

# تمرین سری سوم درس هدایت و ناوبری

علی بنی اسد

۱۴۰۲ اردیبهشت

## ۱ سوال اول

در این بخش از مدل ارائه شده در تمرین سوم استفاده شده است، بنابراین از توضیح مجدد آن خودداری شده است. البته مدل جهت استفاده بهتر برای هدایت دو نقطه‌ای اندکی تغیر کرده است که در ادامه به توضیح آن پرداخته خواهد شد.

### ۱.۱ بخش الف

این بخش شامل دو قسمت بررسی شرایط اولیه و بررسی هدایت دو نقطه‌ای است.

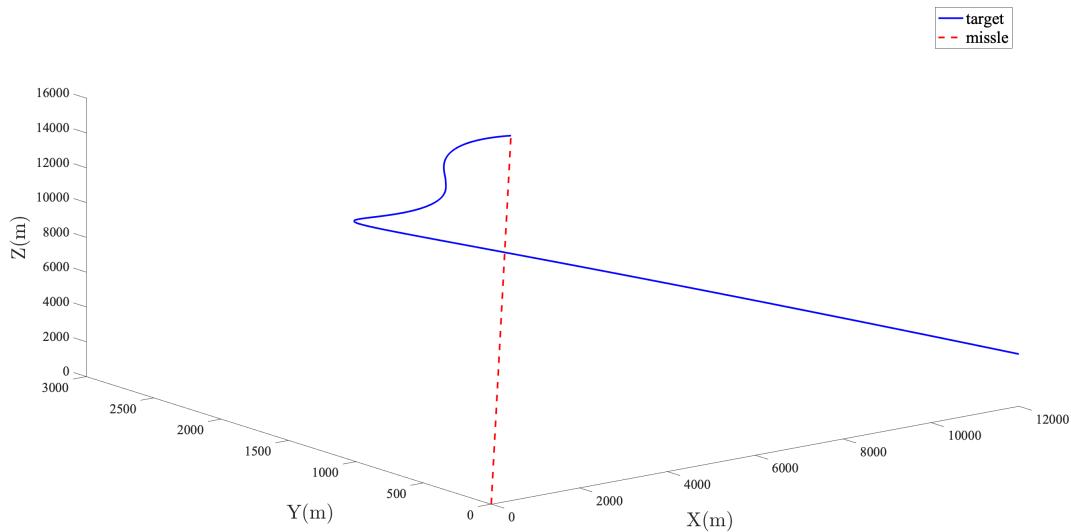
#### ۱.۱.۱ مسیر برخورد

در این قسمت با استفاده از بهینه‌سازی (کد optimization.m) زوایای اولیه جهت قرارگیری موشک بر روی مسیر برخورد<sup>۱</sup> قرار گیرد. شرایط اولیه و فاصله ازدست‌دهی در جدول ۱ آورده شده است.

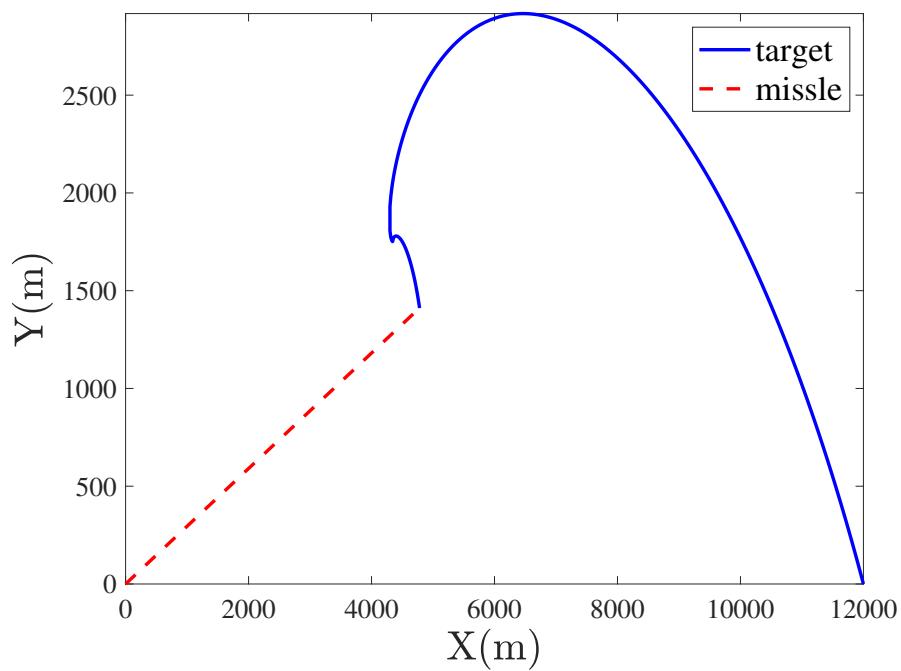
جدول ۱: شرایط اولیه و فاصله ازدست‌دهی

Parameter	Value
$\theta_0$	72.1561°
$\psi_0$	16.4500°
Miss Distance (m)	0.3738

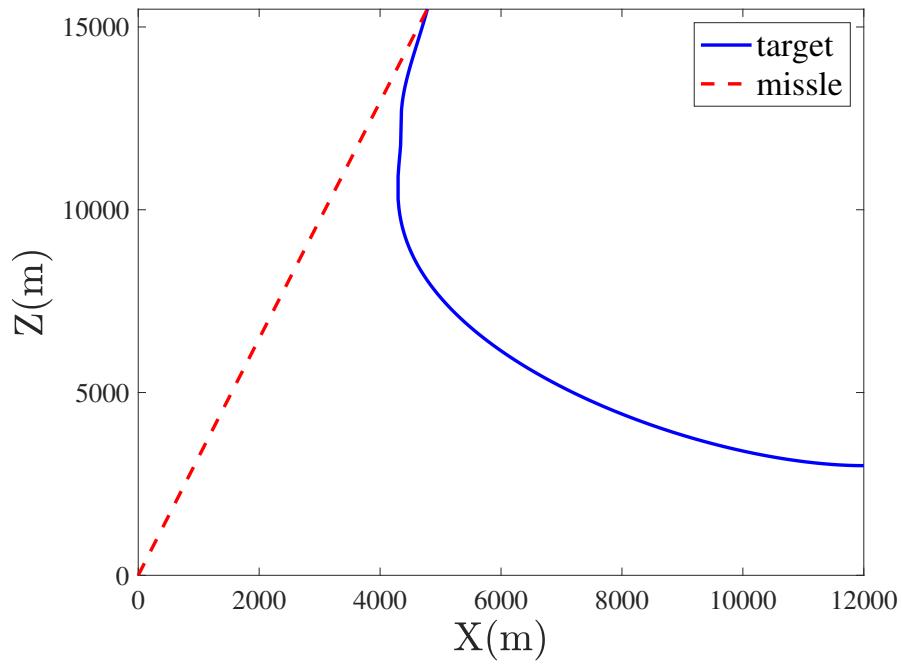
<sup>1</sup>Collision Course



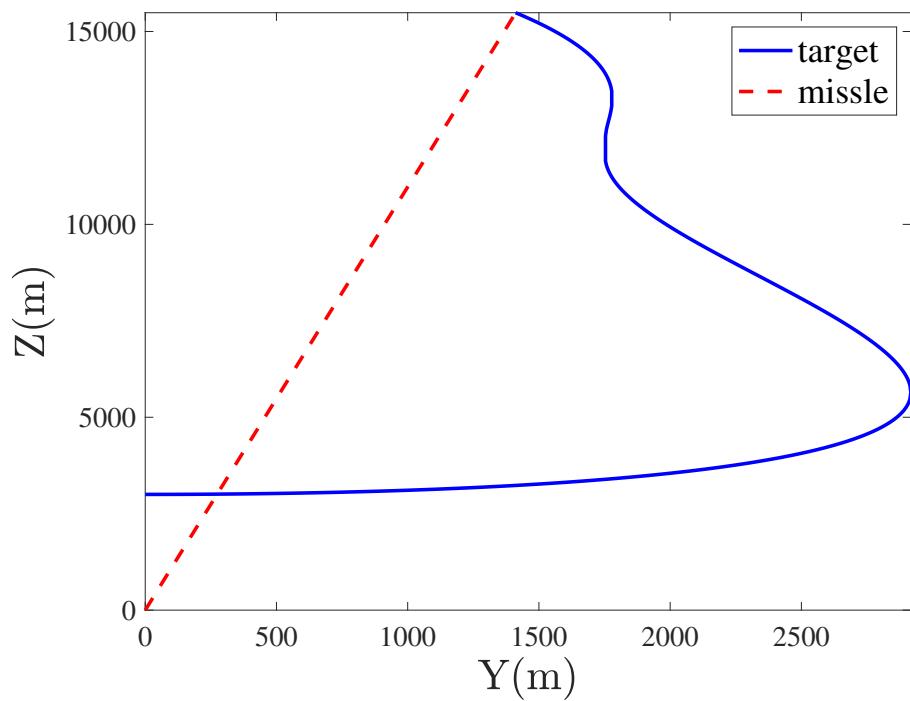
شکل ۱: موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد



شکل ۲: موقعیت موشک و هدف در صفحه xy با شرایط اولیه مسیر برخورد



شکل ۳: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $xz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد



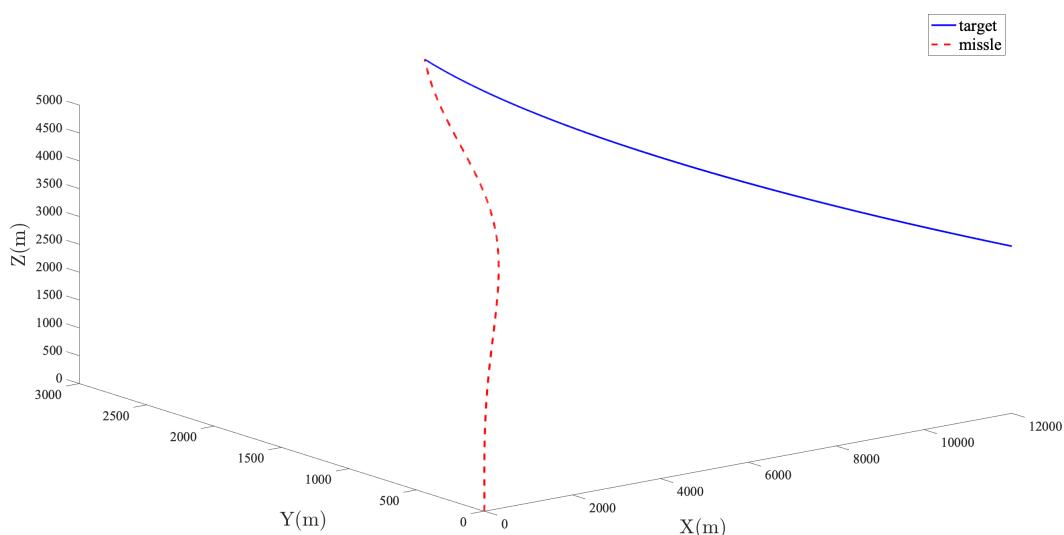
شکل ۴: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $yz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد

### ۲.۱.۱ هدایت دو نقطه‌ای

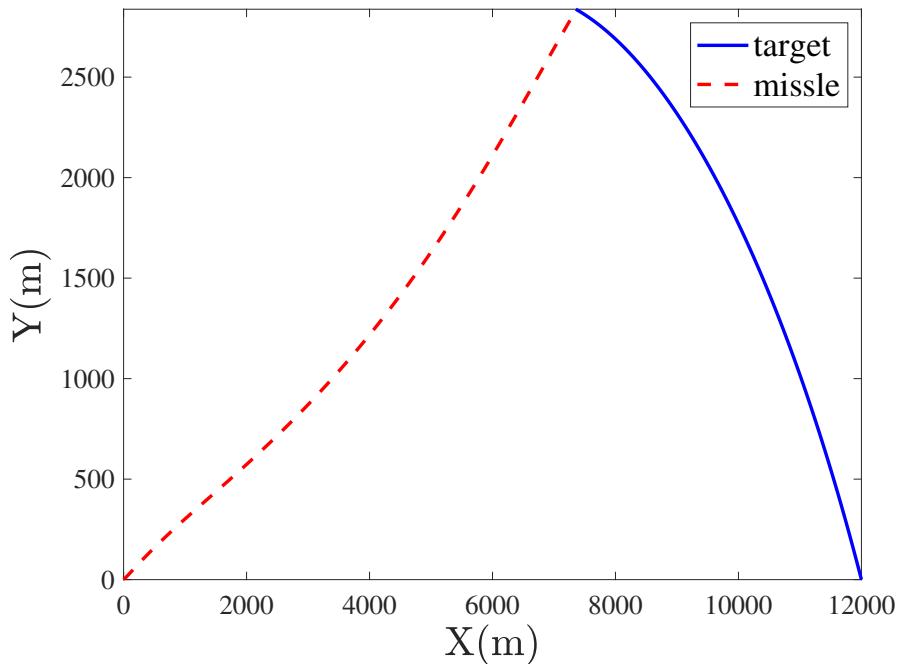
در این بخش به بررسی هدایت تناسبی پرداخته شده است. نتایج برای  $N = 4$  در ادامه آورده شده است.

جدول ۲: پارامترها و نتایج هدایت تناسبی

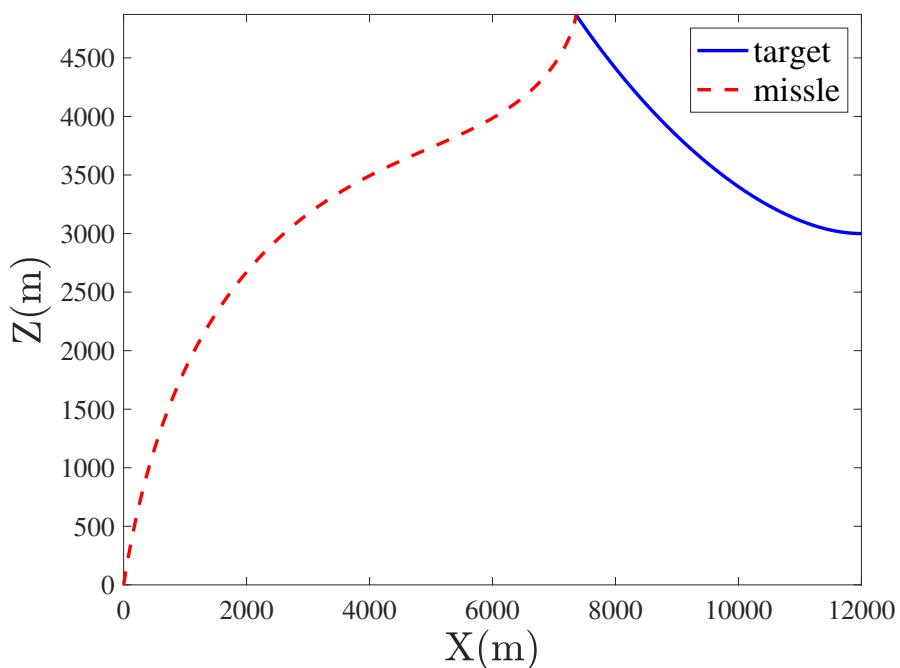
Parameter	Value
$N$	4
$\theta_0$	$72.1561^\circ$
$\psi_0$	$16.4500^\circ$
Miss Distance (m)	0.8344
Control effort	1278



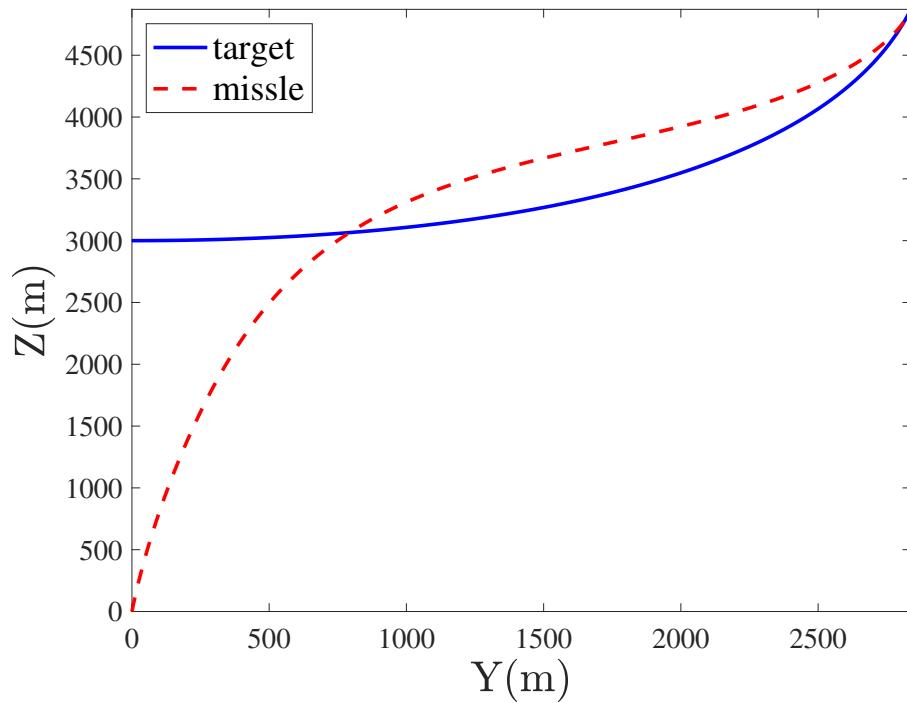
شکل ۵: موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی



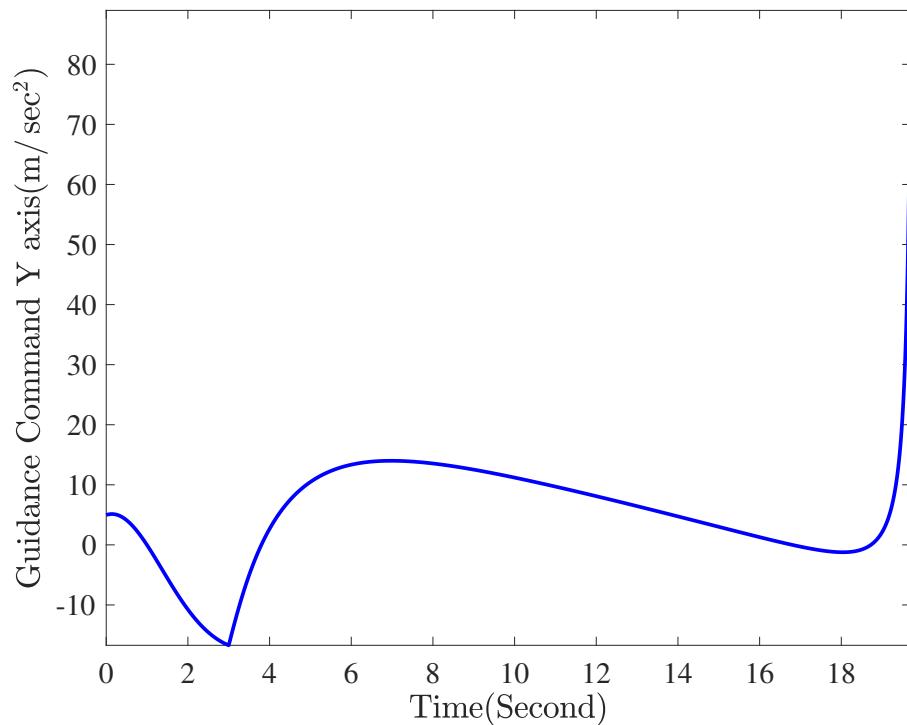
شکل ۶: موقعیت موشک و هدف در صفحه xy با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تنااسبی



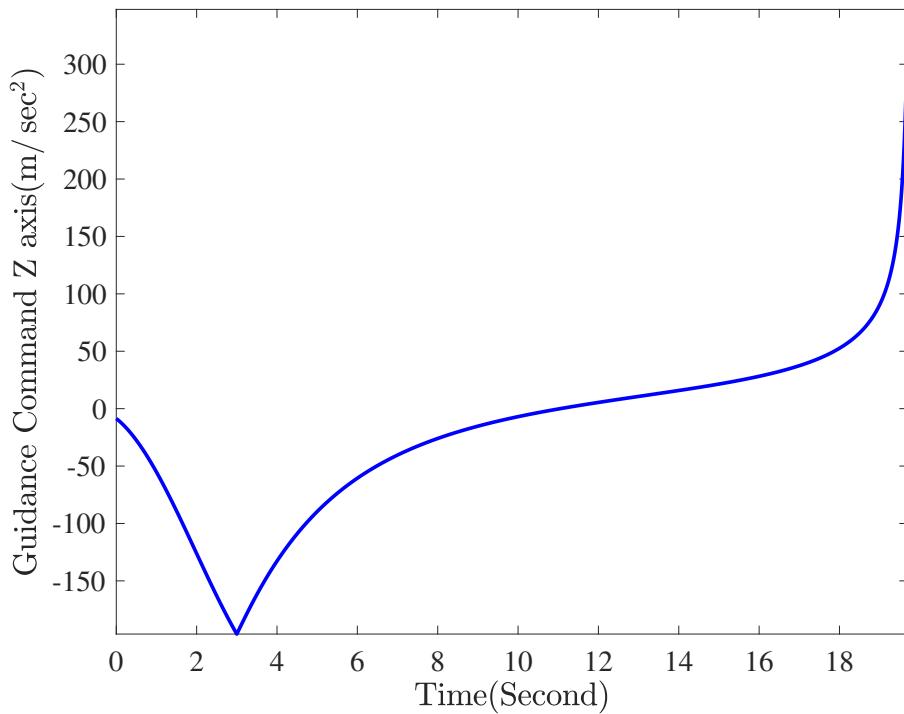
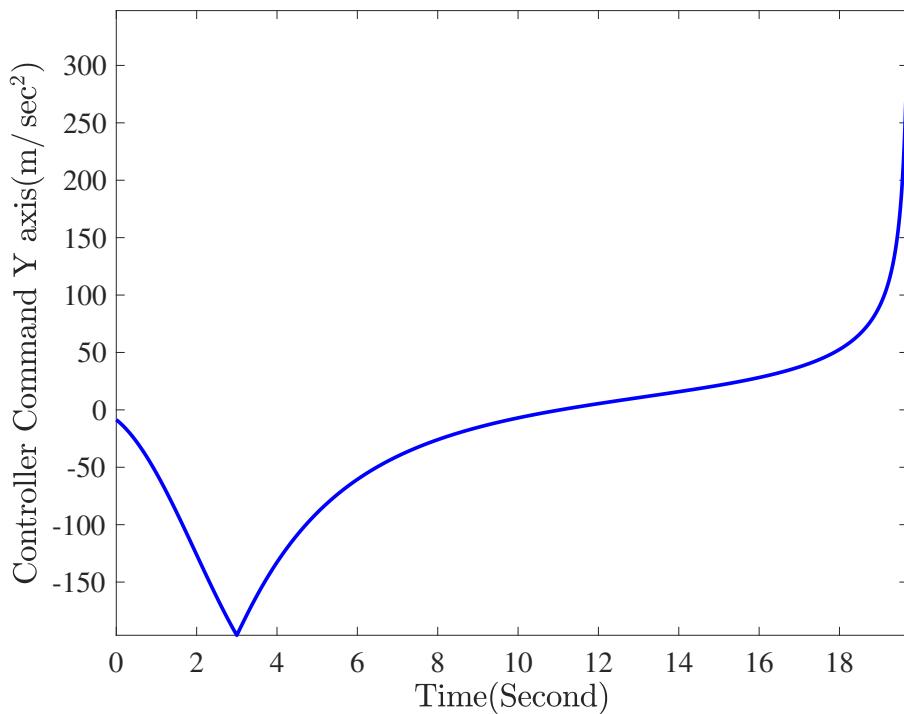
شکل ۷: موقعیت موشک و هدف در صفحه xz با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تنااسبی

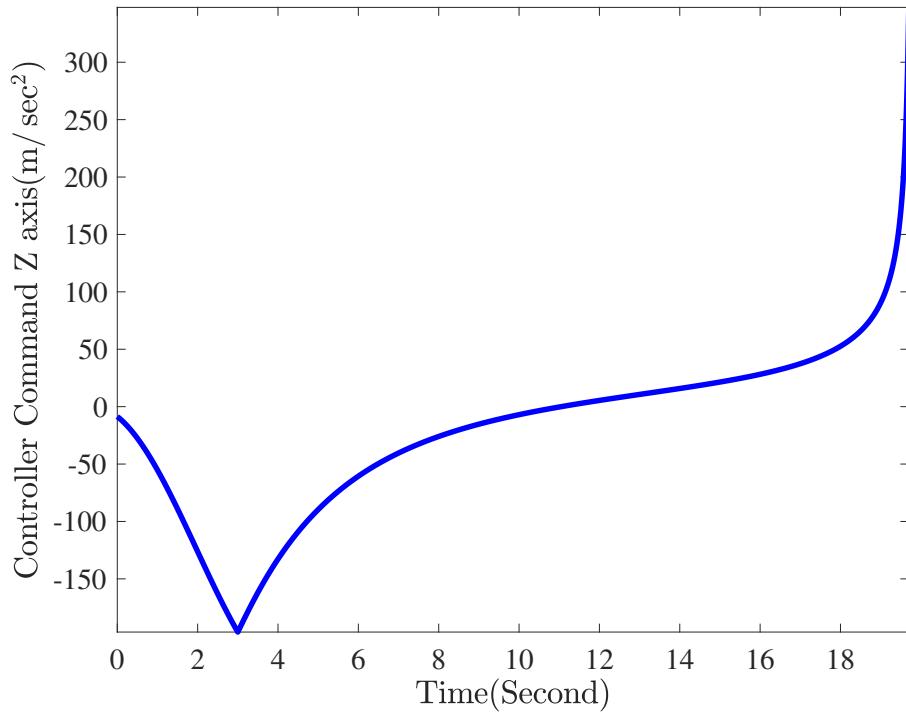


شکل ۸: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $yz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی

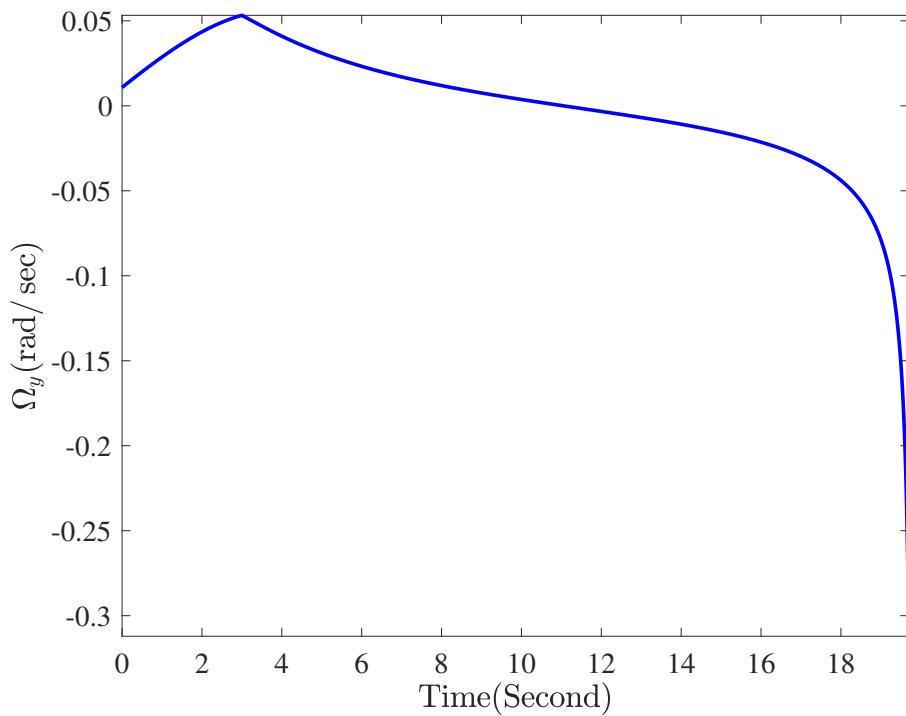


شکل ۹: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$

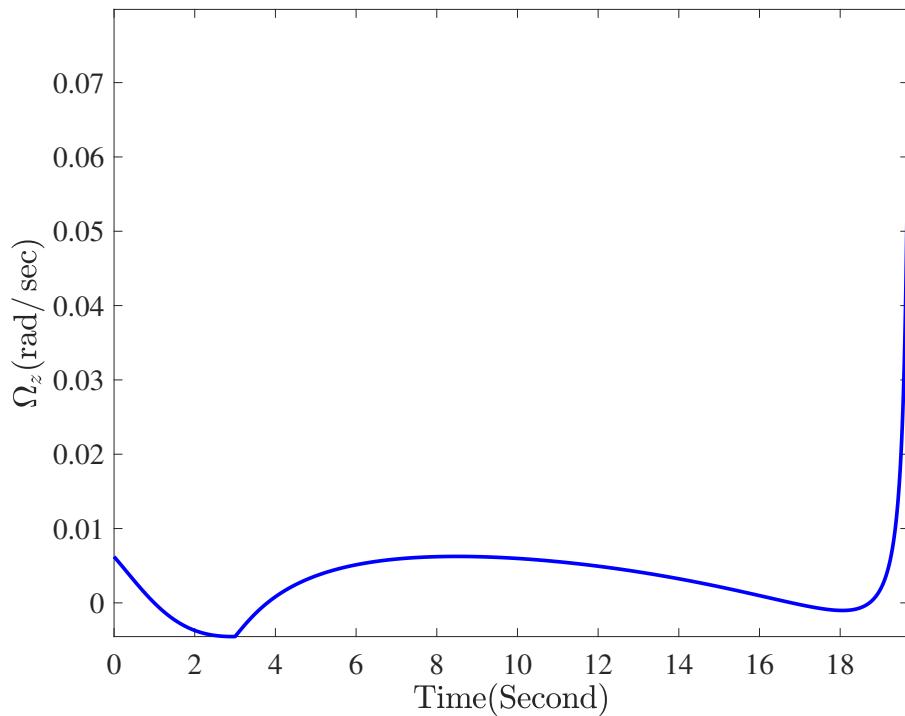
شکل ۱۰: فرمان هدایت تناوبی در جهت محور  $Z$ شکل ۱۱: فرمان کنترل کننده در جهت محور  $y$



شکل ۱۲: فرمان کنترل کننده در جهت محور z

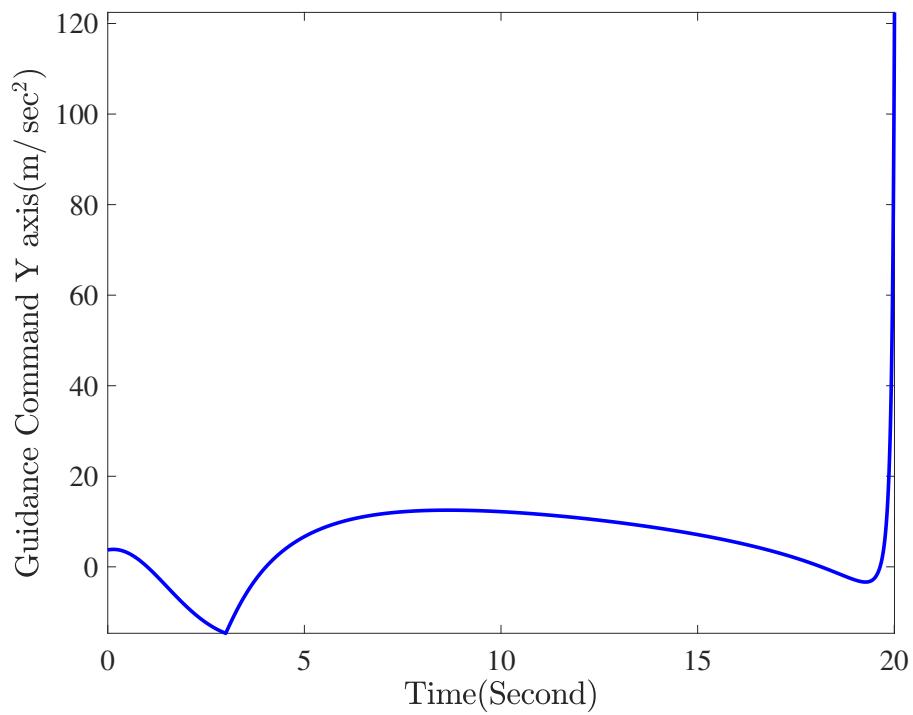
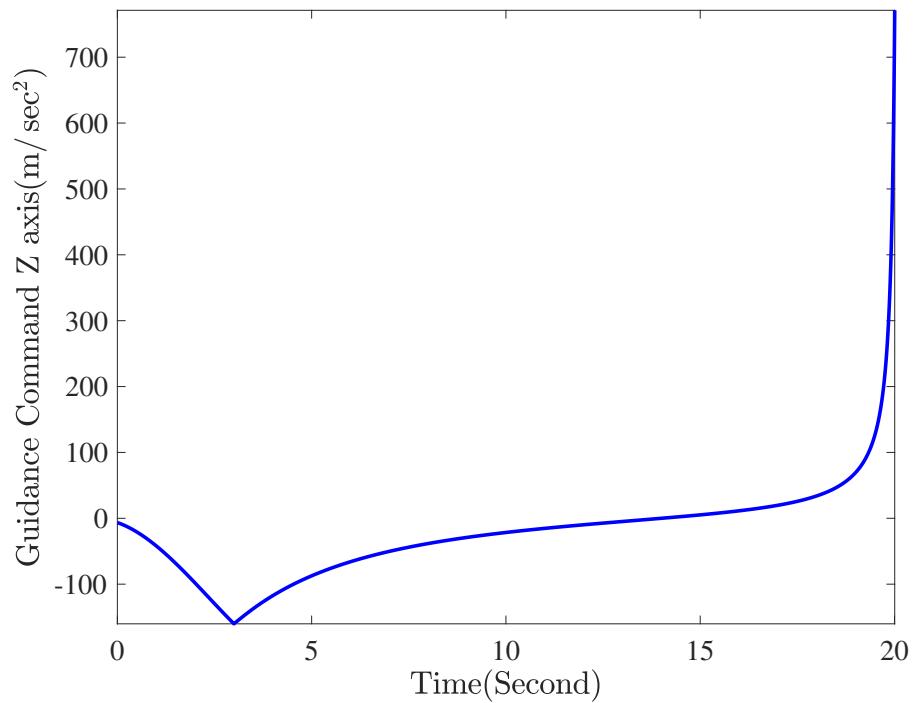


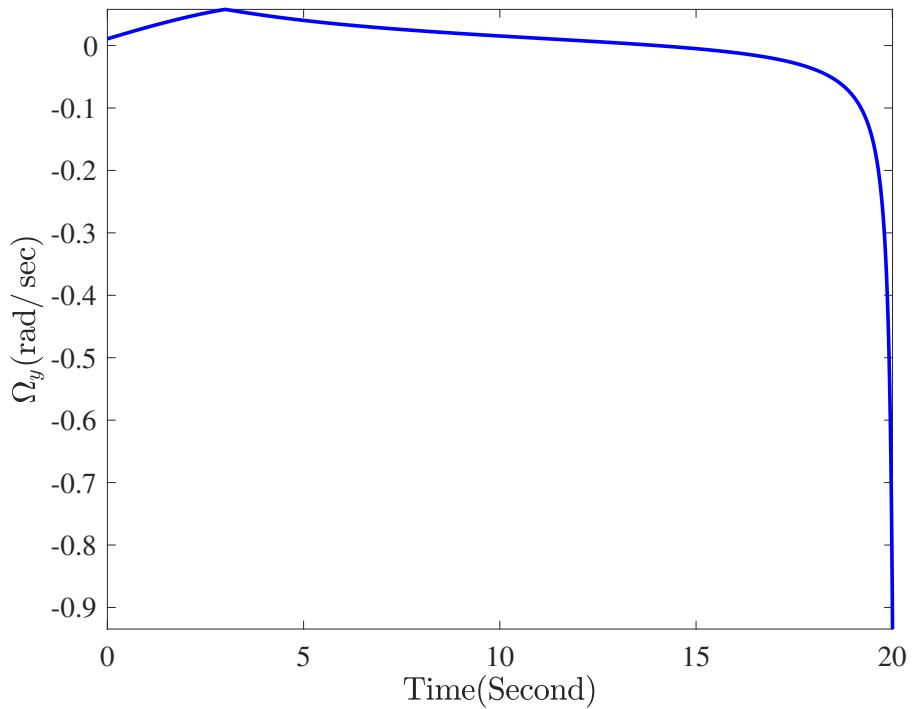
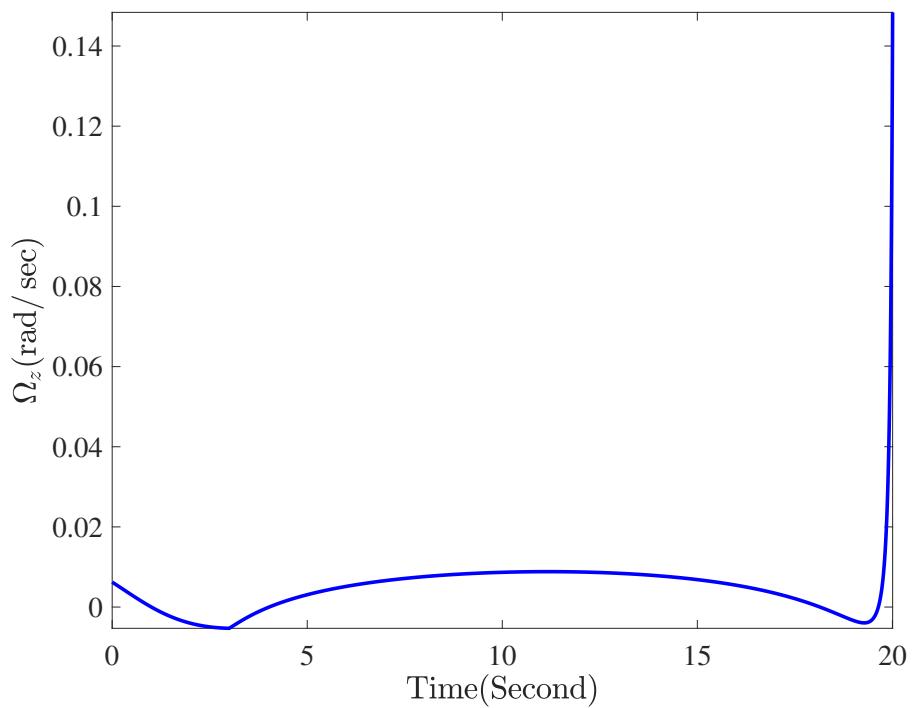
شکل ۱۳: نرخ چرخش خط دید حول محور y

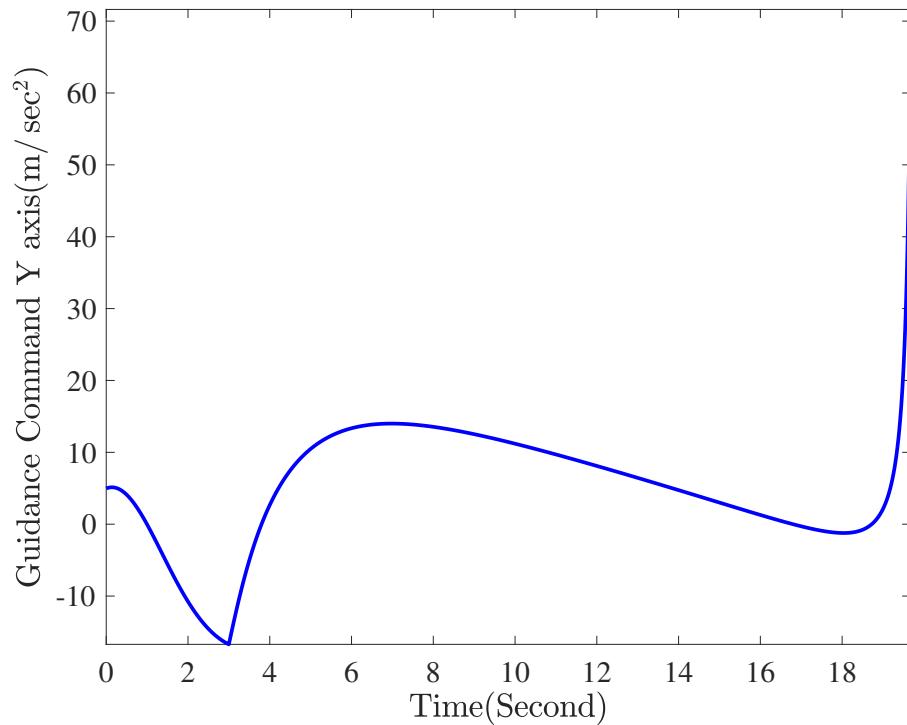
شکل ۱۴: نرخ چرخش خط دید حول محور  $z$ 

## ۲.۱ بخش ب

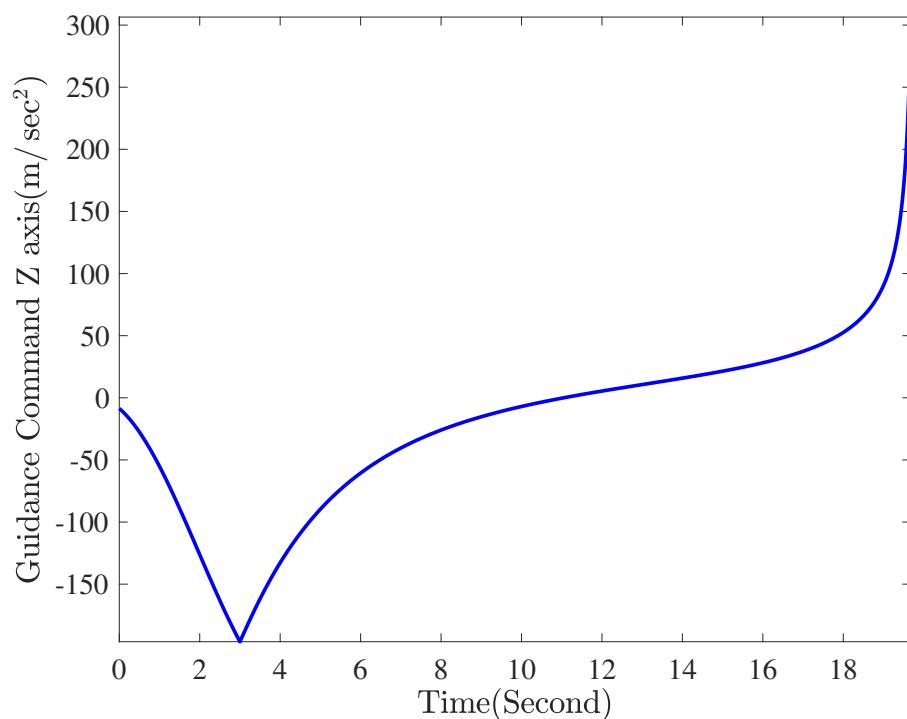
در این بخش به بررسی عملکرد هدایت تناسبی خالص برای مقادیر مختلف  $N$  پرداخته شده است. نتایج فرمان هدایت و نرخ چرخش در ادامه آمده است.

شکل ۱۵: فرمان هدایت تناوبی در جهت محور y برای  $N = 3$ شکل ۱۶: فرمان هدایت تناوبی در جهت محور z برای  $N = 3$

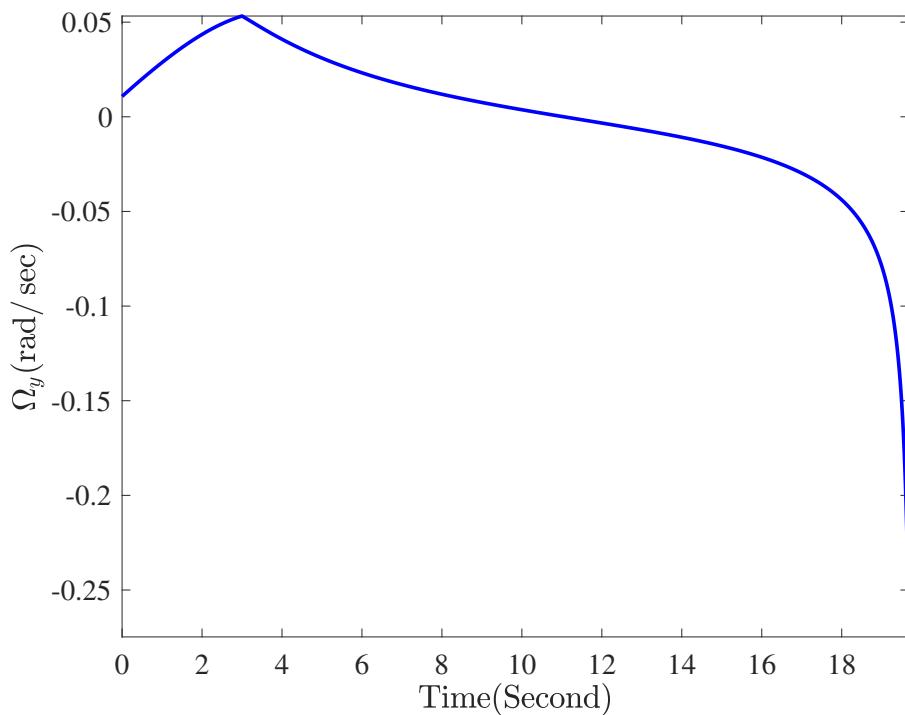
شکل ۱۷: نرخ چرخش حول محور y برای  $N = 3$ شکل ۱۸: نرخ چرخش حول محور z برای  $N = 3$



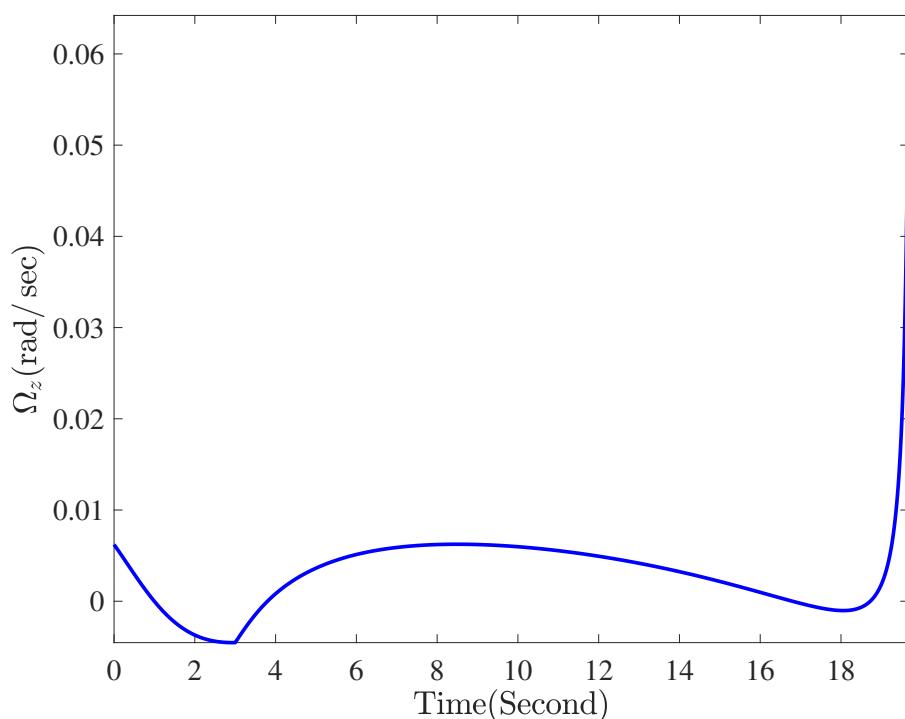
شکل ۱۹: فرمان هدایت تناوبی در جهت محور y برای  $N = 4$



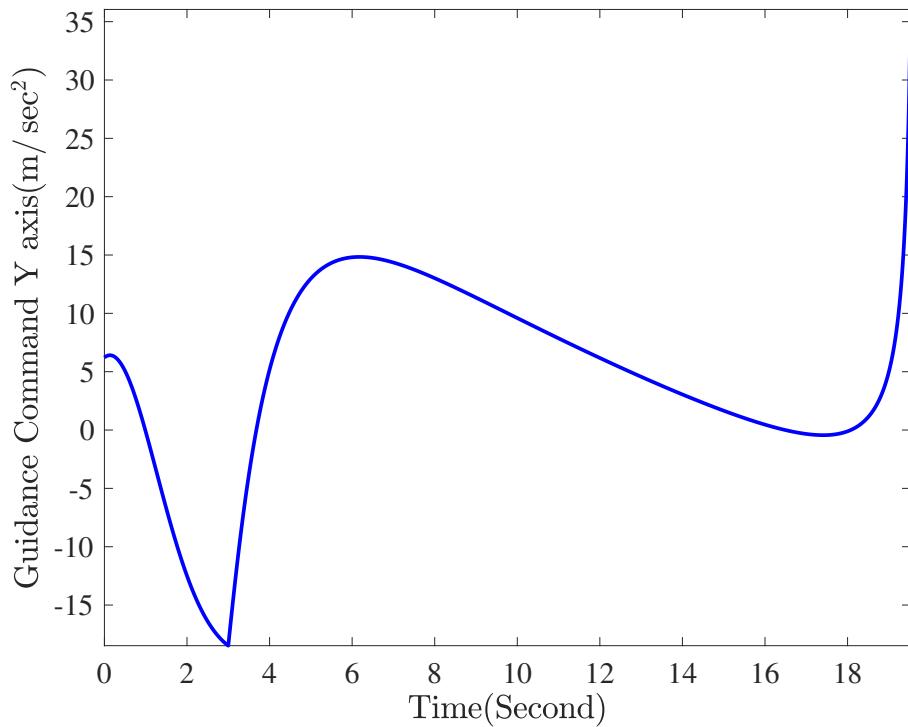
شکل ۲۰: فرمان هدایت تناوبی در جهت محور z برای  $N = 4$



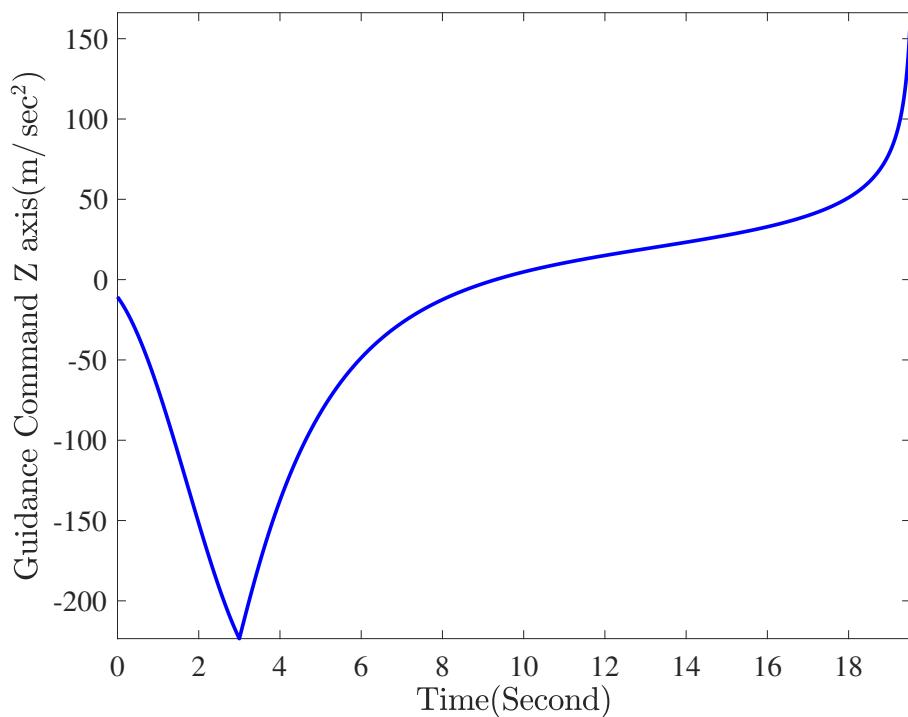
شکل ۲۱: نرخ چرخش حول محور y برای  $N = 4$



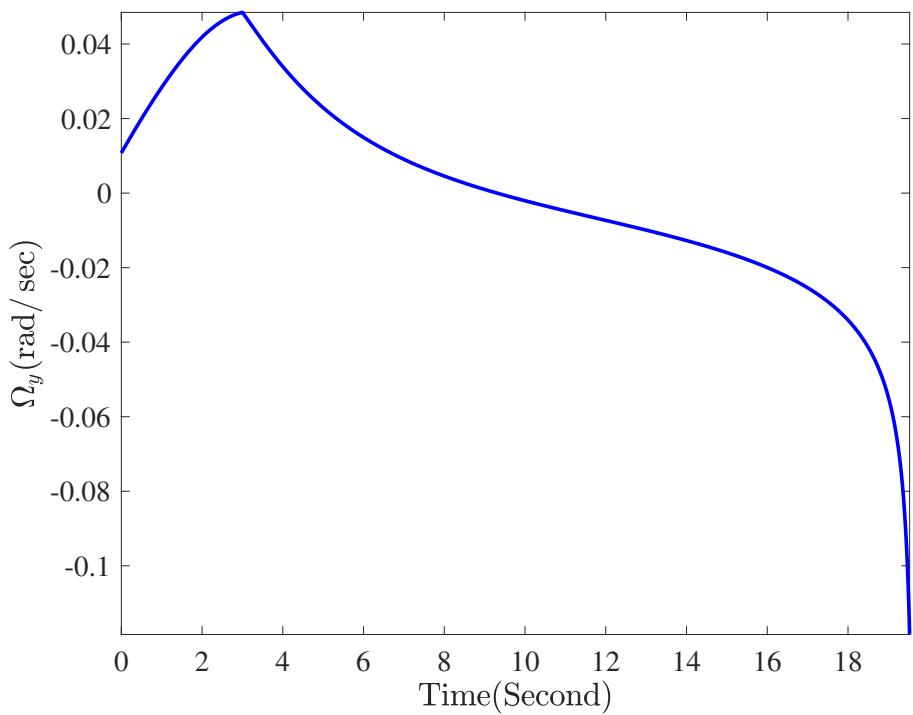
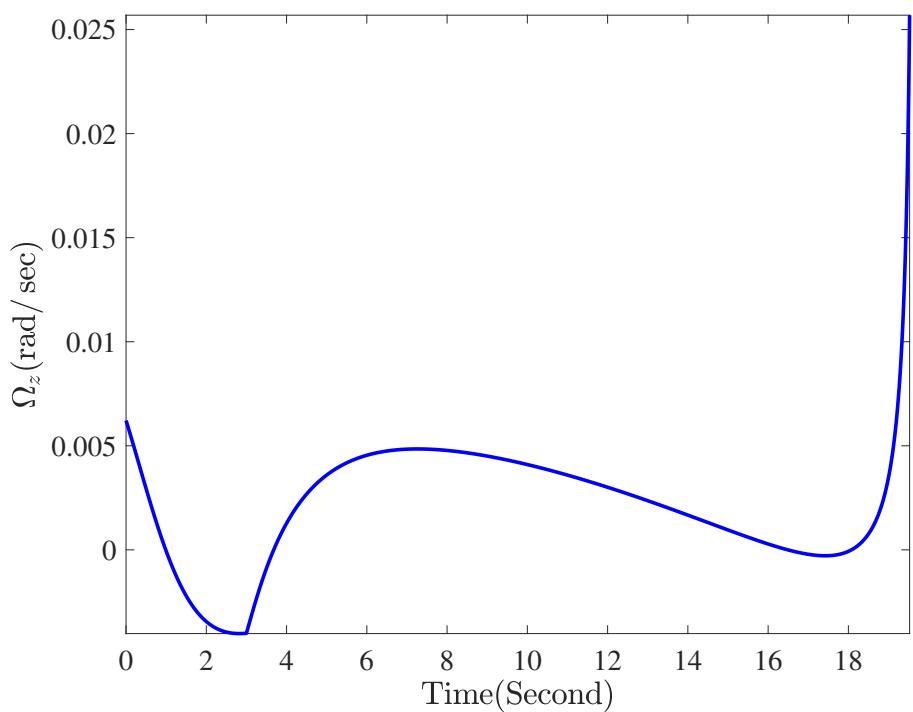
شکل ۲۲: نرخ چرخش حول محور z برای  $N = 4$

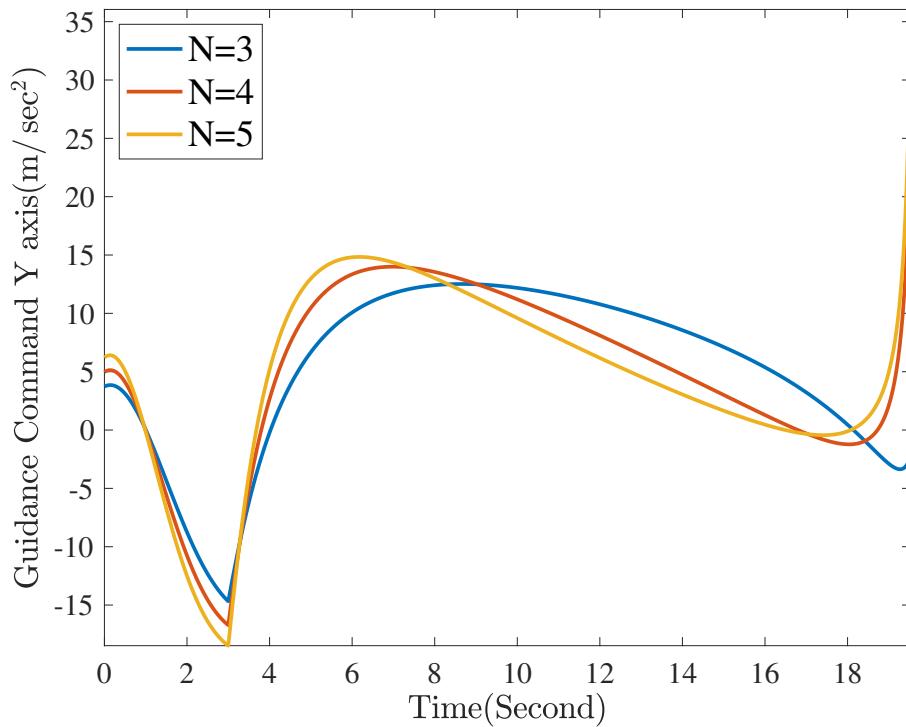


شکل ۲۳: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور y برای  $N = 5$

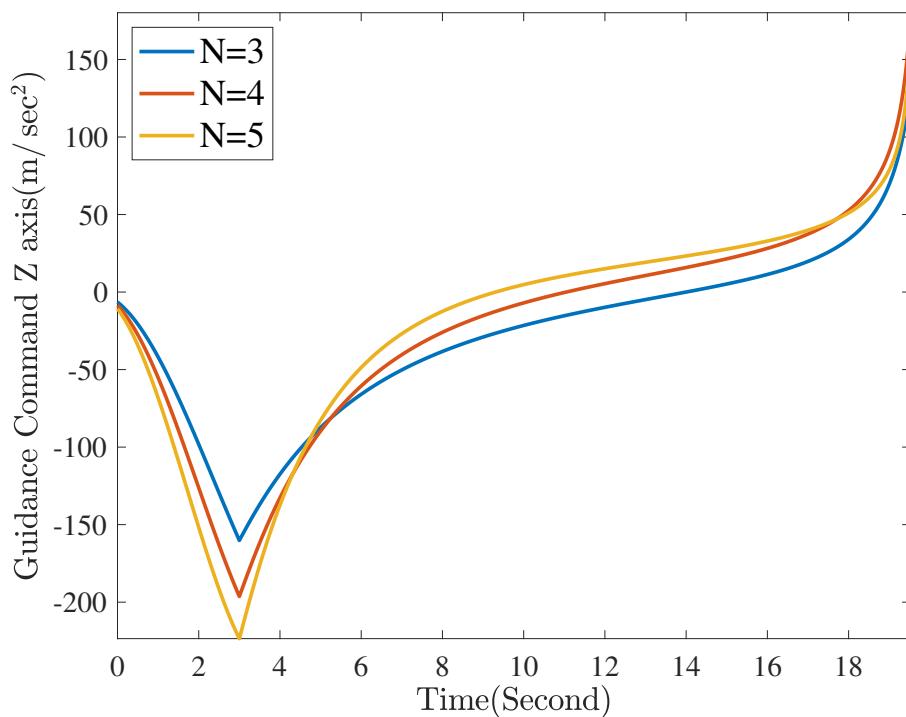


شکل ۲۴: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور z برای  $N = 5$

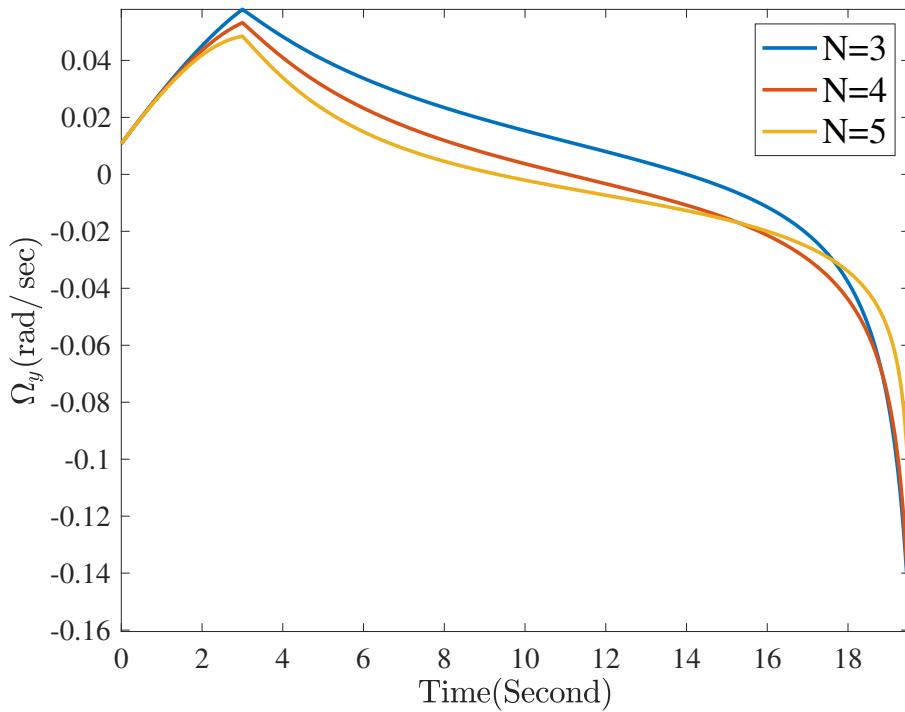
شکل ۲۵: نرخ چرخش حول محور y برای  $N = 5$ شکل ۲۶: نرخ چرخش حول محور z برای  $N = 5$



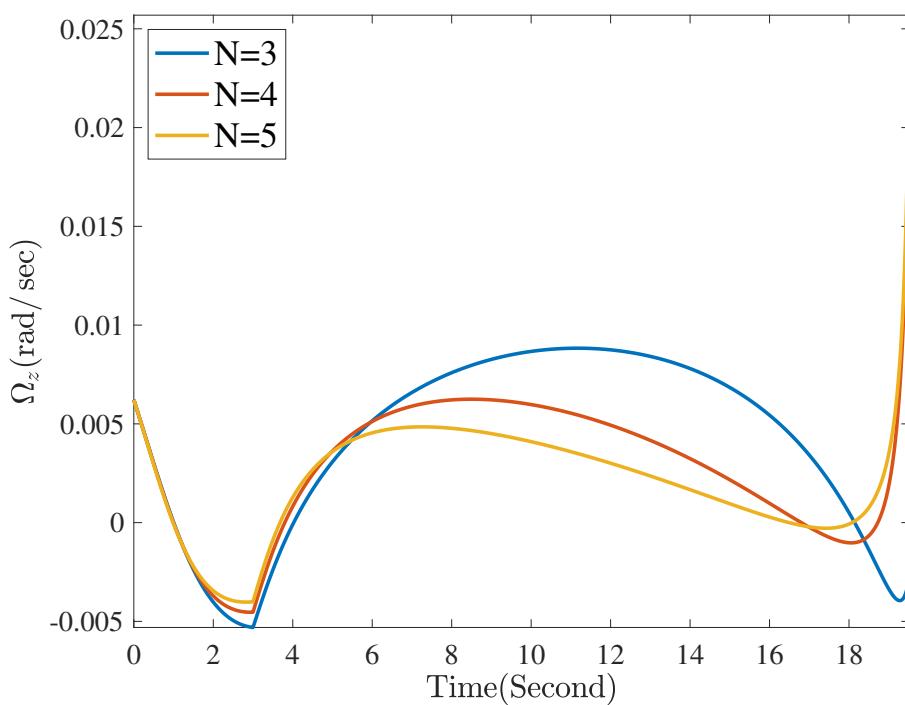
شکل ۲۷: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور y برای تمامی مقادیر N



شکل ۲۸: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور z برای تمامی مقادیر N



شکل ۲۹: نرخ چرخش حول محور y برای تمامی مقادیر N



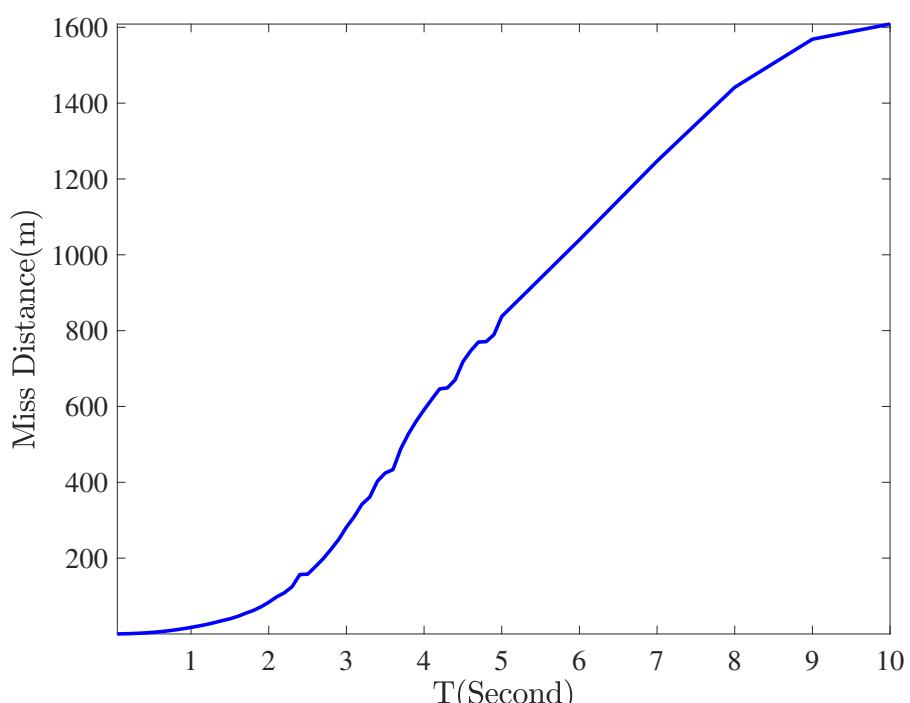
شکل ۳۰: نرخ چرخش حول محور z برای تمامی مقادیر N

بر اساس نمودارهای فرمان شتاب، ضریب هدایت بیشتر فرمان شتاب هدایت بیشتری تولید

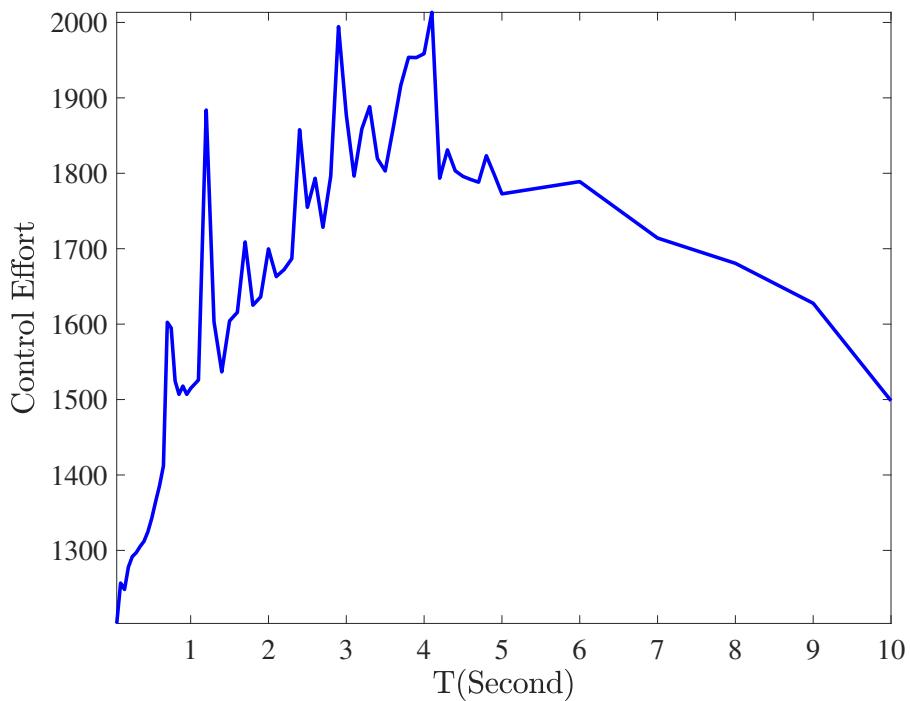
می‌کند. بنابراین نرخ چرخش خط دید سریع‌تر کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. به همین دلیل، در انتهای ماموریت دستور شتاب کمتری دارد و باعث می‌شود وارد محدوده اشباع نشود. در انتهای ماموریت  $t_f = t_f$  تکینگی وجود دارد که در نمودارها دیده می‌شود. در بخش‌های آینده با استفاده از فرمان‌های قبلی در نزدیکی هدف، این مشکل برطرف شده است.

### ۳.۱ بخش پ

در این بخش به بررسی تاثیر  $T$  بر فاصله ازدست‌دهی و تلاش کنترلی پرداخته شده است.



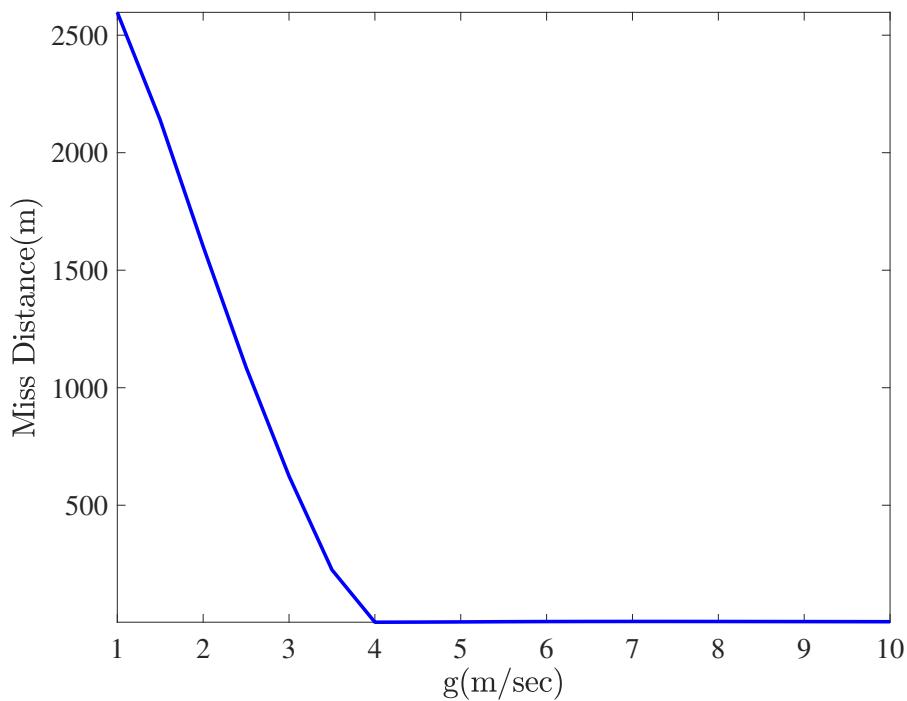
شکل ۳۱: فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف  $T$

شکل ۳۲: تلاش کنترلی برای مقادیر مختلف  $T$ 

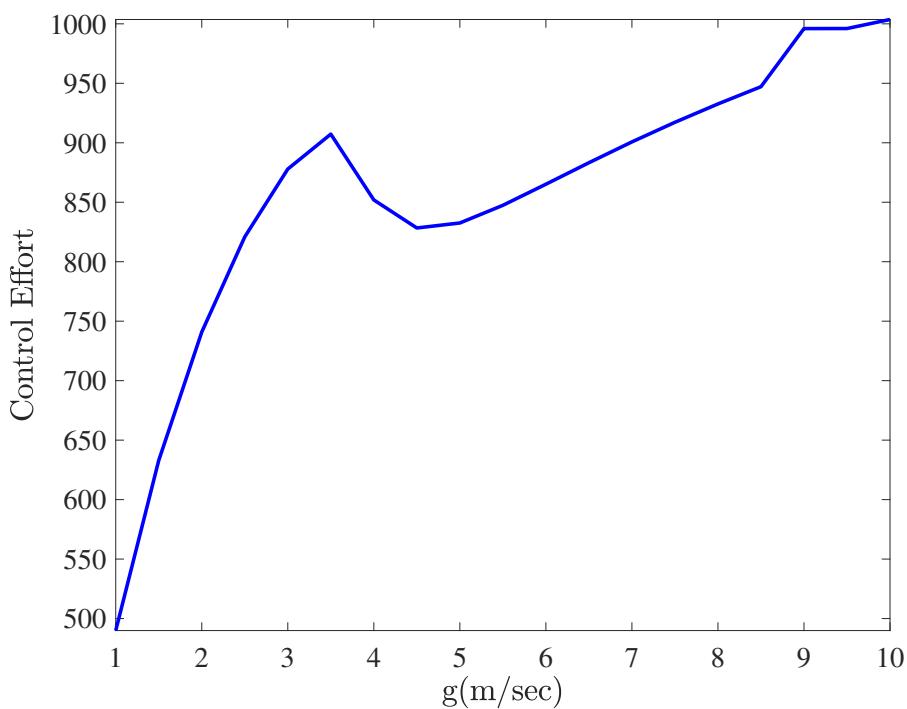
بر اساس نتایج بالا با افزایش  $T$  فاصله ازدستدهی زیاد می‌شود و بر اساس میزان دقت می‌توان محدوده قابل قبول را بدست آورد. در اینجا، برای مقادیر کمتر از ۱ نتایج معقولی دارد و می‌توان ار آن استفاده کرد. از طرفی، تلاش کنترلی با افزایش  $T$  ابتدا افزایش سپس کاهش می‌یابد.

## ۴.۱ بخش ت

در این بخش به بررسی تاثیر اشباع عملگر بر فاصله ازدستدهی و تلاش کنترلی پرداخته شده است.



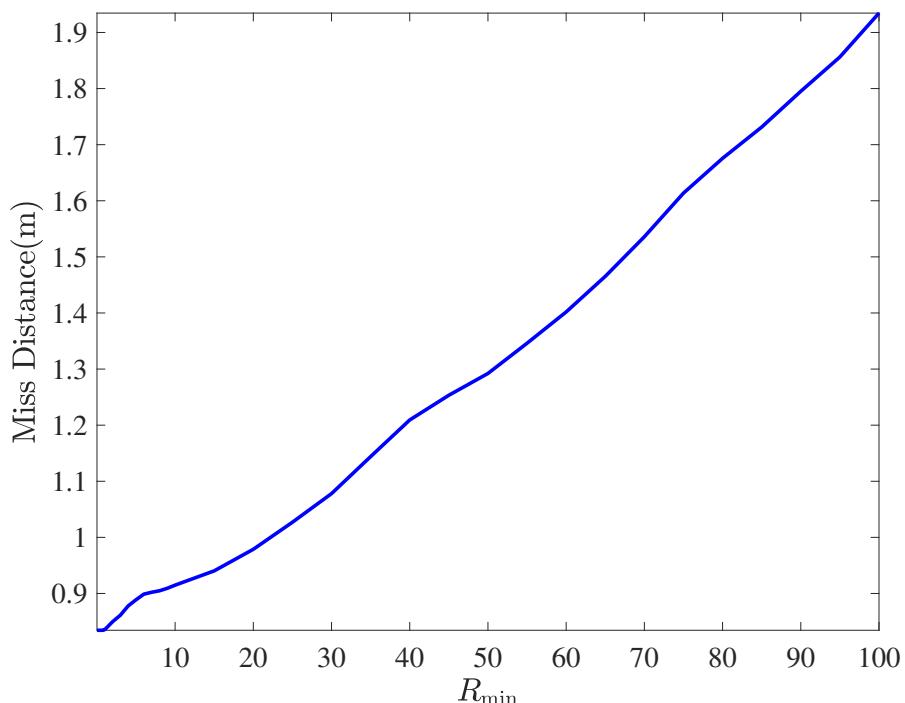
شکل ۳۳: فاصله ازدست دهی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر



شکل ۳۴: تلاش کنترلی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر

## ۵.۱ بخش ث

در این بخش به بررسی تاثیر  $R_{\min}$  بر فاصله ازدستدهی پرداخته شده است.



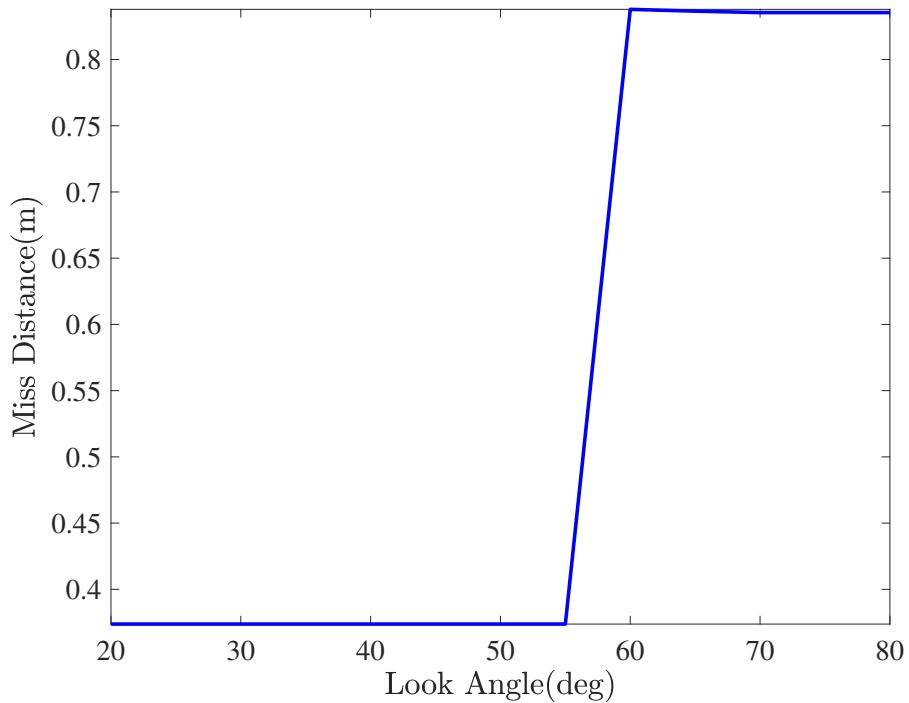
شکل ۳۵: فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف  $R_{\min}$

بر اساس نمودار بالا عمکرد موشك تا ۱۰۰ متر فاصله هم قابل قبول است و نتایج خوبی دارد.

## ۶.۱ بخش ج

در این بخش به بررسی اثر زاویه دید<sup>۲</sup> بر فاصله ازدستدهی پرداخته شده است.

<sup>2</sup>Look Angle

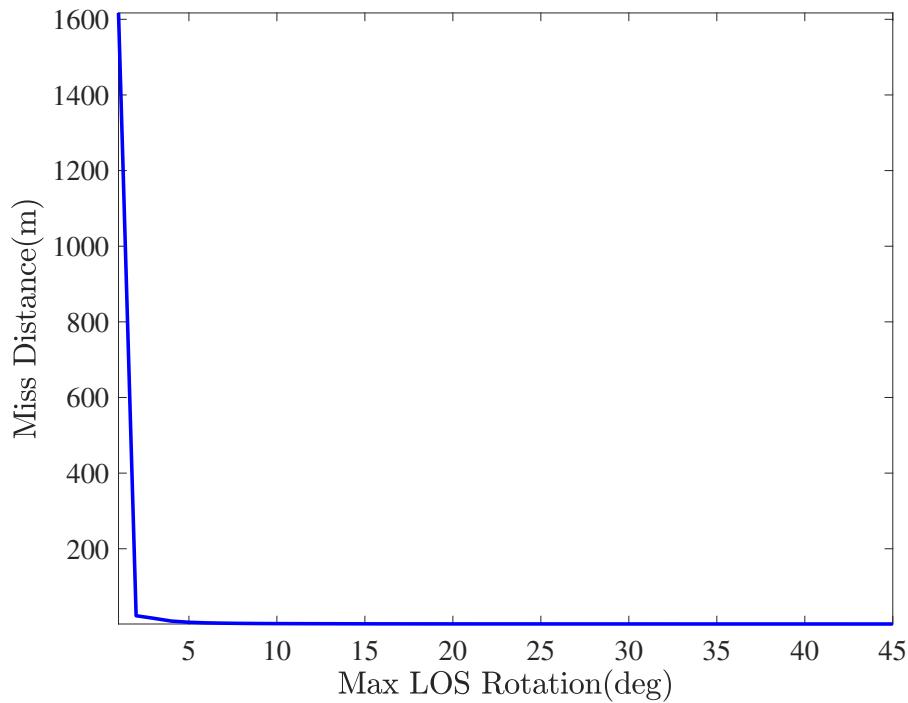


شکل ۳۶: فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف زاویه دید

با توجه به اینکه شرایط اولیه بر روی مسیر برخورد است بدون فرمان کنترلی نیز به هدف می‌رسد. بنابراین در نبود فرمان بر روی مسیر هدف حرکت کرده و به هدف می‌رسد.

## ۷.۱ بخش چ

در این بخش به بررسی اثر بیشترین نرخ چرخش قابل مشاهده جستجوگر بر فاصله ازدستدهی پرداخته شده است.

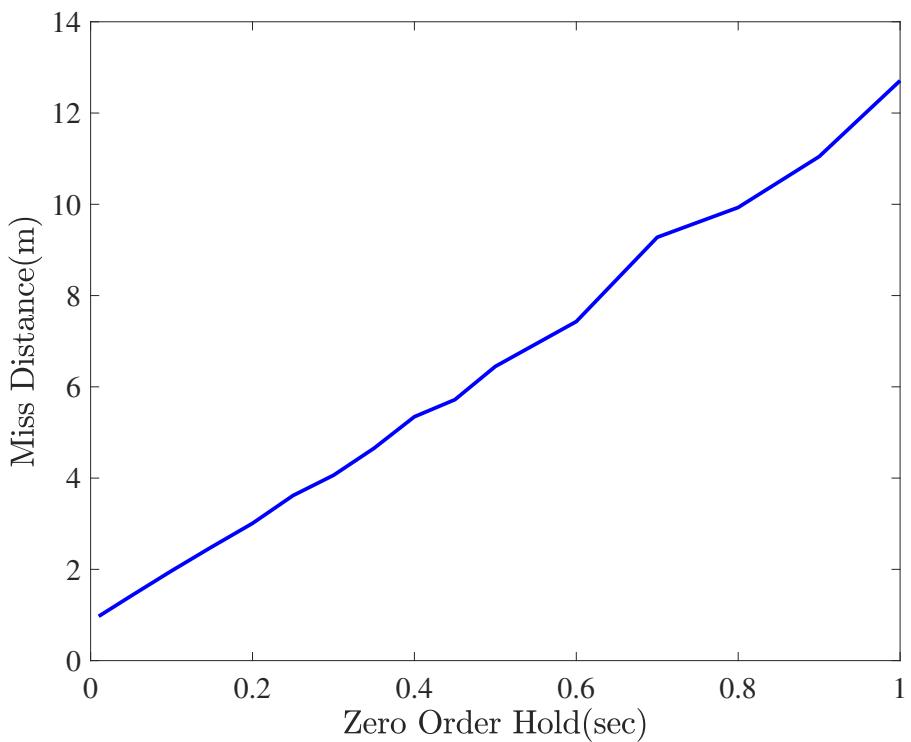


شکل ۳۷: فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف بیشترین نرخ چرخش قابل مشاهده

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، هر چه بیشترین نرخ چرخش بالا بود، فاصله ازدستدهی کاهش می‌یابد. مقدار قابل قبول متناسب با هدف انتخاب می‌شود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی در نرخ چرخش ۵ درجه مقدار فاصله ازدستدهی کم و بیشترین نرخ چرخش معقول است.

## ۸.۱ بخش ح

در این بخش به بررسی نرخ بهروزرسانی قانون هدایت بر فاصله ازدستدهی پرداخته شده است.



شکل ۳۸: فاصله ازدست دهی برای مقادیر مختلف نرخ به روزرسانی قانون هدایت

بر اساس نتایج شبیه سازی در نرخ به روزرسانی  $1/0$  ثانیه، فاصله از دست دهی حدود یک متر است که مقداری معقول است و می شود نرخ به روزرسانی فرمان هدایت را حدود آن قرار داد.

## سوال دوم ۲

در این سوال به بررسی قانون هدایت تناسبی حقیقی پرداخته شده است.

### ۱.۲ بخش الف

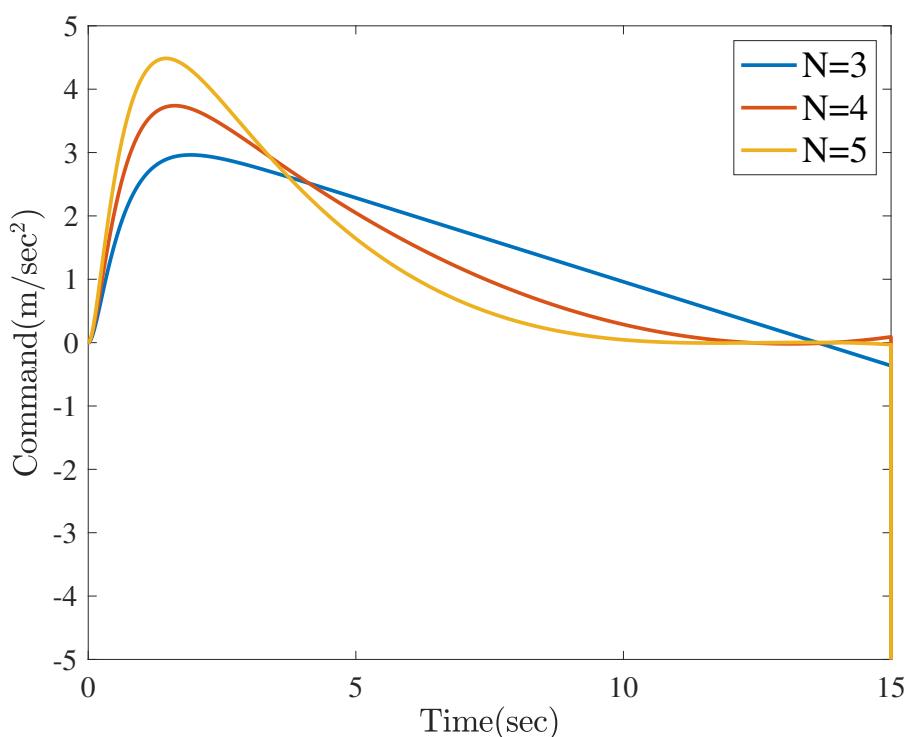
در این بخش به بررسی ضریب تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی پرداخته شده است. نتایج برای ضریب های مختلف  $N'$  آورده شده است.

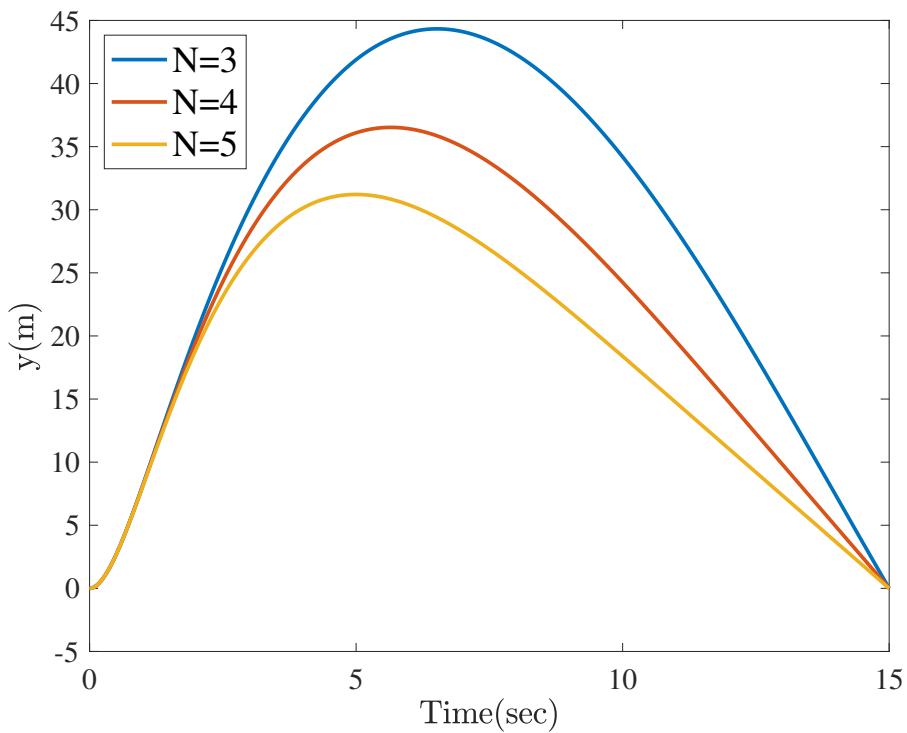
جدول ۳: فاصله ازدستدهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

$N'$	Miss Distance (m)
3	$0.8439 \times 10^{-8}$
4	$0.0834 \times 10^{-8}$
5	$0.9282 \times 10^{-8}$

جدول ۴: تلاش کنترلی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

$N'$	Control Effort
3	22.3836
4	19.6963
5	18.4226

شکل ۳۹: فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف  $N'$



شکل ۴۰: متغیر  $y$  در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف  $N'$

## ۲.۲ بخش ب

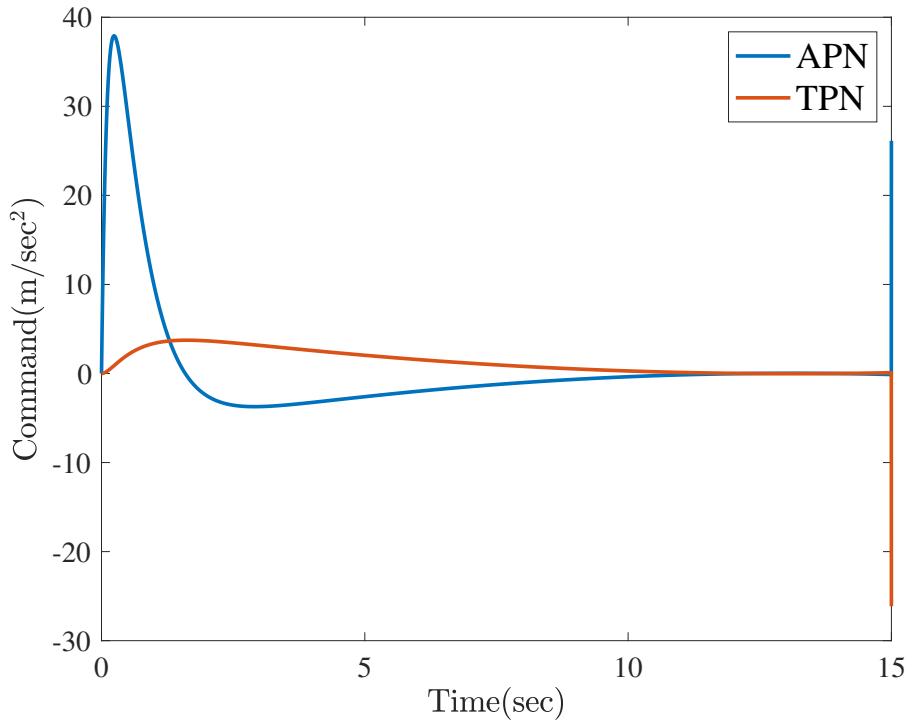
در این بخش به بررسی تفاوت قانون هدایت تناسبی حقیقی و هدایت تناسبی افزوده پرداخته شده است.

جدول ۵: فاصله ازدست‌دهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

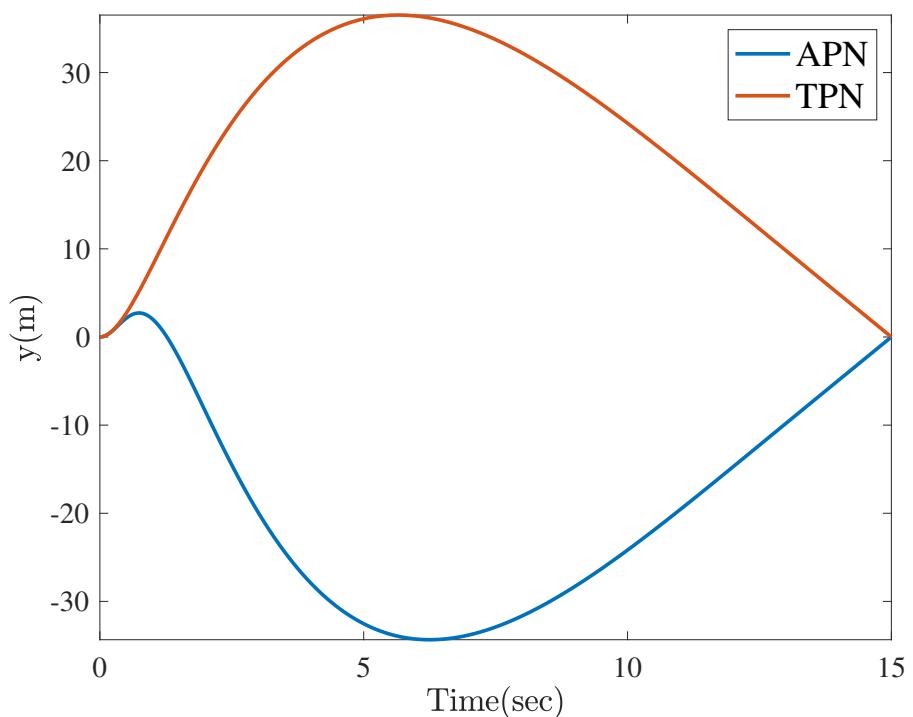
Guidance Law	Miss Distance (m)
TPN	$0.0834 \times 10^{-8}$
APN	0

جدول ۶: تلاش کنترلی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

Guidance Law	Control Effort
TPN	19.6963
TPN	44.6641



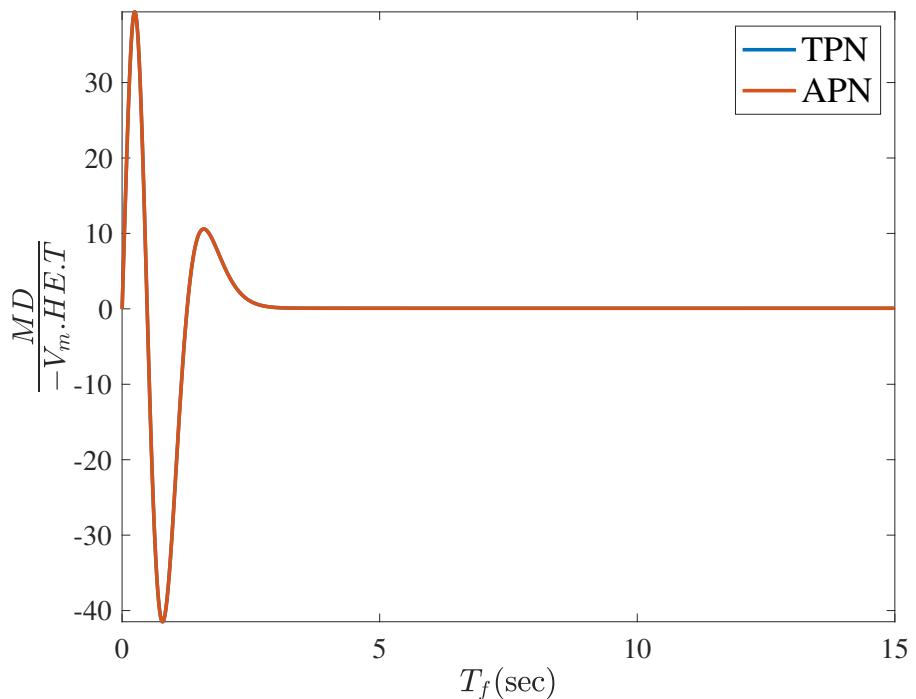
شکل ۴۱: مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده



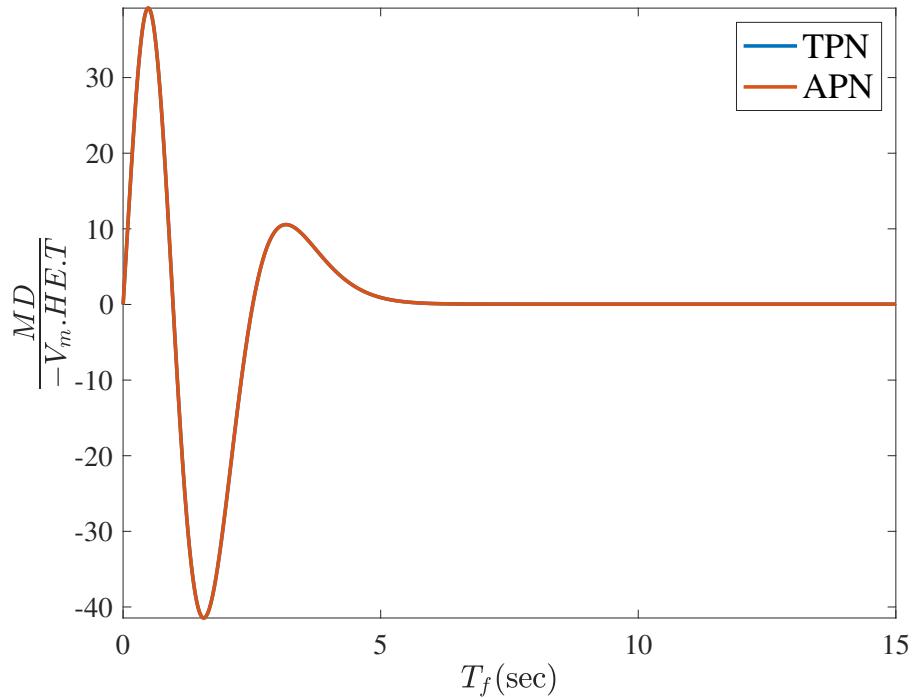
شکل ۴۲: مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده

## ۳.۲ بخش پ

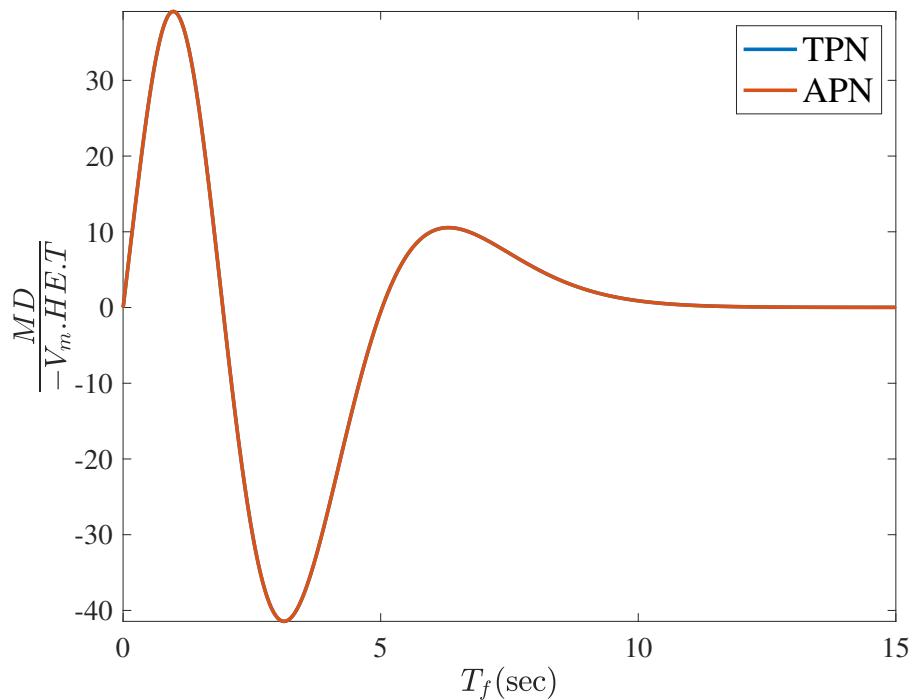
در این بخش به بررسی تغییرات زاویه اولیه و مانور هدف به صورت سیستم الحاقی برای زمان های نهایی مختلف بر فاصله ازدست دهی پرداخته شده است.



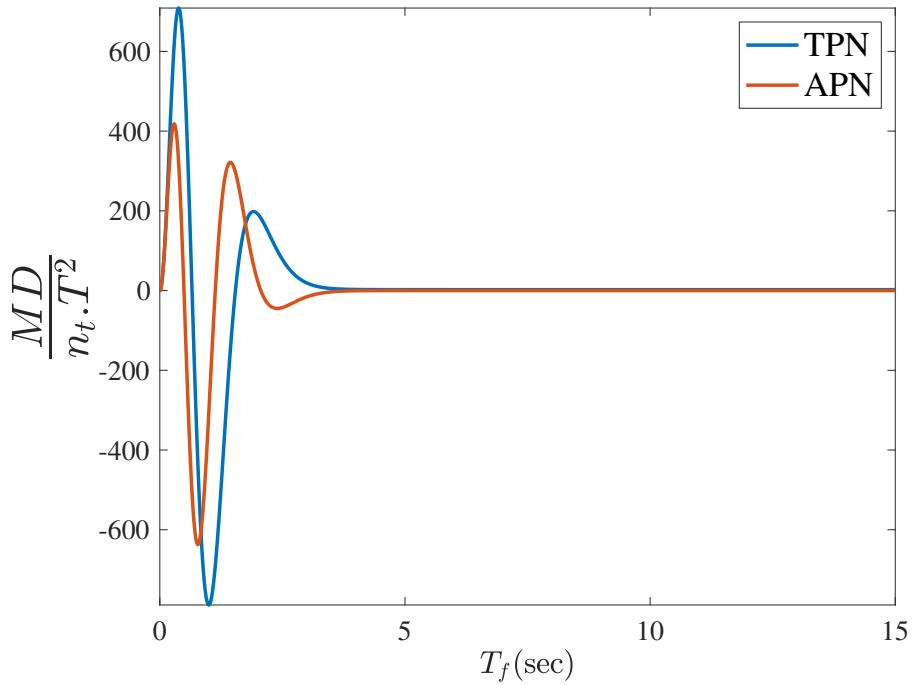
شکل ۴۳: مقایسه فاصله ازدست دهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 0.25$  بر حسب زمان پرواز



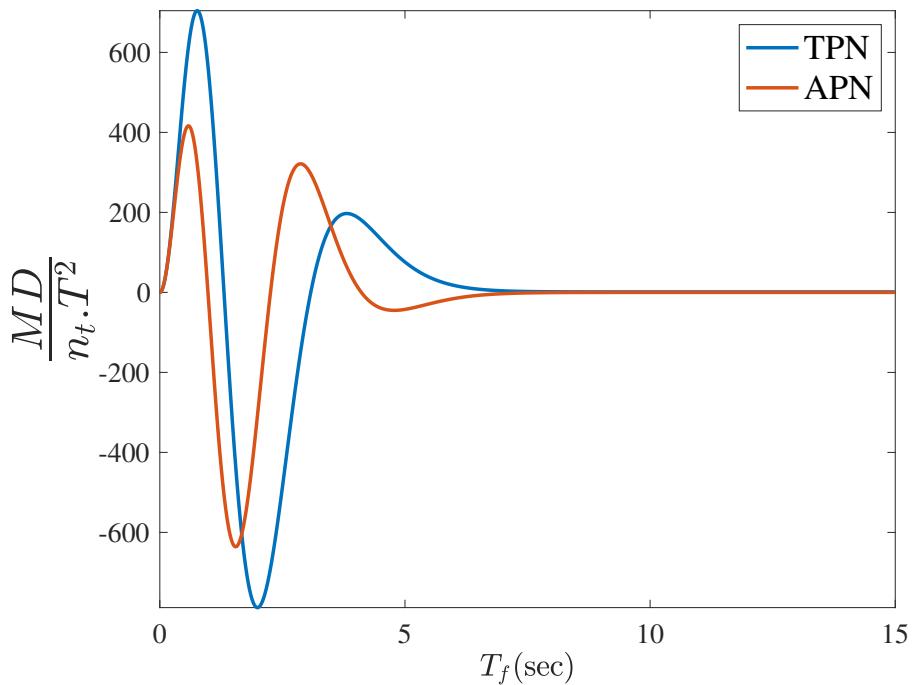
شکل ۴۴: مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 0.5$  بر حسب زمان پرواز



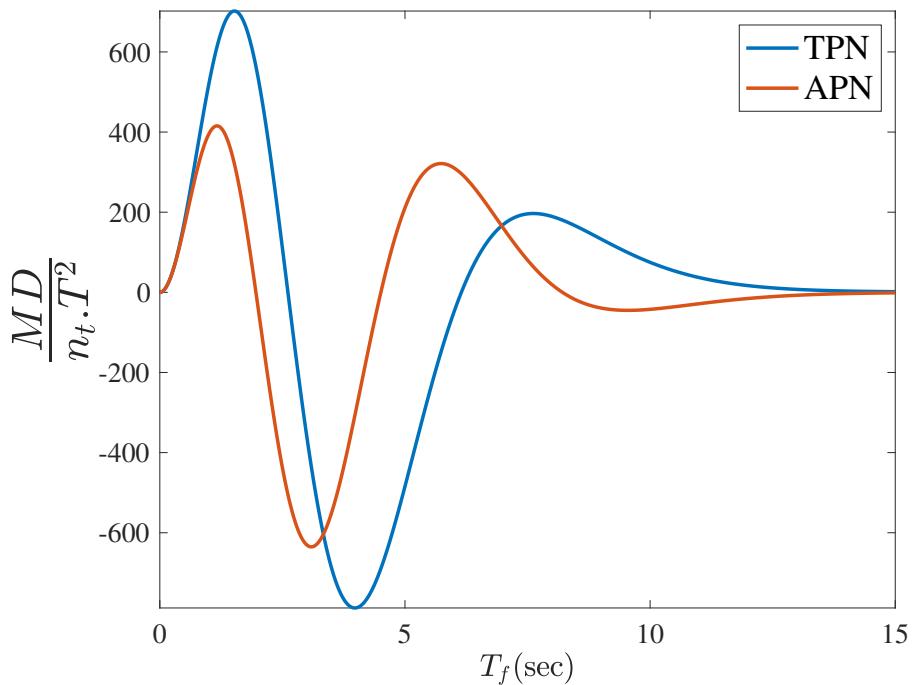
شکل ۴۵: مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 1$  بر حسب زمان پرواز



شکل ۴۶: مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 0.25$  بر حسب زمان پرواز



شکل ۴۷: مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 0.5$  بر حسب زمان پرواز



شکل ۴.۸: مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یرای  $T = 1$  بر حسب زمان پرواز

## ۴.۲ بخش ت

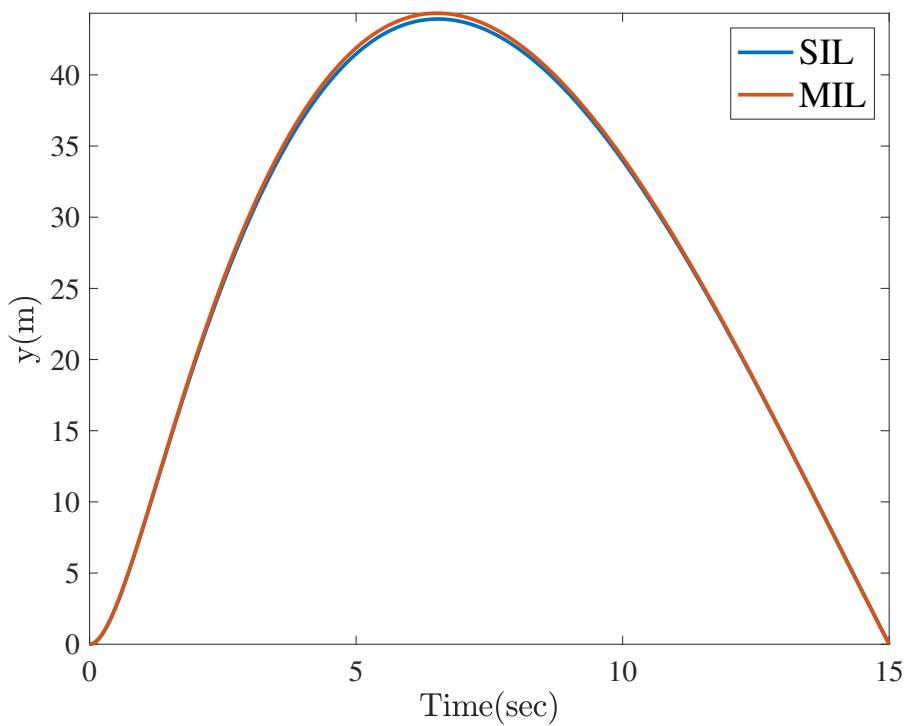
در این بخش به بررسی تقاضه شبیه‌سازی و نتایج مدل در حلقه<sup>۳</sup> و نرم‌افزار در حلقه<sup>۴</sup> پرداخته شده است. نتایج در ادامه آورده شده است.

جدول ۷: فاصله ازدستدهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

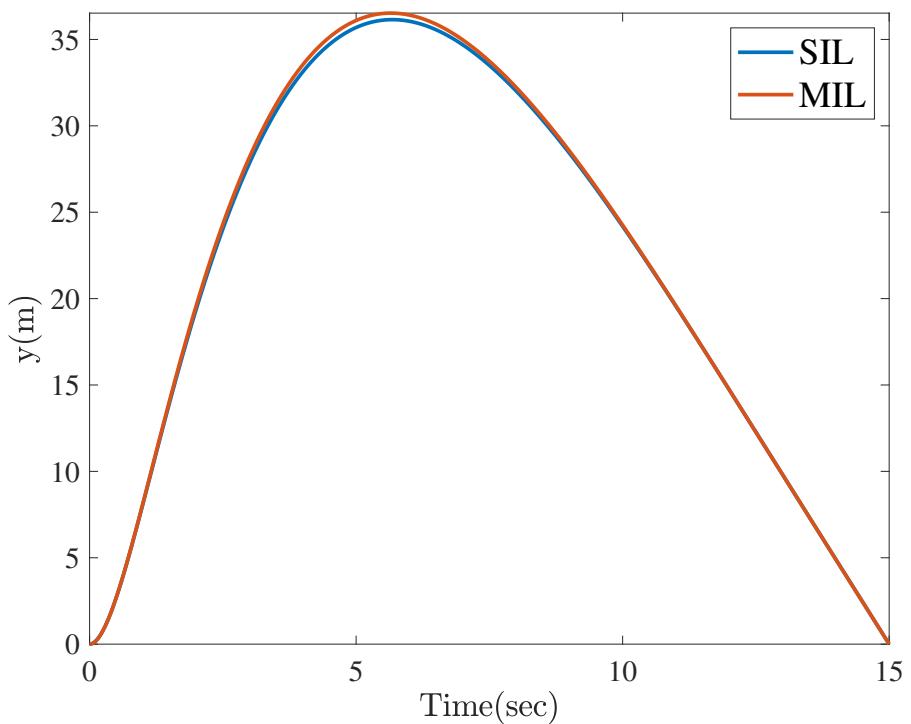
V-stage	$N'$	Control Effort	Miss Distance (m)
MIL	3	$0.8439 \times 10^{-8}$	22.3836
	4	$0.0834 \times 10^{-8}$	19.6963
	5	$0.9282 \times 10^{-8}$	18.4226
SIL	3	$0.2691 \times 10^{-4}$	22.3318
	4	$0.0425 \times 10^{-4}$	19.6759
	5	$0.0103 \times 10^{-4}$	18.4123

<sup>3</sup>Model In the Loop(MIL)

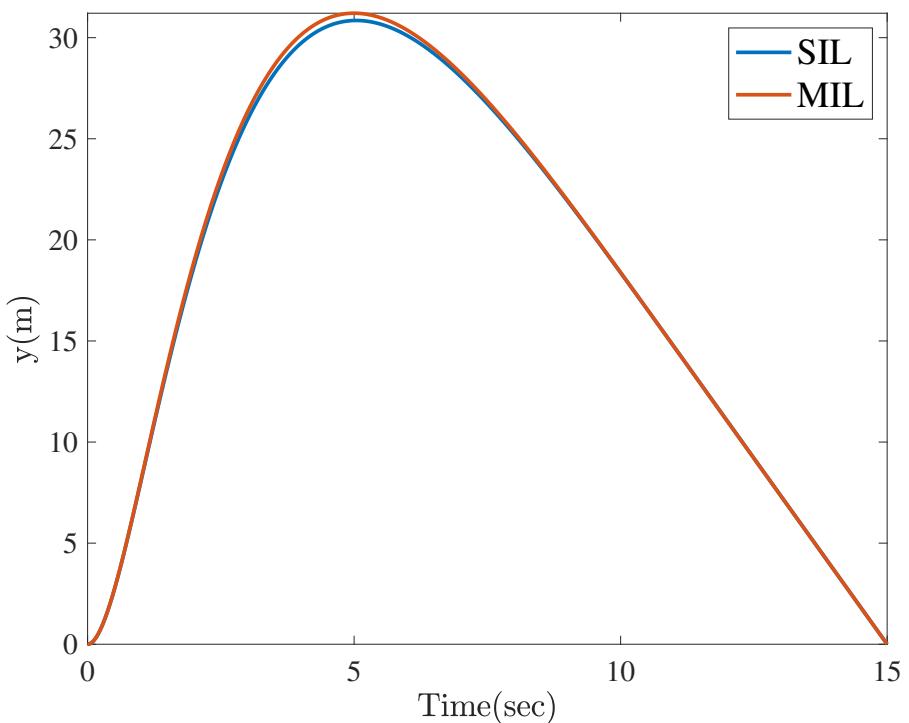
<sup>4</sup>Software In the Loop(SIL)



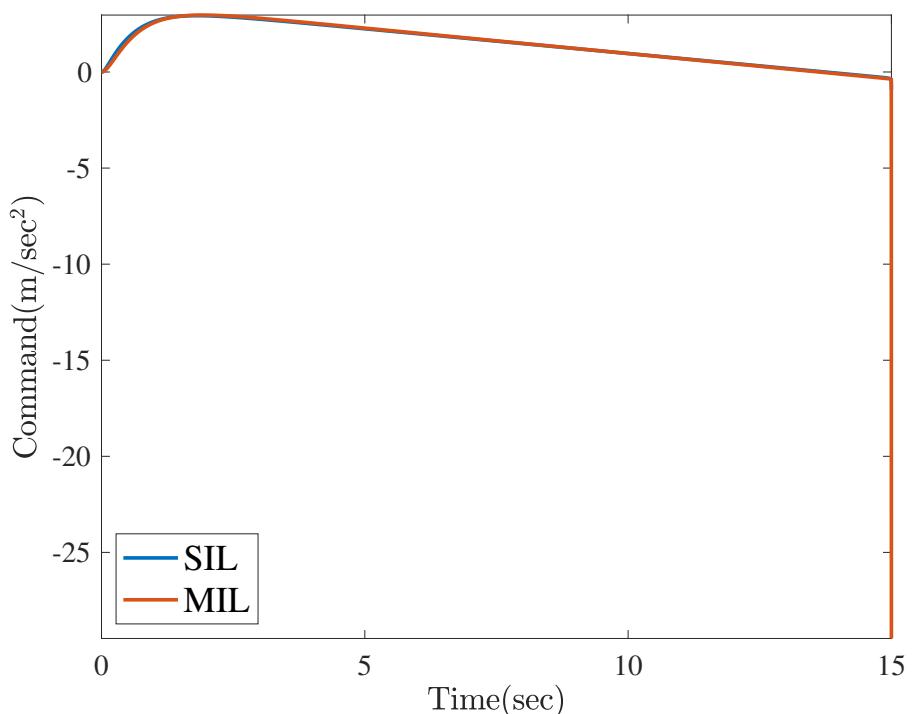
شکل ۴۹: مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر  $y$  در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 3$



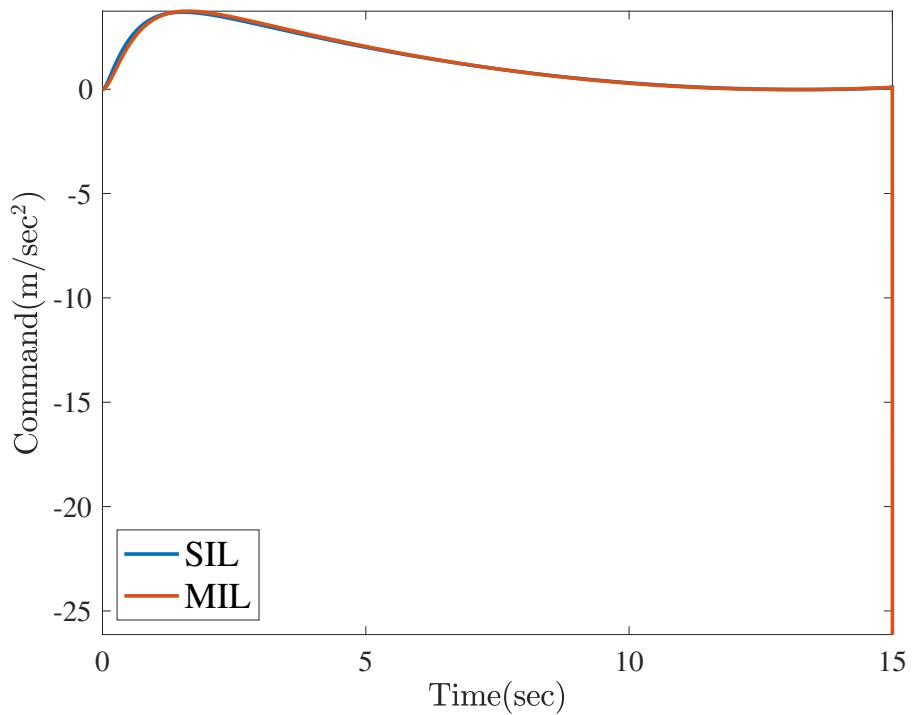
شکل ۵۰: مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر  $y$  در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 4$



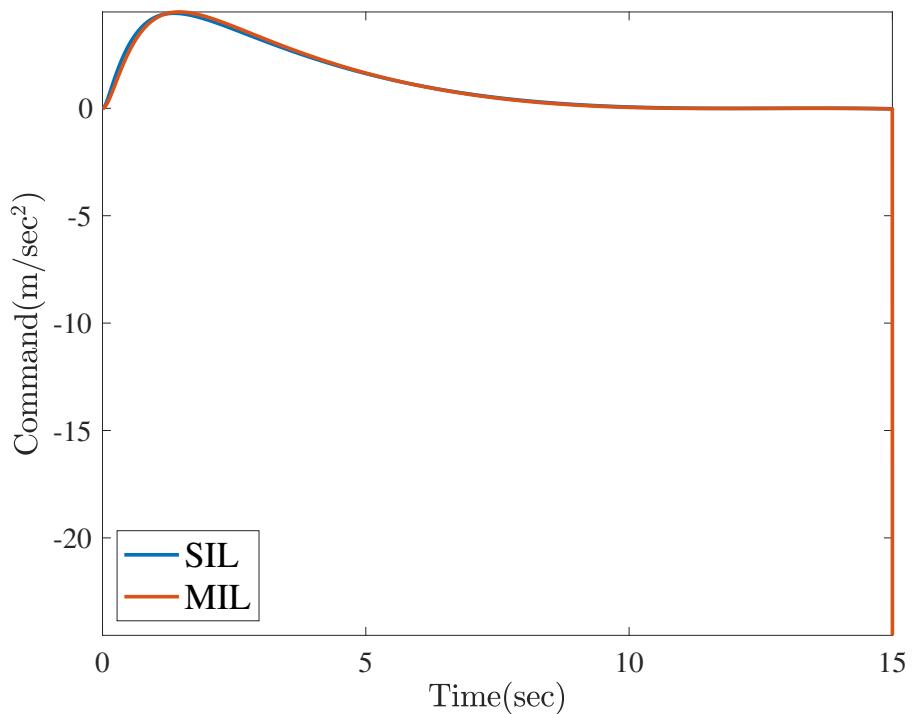
شکل ۵۱: مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر  $y$  در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 5$



شکل ۵۲: مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 3$



شکل ۵۳: مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 4$



شکل ۵۴: مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای  $N' = 5$

## فهرست مطالب

۱	۱ سوال اول	۱
۱	۱.۱ بخش الف . . . . .	۱.۱
۱	۱.۱.۱ مسیر برخورد . . . . .	۱.۱.۱
۴	۲.۱.۱ هدایت دو نقطه‌ای . . . . .	۲.۱.۱
۹	۲.۱ بخش ب . . . . .	۲.۱
۱۸	۳.۱ بخش پ . . . . .	۳.۱
۱۹	۴.۱ بخش ت . . . . .	۴.۱
۲۱	۵.۱ بخش ث . . . . .	۵.۱
۲۱	۶.۱ بخش ج . . . . .	۶.۱
۲۲	۷.۱ بخش چ . . . . .	۷.۱
۲۳	۸.۱ بخش ح . . . . .	۸.۱
۲۴	۲ سوال دوم	۲
۲۴	۱.۲ بخش الف . . . . .	۱.۲
۲۶	۲.۲ بخش ب . . . . .	۲.۲
۲۸	۳.۲ بخش پ . . . . .	۳.۲
۳۱	۴.۲ بخش ت . . . . .	۴.۲

## فهرست تصاویر

۱	موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد . . . . .	۱
۲	موقعیت موشک و هدف در صفحه $xy$ با شرایط اولیه مسیر برخورد . . . . .	۲
۳	موقعیت موشک و هدف در صفحه $xz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد . . . . .	۳
۳	موقعیت موشک و هدف در صفحه $yz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد . . . . .	۴
۴	موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی . . . . .	۵
۵	موقعیت موشک و هدف در صفحه $xy$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی . . . . .	۶

موقعیت موشک و هدف در صفحه $xz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۷
موقعیت موشک و هدف در صفحه $yz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۸
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$	۹
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$	۱۰
فرمان کنترل کننده در جهت محور $y$	۱۱
فرمان کنترل کننده در جهت محور $z$	۱۲
نرخ چرخش خط دید حول محور $y$	۱۳
نرخ چرخش خط دید حول محور $z$	۱۴
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 3$	۱۵
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 3$	۱۶
نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 3$	۱۷
نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 3$	۱۸
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 4$	۱۹
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 4$	۲۰
نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 4$	۲۱
نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 4$	۲۲
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 5$	۲۳
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 5$	۲۴
نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 5$	۲۵
نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 5$	۲۶
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای تمامی مقادیر $N$	۲۷
فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای تمامی مقادیر $N$	۲۸
نرخ چرخش حول محور $y$ برای تمامی مقادیر $N$	۲۹
نرخ چرخش حول محور $z$ برای تمامی مقادیر $N$	۳۰
فاصله ازدست دهی برای مقادیر مختلف $T$	۳۱
تلash کنترلی برای مقادیر مختلف $T$	۳۲
فاصله ازدست دهی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر	۳۳
تلash کنترلی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر	۳۴
فاصله ازدست دهی برای مقادیر مختلف $R_{min}$	۳۵

۳۶	فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف زاویه دید . . . . .
۳۷	فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف بیشترین نرخ چرخش قابل مشاهده . . . . .
۳۸	فاصله ازدستدهی برای مقادیر مختلف نرخ بهروزرسانی قانون هدایت . . . . .
۳۹	فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف $N'$ . . . . .
۴۰	متغیر $y$ در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف $N$ . . . . .
۴۱	مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده
۴۲	مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده
۴۳	مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یکسان $T =$
۴۴	بر حسب زمان پرواز . . . . .
۴۵	مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یکسان $T = 0.5$
۴۶	بر حسب زمان پرواز . . . . .
۴۷	مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یکسان $T = 0.5$
۴۸	بر حسب زمان پرواز . . . . .
۴۹	مقایسه فاصله ازدستدهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده یکسان $T = 1$
۵۰	بر حسب زمان پرواز . . . . .
۵۱	مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر $y$ در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 3$
۵۲	مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر $y$ در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 4$
۵۳	مقایسه نتایج SIL و MIL برای متغیر $y$ در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 5$
۵۴	مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 3$
۵۵	مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 4$
۵۶	مقایسه تلاش کنترلی SIL و MIL در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای $N' = 5$

## فهرست جداول

۱	شرایط اولیه و فاصله ازدستدهی .....	۱
۴	پارامترها و نتایج هدایت تناسبی .....	۲
	فاصله ازدستدهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی	۳
۲۵	حقیقی .....	۲۵
۲۵	تلاش کنترلی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی .	۴
	فاصله ازدستدهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی	۵
۲۶	حقیقی .....	۲۶
۲۶	تلاش کنترلی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی .	۶
	فاصله ازدستدهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی	۷
۳۱	حقیقی .....	