

# تمرین سری سوم درس هدایت و ناوبری

علی بنی‌اسد

۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۲

## 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 تغییر 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.

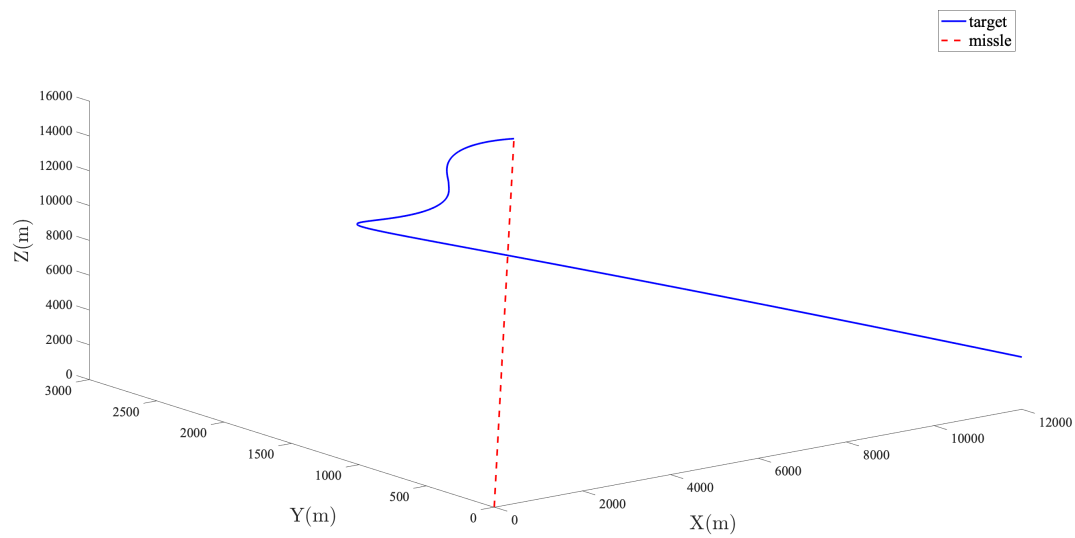
#### ۱.۱.۱ مسیر برخورد

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.

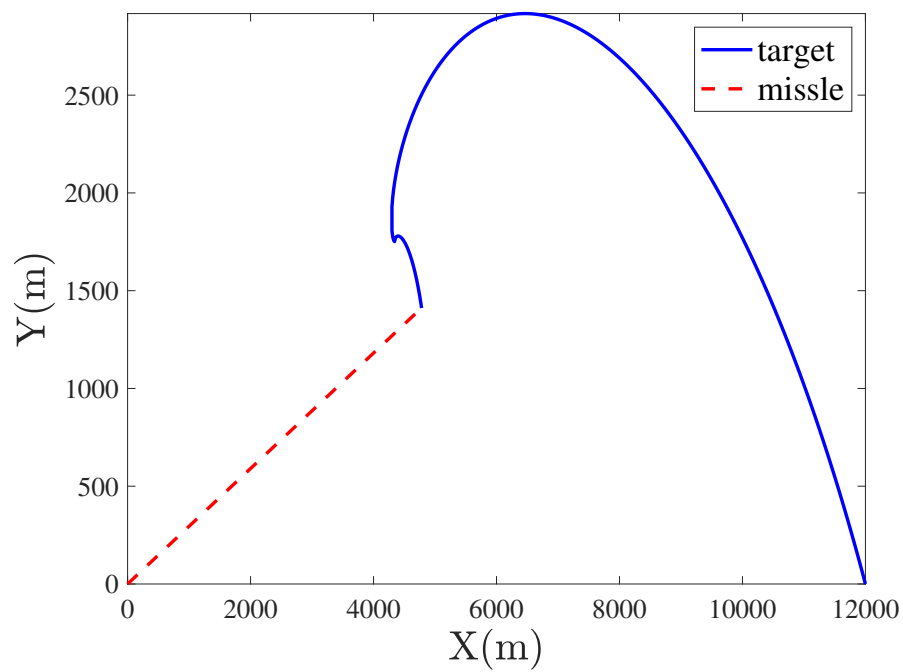
جدول ۱: شرایط اولیه و فاصله ازدست‌دهی

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

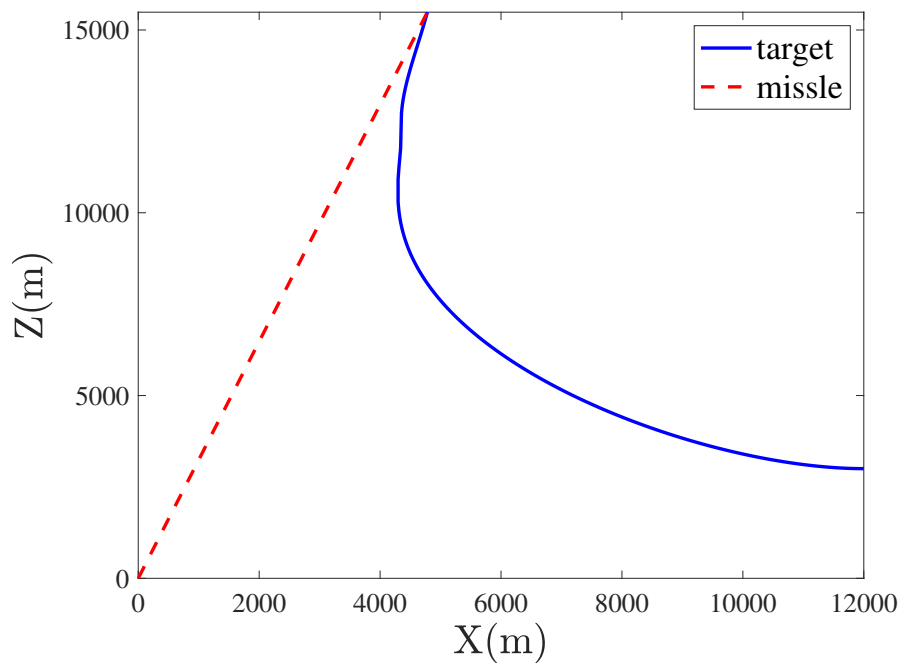
<sup>1</sup>Collision Course



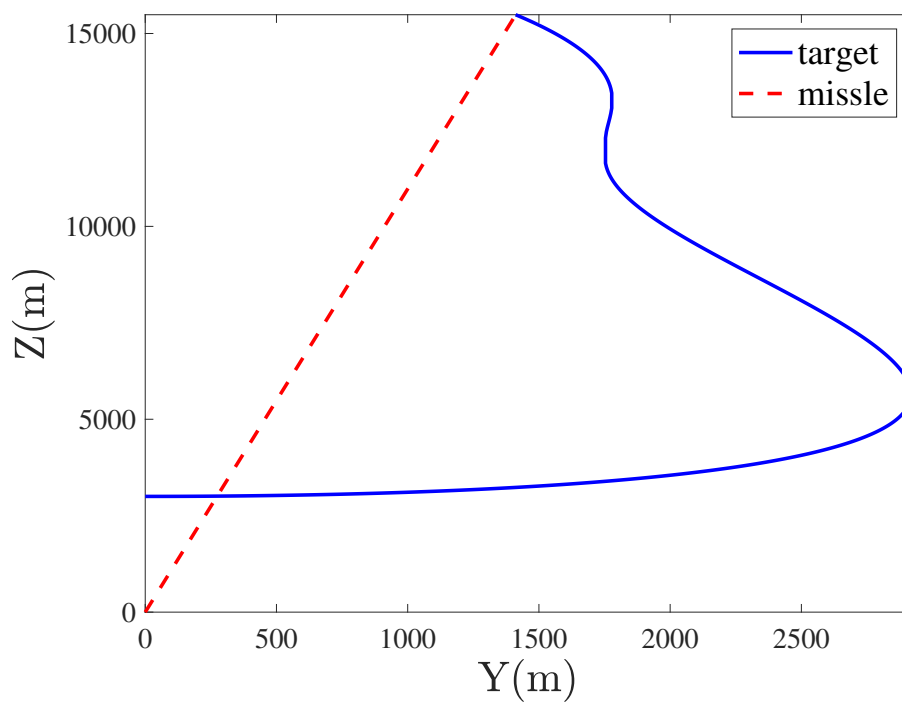
شکل ۱: موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد



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



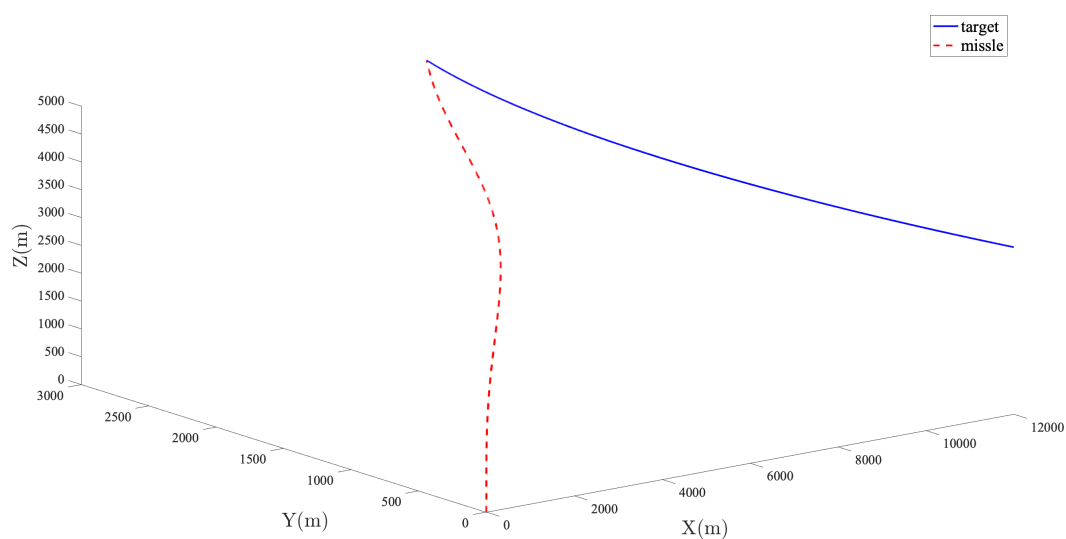
شکل ۴: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $yz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد

## ۲.۱.۱ هدایت دو نقطه‌ای

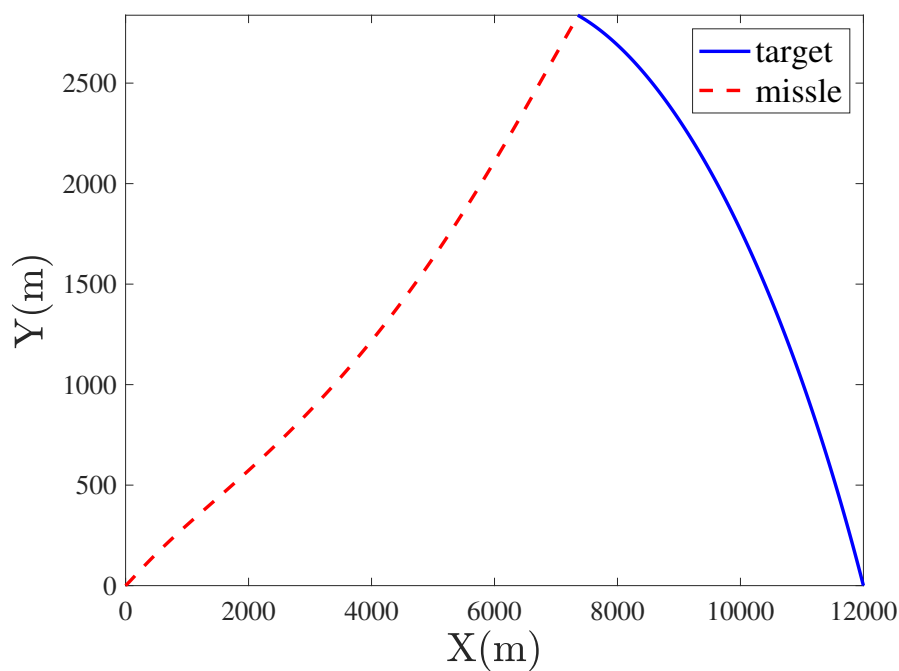
در این بخش به بررسی هدایت تناسبی پرداخته شده است. نتایج برای  $N = 4$  در ادامه آورده شده است.

جدول ۲: پارامترها و نتایج هدایت تناسبی

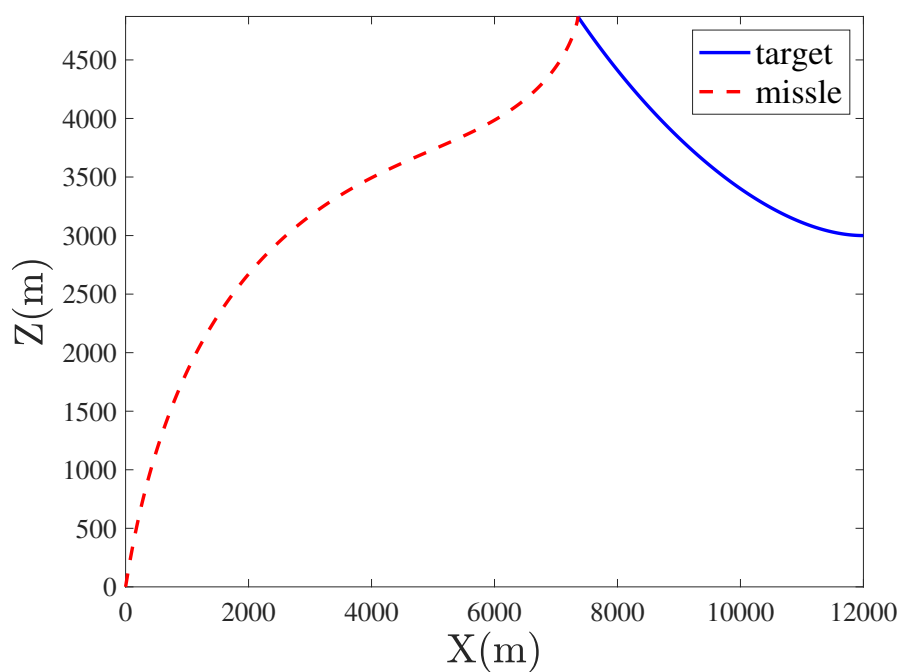
Parameter	Value
$N$	4
$\theta_0$	$72.1561^\circ$
$\psi_0$	$16.4500^\circ$
Miss Distance (m)	0.8344
Control effort	1278



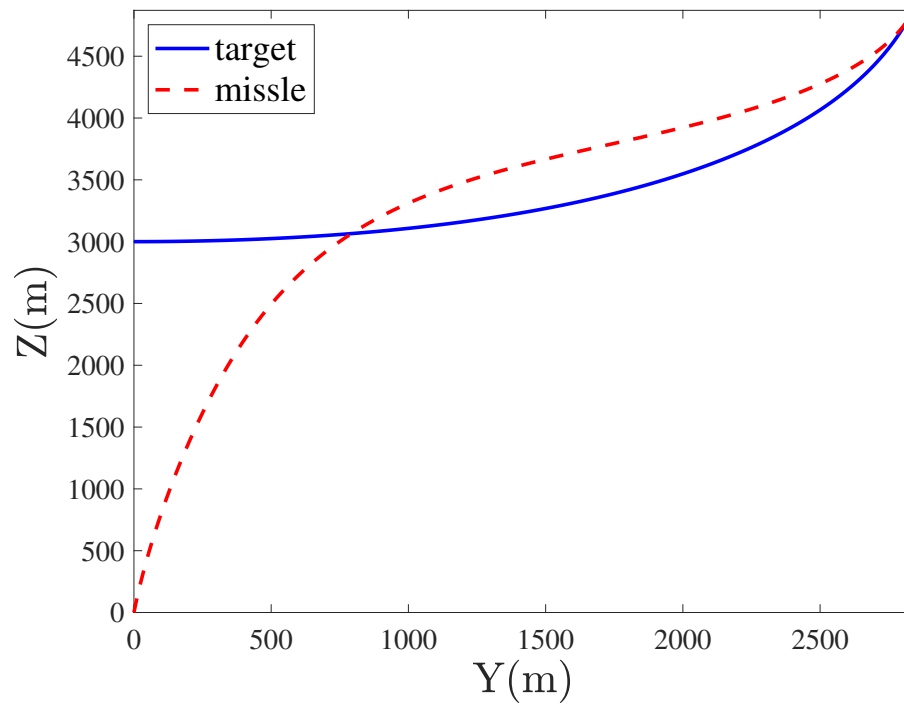
شکل ۵: موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی



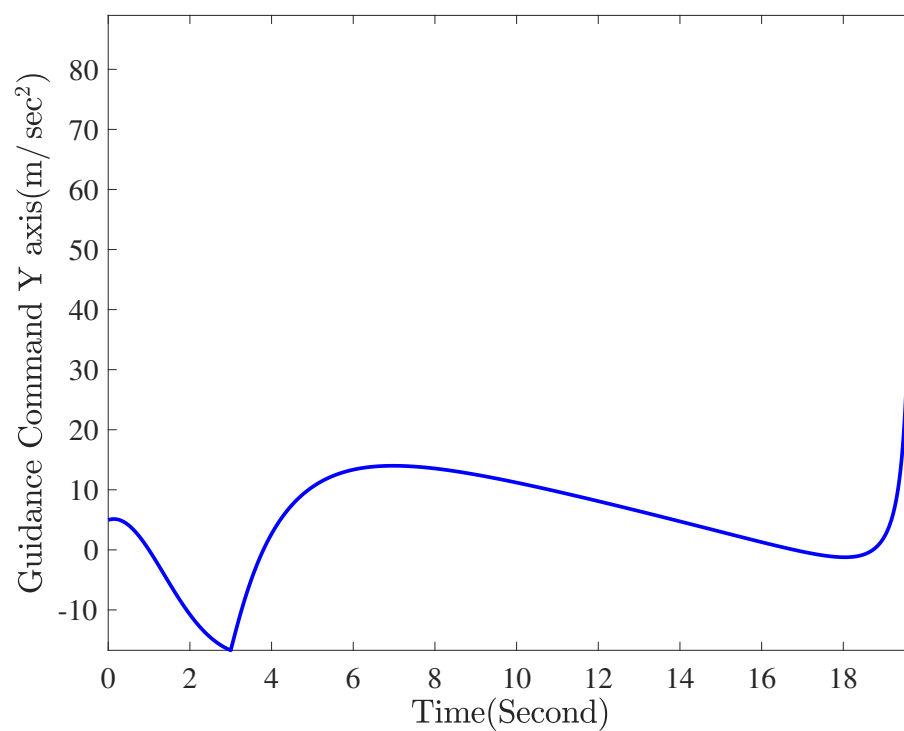
شکل ۶: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $xy$  با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی



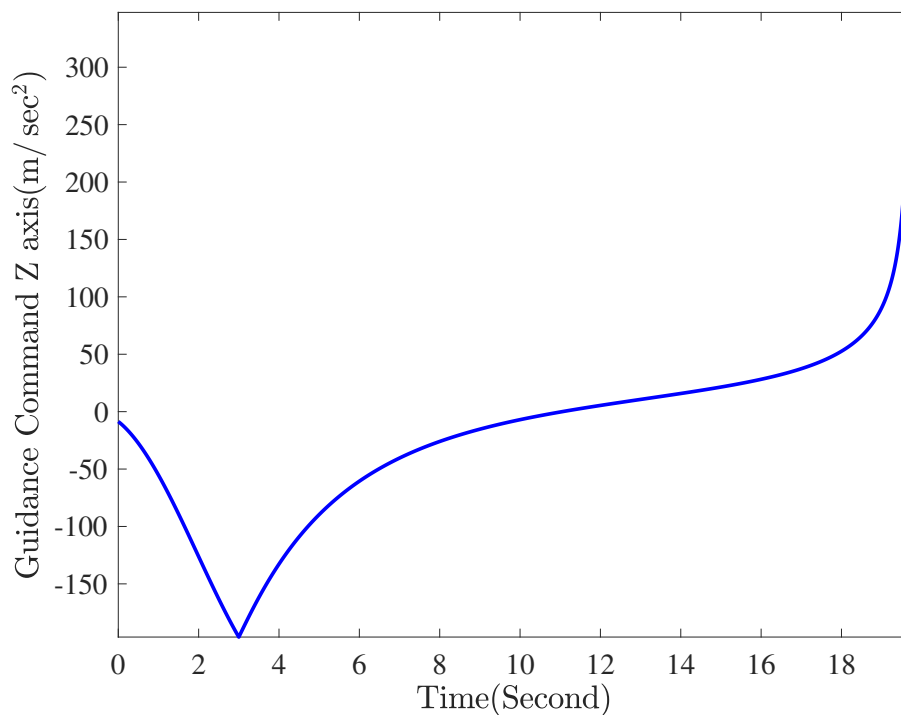
شکل ۷: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $xz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی



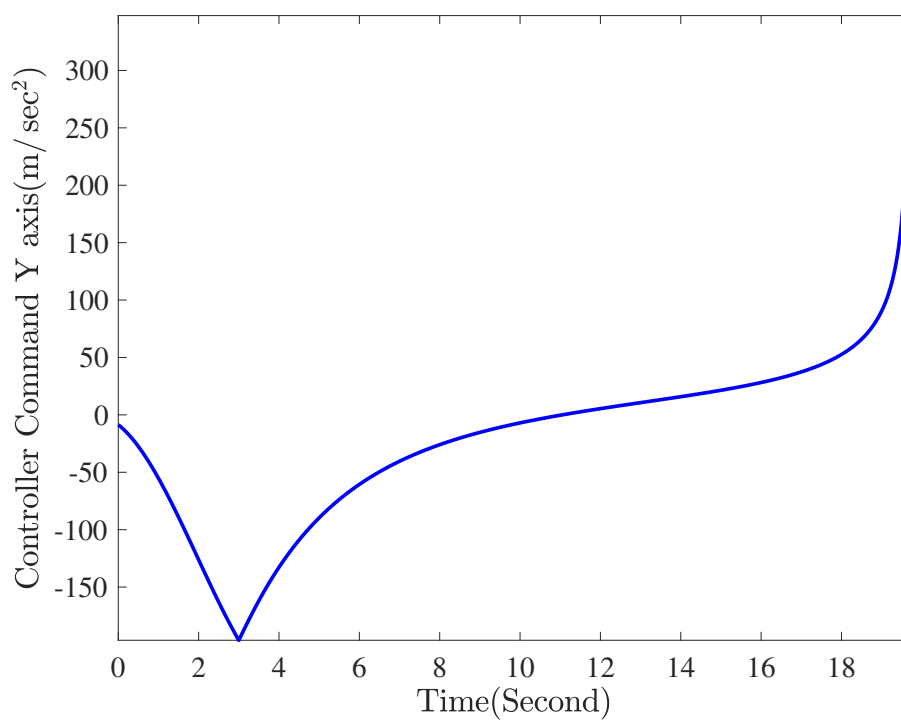
شکل ۸: موقعیت موشک و هدف در صفحه  $yz$  با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی



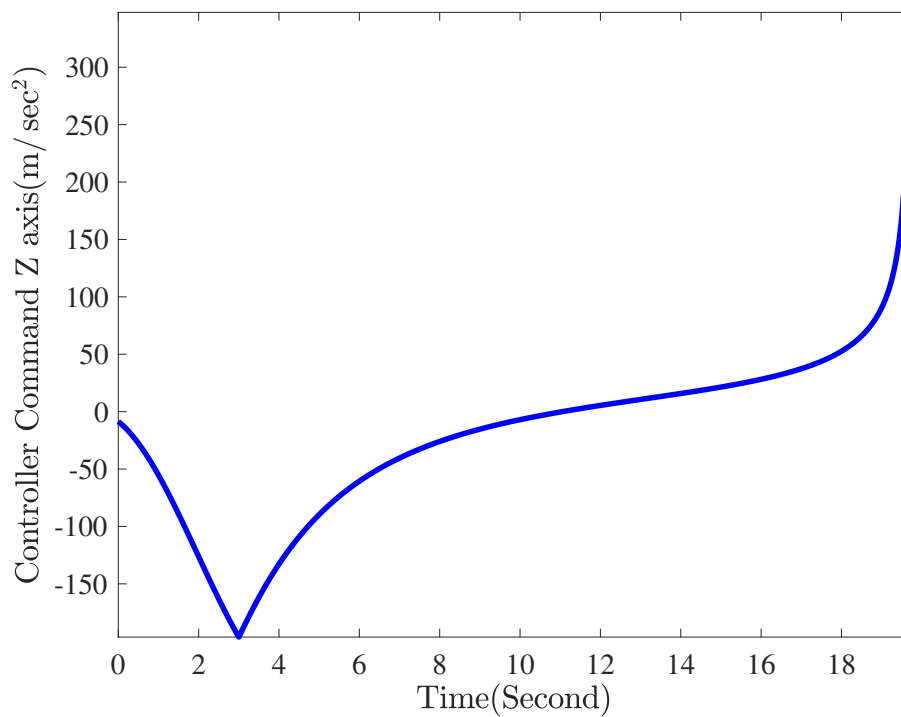
شکل ۹: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$



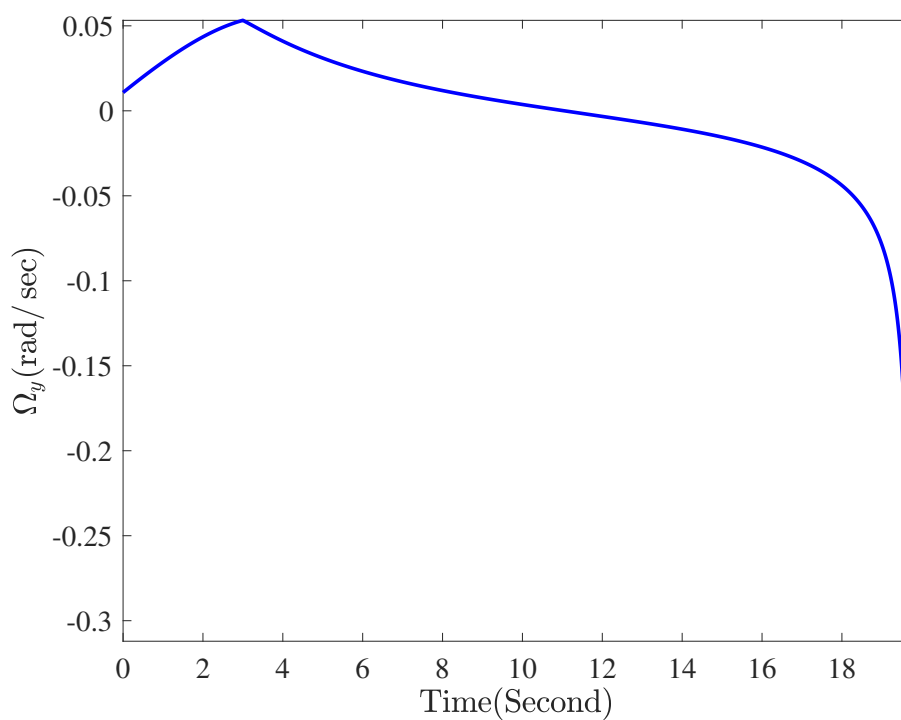
شکل ۱۰: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور z



شکل ۱۱: فرمان کنترل‌کننده در جهت محور y

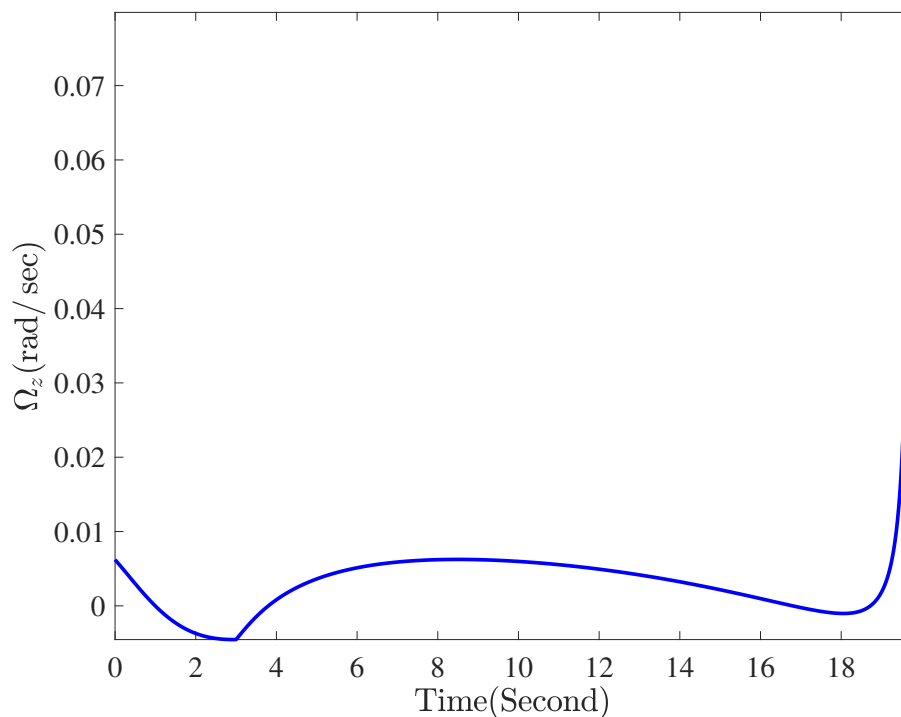


شکل ۱۲: فرمان کنترل‌کننده در جهت محور z



شکل ۱۳: نرخ چرخش خط دید حول محور y

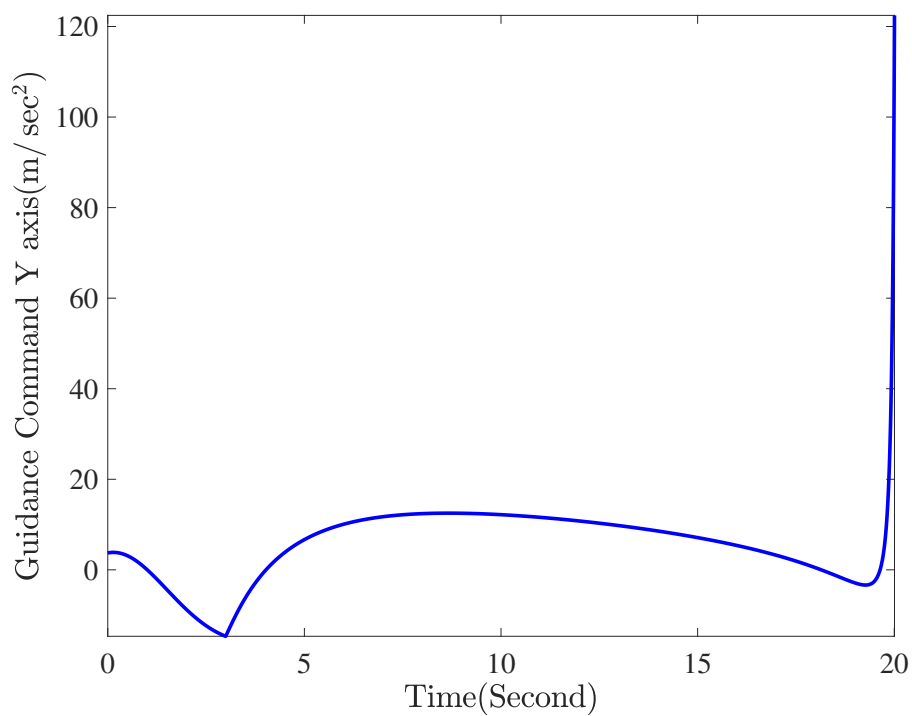




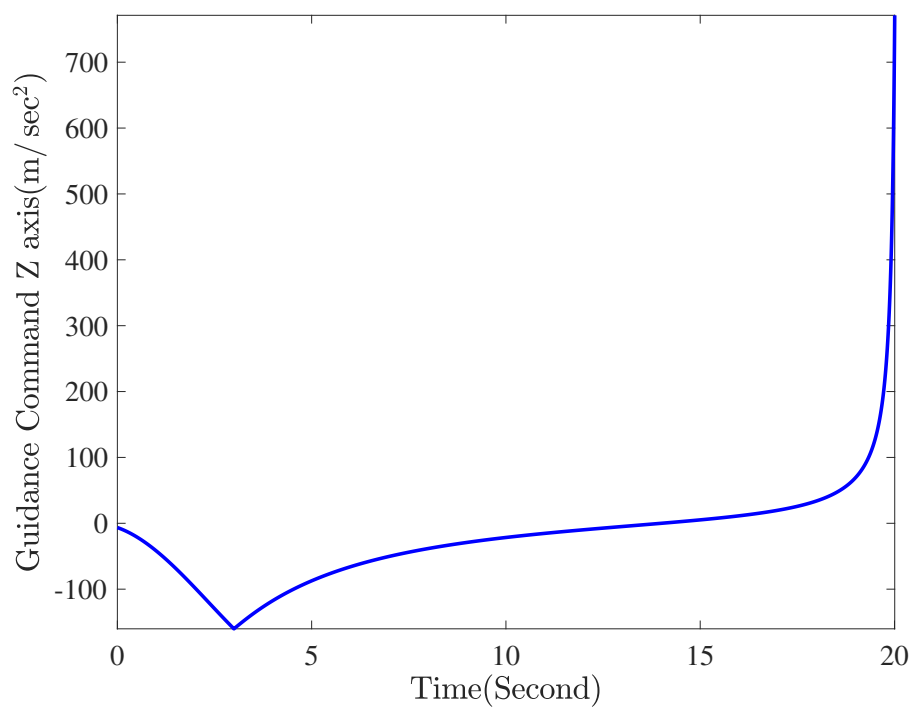
شکل ۱۴: نرخ چرخش خط دید حول محور z

## ۲.۱ بخش ب

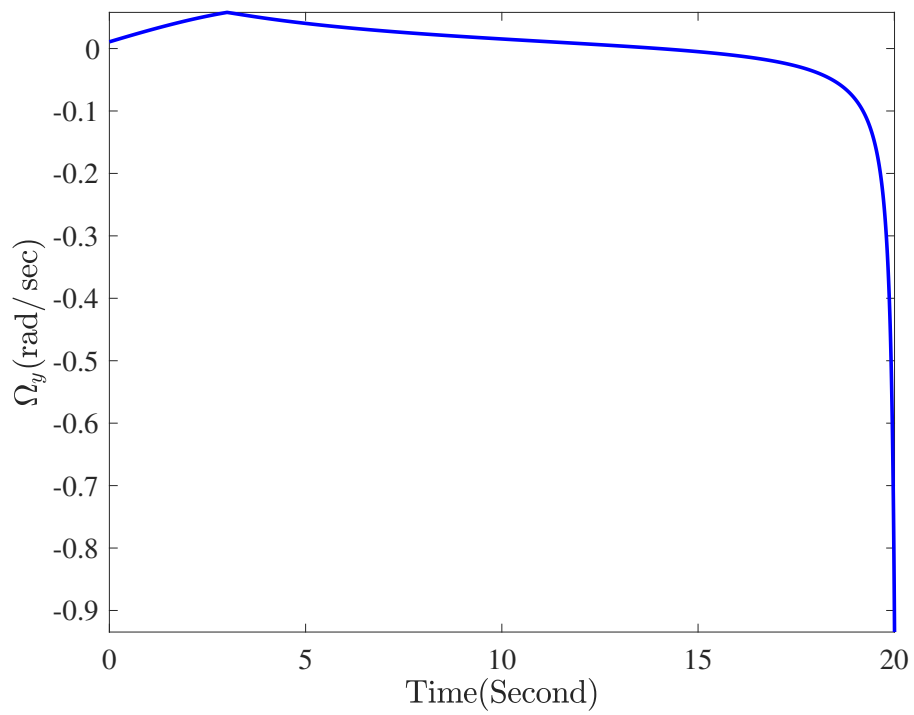
در این بخش به بررسی عملکرد هدایت تناسبی خالص برای مقادیر مختلف N پرداخته شده است. نتایج فرمان هدایت و نرخ چرخش در ادامه آمده است.



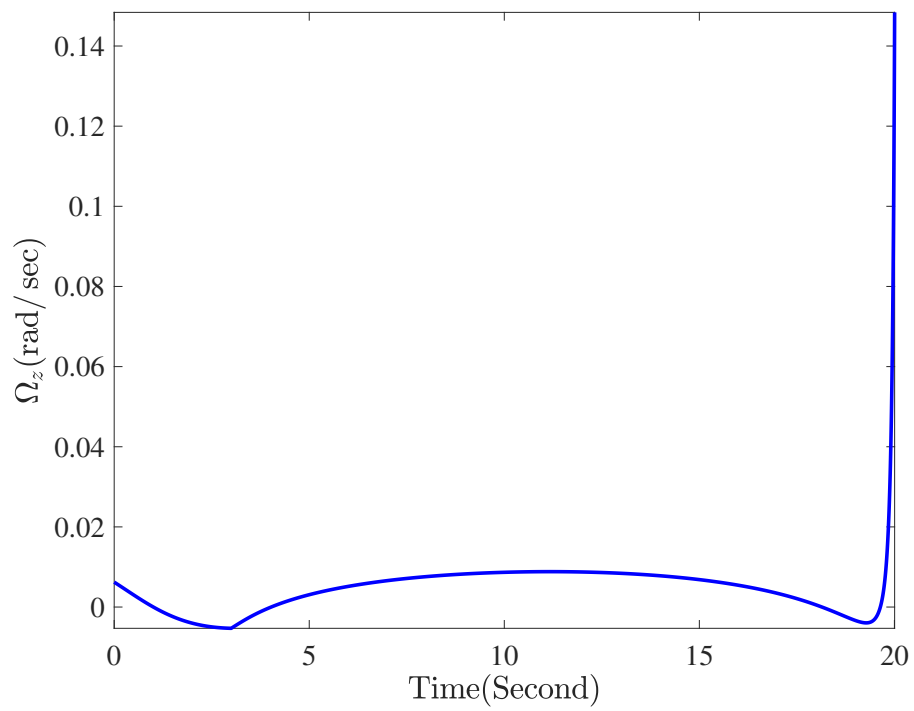
شکل ۱۵: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$  برای  $N = 3$



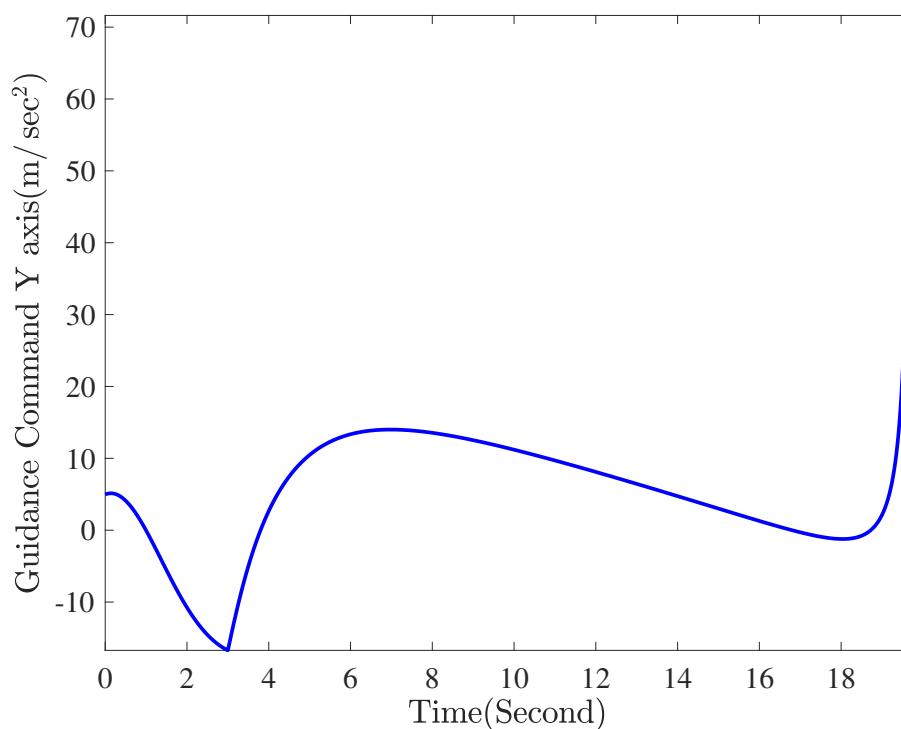
شکل ۱۶: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $z$  برای  $N = 3$



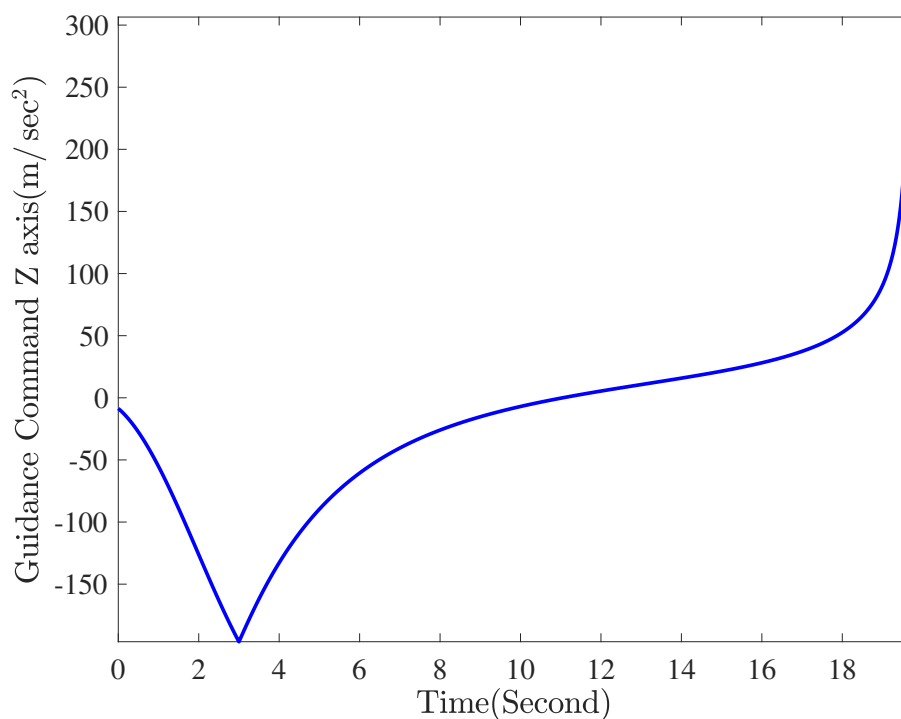
شکل ۱۷: نرخ چرخش حول محور  $y$  برای  $N = 3$



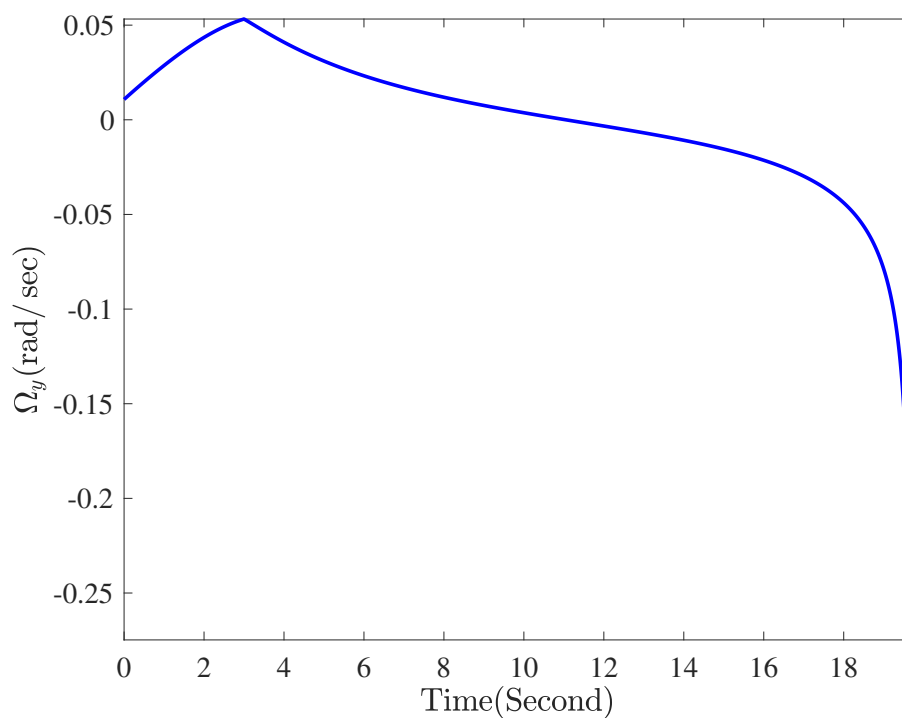
شکل ۱۸: نرخ چرخش حول محور  $z$  برای  $N = 3$



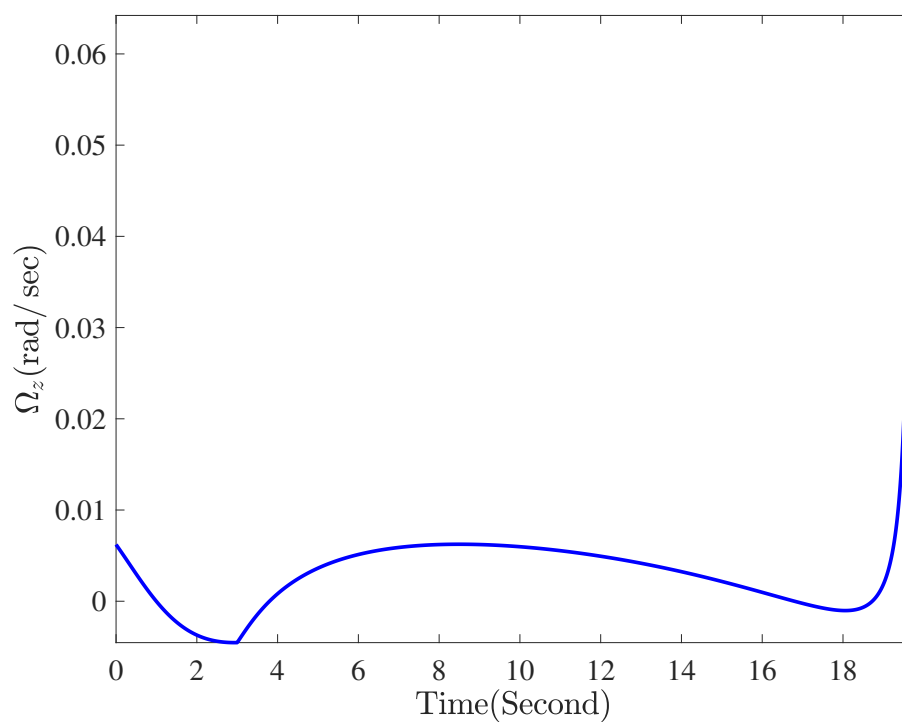
شکل ۱۹: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$  برای  $N = 4$



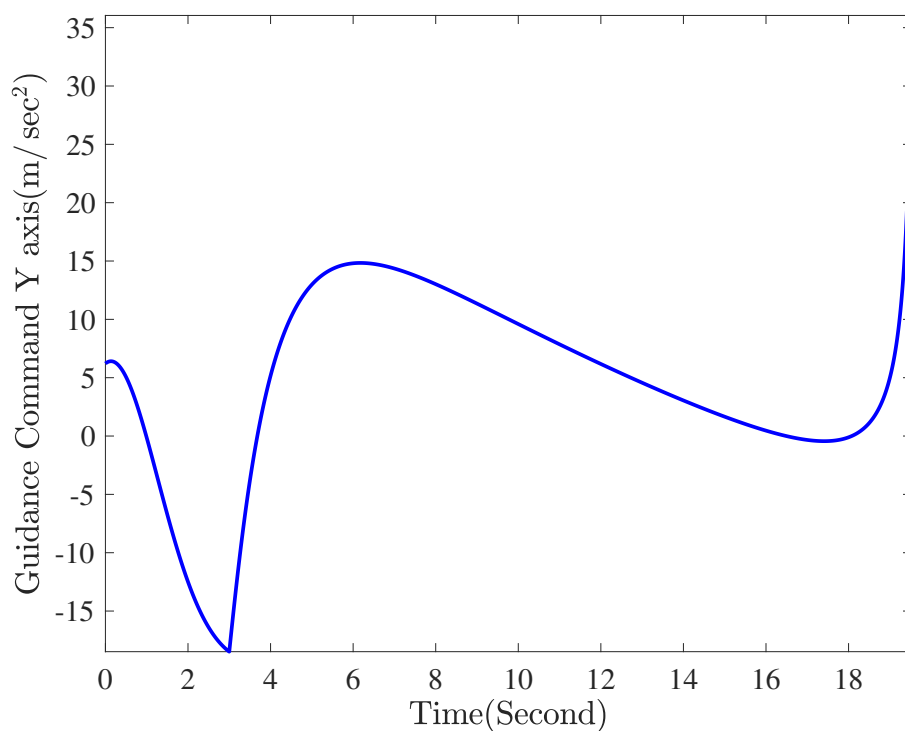
شکل ۲۰: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $z$  برای  $N = 4$



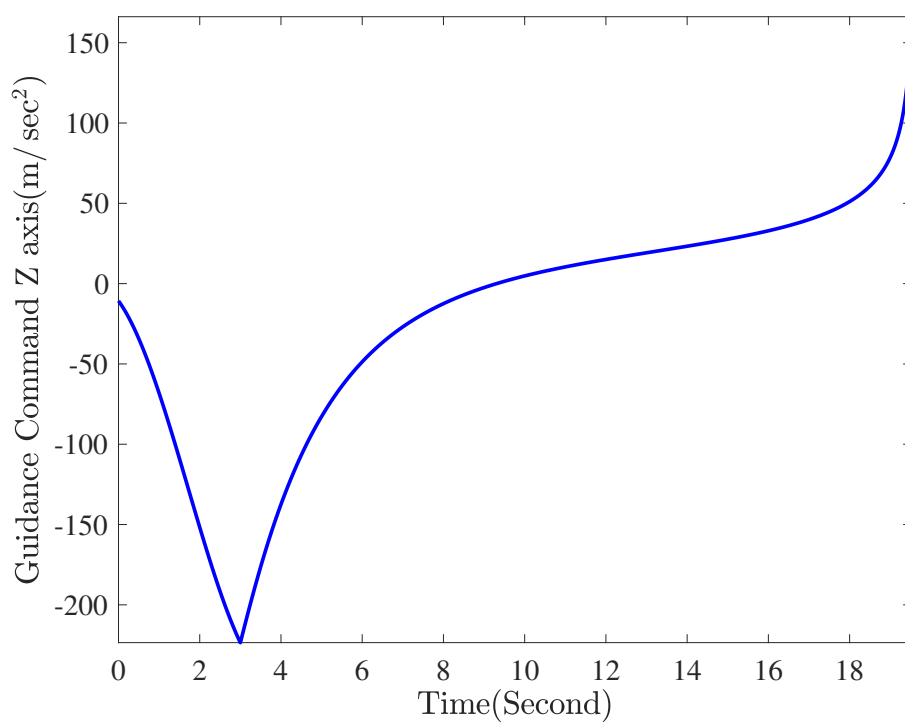
شکل ۲۱: نرخ چرخش حول محور y برای  $N = 4$



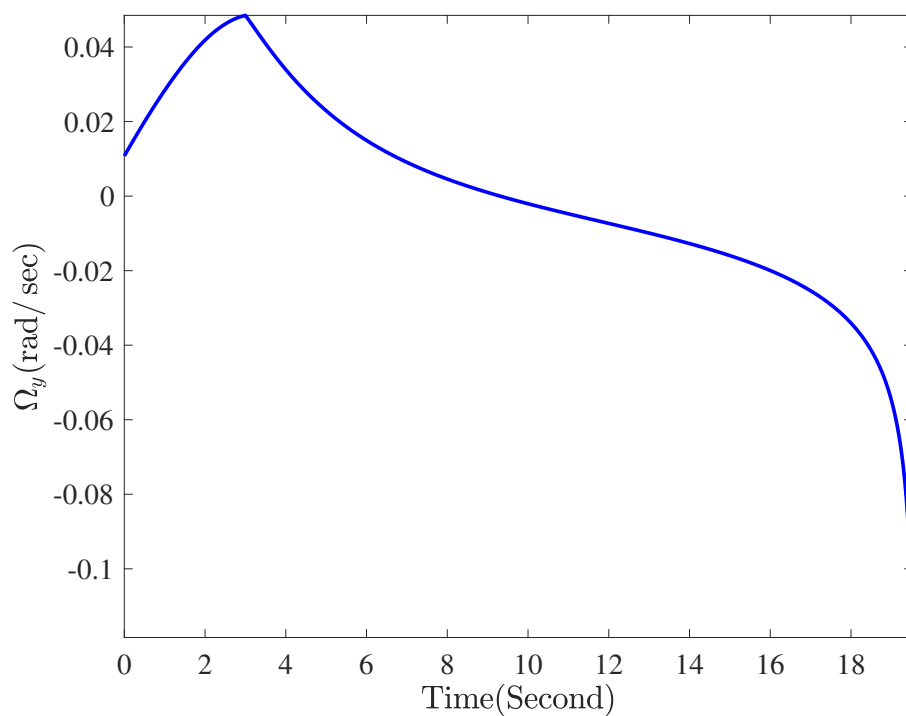
شکل ۲۲: نرخ چرخش حول محور z برای  $N = 4$



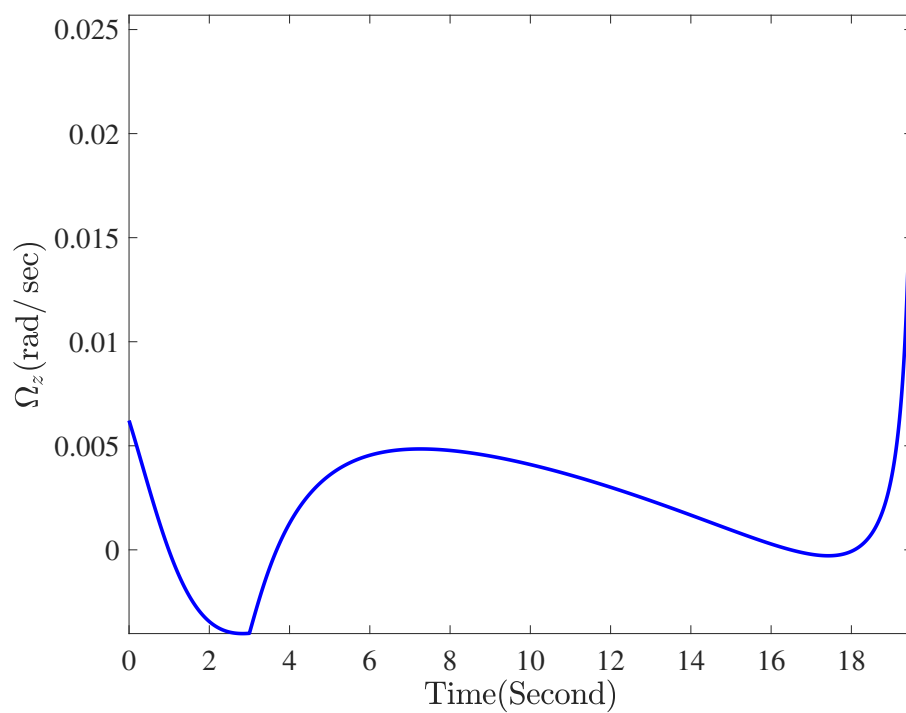
شکل ۲۳: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$  برای  $N = 5$



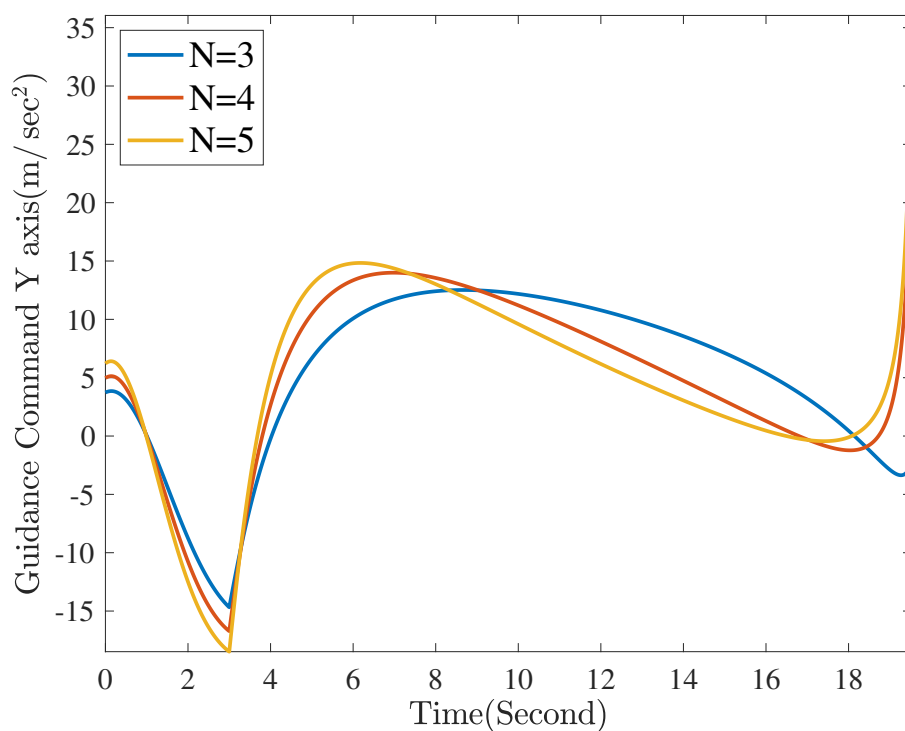
شکل ۲۴: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $z$  برای  $N = 5$



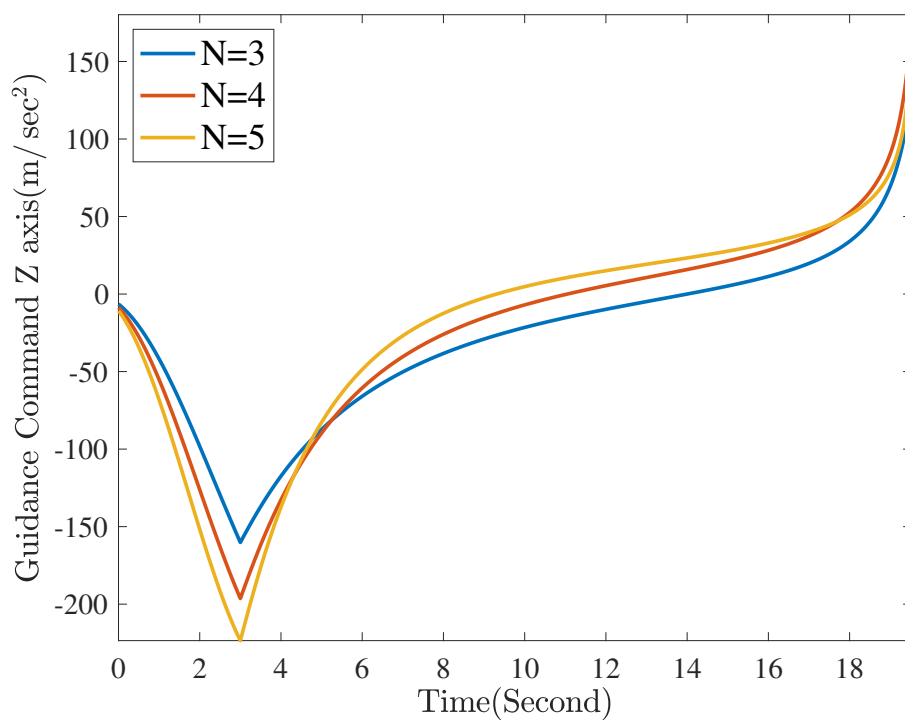
شکل ۲۵: نرخ چرخش حول محور  $y$  برای  $N = 5$



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

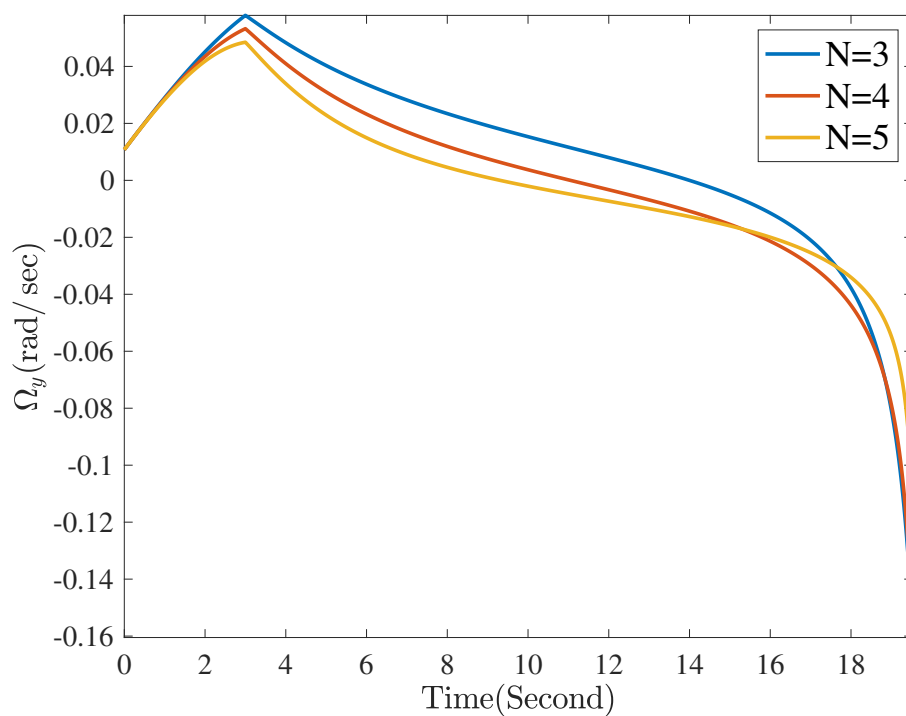


شکل ۲۷: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $y$  برای تمامی مقادیر  $N$

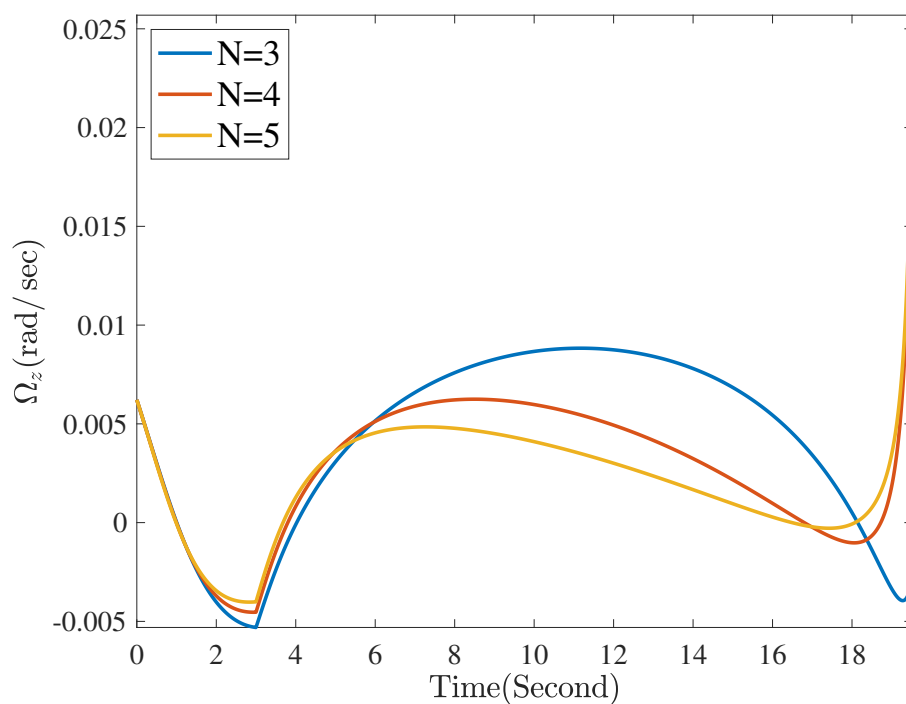


شکل ۲۸: فرمان هدایت تناسبی در جهت محور  $z$  برای تمامی مقادیر  $N$





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



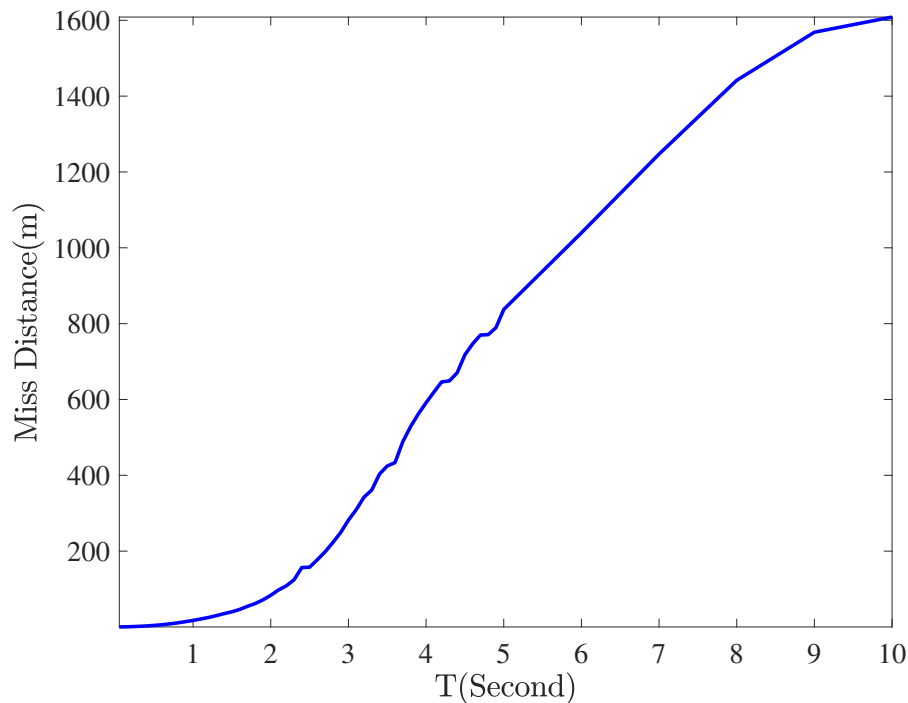
شکل ۳۰: نرخ چرخش حول محور  $z$  برای تمامی مقادیر  $N$

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

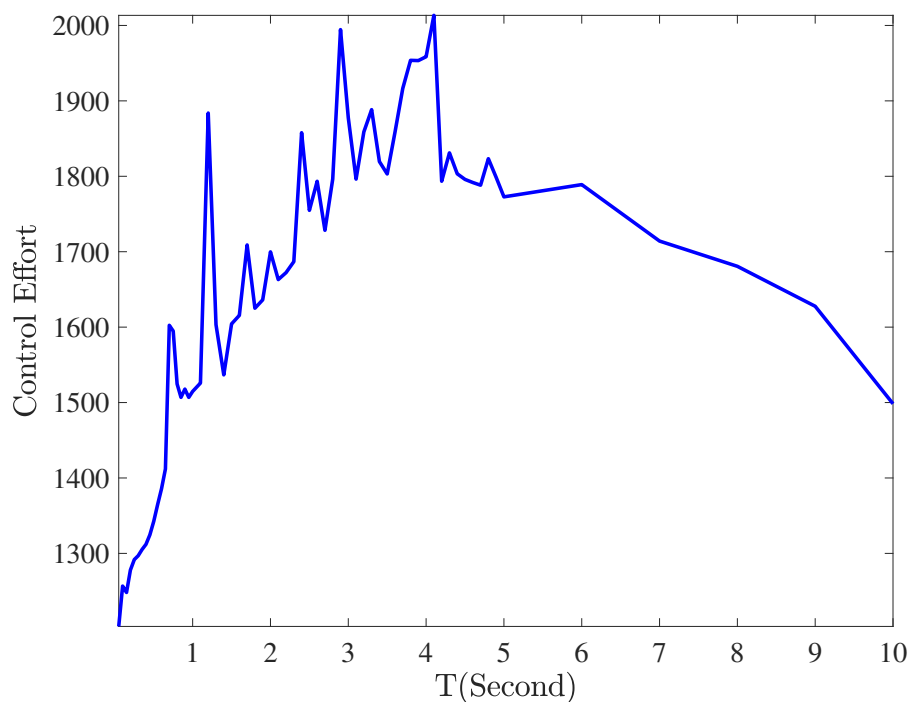
می‌کند. بنابراین نرخ چرخش خط دید سریع‌تر کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. به همین دلیل، در انتهای ماموریت دستور شتاب کمتری دارد و باعث می‌شود وارد محدوده اشباع نشود. در انتهای ماموریت  $t = t_f$  تکینگی وجود دارد که در نمودارها دیده می‌شود. در بخش‌های آینده با استفاده از فرمان‌های قبلی در نزدیکی هدف، این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

### ۳.۱ بخش پ

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



شکل ۳۱: فاصله از دست‌دهی برای مقادیر مختلف  $T$

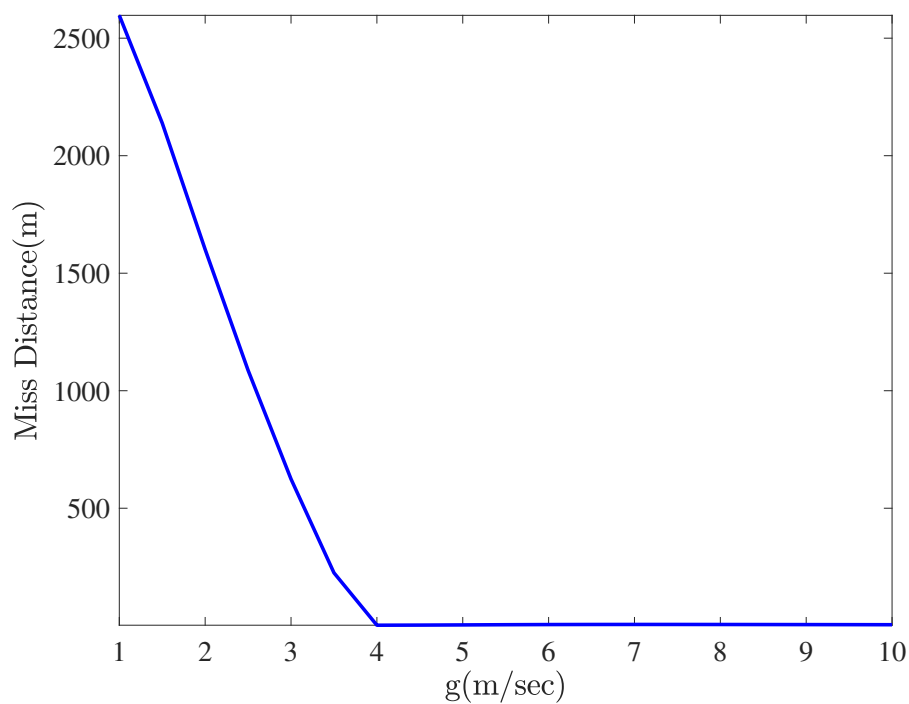


شکل ۳۲: تلاش کنترلی برای مقادیر مختلف  $T$

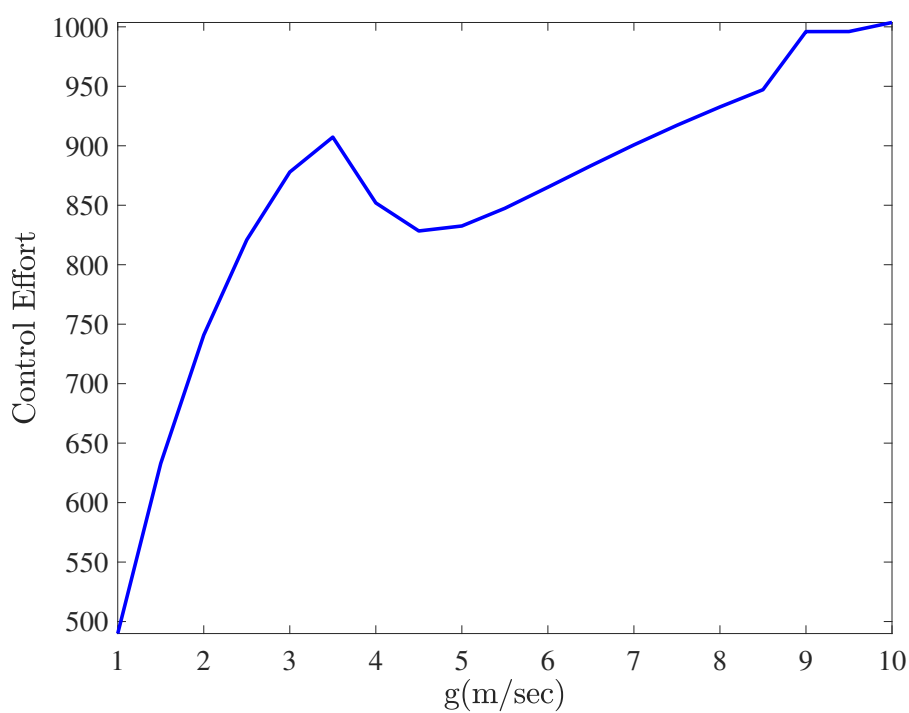
بر اساس نتایج بالا با افزایش  $T$  فاصله ازدست‌دهی زیاد می‌شود و بر اساس میزان دقت می‌توان محدوده قابل قبول را بدست آورد. در اینجا، برای مقادیر کمتر از ۱ نتایج معقولی دارد و می‌توان از آن استفاده کرد. از طرفی، تلاش کنترلی با افزایش  $T$  ابتدا افزایش سپس کاهش می‌یابد.

## ۴.۱ بخش ت

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



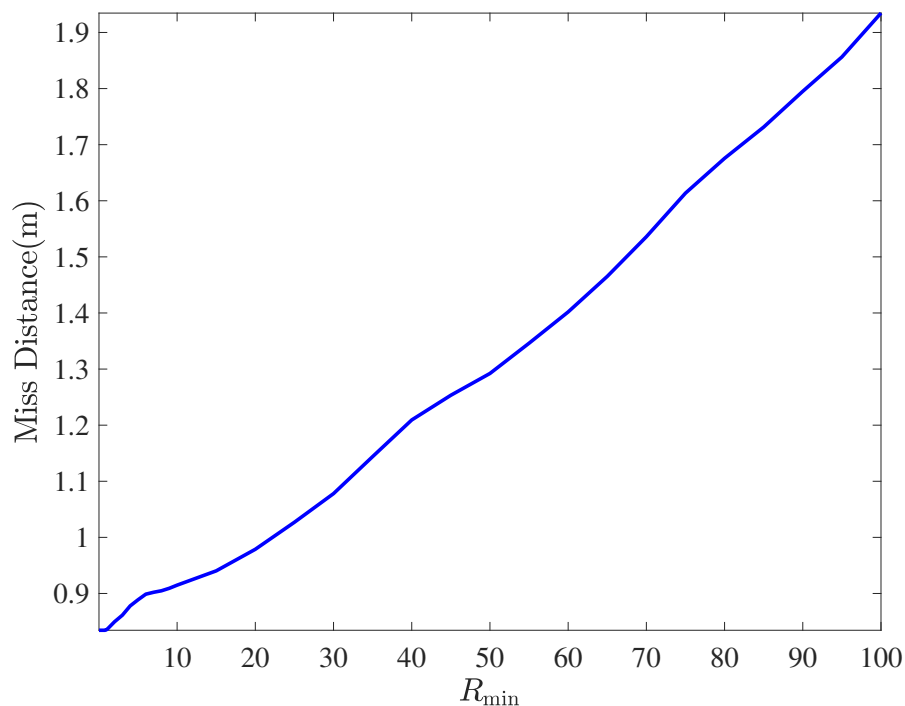
شکل ۳۳: فاصله از دست‌دهی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر



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.



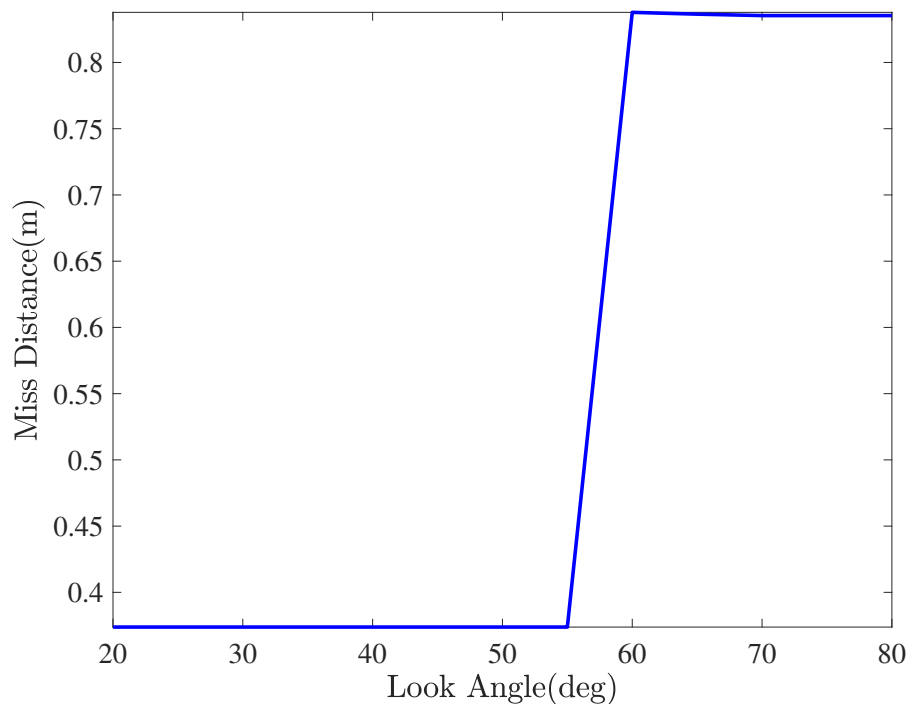
شکل ۳۵: فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف  $R_{min}$

بر اساس نمودار بالا عملکرد موشک 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>۲</sup>Look Angle

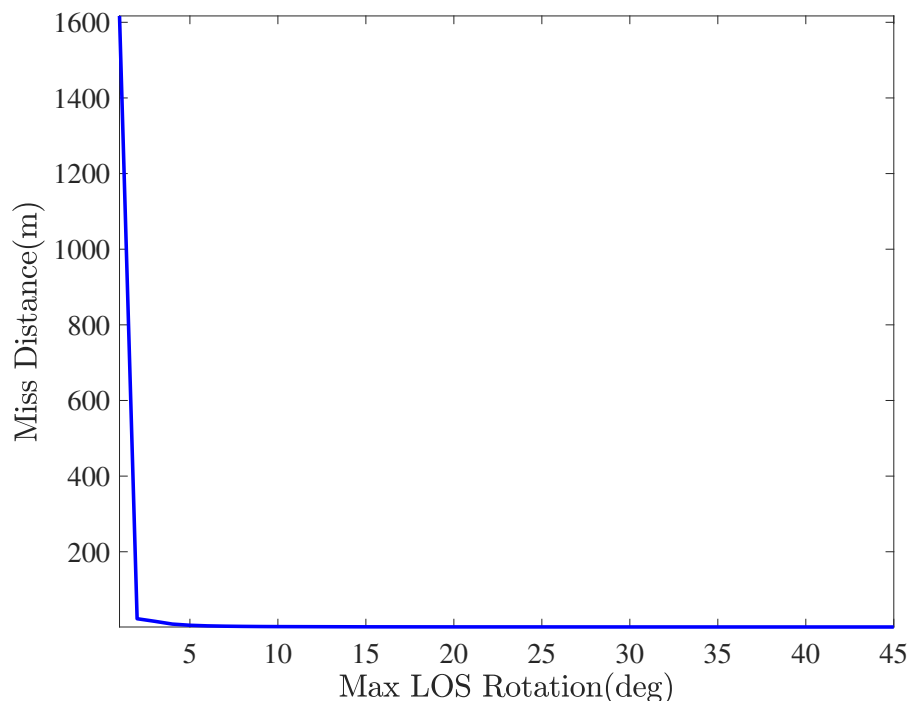


شکل ۳۶: فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف زاویه دید

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 جست‌وجوگر بر فاصله ازدست‌دهی پرداخته شده است.

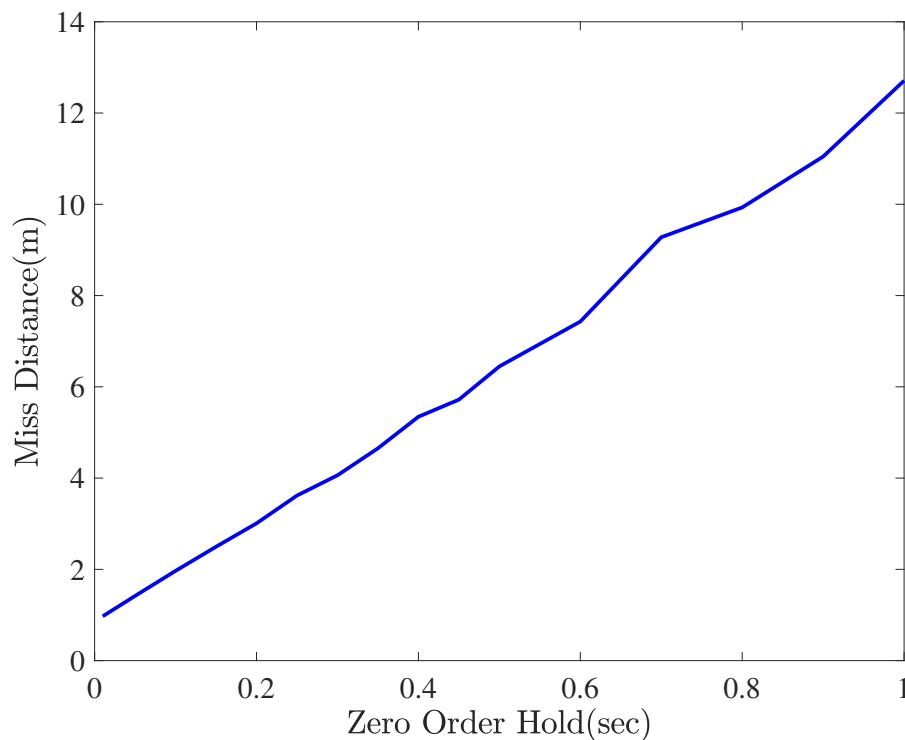


شکل ۳۷: فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف بیشترین نرخ چرخش قابل مشاهده

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، هر چه بیشترین نرخ چرخش بالا برود، 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 یخش ح

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



شکل ۳۸: فاصله از دست‌دهی برای مقادیر مختلف نرخ به‌روزرسانی قانون هدایت

بر اساس نتایج شبیه‌سازی در نرخ به‌روزرسانی  $1/10$  ثانیه، فاصله از دست‌دهی حدود یک متر است که مقداری معقول است و می‌شود نرخ به‌روزرسانی فرمان هدایت را حدود آن قرار داد.

## ۲ سوال دوم

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 ضریب‌های مختلف  $N'$  آورده شده است.

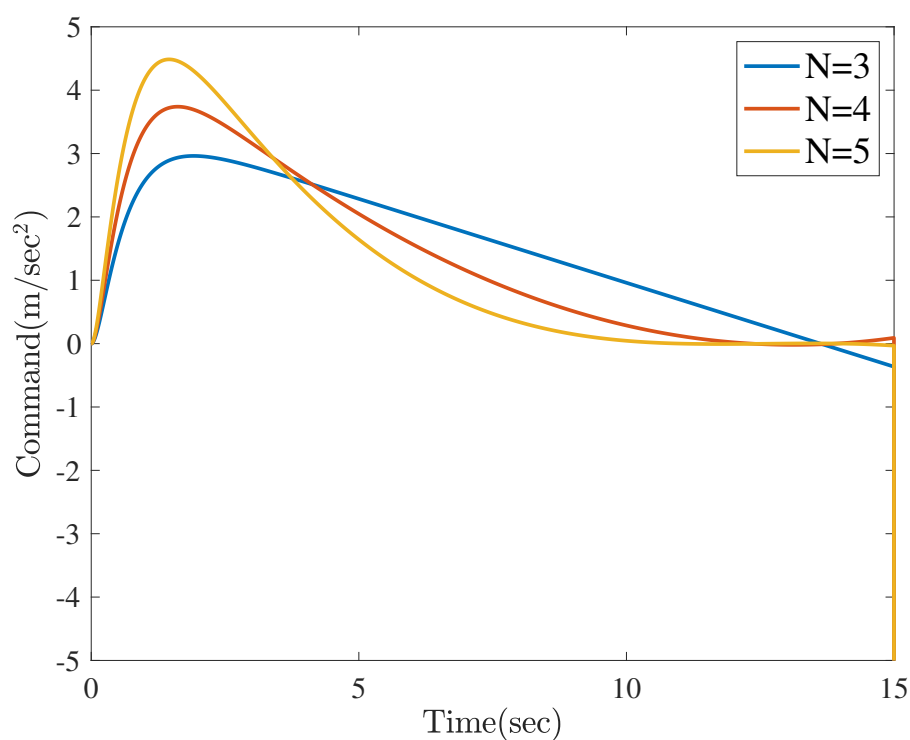


جدول ۳: فاصله ازدست‌دهی برای ضریب‌های مختلف تناسبی در قانون هدایت تناسبی حقیقی

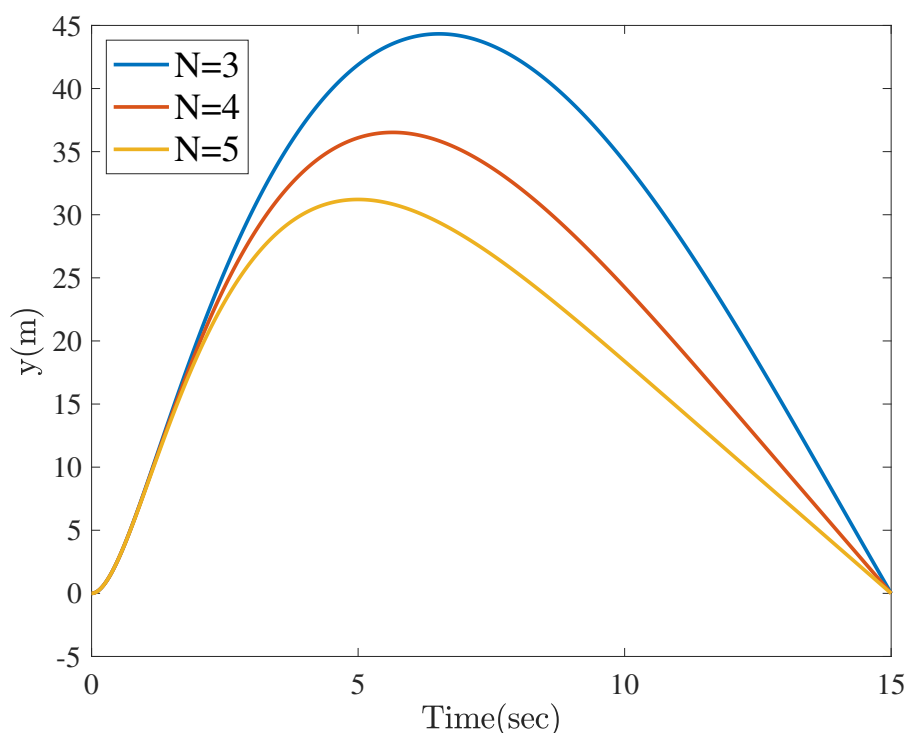
$N'$	Miss Distance (m)
3	$0.8439 \times 10^{-8}$
4	$0.0834 \times 10^{-8}$
5	$0.9282 \times 10^{-8}$

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

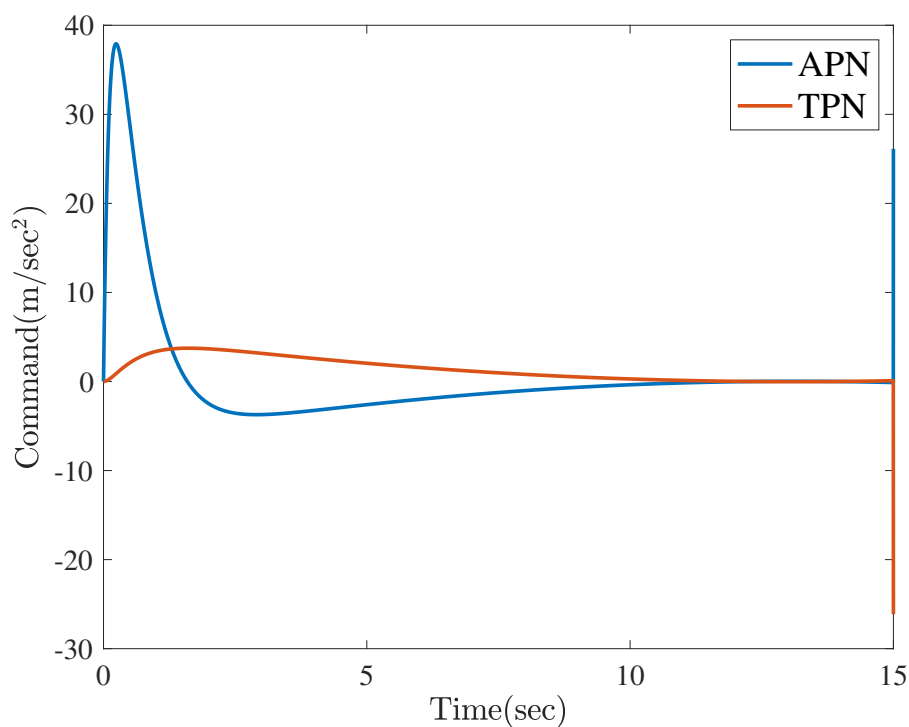
در این بخش به بررسی تفاوت قانون هدایت تناسبی حقیقی و هدایت تناسبی افزوده پرداخته شده است.

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

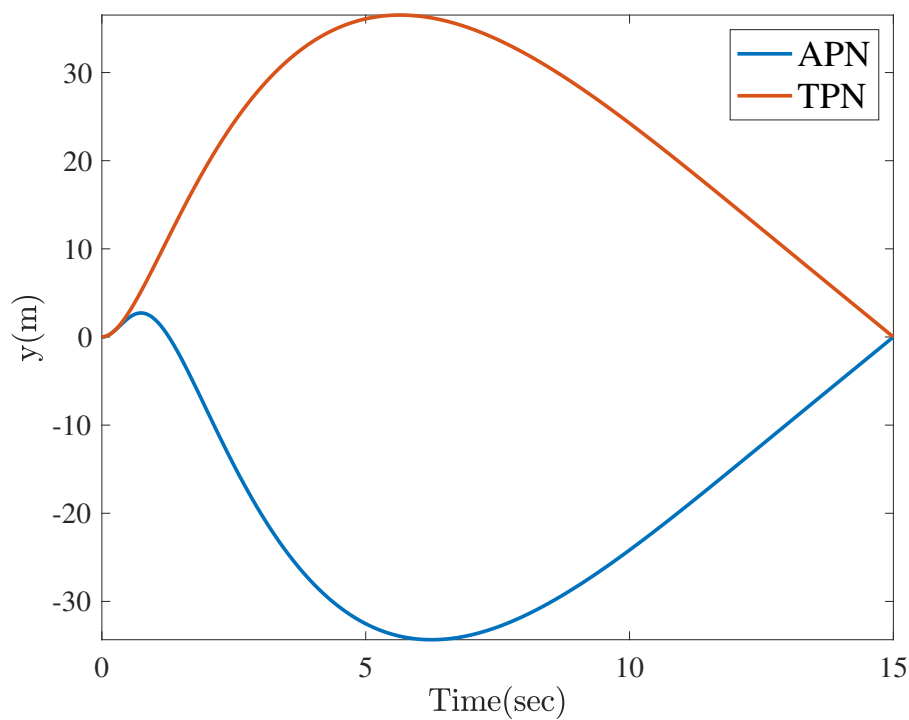
Guidance Law	Miss Distance (m)
TPN	$0.0834 \times 10^{-8}$
APN	0

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

Guidance Law	Control Effort
TPN	19.6963
TPN	44.6641



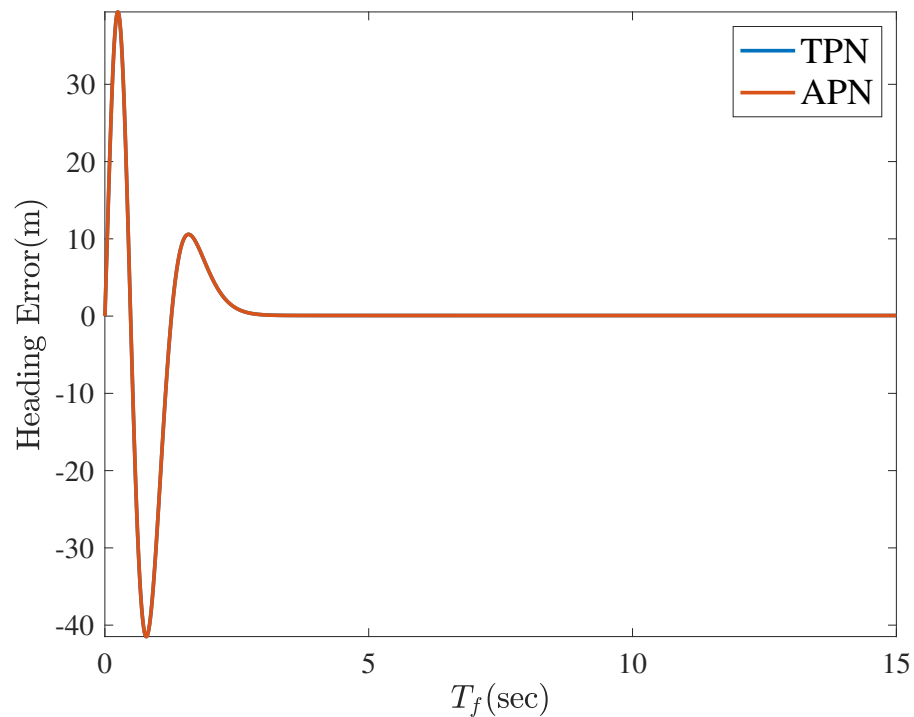
شکل ۴۱: مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده



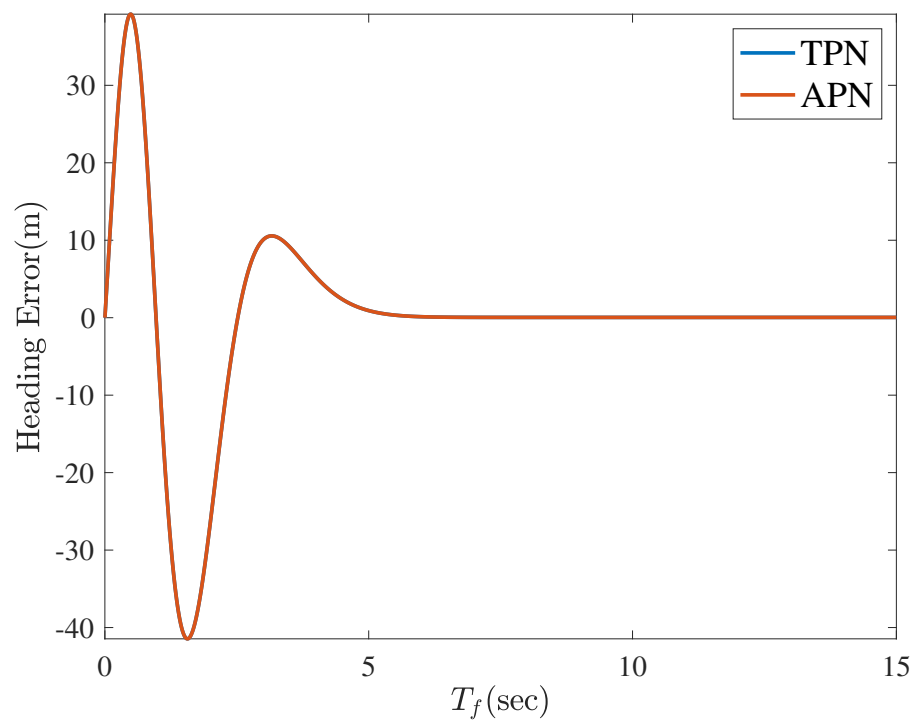
شکل ۴۲: مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده

## ۳.۲ بخش پ

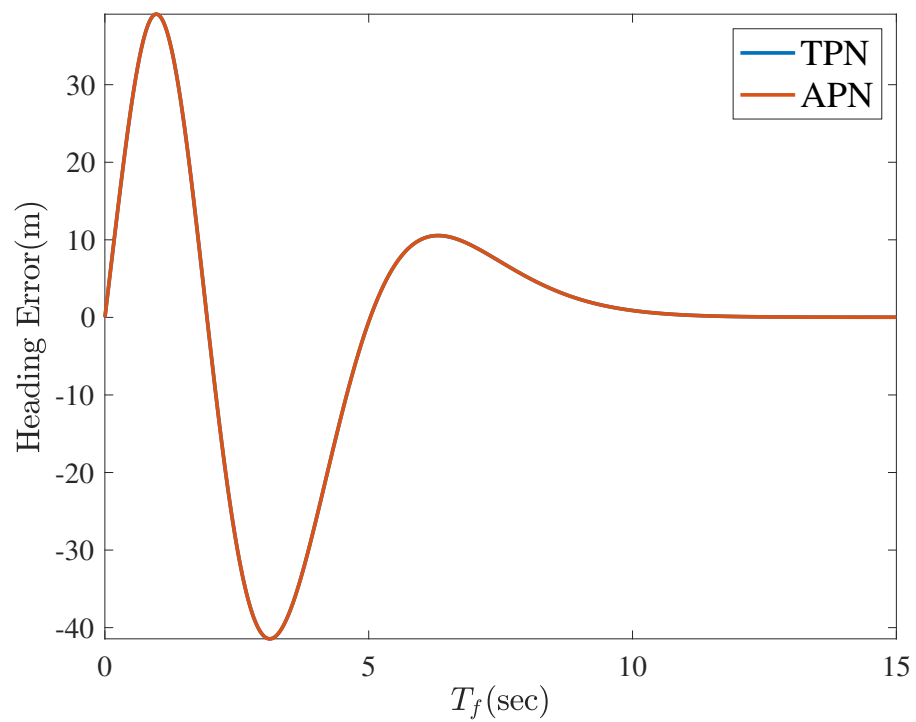
در این بخش به بررسی تغییرات زاویه اولیه و مانور هدف به صورت سیستم الحاقی برای زمان‌های نهایی مختلف بر فاصله ازدست‌دهی پرداخته شده است.



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



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



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

## فهرست مطالب

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

## فهرست تصاویر

۲	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
۵	موقعیت موشک و هدف به صورت سه بعدی با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۵
۴	موقعیت موشک و هدف در صفحه $xy$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۶
۵	موقعیت موشک و هدف در صفحه $xz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۷
۵	موقعیت موشک و هدف در صفحه $yz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت تناسبی	۸

۸	موقعیت موشک و هدف در صفحه $yz$ با شرایط اولیه مسیر برخورد در هدایت
۶	تناسبی
۹	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$
۱۰	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$
۱۱	فرمان کنترل‌کننده در جهت محور $y$
۱۲	فرمان کنترل‌کننده در جهت محور $z$
۱۳	نرخ چرخش خط دید حول محور $y$
۱۴	نرخ چرخش خط دید حول محور $z$
۱۵	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 3$
۱۶	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 3$
۱۷	نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 3$
۱۸	نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 3$
۱۹	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 4$
۲۰	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 4$
۲۱	نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 4$
۲۲	نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 4$
۲۳	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای $N = 5$
۲۴	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای $N = 5$
۲۵	نرخ چرخش حول محور $y$ برای $N = 5$
۲۶	نرخ چرخش حول محور $z$ برای $N = 5$
۲۷	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $y$ برای تمامی مقادیر $N$
۲۸	فرمان هدایت تناسبی در جهت محور $z$ برای تمامی مقادیر $N$
۲۹	نرخ چرخش حول محور $y$ برای تمامی مقادیر $N$
۳۰	نرخ چرخش حول محور $z$ برای تمامی مقادیر $N$
۳۱	فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف $T$
۳۲	تلاش کنترلی برای مقادیر مختلف $T$
۳۳	فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر
۳۴	تلاش کنترلی برای مقادیر مختلف اشباع عملگر
۳۵	فاصله ازدست‌دهی برای مقادیر مختلف $R_{\min}$
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 . . . . .	۲۴
۳۹	فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف $N'$ . . . . .	۲۵
۴۰	متغیر $y$ در قانون هدایت تناسبی حقیقی برای ضریب‌های مختلف $N'$ . . . . .	۲۶
۴۱	مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده	۲۷
۴۲	مقایسه فرمان کنترلی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و قانون هدایت تناسبی افزوده	۲۷
۴۳	مقایسه فاصله ازدست‌دهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده برای $T =$	
۲۸	۰.۲۵ بر حسب زمان پرواز . . . . .	
۴۴	مقایسه فاصله ازدست‌دهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده برای $T = 0.5$	
۲۹	بر حسب زمان پرواز . . . . .	
۴۵	مقایسه فاصله ازدست‌دهی در قانون هدایت تناسبی حقیقی و افزوده برای $T = 1$	
۳۰	بر حسب زمان پرواز . . . . .	

## فهرست جداول

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