# تعیین محدوده کنترلر سوئیچینگ و پیاده سازی آن بر روی موشک های پدافندی(بدون چرخش به عقب)

مهدی اخوت[۱]

علی‌دوست محمدی[۲] محمدباقر منهاج[۳]

## چکیده

در این مقاله به بررسی و تحلیل محدوده های مجاز برای سوئیچ میان سامانه های هدایت موشک پدافندی می پردازیم. فرآیند سیستم های ضد موشکی، شامل سه فاز پرتاب عمودی، میانه راه و هدایت نهایی است که موشک هدف را مورد اصابت قرار می دهند و باعث انهدام آن می گردد[۱]. هدف در این مقاله تعیین محدوده های زمانی مناسب برای سوئیچ بین این مراحل می باشد بطوری که مسیر موشک رهگیر به مسیر بهینه نزدیک گردد و با انجام حداقل محاسبات، سرعت عملیات را افزایش دهیم.

## کلید واژه

هدایت فازی، سوئیچینگ، قوانین هدایت موشک

۱. کارشناس ارشد برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر okhovat@aut.ac.ir

۲. استادیار دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳. استاد دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ دریافت:۸۹/۶/۳۰ تاریخ پذیرش:۸۹/۷/۱۴

## مقدمه

درگیری با اهداف موشکی مافوق صوت[۱] یک رقابت جدید در دنیا می‌باشد. رشد و توسعه یک سامانه هدایت مؤثر و کارآمد برای موشک‌های زمین به هوا بر علیه اهداف بسیار سریع هنوز به عنوان یک موضوع مهم در صنایع نظامی در دست مطالعه و تحقیق است. یک فلسفه برای مسیر موشک رهگیر جهت برخورد با یک هدف مافوق صوت، برخورد نزدیک رودررو می‌باشد. تحت این شرایط موشک رهگیر بدون توصل به شتاب عرضی بالایی با هدف برخورد می‌نماید. در این مقاله برای شبیه سازی فرآیند برخورد موشک رهگیر را به صورت نقطه ای مدل می نماییم. سیستم ناوبری بر اساس منطق فازی می باشد چرا که نظام فازی ساختاری ساده تر از روش های دیگر داشته و نیازی به دانش دقیق مدلسازی ندارد. در مجموع، روش فازی در مقابل تغییرات محیطی مقاوم بوده و به منطق و قوانین هدایت طراحان[۲] نزدیک تر است [۱]. در اینجا دو نوع قانون هدایت سکوی پرتاب عمودی مورد نظر است.

۱) سکوی پرتاب عمودی در حالت کلی[۳].

۲) سکوی پرتاب عمودی با چرخش به عقب[۴].

حالت اول یعنی سکوی پرتاب عمودی معمولی که برای فواصل طولانی تری میان موشک رهگیر و هدف مناسب می باشد، بطوری که فاصله ی نسبتاً زیادی میان موشک هدف و رهگیر وجود داشته و موشک رهگیر زمان لازم برای جهت گیری و مانور تا برخورد با هدف را دارد. راهبرد اول شامل ۳ مرحله است. اول) فاز پرتاب عمودی، دوم) فاز میانه راه و سوم) فاز نهایی برخورد. در حالت دوم، سکوی پرتاب عمودی با چرخش به عقب، برای حوضه درگیری کوچکتری مناسب است. هر فاز دارای هدایت متناسب با خود است که میان این هدایت ها در فاز های مختلف می بایستی سوئیچ گردد. در این مقاله بر اساس برخی از متغیر های حالت سامانه موشکی محدوده های ابتدایی و انتهایی زمان سوئیچ میان هدایت های مختلف در حالت بدون چرخش به عقب را تعیین نماییم تا برخوردی کارآمد را برای سامانه پدافندی فراهم سازیم. برای فرموله کردن مسئله پرتاب عمودی، معادلات انتقال سه بعدی درنظر گرفته شده است. معادلات حرکت، سامانه های هدایت و محدوده فازهای مختلف در مقاله [۱] و [۲] آمده است. راهبرد برخورد بدون چرخش به عقب چنانچه همه چیز را ایده ال در نظر بگیریم یعنی از شرایط محیطی نامطلوب، محدودیت دینامیکی سامانه موشک رهگیر و قابلیت

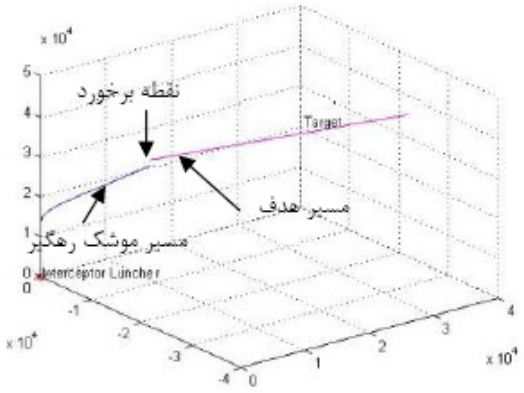
۱. سرعت صوت m/s ۳۰۰ در نظر گرفته می شود.

۲. افراد خبره که در این زمینه اطلاعات کافی و تبحر لازم را دارند.

3.General Vertical Launch Guidance

4.Vertical Launch Back Turn Guidance

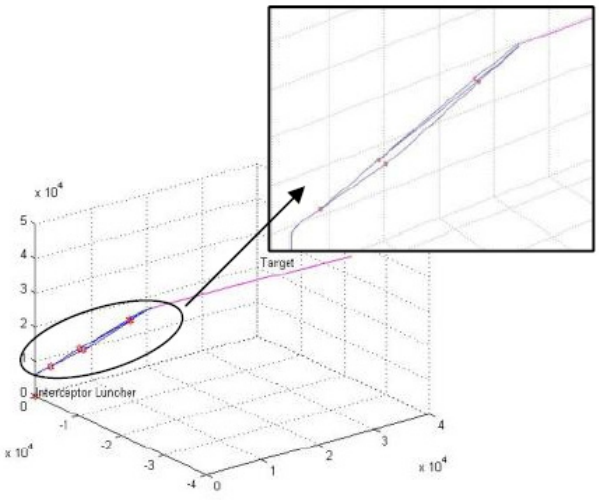
مانور هدف صرف نظر نماییم. آنگاه موشک رهگیر با همان هدایت اول در راستای موشک هدف قرار می گیرد و آن را مورد اصابت قرار می دهد. در شکل  ملاحظه می فرمایید که موشک هدف در شرایط ایده آل تنها با یک سیستم هدایت مورد اصابت قرار گرفته و موشک رهگیر در محدوده خود کشی قرار می گیرد.




شکل ۱: برخورد بدون چرخش به عقب

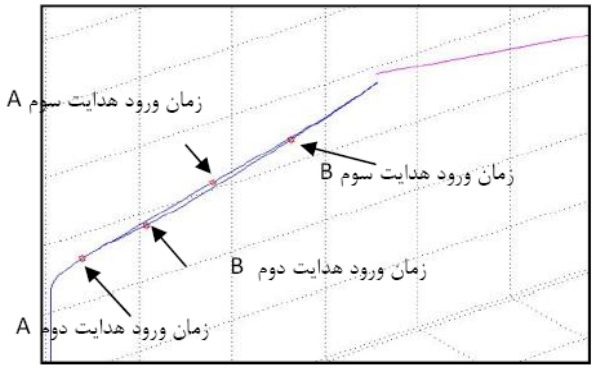
در اینجا فرض بر این است که موشک هدف دارای قابلیت مانور است که برای فرار از محدوده موشک رهگیر تغییر مسیر می دهد تا از بالای سر آن عبور کند. در شکل ۲ هدایت سوم نیز علاوه بر هدایت دوم در عملیات وارد شده که با دقت بالای خود در آخرین لحظات موشک رهگیر را به هدف نزدیکتر می نماید. حال به بررسی زمان مناسب برای سوئیچ بین هدایت اول، دوم و سوم می پردازیم. اعمال سوئیچینگ های مختلف میان هدایت ها باعث بوجود آمدن تراژکتوری های مختلف مسیر پرواز می گردد. طبیعتاً تراژکتوری برای ما مطلوب است که اولاً موشک هدف را مورد اصابت قرار دهد، ثانیاً ر اهبرد برخورد رو در رو (شاخ به شاخ ) را فراهم نماید و ثالثاً کوتاه ترین مسیر را برای برخورد برگزیند. هدایت اول موشک رهگیر را بر روی امتداد مسیر ورود موشک هدف قرار می دهد. هدایت دوم با تخمین مسیر حرکتی موشک هدف، موشک رهگیر را برای ورود به مرحله نهایی آماده می کند. هدایت سوم دارای حساسیت بیشتری است و نسبت به خطاهای کوچکتر عکس العمل بزرگتری را نشان می دهد تا در اندک زمان و مسافت باقی مانده خطا را به حداقل میزان خود کاهش دهد. همان طور که در شکل  به نمایش درآمده است، در تمامی حالات (حالت برخورد رو دررو) برخورد با

موفقیت انجام شده است ولی در سناریو های مختلف سوئیچینگ مسیر موشک رهگیر دارای منحنی های مختلفی است. حال با در نظر گرفتن حداقل انرژی و حداقل زمان، می بایستی بهترین منحنی را مشخص و زمان های سوئیچینگ را برای رسیدن به این منحنی ها تحلیل و بررسی نماییم



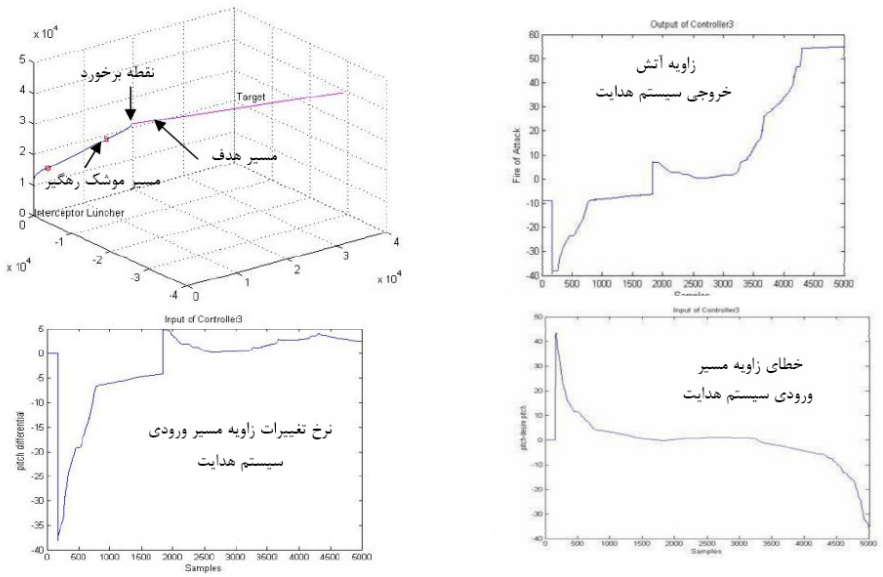

شکل ۲: برخورد با ورود هدایت سوم

در شکل ۳ هر سه حالت، هدایت دوم نسبت به تصحیح خطا اقدام و با کاهش آن مقدمات ورود هدایت سوم را فراهم می کند. هدایت سوم در هر سه حالت در کمترین زمان باقی مانده خطا را جبران می کند و موشک

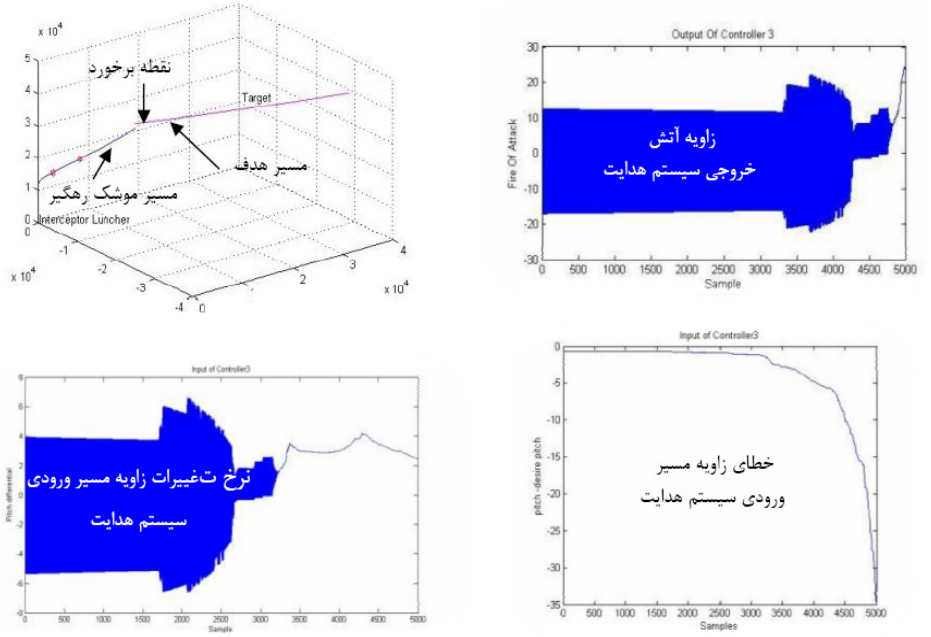



شکل ۳: زمان های مختلف سوئیچینگ در ۲ استراتژی A و B

را به نقطه نهایی مطلوب خود می رساند. بهترین و کوتاهترین مسیر موشک رهگیر حالتی است که هدایت دوم بلافاصله بعد از قرارگیری موشک رهگیر در امتداد مسیر اولیه موشک هدف ( پایان کار هدایت اول) وارد عمل می گردد. در این حالت هدایت دوم زمان لازم برای جبران خطا را دارد و موشک رهگیر را در کوتاه ترین مسیر در جهت کاهش خطا سوق می دهد. وقتی خطا به حد مطلوب برای هدایت سوم رسید آنگاه بهترین زمان برای ورود هدایت سوم است تا با دقت بالا موشک رهگیر را به سمت موشک هدف هدایت نماید. با توجه به شکل، با در نظر گرفتن زمان های مختلف سوئیچ مسیر موشک رهگیر برای رسیدن به هدف تغییر کرده است. همان طور که ملاحظه می فرمایید در منحنی A موشک رهگیر مسیر کوتاه تری را برای رسیدن به هدف پیموده است. اما در منحنی B مسیر موشک رهگیر دارای مسافت بیشتری است، چرا که در منحنی A هدایت دوم در زمان مناسب وارد عمل می شود و شروع به کاهش خطا می کند و اجازه نمی دهدکه مسیر موشک رهگیر از امتداد مسیر موشک هدف فاصله بیشتری بگیرد. در نتیجه با کاهش به موقع خطا سبب می گردد تا شرایط برای ورود هدایت سوم زودتر فراهم گردد و هدایت سوم زودتر به عملیات وارد گردد. در نتیجه موشک رهگیر را با دقت بالاتری به هدف نزدیک می نماید. در منحنی B هدایت دوم دیرتر وارد عملیات می شود، لذا شرایط برای ورود هدایت سوم دیرتر فراهم شده است.




شکل ۴: خروجی سیستم هدایت




شکل ۵: خروجی سیستم هدایت

هدایت ها در کل می بایستی مسیر خطای بیشتری را جبران نمایند، لذا موشک رهگیر مجبور به صرف زمانو انرژی بیشتری گشته است. جالب است بدانیم که در هر دو حالت هدایت دوم و سوم در نهایت موشک رهگیر را به نقطه نهایی مطلوب خود رسانده اند. در منحنی B هدایت ها با صرف انرژی و زمان بیشتری موفق می شوند تا انتهای مسیر منحنی خود را بر منحنیA منطبق نمایند و با موفقیت عملیات را به پایان رسانند. حال سوال اینجاست که اگر منحنی B نیز برخورد موفقیت آمیز داشته، چرا نیاز است از منحنی دقیقتر A پیروی نماییم؟ پاسخ سوال اینجاست که اگر می دانستیم که موشک هدف دیگر قرار نیست مانور دهد و یا اختلاف بیشتری در زمان های آینده رخ دهد، آنگاه بر اساس منحنی B عمل می کردیم ولی از آنجا که از رفتار موشک هدف در آینده اطلاعی نداریم و احتمال می دهیم برای فرار از دفاع موشکی باز مانور خواهد داد. لذا بهتر است خود را در بهترین حالت قرار دهیم و در هر لحظه در کاهش خطا بکوشیم تا در صورت مانور مجدد هدف، فاصله و خطای موشک رهگیر به حدی نرسد که برخورد را ناموفق گرداند. این مثال به مانند ورزشکاری است که از آمادگی رقیبان خود اطلاع ۱۰۰٪ ندارد بنابراین خود را تا روز مسابقه در بهترین شرایط آمادگی جسمانی قرار می دهد. هرچند اگر بعد از روزمسابقه دریابد با آمادگی جسمانی کمتری نیزمی توانست

رقیب خود را شکست دهد. هدایت سوم دارای حساسیت بالایی است، لذا با تغییرات کوچک در خطا، خروجی های بزرگتری را اعمال می کند. در نتیجه چنانچه خطای مسیر هنوز مقدار بزرگی داشته باشد و در همین هنگام به هدایت سوم سوئیچ گردد، هدایت سوم دچار نوسانات شدید می گردد و یا اینکه به اشباع رفته و عملکرد مطلوب خود را از دست می دهد. در شکلهای ۴ و ۵ در ۲ حالت مختلف بر روی هدایت سوم سویئچ می گردد. در حالت اول (شکل ۴) در زمان مناسب بر روی هدایت سوم سوئیچ گشته است، لذا سامانه به خوبی عملیات را به پایان رسانیده است. در حالت دوم (شکل ۵) در زمانی نامناسب به هدایت سوم سوئیچ گشته است. در این حالت، هدایت از حالت پایدار خارج می گردد. نمودار مربوط به این حالت در شکل به نمایش در داده شده است و در کنار آن خروجی هدایت کننده سوم ملاحظه می شود که به حالت نوسانی درآمده است. برای زمان نهایی ورود هدایت سوم باید گفت که با توجه به لختی سامانه هدایت و دینامیک موشک رهگیر، وجود دارد. چنانچه هدایت سوم خیلی دیر به عملیات وارد گردد دیگر زمان کافی برای عملکرد مطلوب وجود نخواهد داشت. این مهم در شکل به نمایش در آمده است. از یک زمان به بعد دیگر ورود هدایت سوم به عملیات مناسب نمی باشد، چرا که در این حالت تنها بر تاخیر سامانه افزوده نمی شود و زمان های نهایی را از دست می رود. همان طور که در شکل ملاحظه می فرمائید، هنگام ورود هدایت سوم، سیستم کمی با تأخیر عمل رهگیری را دوباره شروع می کند و زمانی برای سوئیچینگ و ورود هدایت سوم از دست خواهد رفت. لذا در زمانی که هدایت سوم دیگر زمان کافی برای عملکرد را ندارد، بهتر است که دیگر وارد میدان نگردد.

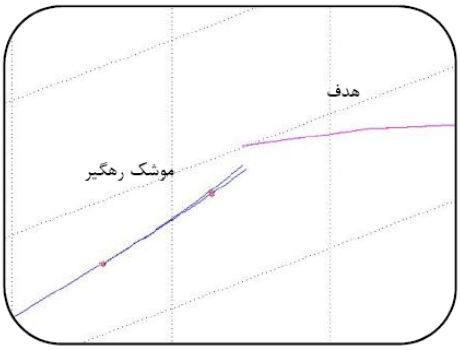
## پرتاب عمودی بدون گردش به عقب

الگوریتم مناسب برای محدوده سوئیچ به هدایت دوم در شکل۷ به نمایش درآمده است. الگوریتم سوئیچینگ برای هدایت سوم در شکل ۸ به نمایش درآمده است.

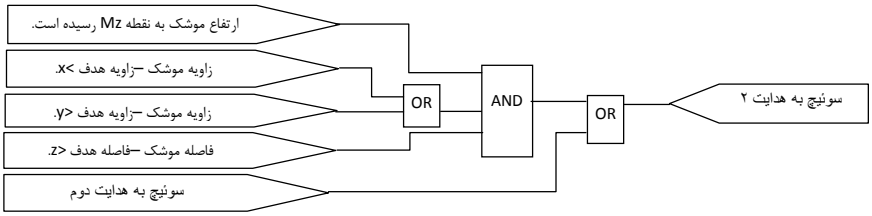
## نتیجه گیری

در فرآیند عملیات برخورد سامانه پدافندی در حالت بدون گردش به عقب، سامانه دفاع ضد موشکی، دارای هدایت های مختلف می باشد. زمان سوئیچ میان این هدایت ها از اهمیت بالایی برخوردار است بطوری که تعیین محدوده های ابتدایی و انتهایی مناسب میان هدایت ها می تواند منحنی مسیر برخورد را بهبود بخشد و عملیات برخورد را موفقیت آمیز گرداند، در حالی که کمترین محاسبات در سامانه هدایت صورت گرفته است. در این مقاله امکان استخراج محدوده های زمان مناسب سوئیچ

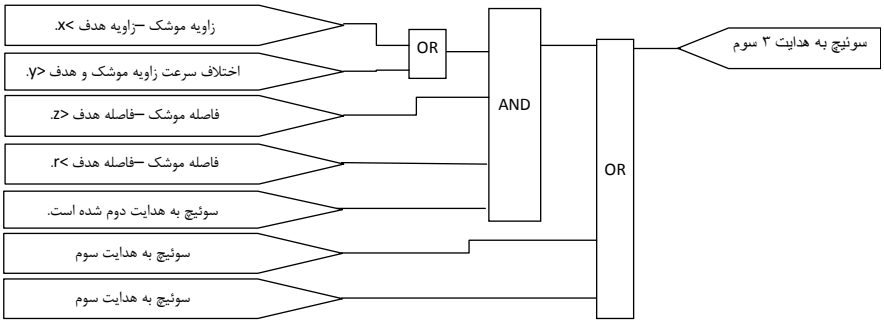
فراهم شد. و با کمک توابع هدایت مختلف، این هدایت ها در فاز های مختلف در محدوده قابل قبول خود انتخاب گردید.




شکل ۶: تأخیر در برخورد نهایی




شکل۷: الگوریتم کنترلر سوئیچینگ هدایت ها




شکل۸: الگوریتم کنترلر سوئیچینگ هدایت ها

## مراجع

1.Chun-Liang Lin, Y.-P. L.-L. “A fuzzy guidance law for vertical launch interceptors,” Control Engineering, vol 17, 2009

2. M. Okhovat, A. DostMohammadi, M.B. Menhaj, “Switching control designe for missile defence without back turn,” Submitted for ICEE, 2011

3. Liberzon, Daniel,.” Switching in Systems and Contro,”. Boston.Berlin: Brikhauser, 2003

4. Evan J. Hughes, Brian A. White,. “Fuzzy multi-objective design for alateral missile autopilot,” ControlEngineeringPractice, 2005,

5.Chun-Liang Lin, Hao-Zhen Hung,Yung-Yue Chen,Bor-Sen Chen, .“Development of an Integrated Fuzzy-Logic-Based Missile Guidance Law Against High Speed Target,” IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS,vol 13, 2004