باید فرمان خودتخریبی می‌گرفت تا قطعات به مناطق مسکونی سقوط نکنند. این فرمان خوشبختانه لازم نشد و موشک با دقت ۰٫۲۱ درجه وارد مدار شد.

پس از جدایی، آنتن‌های پنل خورشیدی باید ظرف ۳۰ دقیقه باز می‌شدند تا باتری‌ها شارژ شوند. اما سیگنال دریافتی از ماهواره ضعیف بود و تیم ناچار شد آنتن دوم را با دست تنظیم کند. این آنتن دوم در طراحی اولیه پیش‌بینی نشده بود و به دستور مهندس ارشد، با استفاده از یک بشقاب فلزی موقت ساخته شد. داده‌های ارسال‌شده نشان می‌دهد که ولتاژ پنل‌ها ۱۸٫۴ ولت و دمای باتری ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. تیم تصمیم گرفت ماموریت ادامه یابد و ۷۲ ساعت بعد، ۶۰ درصد ظرفیت باتری بازیابی شد.

در پایان، از دکتر صادقی‌پور پرسیدم که اگر یک دانشجو بخواهد به تیم شما بپیوندد، چه مسیری پیشنهاد می‌کند. او گفت: «اول مدار را بفهمید، بعد موتور را. بسیاری از بچه‌ها عاشق موتور هستند اما نمی‌دانند چرا ماهواره باید در آن زاویه برود. یک ترم روی مکانیک مدار وقت بگذارید و بعد سراغ کد بروید. ما به کسی نیاز داریم که بداند ۱ درجه چه می‌کند، نه کسی که فقط کد بزند.» او افزود که تیم آزمایشگاه تا پایان مهر ماه دو پرتاب دیگر برای آزمون نسخه‌ی ۲ برنامه دارد.

«پرنده‌ی سبز» در ۱۲ ثانیه مدار را هدف گرفت و ۹۰ دقیقه بعد سیگنال گرفت

(مصاحبه‌ی اختصاصی با دکتر رامین صادقی‌پور)

مهندس صادقی‌پور، مسیر پرتاب سیمرغ-۲ را از کجا محاسبه کردید و چرا زاویه‌ی ورود این‌قدر کم است؟ «در ابتدا مدل ساده‌ای با زاویه‌ی ۰٫۵ درجه داشتیم اما در شبیه‌ساز دیدیم که ماهواره به جو برخورد می‌کند. زاویه‌ی ۰٫۱ تا ۰٫۳ درجه به ما اجازه می‌دهد هم از جو عبور کند و هم به مدار برسد. این بازه را ما با ۱۲ هزار سناریو آزمودیم و در ۳ درصد سناریوها موفق بود. اگر کسی بگوید دقت مهم نیست، من می‌گویم یک خطای ۰٫۱ درجه در ابتدا می‌تواند ماهواره را صدها کیلومتر از جایگاه هدف دور کند.»

موتور کمکی ۴۰ کیلوگرم سوخت حمل می‌کرد و قرار بود ۱۲ ثانیه روشن بماند. چرا تیم به جای مسیر ساده‌تر، مسیری را انتخاب کرد که مصرف سوخت بیشتر داشت؟ «اگر موتور زودتر خاموش می‌شد، ماهواره در مدار پایین‌تر می‌ماند و عمر آن کاهش می‌یافت. اگر دیرتر خاموش می‌شد، سوخت تمام می‌شد و ماهواره نمی‌توانست به مدار برسد. تیم برای این تصمیم ۳ گزینه طراحی کرد و در نهایت گزینه‌ی میانی انتخاب شد که با ۱۰ درصد حاشیه‌ی ایمنی کار می‌کرد. در پایان، او توصیه‌ی خود را به دانشجویان مهندسی هوافضا ارائه می‌دهد و می‌گوید مهم‌ترین مهارت، توانایی ترجمه‌ی مسئله‌ی واقعی به معادله است.»

«پرنده‌ی سبز» در ۱۲ ثانیه مدار را هدف گرفت و ۹۰ دقیقه بعد سیگنال گرفت

(مصاحبه‌ی اختصاصی با دکتر رامین صادقی‌پور)

مهندس نیما رحیمی‌فر، سرپرست تیم کنترل پرواز، از لحظه‌ی پرتاب تا جدایی ماهواره از موشک، ۱۲ ثانیه طول کشید. تیم کنترل در اتاق کنترل ساحل نارون با ۴۰ صفحه نمودار کار می‌کرد و هر ثانیه یک عدد جدید وارد سامانه می‌شد. اگر زاویه خارج از بازه‌ی ۰٫۱ تا ۰٫۳ درجه می‌بود، موشک باید فرمان خودتخریبی می‌گرفت تا قطعات به مناطق مسکونی سقوط نکنند. این فرمان خوشبختانه لازم نشد و موشک با دقت ۰٫۲۱ درجه وارد مدار شد.

پس از جدایی، آنتن‌های پنل خورشیدی باید ظرف ۳۰ دقیقه باز می‌شدند تا باتری‌ها شارژ شوند. اما سیگنال دریافتی از ماهواره ضعیف بود و تیم ناچار شد آنتن دوم را با دست تنظیم کند. این آنتن دوم در طراحی اولیه پیش‌بینی نشده بود و به دستور مهندس ارشد، با استفاده از یک بشقاب فلزی موقت ساخته شد. داده‌های ارسال‌شده نشان می‌دهد که ولتاژ پنل‌ها ۱۸٫۴ ولت و دمای باتری ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. تیم تصمیم گرفت ماموریت ادامه یابد و ۷۲ ساعت بعد، ۶۰ درصد ظرفیت باتری بازیابی شد.

در پایان، از دکتر صادقی‌پور پرسیدم که اگر یک دانشجو بخواهد به تیم شما بپیوندد، چه مسیری پیشنهاد می‌کند. او گفت: «اول مدار را بفهمید، بعد موتور را. بسیاری از بچه‌ها عاشق موتور هستند اما نمی‌دانند چرا ماهواره باید در آن زاویه برود. یک ترم روی مکانیک مدار وقت بگذارید و بعد سراغ کد بروید. ما به کسی نیاز داریم که بداند ۱ درجه چه می‌کند، نه کسی که فقط کد بزند.» او افزود که تیم آزمایشگاه تا پایان مهر ماه دو پرتاب دیگر برای آزمون نسخه‌ی ۲ برنامه دارد.