

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد  
در رشته: مهندسی برق - گرایش کنترل  
مدل سازی، شناسایی، طراحی و پیاده سازی کنترل کننده، برای لانچر

استاد راهنما

دکتر جعفر حیرانی نوبری

استاد مشاور

دکتر حمید رضا تقی راد

نگارش

میثم یادگار

دی ماه

۱۳۸۸

تقدیم به

پیشگاه مقدس آقا امام زمان  
عجل... تعالی فرجه شریف



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

### تأییدیه هیات داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان: **مدل سازی، شناسایی، طراحی و پیاده سازی کنترل کننده برای لانچر** توسط آقای میثم یادگار صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش کنترل با رتبه مورد تأیید قرار میدهند.

- |            |                        |                                   |
|------------|------------------------|-----------------------------------|
| .....امضاء | آقای دکتر حیرانی نوبری | ۱- استاد راهنما                   |
| .....امضاء | آقای دکتر تقی راد      | ۲- استاد مشاور                    |
| .....امضاء | آقای دکتر خالوزاده     | ۴- ممتحن داخلی                    |
| .....امضاء | آقای دکتر عاروان       | ۵- ممتحن خارجی                    |
| .....امضاء | آقای دکتر.....         | ۸- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده |

## اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه : مدل سازی، شناسایی، طراحی و پیاده سازی کنترل کننده برای لانچر

استاد راهنما: دکتر جعفر حیرانی نوبری

نام دانشجو: میثم یادگار

شماره دانشجویی: ۸۶۰۰۴۴۴

اینجانب میثم یادگار دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

## فرم حق طبع ونشر و مالکیت نتایج

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده:

لانچر جزئی از یک سامانه سلاح است که مأموریت آن قرار دادن موشک در راستایی مناسب در فضا می‌باشد. هدف این پروژه طراحی کنترل‌کننده به منظور انجام مناسب مأموریت لانچر است. برای نیل به این هدف ابتدا مدلسازی نسبتاً دقیقی از لانچر انجام گرفته است. این مدل روابط بین ورودی، گشتاورهای اعمالی توسط موتور سمت و موتور جک فراز و خروجی زوایای سمت و فراز را نشان می‌دهد. سپس پارامترهای مدل با استفاده از آزمون‌های ورودی-خروجی و روش‌های شناسایی مشخص شده و خروجی‌های حاصل از مدل و واقعیت با یکدیگر مقایسه گشته‌اند. با ساده سازی مدل بدست آمده و در نظر گرفتن هر کانال به طور مجزا، کنترل‌کننده‌ای برای هر کانال با توجه به مشخصات مورد نظر و محدودیت‌های موجود طراحی شده است. سپس تحلیل سیستم حلقه بسته با توجه به کنترل‌کننده طراحی شده انجام گرفته است و فرض‌های ساده‌کننده‌ای که در مدلسازی و طراحی کنترل‌کننده در نظر گرفته شده است مورد تحلیل قرار گرفته و اثر آنها بر روی دستیابی به مشخصات مورد نظر سیستم مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نتایج حاصل از پیاده سازی عملی آورده و بررسی کمی و کیفی نحوه دستیابی به اهداف کنترلی مورد نظر گزارش شده است.

## سپاسگزاری

بعد از سپاس خداوند متعال که مالک تمام هستی است لازم می‌دانم، از مادر و پدرم که همیشه مشمول دعای خیرشان بودم صمیمانه تشکر کنم. در ضمن از استاد عزیز آقای دکتر نوبری که در تمام مراحل انجام پروژه ما را یاری فرمودند تشکر فراوان دارم. همچنین از آقای دکتر تقی‌راد به خاطر همکاری فراوان ایشان در انجام این پروژه سپاسگزارم. از دوست عزیزم آقای میثم عظیمی که بدون وجود ایشان انجام این پروژه با این کیفیت ممکن نبود، کمال سپاس و تشکر را دارم. بر خود لازم می‌دارم از آقای اسدی، آقای شفیع و آقای فاطمی مفرد، که در انجام این پروژه کمک‌های شایانی به اینجانب کردند، سپاسگزاری کنم.

## فهرست مطالب

۱- مدل سازی.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- معرفی دستگاه‌های مختصات.....	۱
۱-۲-۱- دستگاه مختصات اینرسی.....	۲
۲-۲-۱- دستگاه مختصات سمت.....	۳
۳-۲-۱- دستگاه مختصات فراز.....	۴
۳-۱- ارتباط بین دستگاه‌های مختصات.....	۶
۴-۱- معادلات دینامیک پایه لانچر.....	۸
۵-۱- معادلات دینامیک قسمت اصلی لانچر.....	۱۷
۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....	۲۶
۲- شناسایی پارامترهای لانچر.....	۲۸
۱-۲- مقدمه.....	۲۸
۲-۲- شناسایی پارامترهای کانال سمت.....	۲۸
۱-۲-۲- شناسایی پارامترهای مجموعه موتور.....	۲۹
۱-۲-۲-۱- مرحله اول شناسایی مجموعه موتور کانال سمت.....	۲۹
۲-۲-۲-۱- مرحله دوم شناسایی مجموعه موتور کانال سمت.....	۳۰
۲-۲-۲-۳- نتایج مرحله اول شناسایی مجموعه موتور کانال سمت.....	۳۳
۲-۲-۲-۴- نتایج مرحله دوم شناسایی مجموعه موتور کانال سمت.....	۳۶
۲-۲-۲- شناسایی پارامترهای سازه کانال سمت.....	۳۹
۳-۲- شناسایی پارامترهای کانال فراز.....	۴۳
۴-۲- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....	۴۸
۳- طراحی کنترل‌کننده.....	۵۰
۱-۳- مقدمه.....	۵۰
۲-۳- کنترل‌کننده کانال فراز.....	۵۰
۱-۲-۳- معرفی سیستم حلقه باز کانال فراز لانچر.....	۵۰
۲-۲-۳- بررسی ساختار کنترل‌کننده کانال فراز.....	۵۲
۱-۲-۲-۳- ساختار کنترلی کانال فراز در حلقه سرعت.....	۵۲
۲-۲-۲-۳- ساختار کنترلی کانال فراز در حلقه موقعیت.....	۵۵
۳-۲-۳- روند طراحی کنترل‌کننده کانال فراز.....	۵۸
۱-۳-۲-۳- طراحی کنترل‌کننده $PI$ برای ردیابی ورودی شیب کانال فراز.....	۵۸
۲-۳-۲-۳- طراحی کنترل‌کننده $P$ و حد اشباع خطا به منظور دستیابی به پاسخ پله مناسب کانال فراز.....	۶۴
۳-۳- کانال سمت.....	۷۲
۱-۳-۳- معرفی سیستم حلقه باز کانال سمت لانچر.....	۷۲
۲-۳-۳- بررسی ساختار کنترل‌کننده کانال سمت.....	۷۳
۳-۳-۳- روند طراحی کنترل‌کننده کانال سمت.....	۷۶



۷۶	۱-۳-۳-۳- طراحی کنترل کننده $PI$ برای ردیابی ورودی پله کانال سمت
۸۰	۲-۳-۳-۳- طراحی کنترل کننده پیش خور برای کانال سمت
۸۴	۴-۳- جمع بندی و نتیجه گیری
۸۶	۴- تحلیل سیستم حلقه بسته پیاده سازی عملی
۸۶	۱-۴- مقدمه
۸۹	۲-۴- کانال سمت
۹۰	۱-۲-۴- بررسی اثر اغتشاش بر روی سیستم حلقه بسته کانال سمت
۹۴	۲-۲-۴- بررسی خطای ردیابی سیستم حلقه بسته کانال سمت
۹۶	۳-۲-۴- ارزیابی عملی کنترل کننده کانال سمت
۹۸	۳-۴- کانال فراز
۹۹	۱-۳-۴- بررسی اثر اغتشاش بر روی سیستم حلقه بسته کانال فراز
۱۰۳	۲-۳-۴- بررسی خطای ردیابی سیستم حلقه بسته کانال فراز
۱۰۶	۳-۳-۴- ارزیابی عملی کنترل کننده کانال فراز
۱۰۸	۴-۴- بررسی اثر تغییر پارامترها بر روی عملکرد سیستم
۱۱۰	۵-۴- بررسی اثر تداخل دو کانال
۱۱۱	۶-۴- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۱۴	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۶	۶- پیوست
۱۱۶	۱-۶- بدست آوردن رابطه گشتاور برای جسم متشکل از دو جسم صلب
۱۱۹	۲-۶- بدست آوردن رابطه اصل بقای اندازه حرکت برای دو جسم صلب
۱۲۲	۳-۶- طراحی کنترل کننده بر اساس حدفاز و پهنای باند
۱۲۶	۴-۶- خنثی کردن اثر وزن موشکها
۱۳۲	۷- فهرست منابع

## فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱- دستگاه مختصات اینرسی به همراه کامیون حمل موشک..... ۲
- شکل ۲-۱- پایه لانچر به همراه دستگاه مختصات چسبیده به آن..... ۴
- شکل ۳-۱- دستگاه مختصات فراز و دستگاه مختصات سمت..... ۵
- شکل ۴-۱- درجات آزادی لانچر نسبت به کامیون..... ۶
- شکل ۵-۱- نمایش بردارهای  $R$ ،  $R_C$  و  $R'_C$ ..... ۸
- شکل ۶-۱- دیاگرام بلوکی پایه لانچر..... ۱۱
- شکل ۷-۱- شکل شماتیک از وضعیت دو چرخ‌دنده و دستگاه‌های متناظر با آن..... ۱۲
- شکل ۸-۱- دیاگرام بلوکی کانال سمت لانچر..... ۱۶
- شکل ۹-۱- دیاگرام بلوکی کانال سمت لانچر در حالت درگیری چرخ‌دنده‌ها..... ۱۶
- شکل ۱۰-۱- دیاگرام بلوکی کانال فراز لانچر..... ۲۰
- شکل ۱۱-۱- نمایش جایگاه جک‌ها بر روی سیستم..... ۲۱
- شکل ۱۲-۱- دیاگرام بلوکی کانال فراز لانچر..... ۲۵
- شکل ۱۳-۱- نحوه قرارگیری لانچر و سکوی آنتن رادار ردیاب..... ۲۶
- شکل ۱-۲- شکل موج گشتاور ورودی جهت انجام شناسایی موتور..... ۳۲
- شکل ۲-۲- نتایج تست گشتاور ورودی ۳۰٪ مجموعه موتور..... ۳۳
- شکل ۳-۲- نواحی  $M_{zm} = 0$  و  $\psi_m \geq 0$  و  $\psi_m \leq 0$  مشخص شده با  $j = 1$  و  $j = 2$ ..... ۳۴
- شکل ۴-۲- انطباق داده‌های  $Y_{L1}$  و  $Y_{estL1}$  مرحله اول شناسایی مجموعه موتور..... ۳۵
- شکل ۵-۲- نواحی  $M_{zm} \neq 0$  و  $\psi_m \geq 0$  و  $\psi_m \leq 0$  مشخص شده با  $j = 1$  و  $j = 2$ ..... ۳۶
- شکل ۶-۲- انطباق داده‌های  $Y_{L2}$  و  $Y_{estL2}$  مرحله دوم شناسایی مجموعه موتور..... ۳۷
- شکل ۷-۲- مقایسه نتایج تست ۷۰٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی مجموعه موتور..... ۳۸
- شکل ۸-۲- مقایسه نتایج تست ۳۰٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی مجموعه موتور..... ۳۸
- شکل ۹-۲- مقایسه نتایج تست ۵٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی مجموعه موتور..... ۳۹
- شکل ۱۰-۲- مقایسه نتایج تست ۷۰٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی سمت لانچر..... ۴۲
- شکل ۱۱-۲- مقایسه نتایج تست ۳۰٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی سمت لانچر..... ۴۲
- شکل ۱۲-۲- مقایسه نتایج تست ۵٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی سمت لانچر..... ۴۳
- شکل ۱۳-۲- مقایسه نتایج تست ۴۲٫۵٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی فراز لانچر..... ۴۷
- شکل ۱۴-۲- مقایسه نتایج تست ۳۰٪ حاصل از مدل شبیه سازی با سیستم عملی فراز لانچر..... ۴۸
- شکل ۱-۳- ساختار حلقه باز کانال فراز..... ۵۱
- شکل ۲-۳- نمایش دیگری از ساختار حلقه باز کانال فراز..... ۵۱
- شکل ۳-۳- ساختار کنترلی حلقه سرعت کانال فراز..... ۵۲
- شکل ۴-۳- نمایش دیگری از ساختار کنترلی حلقه سرعت کانال فراز..... ۵۳
- شکل ۵-۳- ستون سمت چپ: تغییرات نمودار بود سیستم نسبت به  $C'_y$  در حالتی که حلقه سرعت وجود ندارد..... ۵۴
- شکل ۶-۳- ساختار کنترلی حلقه موقعیت کانال فراز..... ۵۵
- شکل ۷-۳- نمودار سوئیچینگ کنترل کننده بر حسب خطا..... ۵۷
- شکل ۸-۳- بلوک دیاگرام کلی کانال فراز لانچر با کنترل سوئیچینگ..... ۵۷
- شکل ۹-۳- ساختار کنترلی  $PI$  کانال فراز..... ۵۸

- شکل ۳-۱۰- نمودار بود تابع تبدیل حلقه باز کانال فراز  $G_{OL_E}(s)$  ..... ۶۱
- شکل ۳-۱۱- نمودار بود تابع تبدیل  $G_{CL_E}$  ..... ۶۱
- شکل ۳-۱۲- نمودار بود تابع تبدیل  $G_{d_E}$  ..... ۶۲
- شکل ۳-۱۳- پاسخ سیستم خطی فراز به ازای پارامترهای طراحی شده به ورودی شیب با فرض  $d_E = 0$  ..... ۶۳
- شکل ۳-۱۴- پاسخ سیستم به ازای پارامترهای طراحی شده به ازای اغتشاش  $d_E = 1000 N.m$  ..... ۶۴
- شکل ۳-۱۵- نمودار زمانی مراحل سه گانه پاسخ پله کانال فراز ..... ۶۵
- شکل ۳-۱۶- بلوک دیاگرام سیستم کانال فراز در مرحله اول پاسخ پله ..... ۶۵
- شکل ۳-۱۷- نمودار زمانی فرمان سرعت مرحله اول پاسخ پله کانال فراز ..... ۶۶
- شکل ۳-۱۸- بلوک دیاگرام سیستم کانال فراز در مرحله دوم پاسخ پله ..... ۶۹
- شکل ۳-۱۹- نمایش دیگری از بلوک دیاگرام سیستم در مرحله دوم ..... ۶۹
- شکل ۳-۲۰- بلوک دیاگرام سیستم کانال فراز در مرحله سوم پاسخ پله ..... ۷۰
- شکل ۳-۲۱- پاسخ پله سیستم خطی کانال فراز ..... ۷۰
- شکل ۳-۲۲- مقایسه پاسخ پله سیستم خطی کانال فراز در حالت های  $PI$  و  $P/PI$  ..... ۷۱
- شکل ۳-۲۳- مقایسه سیگنال کنترلی پاسخ پله سیستم خطی کانال فراز در حالت های  $PI$  و  $P/PI$  ..... ۷۱
- شکل ۳-۲۴- ساختار حلقه باز کانال سمت ..... ۷۳
- شکل ۳-۲۵- نمایش دیگری از ساختار حلقه باز کانال سمت ..... ۷۳
- شکل ۳-۲۶- ساختار کنترلی حلقه سرعت کانال سمت ..... ۷۴
- شکل ۳-۲۷- ساختار کنترلی کانال سمت ..... ۷۵
- شکل ۳-۲۸- نمودار بود تابع تبدیل حلقه باز کانال سمت  $G'_{OL_A}(s)$  ..... ۷۸
- شکل ۳-۲۹- نمودار بود تابع تبدیل حلقه بسته کانال سمت  $G'_{CL_A}(s)$  ..... ۷۹
- شکل ۳-۳۰- نمودار بود تابع تبدیل  $G_{d_A}$  ..... ۷۹
- شکل ۳-۳۱- پاسخ پله کانال سمت به ازای پارامترهای طراحی شده با فرض  $d_A = 0$  ..... ۸۰
- شکل ۳-۳۲- ورودی حداقل زمان و مشتق های اول و دوم آن ..... ۸۱
- شکل ۳-۳۳- پاسخ ورودی حداقل زمان کانال سمت به ازای چند مقدار  $C_F$  ..... ۸۲
- شکل ۳-۳۴- نمودار بود تابع تبدیل حلقه باز  $G_{OL_A}(s)$  ..... ۸۳
- شکل ۳-۳۵- نمودار بود تابع تبدیل حلقه بسته  $G_{CL_A}(s)$  ..... ۸۳
- شکل ۳-۳۶- پاسخ شیب  $10 \text{ deg/sec}$  با فرض  $d_A = 0$  ..... ۸۴
- شکل ۴-۱- اتصال پسخور سیستم خطی و عنصری غیرخطی ..... ۸۶
- شکل ۴-۲- بلوک دیاگرام متناظر با معادلات حالت سیستم رابطه (۴-۱۰) ..... ۹۱
- شکل ۴-۳- نمایش دیگری از بلوک دیاگرام شکل ۴-۲ ..... ۹۲
- شکل ۴-۴- مقایسه پاسخ پله سیستم ساده شده و سیستم اصلی کانال سمت ..... ۹۵
- شکل ۴-۵- مقایسه پاسخ شیب سیستم ساده شده و سیستم اصلی کانال سمت ..... ۹۶
- شکل ۴-۶- مقایسه پاسخ ورودی حداقل زمان سیستم ساده شده و سیستم اصلی کانال سمت ..... ۹۶
- شکل ۴-۷- مقایسه پاسخ های پله سیستم شبیه ساز و عملی کانال سمت ..... ۹۷
- شکل ۴-۸- مقایسه میان پاسخ ورود حداقل زمان سیستم شبیه ساز و عملی کانال سمت ..... ۹۷
- شکل ۴-۹- پاسخ های شیب سیستم شبیه ساز و عملی به ازای ورودی  $5.7 \text{ deg/sec}$  کانال سمت ..... ۹۸

- شکل ۴-۱۰- بلوک دیاگرام متناظر با معادلات حالت سیستم رابطه (۴-۳۲)..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۱- نمایش دیگری از بلوک دیاگرام شکل ۴-۱۰..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۲- نمودار دترمینان و نمودار درایه اول  $Z_T(s)$  بر حسب  $\omega$ ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۳- مقایسه پاسخ‌های پله سیستم خطی و غیر خطی کانال فراز..... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۴- مقایسه پاسخ شیب سیستم خطی و غیر خطی کانال فراز..... ۱۰۶
- شکل ۴-۱۵- پاسخ‌های شیب سیستم شبیه ساز و عملی کانال فراز..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۶- مقایسه پاسخ‌های پله سیستم شبیه ساز و عملی کانال فراز..... ۱۰۷
- شکل ۴-۱۷- تغییرات حدفاز و پهنای باند سیستم کانال فراز بر حسب ممان اینرسی..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۸- تغییرات حدفاز و پهنای باند سیستم کانال سمت بر حسب ممان اینرسی..... ۱۰۹
- شکل ۴-۱۹- مقایسه نتایج پاسخ پله کانال سمت در حالت چهار موشک و بدون موشک..... ۱۰۹
- شکل ۴-۲۰- مقایسه نتایج پاسخ شیب کانال فراز در حالت چهار موشک و بدون موشک..... ۱۱۰
- شکل ۴-۲۱- اثر تداخل کانال سمت بر روی کانال فراز..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۲- اثر تداخل کانال فراز بر روی کانال سمت..... ۱۱۱
- شکل ۶-۱- مجموعه‌های  $I_1$  و  $I_2$ ..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲- مجموعه‌های  $I_1$  و  $I_2$  با مرکز دوران‌های  $O'_1$  و  $O'_2$ ..... ۱۱۹
- شکل ۶-۳- سیستم حلقه بسته با سیستم حلقه باز  $G(s)$ ..... ۱۲۲
- شکل ۶-۴- نمودار بود تابع تبدیل  $G(s)$ ..... ۱۲۳
- شکل ۶-۵- نمودار قطب - صفر حلقه باز و حلقه بسته..... ۱۲۶
- شکل ۶-۶- بلوک دیاگرام حلقه سرعت کانال فراز..... ۱۲۷
- شکل ۶-۷- نمودار  $G(\theta)$  و  $\hat{G}(\theta)$  بر حسب  $\theta$ ..... ۱۲۹
- شکل ۶-۸- نمودار خطای نسبی میان  $G(\theta)$  و  $\hat{G}(\theta)$  بر حسب درصد..... ۱۲۹

### فهرست جداول

- جدول ۱- پارامترهای شناسایی شده مجموعه موتور..... ۳۷
- جدول ۲- مقادیر پارامتر  $C_z$  در حالت‌های مختلف..... ۴۱
- جدول ۳- مقادیر پارامتر  $C_{zp}$  در حالت‌های مختلف..... ۴۱
- جدول ۴- مقادیر پارامتر  $I_{Azz} + I_{Ezz}(\theta)$  در حالت‌های مختلف..... ۴۱
- جدول ۵- مقادیر پارامترهای  $I'_{E22}$  و  $C_{yp}$  در حالت‌های مختلف..... ۴۶

# فهرست علائم

$C \alpha$	$\text{Cos}(\alpha)$
$S \alpha$	$\text{Sin}(\alpha)$
${}^A x$	بردار $x$ بیان شده در دستگاه $A$
${}^B C_A$	ماتریس دوران از دستگاه $A$ به دستگاه $B$
$P_A \underline{x}$	مشفق نسبت به زمان بردار $x$ از دید دستگاه $A$
$\{A\}$	دستگاه مختصات $A$
$R_{Z_a}(\alpha)$	دوران حول محور $Z_a$ به اندازه $\alpha$
$\omega_{IA}$	سرعت زاویه‌ای دستگاه $A$ نسبت به دستگاه اینرسی
$R$	بردار جابجایی از نقطه $O$ به نقطه $O'$
$R_C$	بردار جابجایی از نقطه $O$ به مرکز جرم بخش اصلی لانچر
$R'_C$	بردار جابجایی از نقطه $O'$ به مرکز جرم بخش اصلی لانچر
$r_x$	مولفه اول بردار $R$ از دید دستگاه سمت
$r_z$	مولفه سوم بردار $R$ از دید دستگاه سمت
$r'_{c1}$	مولفه اول بردار $R'_C$ از دید دستگاه فراز
$r'_{c2}$	مولفه دوم بردار $R'_C$ از دید دستگاه فراز
$M_{zm}$	گشتاور الکتریکی موتور کانال سمت
$M_{2m}$	گشتاور الکتریکی موتور جک کانال سمت
${}^A [I_A]_O$	ماتریس ممان اینرسی پایه لانچر حول نقطه $O$ در دستگاه سمت
${}^A [I_E]_O$	ماتریس ممان اینرسی قسمت اصلی لانچر حول نقطه $O$ در دستگاه سمت

${}^E [I_E]_{O'}$	ماتریس ممان اینرسی قسمت اصلی لانچر حول نقطه $O'$ در دستگاه فراز
$I_{Eyz}$	مولفه (2,3) ماتریس ممان اینرسی ${}^A [I_E]_O$
$I_{Ezz}$	مولفه (3,3) ماتریس ممان اینرسی ${}^A [I_E]_O$
$I'_{E11}$	مولفه (1,1) ماتریس ممان اینرسی ${}^E [I_E]_{O'}$
$I'_{E12}$	مولفه (1,2) ماتریس ممان اینرسی ${}^E [I_E]_{O'}$
$I'_{E33}$	مولفه (3,3) ماتریس ممان اینرسی ${}^E [I_E]_{O'}$
$\dot{I}_{Eyz, \theta}$	$\frac{d}{d\theta} I_{Eyz}$
$\dot{I}_{Ezz, \theta}$	$\frac{d}{d\theta} I_{Ezz}$
$k_g$	ضریب گیربوکس کانال سمت
$G$	ضریب گیربوکس کانال فراز
$C_z$	ضریب اصطکاک ویسکوز سازه لانچر در کانال سمت
$C_{zm}$	ضریب اصطکاک ویسکوز موتور در کانال سمت
$C_{zp}$	ضریب اصطکاک کلومب سازه لانچر در کانال سمت
$C_{zmp}$	ضریب اصطکاک کلومب موتور در کانال سمت
$C_{yp}$	ضریب اصطکاک کلومب سازه لانچر در کانال فراز
$C_{ymp}$	ضریب اصطکاک کلومب موتور جک در کانال فراز
$C_{yp}$	ضریب اصطکاک کلومب سازه لانچر در کانال فراز
$m_E$	جرم قسمت اصلی لانچر

فصل اول

مقدمه و مدل سازی

## ۱- مقدمه و مدل سازی

### ۱-۱- مقدمه

لانچر جزئی از یک سامانه سلاح است که مأموریت آن قرار دادن موشکها در زاویه‌ای مناسب در فضا می‌باشد. با این توصیف می‌توان لانچر را یک میز دو درجه آزادی دانست. به طور کل می‌توان لانچرها را به دو دسته پویا<sup>۱</sup> و ایستا<sup>۲</sup> تقسیم بندی کرد. لانچرهای ایستا یا دارای زاویه‌ای ثابت هستند و یا اینکه در طول عملیات زاویه آنها تغییر نمی‌کند. زوایای لانچرهای پویا در طول عملیات می‌تواند تغییر کنند. لانچر مورد بحث ما از نوع دینامیک می‌باشد. این لانچر دارای دو ریل موازی هم می‌باشد که دو موشک می‌تواند در آنها قرار گیرد.

برای بالا بردن موشکها از دو جک الکتریکی استفاده می‌شود. جک الکتریکی را می‌توان به دو جزء موتور و یک مبدل حرکت دورانی به خطی تقسیم بندی کرد. گشتاور این موتور توسط درایوری که به آن متصل است، قابل کنترل است. برای حرکت لانچر به طرفین از یک موتور سنکرون سه‌فاز استفاده می‌شود که گشتاور این موتور نیز توسط درایوری که به آن متصل است، قابل کنترل است. این لانچر دارای دو سنسور موقعیت زاویه‌ای از نوع شفت انکودر می‌باشد که برای اندازه‌گیری زوایا در دو جهت از آنها استفاده می‌شود.

سیستم سلاح مورد بحث در اینجا دارای چهار حلقه کنترلی اساسی می‌باشد که یکی از آنها حلقه کنترل زوایای لانچر می‌باشد. قبل انجام هر کاری نخست باید لانچر به طور مناسب شناخته شود. به عبارت دیگر باید ورودی‌ها، خروجی‌ها و روابط بین آنها مشخص گردد، که هدف این فصل رسیدن به این مهم می‌باشد.

### ۱-۲- معرفی دستگاه‌های مختصات

در مدلسازی سیستم‌های مکانیکی معمولاً از روابط مکانیک نیوتنی استفاده می‌شود. در این روابط مشتق‌گیری از دید ناظر لخت یا ناظر اینرسی مطرح می‌گردد. پس در همین جا برای بیان دقیق عبارات باید ناظر لخت که متشکل از یک دستگاه و یک نقطه اینرسی است، مشخص گردد. معمولاً بیان عبارات حاصل از مکانیک نیوتنی در همان دستگاه اینرسی به روابط پیچیده‌ای می‌انجامد که مناسب برای طراحی کنترل کننده نیست. به همین علت دستگاه‌های مختصاتی انتخاب می‌شود که بیان روابط نیوتنی در آن ساده باشد. در ادامه دستگاه‌های مختصاتی که در روند مدلسازی از آن استفاده شده، معرفی می‌گردد. این دستگاه‌ها عبارتند از:

#### ۱- دستگاه مختصات اینرسی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> Dynamic

<sup>۲</sup> Static

<sup>۳</sup> Inertia

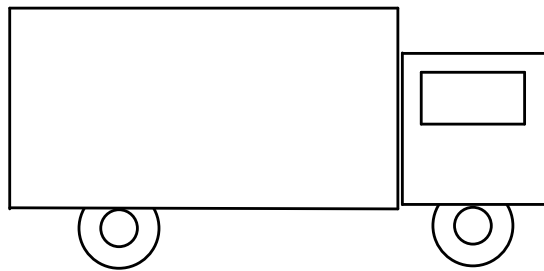


۲- دستگاه مختصات سمت<sup>۱</sup>

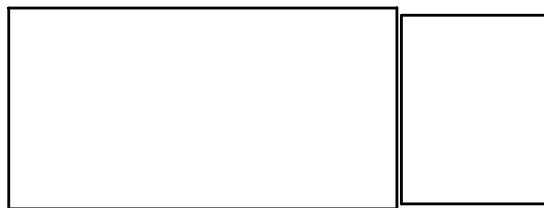
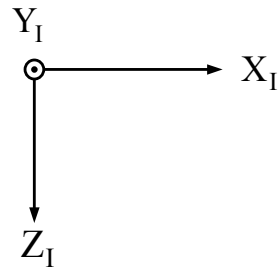
۳- دستگاه مختصات فراز<sup>۲</sup>

### ۱-۲-۱- دستگاه مختصات اینرسی

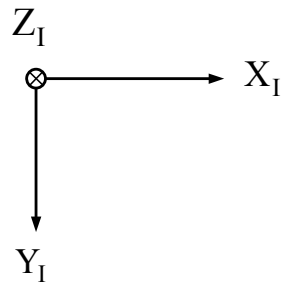
دستگاه مختصات اینرسی دستگاهی است که در آن روابط نیوتنی برقرار باشد. تاکنون کسی نتوانسته این دستگاه را به دقت مشخص نماید. در کاربردهای مختلف از دستگاه‌هایی متفاوتی به عنوان تقریب دستگاه اینرسی استفاده می‌شود. اما در کاربرد ما این دستگاه به صورت زیر در نظر گرفته شده است. دستگاه اینرسی با  $I$  نشان داده می‌شود و محور اول آن در امتداد طولی کامیون و به سمت جلوی کامیون است. محور سوم این دستگاه در امتداد بردار شتاب گرانش  $g$  است. با توجه به این که قبل از شلیک موشک، کامیون با سطح افق همتراز می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که محور سوم مذکور بر محور اول عمود است. محور دوم نیز به گونه‌ای انتخاب می‌شود که دستگاه مذکور یک دستگاه متعامد راستگرد باشد. در شکل زیر این دستگاه به همراه کامیون حمل موشک نشان داده شده است.



نمای از کنار



نمای از بالا



شکل ۱-۱- دستگاه مختصات اینرسی به همراه کامیون حمل موشک

<sup>1</sup> Azimuth

<sup>2</sup> Elevation

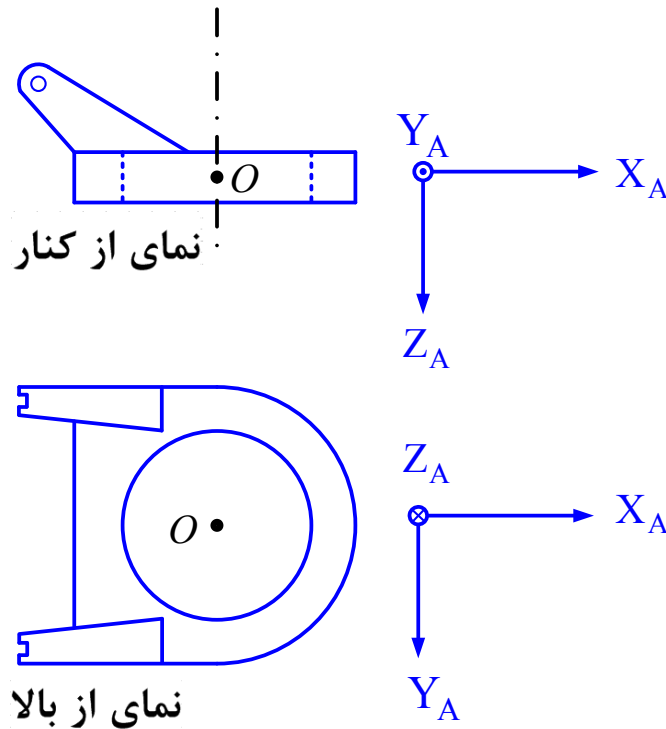
## ۱-۲-۲- دستگاه مختصات سمت

این دستگاه چسبیده به قطعه‌ای به نام پایه<sup>۱</sup> لانچر<sup>۱</sup> است و با  $A$  نشان داده می‌شود. قبل از تعریف دستگاه چسبیده به آن بهتر است توصیفی از شکل این قطعه داشته باشیم. این قطعه از به هم پیوستن یک نیم استوانه با ارتفاع کم به یک مکعب مستطیل با همان ارتفاع تشکیل شده است. در وسط این قطعه و به مرکزیت نیم استوانه سوراخی در راستای فراز وجود دارد. در ضمن دو شاخک در قسمت انتهایی مکعب مستطیل شکل نیز به این قطعه چسبیده است. محور سوم این دستگاه در امتداد محور نیم استوانه و در خلاف جهت شاخک‌ها می‌باشد. محور اول در امتداد طولی قطعه یعنی از انتهای سر مکعب مستطیل شکل به انتهای سر نیم استوانه‌ای و به سمت سر نیم استوانه است. محور دوم این دستگاه نیز به گونه‌ای انتخاب شده که دستگاه سمت متعامد یکه<sup>۲</sup> راستگرد باشد. پایه<sup>۱</sup> لانچر روی سقف کامیون نصب شده و اتصال آن از طریق یک حلقه چرخان<sup>۲</sup> برقرار گردیده است. حلقه چرخان یک درجه<sup>۲</sup> آزادی برای لانچر ایجاد می‌کند به طوری که لانچر می‌تواند حول محور  $Z_A$  دوران داشته باشد. لازم به ذکر است که محور سوم این دستگاه که محور دوران بین دستگاه اینرسی و دستگاه سمت است، همواره با محور  $Z_I$  هم امتداد باقی می‌ماند. در شکل زیر پایه<sup>۱</sup> لانچر به همراه دستگاه مختصات چسبیده به آن از دو نما رسم گردیده است. در ضمن محور دوران در نمای از کنار، به صورت خط نقطه نشان داده شده است.

---

<sup>۱</sup> Luncher Base

<sup>۲</sup> slip ring



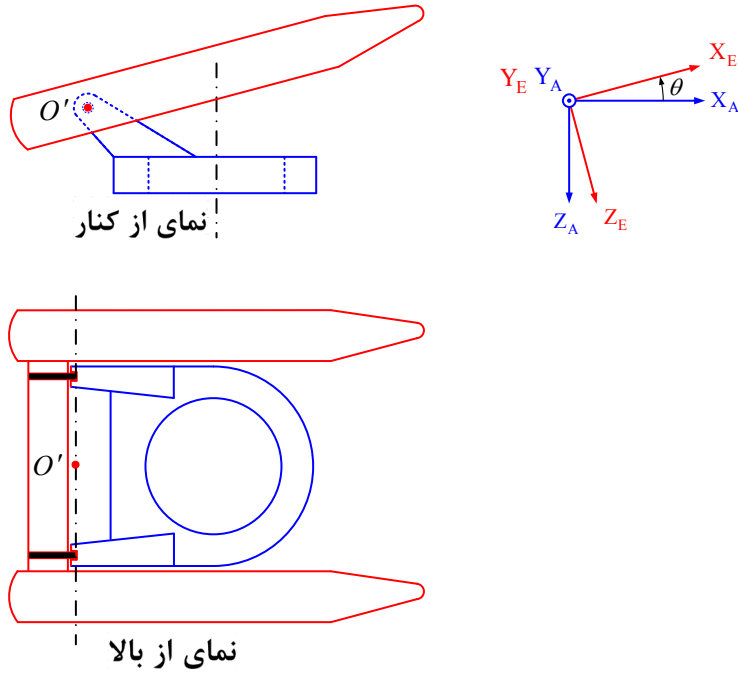
شکل ۱-۲- پایه لانچر به همراه دستگاه مختصات چسبیده به آن

شکل این قطعه نسبت به صفحه  $X_A Z_A$  متقارن است و همین امر سبب می‌شود که برخی از المان‌ها در ماتریس ممان اینرسی آن برابر صفر شود.

### ۱-۲-۳- دستگاه مختصات فراز

این قسمت چسبیده به بخشی از لانچر است که موشک (با محفظه‌اش) روی آن سوار می‌شود. ما در تحلیل‌هایمان همواره فرض می‌کنیم که محفظه موشک روی لانچر وجود دارد. اما خالی یا پر بودن محفظه موشک که تاثیر قابل توجهی در ماتریس ممان اینرسی دارد، لحاظ می‌گردد. دستگاه مختصات فراز با  $E$  نشان داده می‌شود. قبل از معرفی محورهای این دستگاه به توصیف شکل آن می‌پردازیم. این بخش از دو مکعب مستطیل تو خالی تشکیل شده که محفظه موشک در داخل آن جاسازی می‌شود. یک جسم استوانه‌ای شکل، از یک طرف دو مکعب مذکور را به هم متصل می‌کند و از طرف دیگر اتصال با پایه لانچر را برقرار می‌نماید. نحوه اتصال به گونه‌ای است که لانچر می‌تواند با یک درجه آزادی نسبت به پایه لانچر دوران نماید. محور اول این دستگاه در امتداد محور طولی مکعب مستطیل و محور دوم آن در امتداد بخش استوانه‌ای شکل است. محور سوم نیز به گونه‌ای انتخاب می‌شود که دستگاه فراز، یک دستگاه متعامد یکه راستگرد باشد. لازم به ذکر است که محور دوم دستگاه که همان محور دوران بین لانچر و پایه‌اش است، همواره با محور  $Y_A$  هم امتداد باقی می‌ماند. در شکل زیر لانچر به همراه پایه آن از

دو نما رسم گردیده است. در ضمن در نمای از بغل دستگاه مختصات سمت و فراز هم آورده شده است. در این شکل محور دوران راستای سمت در نمای از بغل و محور دوران راستای فراز در نمای از بالا، به صورت خط نقطه مشخص گردیده است.



شکل ۱-۳- دستگاه مختصات فراز و دستگاه مختصات سمت

به این ترتیب لانچر نسبت به کامیون دارای دو درجه آزادی دورانی است. در شکل زیر این دو درجه به طور مجزا آورده شده است. نمای از بغل در این شکل چرخشی را نشان می‌دهد که به چرخش در راستای فراز شهرت یافته است. همچنین به چرخش نشان داده شده در نمای از بالا، چرخش در راستای سمت گویند.