

## فصل نهم

### جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## جمع بندی و نتیجه گیری

در جمع بندی، برای فرود خودکار یک روبات پهپاد چهار موتوره، ابتدا مدل‌سازی دینامیکی با استفاده از پارامترهای جرم روبات، طول بازوی آن، ممان اینرسی آن در سه محور و سایر پارامترها انجام شده و معادلات حالت نوشته شدند. با خطی‌سازی معادلات حالت با استفاده از ماتریس ژاکوبین، معادلات غیر خطی، به معادلات قابل کنترل در حوزه کنترل سیستم‌های خطی تبدیل شدند. همچنین با توجه به معادلات به دست آمده، کنترل‌کننده‌ی PID در ۲ محور طول و عرض، برای کنترل‌کننده‌ی موقعیت طراحی شد که خروجی آن‌ها با استفاده از روابط مربوطه، تبدیل به مقادیر رول و پیچ و یاو گردید که برای این سه مقدار و برای موقعیت ارتفاع روبات نیز، کنترل‌کننده PID جدا گانه طراحی شد.

در ادامه، مدل دینامیکی خطی و غیر خطی، در محیط سیمولینک نرم افزار متلب شبیه‌سازی شده و به کنترل‌کننده‌های طراحی شده متصل گشتند. برای کنترل رفتار روبات در حالت فرود نیز، یک کنترل‌کننده حلقه باز برای کنترل ارتفاع و دو کنترل‌کننده PI برای کنترل موقعیت طول و عرض مطلوب طراحی و پیاده‌سازی شدند. (ضریب انتگرال گیر به علت وجود خطای حالت دائم افزوده شد).

مرحله‌ی بعد ساخت روبات و طراحی اجزای مورد نیاز آن بود که توسط تیم روبات‌های چند وسیله‌ای طراحی و ساخته شد. پردازنده‌ی مربوط به انجام عملیات پردازش تصویر، خواندن سنسورها و کنترل حرکت موتورها نیز یک رزبری پای با سیستم عامل جسی استفاده شده‌است.

برای تشخیص تصویر نیز، از ۱۳ الگوی ماتریس داده در مجاورت ۱۲ خانه‌ی سفید، که توسط دوربین مخصوص رزبری پای خوانده می‌شود استفاده شد که با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، با تشخیص محل فرود، فرمان فرود را ارسال کرده، سپس خطای موقعیت محاسبه شده و به کنترل‌کننده‌ی رفتار فرستاده می‌شود و با استفاده از کنترلر، روبات با خطای نهایتاً ۱۵ سانتی متر، در ارتفاع ۱۵ سانتی متری محل مورد نظر قرار گرفته و با توجه به ارتفاع ۱۲ سانتی متری بدنه‌ی روبات، خاموش کردن موتورها، فرود پایدار خواهد داشت. خطای مذکور نیز، توسط برنامه نویس انتخاب شده و به صورت دستی قابل کاهش است.

## پیشنهادهای

پس از پیاده‌سازی پروژه و با بررسی نقاط قوت و ضعف آن، پیشنهادهای برای بهبود عملکرد پروژه مورد نظر است:

### ۹-۱-۱- افزودن کنترل‌کننده یاو

در این پروژه، فرض بر این گرفته شده که جهت فرود اهمیتی ندارد و روبات از هر زاویه‌ای به محل فرود برسد، فقط فرود می‌آید. اما در بسیاری از کاربردها، برای مثال شرایطی که محل فرود به عنوان شارژر روبات عمل می‌کند، جهت روبات، از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا روبات پس از کاهش ارتفاع و پیش از خاموش کردن موتورها، بایستی جهت خود را بسنجد و به میزان مطلوب بچرخد و در نهایت در جهت صحیح موتورها را خاموش نماید.

### ۹-۱-۲- استفاده از پردازش‌گرهای مجزا برای پردازش تصویر و کنترل

پردازش تصویر، یکی از پردازش‌های پرمصرف در بین عملیات‌های پردازش تصویر در هر پروژه‌ای است. لذا در هنگام فعال سازی عملیات فرود، بخش عمده‌ای از عملکرد پردازش‌گر صرف انجام پردازش تصویر شده و مانع از عملکرد دقیق کنترل‌کننده‌ها می‌شود. لذا پیشنهاد می‌گردد تا به جای استفاده از یک پردازنده برای هر دو منظور، پردازنده‌ی قوی‌تر یا همان رزبری پای، تنها برای عملیات پردازش تصویر استفاده شود و برای انجام محاسبات کنترلی و پردازش حرکت موتورها، از یک پردازنده‌ی دیگر استفاده شود که در این پروژه با توجه به محدودیت وزن، ابعاد و هزینه، پردازنده دوم باید ضعیف‌تر باشد. چرا که عملیات پردازش مربوط به موتور سبک‌تر از پردازش تصویر است. برای مثال استفاده از یک بورد آردوینو و یا طراحی یک بورد آرم<sup>۱</sup> به صورت جداگانه، می‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد.

---

<sup>۱</sup> ARM

### ۳-۱-۹- شبیه‌سازی مدل دینامیکی زمین [40]

در این پروژه، تنها به مدل دینامیکی کوادکوپتر و اعمال نویز به آن پرداخته شد؛ در حالی که یک روبات پرنده در زمان فرود، به شدت تحت تاثیر مدل دینامیکی زمین قرار می‌گیرد. این مدل، حاصل از اثر عکس‌العمل نیروی مغل‌ها و بدنه‌ی روبات است که با نزدیک شدن به سطح زمین، از سطح زمین به سمت روبات بازتاب می‌شوند و باعث ایجاد نیروهای نا خواسته می‌شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مراحل بعدی، مدل دینامیکی زمین و حتی اشیاء موجود در محیط نیز طراحی شده و به شبیه‌سازی و پیاده‌سازی اضافه گردند تا کنترل به نحو بهینه تری انجام پذیرد.

البته در مورد کوادکوپترها، به علت سطح مقطع کم به نسبت سایر پرنده‌ها، مدل دینامیکی زمین در هنگام فرود تاثیر بسیار کمتری دارد. در واقع مدل زمین، برای پرنده‌های بالدار و در هنگام بلند شدن مورد محاسبه قرار می‌گیرد که به دلیل وجود بال، سطح مقطع زیادی با زمین دارند اما از تاثیر این نیرو در برابر یک کوادروتور در حین فرود می‌توان چشم پوشی کرد.

### ۴-۱-۹- انتقال به محیط فضای باز و استفاده از سنسور باد

از آنجایی که بیشتر کاربردهای روبات پرنده در فضای باز قرار دارد و تعریف پروژه در محیط بسته، بیشتر جنبه‌ی پژوهشی و تحقیقاتی دارد، پیشنهاد می‌شود پروژه به فضای باز منتقل شود. با توجه به اینکه در طراحی کنترل‌کننده، در همه‌ی محورها نویز اعمال شده، لذا در واقع در شبیه‌سازی، وجود باد نیز پیش بینی شده و می‌توان روبات را به راحتی و با انجام بهینه‌سازی‌های اندکی، به فضای باز انتقال داد. حتی پیشنهاد می‌شود برای تشخیص جهت باد و تعریف کنترل‌کننده‌ی مناسب‌تر با استفاده از آگاهی از جهت باد، از یک سنسور تشخیص باد بر روی روبات استفاده شود.

### ۵-۱-۹- کنترل و شناسایی فازی

پیشنهاد دیگری که مطرح می‌شود، استفاده از یک شناساگر فازی، برای شناسایی مدل دینامیکی روبات و یا استفاده از کنترلر فازی به جای کنترلر PID است. حتی می‌توان از هر دو روش مدل‌سازی و کنترل‌کننده فازی استفاده نمود که البته بار پردازشی سخت افزار روبات را بسیار سنگین می‌نمایند و در آن صورت نیازمند پردازش‌گر قوی تری خواهیم بود.