مفاهيم كلي و زيرسيستم­هاي لازم براي طراحي سيستم هدايت

**مقدمه**

مفهوم هدايت[[1]](#footnote-2) در يك جمله به اين صورت بيان مي­شود:

"فرايند هدايت يك شيء (يا يك سيگنال) در يك مسير به سمت هدفي كه معمولاً متحرك مي­باشد. "

وظيفه واحد هدايت تعيين مسيري است که اگر شيء (سيگنال) آن مسير را طي کند حتماً به موقعيتي كه هدف در آن قرار دارد، خواهد رسيد. تعيين اين مسير، از طريق فرمولي صورت مي­گيرد که موقعيت هدف و سلاح به طور صريح يا ضمني در آن وارد مي­شود و سپس مسير مطلوب که رسيدن به هدف را تضمين مي­کند توليد مي­گردد. به اين فرمول، قانون هدايت گفته مي­شود. از آنجايي که اين فرمول بايد در هر لحظه دوباره اجرا و مسير محاسبه گردد واحد هدايت به يک قسمت محاسبه­گر نياز دارد. بسته به سيستم هدايتي که استفاده مي­گردد اين قسمت ممکن است مغز آدمي (هدايت غيرخودگردان) يا يک ماشين خودکار(هدايت خودگردان) باشد.

قبل از شروع، به اين نكته اشاره مي­كنيم كه مفاهيم و تعاريف ارائه شده براي سيستم هدايت متناسب با كاربردهاي موردنظر متفاوت مي­باشد. در برخي تعاريف معمولاً رابطه تنگاتنگي بين مفاهيم مربوط به هدايت و ناوبري ارائه مي­كنند و هم­پوشاني بين تعاريف وجود دارد. بعنوان مثال در كاربردهاي هوافضا از چهار تعريف مجزا استفاده مي­شود : برنامه­ريزي پرواز، ناوبري، هدايت و كنترل. با توجه به اين تعاريف، هدايت عبارت است از استراتژي دنبال كردن يك مسير نامي از قبل طراحي شده در حضور شرايط غيرنامي، اغتشاشات باد و نامعيني­هاي مربوط به سيستم ناوبري.

**سيستم­هاي هدايت (قوانين هدايت)**

در اين قسمت سيستم­هاي هدايتي که بيشتر مورد استفاده قرار مي­گيرند را بصورت مختصر بررسي مي­كنيم برخي از مهمترين خصوصياتي که بايد هنگام طراحي يک سيستم هدايت در نظر گرفته شوند عبارتند از مدت پرواز، حداکثر نرخ چرخش و حداکثر شتاب جانبي.

1. هدايت اشعه سوار[[2]](#footnote-3)

**"سيستم هدايت اشعه سوار سيستمي است که سلاح (سيگنال) را چنان هدايت مي­کند که همواره بر روي خطي که هدف را به نقطه کنترل وصل مي­کند باقي بماند."**

**در اين تعريف، منظور از نقطه کنترل نقطه­اي است که تعقيب­کننده سلاح و هدف در آن قرار دارند. اگر چه نام اشعه سوار معمولاً به سيستم­هاي اتوماتيک اطلاق مي­شود، اما مي­توان سيستم­هاي ديگري را نيز نام برد که در واقع زيرمجموعه­اي از روش­هاي اشعه سوار هستند. در بعضي متون به اين سيستم­ها، سيستم­هاي هدايت مبتني بر خط ديد[[3]](#footnote-4) نيز گفته مي­شود.**

**چندين نوع از سيستم­هاي هدايت مبتني بر خط ديد وجود دارند، اما قبل از اينکه بعضي تفاوت­هاي بين آنها را توضيح دهيم، بعضي مفاهيم مشترک بين آنها را تشريح مي­نماييم. سيستم هدايت مبتني بر خط ديد را مي­توان يک *سيستم هدايت سه نقطه­اي* ناميد؛ زيرا که سه نقطه مهم در اين سيستم وجود دارد: يکي محل قرار گرفتن تعقيب­کننده، ديگري هدف و سومين نقطه موقعيت سلاح است. منظور از تعقيب­کننده همان تعقيب­کننده هدف و سلاح است (که البته ممکن است دو وسيله مجزا باشند اما در کنار يکديگر قرار مي­گيرند). تعقيب­کننده ممکن است يک دستگاه خودکار باشد و يا يک انسان کار آن را انجام دهد. هدف سيستم اين است که سلاح را تا جايي که ممکن است نزديک خطي نگه دارد که موقعيت تعقيب­کننده و هدف را به هم متصل مي­کند. اين خط, خط ديد ناميده مي­شود. مفهومي که اين سيستم بر آن بنا شده مفهوم ساده­ايست که به چندين طريق مي­تواند اعمال شود. شايد به همين دليل اين سيستم براي بسياري از سلاح­هاي هدايت­شونده اجرا شده است. اما اين دسته از روش­ها دچار بعضي مشکلات پايه­اي هستند که کارکرد آنها را محدود مي­کند.**

به سيستم­هاي هدايتي كه در آنها فقط هدف و ردياب نقش دارند و بعنوان دو نقطه از آنها استفاده مي­شود، اصطلاحاً سيستم هدايت دو نقطه­اي گفته مي­شود. در اين پروژه با توجه به اينكه سلاح وجود ندارد، لذا هدايت از نوع دونقطه­اي خواهد بود. همچنين سيستم­هدايت شونده­اي كه اين قابليت را داشته باشد كه هدف را با توجه انرژي ساطع شده از آن شناسايي كرده و آن را رديابي كند، اصطلاحاً هدايت آشيانه­ياب گفته مي­شود. كه باتوجه به سنسورهاي استفاده شده، به دو نوع آشيانه­ياب فعال و غيرفعال تقسيم مي­شود.

1. هدايت تعقيب

شايد قديمي­ترين و ساده­ترين نوع هدايت، هدايت تعقيب باشد که در بعضي متون به آن هدايت سگ و خرگوش نيز مي­گويند. دو نوع هدايت مبتني بر تعقيب وجود دارد:

* تعقيب خالص يا معمولي که در آن زاويه پيش (زاويه بين سرعت سلاح و خط ديد هدف از سلاح) صفر است.
* تعقيب تغييريافته يا تعقيب با زاويه پيش ثابت، که در آن زاويه پيش يک مقدار محدود و ثابت است.

مطابق تعريف، يک سيستم هدايت تعقيب خالص، سلاح را به گونه­اي هدايت مي­کند که بردار سرعت سلاح هميشه مستقيماً به سمت موقعيت لحظه­اي هدف باشد.

1. هدايت تعقيبي با زاويه پيش ثابت

نوع دوم هدايت تعقيبي، هدايت تعقيبي با زاويه پيش ثابت مي­باشد. به اين هدايت، هدايت ثابت نيز گفته مي­شود. هدايت تعقيبي با زاويه پيش ثابت هدايتي است که در آن زاويه بردار سرعت سلاح با خط ديد هدف از سلاح ثابت است. اگر اين زاويه ثابت صفر باشد، به هدايت تعقيبي خالص مي­رسيم.

1. هدايت زاويه ثابت**[[4]](#footnote-5)**

**سيستم هدايت زاويه ثابت، سيستم هدايتي است که در آن خط ديدي که از سلاح به هدف متصل مي­شود در فضا جهتي ثابت دارد. اين بدان معناست که خط ديد که از سلاح به هدف متصل مي­شود هميشه به موازات خود باقي مي­ماند. فرضياتي که در اين قسمت انجام شده­اند بدين شرح­اند:**

**الف- سرعت سلاح و هدف ثابت است.**

**ب- هدف روي خط مستقيم حرکت مي­کند.**

**ج- تمام بررسي­ها در صفحه­اي صورت مي­گيرد که توسط بردار سرعت سلاح و هدف تعريف مي­شوند.**

1. هدايت تناسبي

**"هدايت تناسبي هدايتي است که درآن نرخ تغيير زاويه بردار سرعت اژدر مستقيماً متناسب با نرخ چرخش خط ديد هدف از اژدر است."**

**هدف چنين هدايتي اين** است **که تمايل خط ديد براي چرخش را کاهش دهد و به اين ترتيب به هدايت زاويه ثابت نزديک شود.**

**طراحي سيستم هدايت**

با توجه به مطالب بالا، در اين پروپوزال **متناسب با كاربرد موردنظر براي پروژه**، سه قسمت مختلف براي طراحي سيستم هدايت درنظر مي­گيريم:

1. مرحله اول از يك قانون هندسي تشكيل مي­شود كه بر اساس خط ديد[[5]](#footnote-6) نسبت به هدف[[6]](#footnote-7) استوار مي­باشد. در ادامه اين پروپوزال، هدف را با (T) و پلتفرم هدايت شونده زميني را با (M) نشان خواهيم داد. در اين مرحله از هدايت، سينماتيك مسئله، شكل مسير، انحنائ مسير و شتاب­هاي لازم براي هدايت بررسي مي­شوند.
2. در مرحله دوم، قانون هدايت قرار مي­گيرد. قانون هدايت، الگوريتمي براي پياده­سازي قانون هندسي مورد نظر مي­باشد. با انجام اين مرحله، حلقه هدايت بسته مي­شود. (شكل1). خطاي e در حلقه فيدبك نشان داده شده در اين شكل، تابعي از انحراف وضعيت سيستم هدايت شونده زميني از وضعيت محاسبه شده توسط قانون هدايت هندسي مي­باشد. از اين خطا براي توليد فرمان هدايت با توجه به قانون هدايتي استفاده مي­شود كه در نهايت اين فرمان به پلتفرم هدايت شونده زميني اعمال مي­شود. معمولاً فرمان هدايت از جنس شتاب است كه با  نشان داده مي­شود. شتاب اجرا شده توسط سيستم هدايت­شونده زميني با  نشان داده مي­شود. همچنين شتاب هدف را با  نشان مي­دهيم. بنابراين سيستم هدايت­شونده بايد به گونه­اي حركت كند كه خطاي حاصل (e) به سمت صفر ميل كند.



شكل (1) حلقه هدايت

1. مرحله سوم از حلقه هدايت، قسمت كنترل آن است. پلتفرم هدايت­شونده يك نقطه نيست و بصورت يك جسم صلب است كه مشخصات جرم و ممان اينرسي خاص خود را دارد و وضعيت آن معمولاً با سه زاويه (زواياي اويلر) بيان مي­شود. واضح است كه در اين مرحله از هدايت بايد پايداري سيستم كنترل طراحي شده براي اجراي فرامين هدايت، بعنوان حلقه داخلي حلقه هدايت بررسي شود.

اين سه مرحله اصلي براي تمامي سيستم­هاي هدايت مشترك مي­باشد. ليكن متناسب با كاربردهاي موردنظر، مي­توان مراحل ديگري را نيز به اين سه مرحله اضافه كرد. بعنوان مثال در اين پروژه، سيستم هدايت ممكن است خودگردان يا **غيرخودگردان** باشد و عامل ديگري از بيرون، سيستم هدايت را تحت تأثير قرار دهد. بعبارت ديگر، يك عامل خارجي ديگر (بعنوان ورودي دوم) مي­تواند در هدايت پلتفرم هدايت­شونده زميني استفاده شود (شكل 2).

اين عامل خارجي مي­تواند:

* يك نقطه مبناي مجزا باشد كه در روش هدايت LOS مطرح مي­شود
* تابش سيگنال الكترومغناطيسي بر روي هدف باشد كه در سيستم­هاي ضد موشكي استفاده مي­شود
* تابش اشعه ليزر بر روي هدف باشد كه در كاربردهاي نظامي زميني و هوايي استفاده مي­شود
* و يا حتي مي­تواند سيگنال دريافتي از يك سيستم هدايت مشابه ديگر باشد (با توجه به اينكه هدف نهايي پروژه، هماهنگ كردن چند سيستم هدايت­شوند زميني با هم مي­باشد، اين موضوع از اهميت بيشتري برخوردار است)

اگر از يكي از اين عوامل خارجي در سيستم هدايت استفاده شود، اصطلاحاً به اينگونه سيستم­ها، هدايت غيرخودگردان گفته مي­شود.



شكل (2) حلقه هدايت و حلقه كنترل خارجي سيستم هدايت­شونده

**اصول كلي سينماتيك هدايت زميني**

رديابي هدف، بخش ضروري در يك سيستم هدايت LOS مي­باشد. به اينگونه سيستم­ها كه هدف با استفاده از قانون هدايت LOS رديابي مي­شود، سيستم­هاي CLOS[[7]](#footnote-8) گفته مي­شود. اگر LOS تقريباً ثابت باشد و يا تغييرات اندكي داشته باشد، بگونه­اي كه هدف در ميدان ديد سيكر قرار گيرد، معمولاً رديابي با جابجايي دستي و يا الكترونيكي **سيكر** انجام مي­شود و نياز به يك **پلتفرم متحرك** نداريم. ليكن اگر تغييرات LOS‌زياد باشد، لازم است كه مجموعه سيكر بر روي يك پلتفرم متحرك قرار گيرد و رديابي هدف با جابجايي اين پلتفرم در دو جهت سمت[[8]](#footnote-9) (چرخش حول محور عمودي z) و فراز[[9]](#footnote-10) (چرخش حول محور عمود بر دو راستاي z و بردار فاصله r) انجام مي­شود.

با توجه به اينكه در اين پروژه محدوده حركت هدف گسترده مي­باشد، لذا تغييرات LOS زياد است. براي طراحي سيستم هدايت به دو مقدار اندازه­گيري شده از حركت هدف نياز داريم: يكي نرخ تغييرات زاويه آزيموس () و ديگري نرخ تغييرات زاويه فراز () (شكل3). بسته به موقعيت و سرعت حركت هدف، اين دو مقدار تغيير مي­كنند.

در شكل (3) فرض شده است كه ردياب در نقطه O مختصات مرجع قرار دارد. اگر r فاصله هدف تا ردياب و v سرعت حركت هدف باشد، نرخ تغييرات LOS برابر با اندازه ضرب خارجي دو بردار r و v خواهد بود:

(1) 

بنابراين اگر موقعيت هدف را (x,y,z) و مؤلفه­هاي سرعت آن را () بناميم، خواهيم داشت:

(2) 



شكل (3) سينماتيك ردياب و هدف

يك چارچوب مختصات فرضي براي سيكر درنظر مي­گيريم كه محور x آن منطبق بر بردار r ، محور y آن منطبق بر بردار راستاي زاويه فراز نسبت به هدف و محور z آن طبق قانون دست راست عمود بر x و y مي­باشد. براي اينكه w را در اين چارچوب مختصات فرضي بيان كنيم، ابتدا اين چارچوب مختصاتي را به اندازه  حول محور z و سپس حول محور y جديد كه از اين چرخش حاصل شده است به اندازه  مي­چرخانيم، (جزئيات بيشتر در مباحث مربوط به ماتريس­ تبديل چرخش محورهاي مختصات آمده است). با توجه به شكل (3) زواياي چرخش به اينصورت محاسبه مي­شوند:

(3) 

در نهايت w در چارچوب مختصاتي سيكر به اينصورت بدست خواهد آمد:

(4) كه با ضرب ماتريسي و با فرض  خواهيم داشت:

(5) 

عملگرهاي c و s به ترتيب بيانگر توابع sin و cos هستند.

قابل ذكر است كه دليل منفي بودن  در اين روابط اين است كه زاويه فراز سيكر معمولاً به سمت بالا اندازه­گيري مي­شود، بعبارت ديگر چرخش حول محور y در جهت منفي (پادساعتگرد) است.

 مؤلفه­اي از w در راستاي محور y چارچوب مختصاتي سيكر است كه به راحتي از رابطه (5) (مؤلفه دوم آن) قابل محاسبه است. اما  مؤلفه­اي از w در راستاي محور z است كه بر تقسيم شده باشد. چرا كه چرخش محور آزيموس پلتفرم هدايت­شونده حول محوري است كه زاويه  با محور z چارچوب مختصات سيكر مي­سازد.

بنابراين نرخ چرخش لازم براي حركت پلتفرم هدايت­شونده جهت رديابي هدف بصورت زير بدست مي­آيد:

(6) 

براي درك بيشتر مسئله فرض كنيد كه هدفي با ارتفاع z = h و سرعت خطي ثابت U در راستاي –x حركت مي­كند. با استفاده از دو رابطه بالا، نرخ چرخش لازم براي رديابي هدف با ردياب برابر خوهند بود با:

(7) 

لازم به ذكر است كه r،  و  توابعي از زمان هستند. و x = x0 - Ut.

(8) 

توجه كنيد كه اگر c = 0‌ باشد، سينگولاريتي در زاويه  خواهيم داشت.

**هدايت LOS اصلاح شده**

همانطور كه در قسمت "سيستم­هاي هدايت" بيان كرديم، يكي از موارد مهمي كه در طراحي سيستم هدايت بايد در نظر گرفته شود، "حداكثر شتاب جانبي" براي حركت پلتفرم هدايت­شونده مي­باشد. يكبار ديگر حلقه هدايت نشان داده شده در شكل (1) را درنظر بگيريد. در مباحث كنترلي، هرچقدر فرمان شتاب حلقه هدايت  مقدار كمي داشته باشد، سيستم هدايت ما از كيفيت بهتري برخوردار خواهد بود. بعبارت ديگر همواره تلاش مي­كنيم كه فرمان شتاب را در مسئله هدايت كاهش دهيم.

مراجع

[1] N.A. Shneydor, Horwood Publishing, (1998), “Missile Guidance and Pursuit : Kinematics, Dynamics and Control”

[2] Garnell, P. and East, D.J. (1977). *Guided Weapon Control Systems*. Oxford: Pergamon.

[3] Locke, A.S. (1955). *Guidance*. Princeton: Van Nostrand company, Inc.

1. Guidance [↑](#footnote-ref-2)
2. Beam Riding [↑](#footnote-ref-3)
3. - Line Of Sight systems [↑](#footnote-ref-4)
4. - Constant Bearing [↑](#footnote-ref-5)
5. Line-Of-Sight [↑](#footnote-ref-6)
6. Target [↑](#footnote-ref-7)
7. Command-to-LOS [↑](#footnote-ref-8)
8. Azimuth [↑](#footnote-ref-9)
9. Elevation [↑](#footnote-ref-10)