

ارزیابی پارامترهای موثر بر مسیر حرکت یک گلايدر دریایی با دماغه کروی شکل

کامبیز دیوسالار^۱، روزبه شفقت^۲، موسی فرهادی^۳، رضوان عالمیان^۴

rshafaghat@nit.ac.ir

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، گروه پژوهشی انرژی‌های دریا پایه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
- ۲- دانشیار مهندسی مکانیک، گروه پژوهشی انرژی‌های دریا پایه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
- ۳- استاد مهندسی مکانیک، گروه پژوهشی انرژی‌های دریا پایه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
- ۴- محقق ارشد گروه پژوهشی انرژی‌های دریای پایه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

چکیده:

شناخت کامل نیروهای هیدرودینامیکی تأثیرگذار بر حرکت گلايدهای دریایی، برای کنترل دینامیک حرکت آن‌ها ضروری است. در این مقاله با بررسی نیروهای هیدرودینامیکی موثر بر حرکت گلايدهای دریایی، دینامیک حرکت یک گلايدر دریایی با دماغه کروی، با استفاده از توسعه یک کد کامپیوتری در محیط نرم‌افزار متلب، مورد بررسی قرار گرفته است. براساس الگوریتم مورد استفاده در کد توسعه‌یافته، حرکت گلايدر از زمان پرتاب به درون آب، تا بازگشت به سطح، مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین، با به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری، پارامترهای مؤثر بر عملکرد بهینه گلايدر تعیین شدند. پارامترهای مورد بررسی شامل سرعت پرتاب، زاویه پرتاب گلايدر، زاویه حمله باله‌ها و فاصله و موقعیت قرارگیری مرکز جرم گلايدر نسبت به مرکز شناوری (مرکز دستگاه مختصات بدنی) می‌باشند. بازه تغییرات سرعت از ۰/۵ تا ۵ متربرثانیه، زاویه تریم شامل ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه، زاویه باله شامل ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه و فواصل مرکز جرم و مرکز شناوری شامل ۰، ۱، ۳ و ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در نهایت زاویه پرتاب ۳۰ درجه، زاویه حمله ۵ درجه برای باله و فاصله مرکز جرم و مرکز شناوری صفر و ۱- سانتی‌متر در سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه به عنوان مقادیر بهینه انتخاب شده است.

واژگان کلیدی: گلايدر دریایی، ضرایب هیدرودینامیکی، دینامیک حرکت، بهینه‌سازی فرا ابتکاری.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۸/۰۱

۱- مقدمه

محمد فدلی و شهرام شاه‌الله [۴] در سال ۲۰۱۲ به مطالعه و طراحی بدنه با سیستم کنترل عمق برای یک گلايدر دریایی پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که بدنه بهینه شده، برای عملکرد سیستم کنترل عمق مناسب‌تر است. برای پیشرفت‌های آینده نیاز است که معیارهای هیدرواستاتیک و ویژگی‌های گلايدر دریایی مانند اندازه جابجایی، مرکز ثقل، مرکز شناوری، برآ، زاویه چرخش و زاویه پرتاب مشخص شود.

در سال ۲۰۱۲ سیمون رتویز و همکاران [۵] به مطالعه گلايدر دریایی و مدل‌سازی آن در اقیانوس پرداختند. آزمایش‌ها در آب ۱۵ درجه سانتی‌گراد مدیترانه، در ۱۰۰ متری ساحل و در عمق تقریبی ۶۰ متری انجام شد. نتایج نشان داد، گلايدر دریایی مستقل، یک ابزار ارزشمند برای بررسی فعل و انفعالات هوا و دریا در شرایط دشوار است، و می‌تواند با کنترل از راه دور، جمع‌آوری داده‌ها را انجام دهد. ویلیام بارکر [۶] در سال ۲۰۱۲ به تجزیه و تحلیل معماری گلايدر دریایی و ارزیابی و ادغام گلايدر دریایی با برنامه‌های زیرآب پرداخت. دامنه این بررسی‌ها شامل گلايدرهایی بوده که عمق عملیاتی را، از راه شناوری خالص تغییر می‌دادند و همچنین گلايدرهای ترکیبی که عمق را از طریق ترکیبی از تغییر شناوری و ابزار رانش تغییر می‌دادند.

در سال ۲۰۱۴ اندراکتی و همکاران [۷] کنترل یک گلايدر دریایی مستقل را با کمک تغییرات زاویه باله بررسی کردند. گلايدر شامل یک مخزن بالاست و دو باله هیدرودینامیکی بوده که برای تغییر جهت استفاده می‌شد. در سال ۲۰۱۵ سالیمزان و اوگینی [۸] به مطالعه زمینه‌های توسعه گلايدرهای دریایی مستقل پرداختند. در همین سال چونیا سان و همکاران [۹] به مطالعه پارامترهای مدل هندسی و بهینه‌سازی شکل یک گلايدر دریایی با ترکیب بدنه بالدار پرداختند.

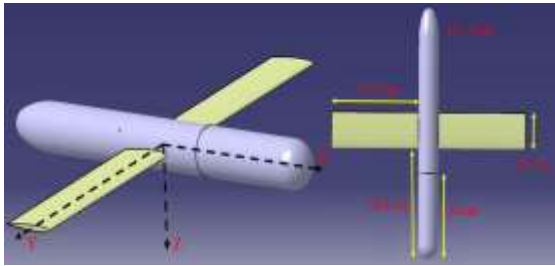
در سال ۲۰۱۶ سانگ جی لی [۱۰] به طراحی و کنترل گلايدر دریایی بدون سرنشین با سرعت افقی بالا پرداخت، و در نهایت موتوری برای سرعت افقی ۲/۵ گره دریایی برای این گلايدر طراحی شد. در سال ۲۰۱۷ تری وایو پوتری و همکاران [۱۱] به مدل‌سازی و شناسایی گلايدر دریایی برای اصلاح زاویه پرداختند. نتایج نشان داد، گلايدر دریایی توانایی ردیابی در مسیرهای طولانی را دارد. و به‌منظور طراحی سیستم کنترل هدایت جهت حرکت، از یک قطب‌نما استفاده

گلايدرهای دریایی نوعی شناور بدون سرنشین‌اند که با کنترل شناوری و جهت‌گیری خود توسط محرک‌های داخلی، به آرامی درون آب حرکت می‌کنند. مزیت عمده گلايدرها نسبت به دیگر شناورهای بدون سرنشین، ارزانی و ماندگاری بالای آن‌هاست؛ به همین جهت به ابزاری قدرتمند و پرکاربرد در دریا و اقیانوس تبدیل شده‌اند. با توجه به مطالعات انجام‌شده در مسیر توسعه فعالیت‌های پژوهشی در زمینه گلايدرهای دریایی، مباحثی همچون امکان‌سنجی طراحی و توسعه گلايدرهای دریایی جهت انجام مأموریت‌های گوناگون در واحدهای دریایی، بومی‌سازی روند طراحی بدنه، پیاده‌سازی سامانه‌های کنترل و هدایت خودکار، طراحی سیستم‌های رانش، بهینه‌سازی فرآیند غوص و صعود، استخراج و ثبت داده‌های مرتبط با مشخصه‌های دریا، شناسایی و نظارت بر محیط عملیات، انجام عملیات امداد و نجات و ردیابی سامانه‌ها همواره مورد توجه است. تاکنون پژوهشگران زیادی به بررسی پارامترهای موثر بر دینامیک حرکت گلايدر پرداختند که در ادامه برخی از آنها ذکر می‌شوند.

پارسونز و همکاران [۱] را می‌توان از اولین افرادی دانست که در سال ۱۹۷۴ به مطالعه‌ی پارامترهای فرم هندسی بدنه و تاثیر آن بر کاهش نیروی درگ در جریان تراکم‌ناپذیر پرداختند. هدف از مطالعه آن‌ها، طراحی فرم بدنه متقارن محوری با کمترین نیروی درگ بوده است. از مهم‌ترین نتایج کار آن‌ها، می‌توان به تعریف معیارها و ضوابط هیدرودینامیکی برای طراحی بدنه اشاره نمود.

آلوارز و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۹ به بهینه‌سازی فرم بدنه شناور زیرسطحی هوشمند برای حرکت در عمق اسنورکلی پرداختند. آن‌ها با تغییرات فرم دماغه و دم شناور، توانستند ۲۵ درصد مقاومت کل را کاهش دهند؛ که برای حرکت در نزدیکی سطح مناسب است.

افند علی حسین و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۱ به مطالعه و مدل‌سازی گلايدر دریایی و تحلیل شناور در عمق و کنترل زاویه پرداختند. اطلاعات حاصل از روش‌های مدل‌سازی و شناسایی برای طراحی و کنترل مدل استفاده شد. برای به دست آوردن یک مدل ریاضی از سیستم بالانس شناور، بالانس عمق و بالانس زاویه تکان از نرم‌افزار متلب استفاده شد.



شکل (۱) نمای سه بعدی و ابعاد دقیق گلايدر طراحی شده.

۳- تعادل هیدرواستاتیکی

در شناورهای زیرسطحی جداسازی جنبه‌های استاتیکی و دینامیکی مشکل است؛ زیرا اکثراً این دو اثر همواره همراه یکدیگرند. پایداری استاتیکی در شناورهای غوطه‌ور، هم از نظر عرضی و هم طولی، یعنی دوران حول محور طولی و عرضی، نیازمند این است که مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری قرار گیرد. از آنجایی که پژوهش حاضر حرکت گلايدر تنها در صفحه XZ است، لذا تعادل شناور تنها در این راستا مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بر این اساس مرکز شناوری و مرکز جرم بر روی محور X قرار دارند و تنها مرکز جرم بر روی این محور جا به جا خواهد شد تا تأثیر آن در حرکت گلايدر بررسی شود.

۴- مدل‌سازی سینماتیک و دینامیک گلايدر

وجود چندین نیروی پیچیده و غیرخطی بر روی یک وسیله نقلیه زیر آب، کنترل آن را سخت می‌کند. برای مثال، نیروهای پیچیده و غیرخطی‌ای نظیر درگ هیدرودینامیکی، دمپینگ، نیروهای لیفت، کریولیس و نیروهای سانتریفیوژ، جاذبه و شناوری، به همراه نیروی محرکه و اختلالات محیطی بر حرکت یک وسیله نقلیه زیرآبی تأثیر می‌گذارد؛ لذا مدل‌سازی سینماتیک و دینامیکی گلايدر، تأثیر به‌سزایی در کنترل حرکت زیردریایی دارد.

۴-۱- معادلات شش درجه آزادی گلايدر

برای استخراج معادلات شش درجه آزادی، دو دستگاه مختصات مرجع برای گلايدر در نظر گرفته شده است؛ یکی چارچوب مرجع ثابت جهانی (W) و دیگری چارچوب مرجع ثابت بر روی بدنه (B) می‌باشد. در دستگاه مختصات W، محور X به سمت شمال، محور Y به سمت شرق و محور Z به سمت مرکز زمین در نظر گرفته می‌شود. در دستگاه مختصات B که بر روی بدنه زیردریایی قرار دارد، محور X به

شده است. در سال ۲۰۱۸ چین وی چین و همکاران [۱۲]، به آنالیز هیدرودینامیکی یک گلايدر زیرسطحی با مطالعه در حوزه باله گلايدر برای یک جریان غیریکنواخت پرداختند. بعد از بهینه‌سازی شکل باله، مقدار زاویه مطلوب حمله را ۱۵ تا ۲۰ درجه بیان کردند.

با توجه به مطالعات پیشین یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه پژوهشگران، کنترل و هدایت گلايدرهای می‌باشد، که در سال‌های اخیر بارها مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما گام نخست در کنترل و هدایت یک گلايدر، شناسایی تمامی نیروهای محیطی و هیدرودینامیکی تأثیرگذار بر حرکت آن می‌باشد. اثر این نیروها بر گلايدر دریایی ارتباط مستقیمی با فرم بدنه و باله‌های گلايدر دارد. پس از شناسایی این نیروها امکان کنترل محیطی گلايدر فراهم می‌شود. بنابراین در این مقاله هدف، بررسی این نیروها و تأثیر آنها بر حرکت یک مدل خاص پیشنهادی از گلايدر است. برای نیل به این هدف، ضمن توسعه یک کد کامپیوتری در محیط نرم‌افزار متلب و پس از تعیین ضرایب هیدرودینامیکی، دینامیک حرکت گلايدر مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین با به‌کارگیری یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا-ابتکاری، پارامترهای بهینه موثر بر حرکت و عملکرد گلايدر دریایی به دست می‌آیند.

۲- هندسه گلايدر

گلايدرهای دریایی به‌منظور به‌کارگیری در محیط‌های گوناگون دریا، در ابعاد و هندسه‌های متفاوتی ساخته می‌شوند. در مطالعه حاضر یک گلايدر با بدنه استوانه‌ای و دماغه کروی شکل طراحی شده است که فرم انتهای گلايدر مخروطی می‌باشد. مشخصات این گلايدر در جدول (۱) آورده شده است. باله‌های هدایت‌گر این گلايدر از نوع ایرفویل NACA009 می‌باشند. این ایرفول از مقطعی متقارن و کشیده بهره می‌گیرد که تا حد زیادی باعث ایجاد ثبات در حرکت گلايدر می‌گردد. ابعاد دقیق گلايدر طراحی شده در شکل (۱) آورده شده است.

جدول (۱) مشخصات هندسی گلايدر.

۰/۰۰۶۰	V (m ³)	۰/۰۹	قطر گلايدر (m)
۵/۳۵۵	M (kg)	۰/۸۸	طول گلايدر (m)
۰/۳۰۹۱	Iy (kg.m ²)	۰/۱۲۷	طول فویل باله (m)
		NACA009	نوع ایرفویل

$$\underline{M}\dot{v} + \underline{C}(v)v + \underline{D}(v)v + g(\eta) = \tau \quad (۳)$$

جایی که \underline{M} ماتریس اینرسی جسم صلب و جرم افزوده (رابطه (۵))، $\underline{C}(v)$ ماتریس کریولیس و سانتریفیوژ جسم صلب و جرم افزوده (رابطه (۱۱))، $\underline{D}(v)$ ماتریس دمپینگ (مرتبه دوم و خطی) (رابطه (۴))، $g(\eta)$ ماتریس گرانشی و شناوری و τ بردار نیرو / گشتاور محرک است؛ البته τ در گلايدر صفر در نظر گرفته می شود. شایان ذکر است در رابطه (۳) تأثیرات و اختلالات محیطی نظیر جریان های آب و امواج در نظر گرفته نشده است.

$$\underline{D}(v) = \underline{D}_q(v) + \underline{D}_l(v) \quad (۴)$$

نیروها و گشتاورهای هیدرودینامیکی وارد بر گلايدر دریایی می تواند به جرم افزوده و دمپینگ هیدرودینامیکی تقسیم شود. جرم افزوده فشار القا شده نیرو و یا گشتاور است که توسط حرکت اجباری بدنه گلايدر تولید می شود. همچنین جرم افزوده می تواند به عنوان یک مقدار محدود از آب متصل به وسیله نقلیه تعریف شود، به طوری که جرم وسیله نقلیه بیشتر به نظر خواهد رسید.

۴-۲-۱- ماتریس جرم و اینرسی

ماتریس جرم و اینرسی شامل جرم جسم صلب و جرم افزوده است [۱۳].

$$\underline{M} = \underline{M}_{RB} + \underline{M}_A \quad (۵)$$

با توجه به رابطه (۳)، ترم جرم بدنه به شکل زیر نوشته می شود:

$$\underline{M}_{RB}\dot{v} = \begin{bmatrix} m\dot{v}_B + m\dot{\omega}_B \times r_G \\ I_B\dot{\omega}_B + m r_G \times \dot{v}_B \end{bmatrix} \quad (۶)$$

در این رابطه، r_G موقعیت مرکز گرانش گلايدر در دستگاه بدنی است.

$$r_G = [x_G \quad y_G \quad z_G]^T \quad (۷)$$

\underline{M}_{RB} در رابطه (۵) به صورت زیر بیان می شود:

$$\underline{M}_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

سمت جلو وسیله نقلیه، محور y به سمت راست و وسیله نقلیه و محور z به صورت عمودی رو به پایین است (شکل (۲)). برای انتقال از هر یک از این دستگاه ها به دیگری از روابط اولر استفاده می شود [۱۳].

برای به دست آوردن معادلات شش درجه آزادی، فرض می شود که دستگاه مختصات B بر روی مرکز شناوری گلايدر قرار دارد؛ لذا در این شرایط تانسور اینرسی به فرم قطری خواهد شد (رابطه (۱)).

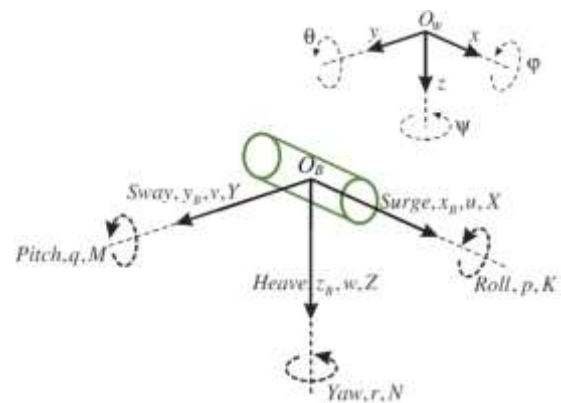
$$\underline{I}_B = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

حال با توجه به معادلات نیوتن و اولر در حالت شش درجه آزادی، معادلات شش درجه آزادی گلايدر به صورت روابط (۲) به دست می آیند [۱۳]:

$$\begin{aligned} m[\dot{u} - vr + wq - x_g(q^2 + r^2) + y_g(pq - \dot{r}) + z_g(pr + \dot{q})] &= \Sigma X_i \\ m[\dot{v} - wp + ur - y_g(r^2 + p^2) + z_g(qr - \dot{p}) + x_g(qp + \dot{r})] &= \Sigma Y_i \\ m[\dot{w} - uq + vp - z_g(p^2 + q^2) + x_g(rq - \dot{q}) + y_g(rq + \dot{p})] &= \Sigma Z_i \end{aligned} \quad (۲)$$

۴-۲-۲- مدل سازی دینامیکی حرکت گلايدر

مدل سازی دینامیک برای تشکیل الگوریتم های کنترل و شبیه سازی حرکت گلايدر ضروری است. با توجه به معادله نیوتن - اولر در ارتباط با حرکت یک جسم صلب در سیال، مدل دینامیکی حرکت گلايدر می تواند به شکل زیر در نظر گرفته شود [۱۳]:



شکل (۲) تعریف چارچوب های مرجع، به همراه نامگذاری تمام درجات آزادی.

$$C_{-A}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_3(v) & \alpha_2(v) \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_3(v) & 0 & -\alpha_1(v) \\ 0 & 0 & 0 & -\alpha_2(v) & \alpha_1(v) & 0 \\ 0 & -\alpha_3(v) & \alpha_2(v) & 0 & -\beta_3(v) & \beta_2(v) \\ \alpha_3(v) & 0 & -\alpha_1(v) & \beta_3(v) & 0 & -\beta_1(v) \\ -\alpha_2(v) & \alpha_1(v) & 0 & -\beta_2(v) & \beta_1(v) & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

که پارامترهای ماتریس به فرم زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} \alpha_1(v) &= X_{\dot{u}} + X_{\dot{v}} + X_{\dot{w}} + X_{\dot{p}} + X_{\dot{q}} + X_{\dot{r}} \\ \alpha_2(v) &= X_{\dot{v}} + Y_{\dot{v}} + Y_{\dot{w}} + Y_{\dot{p}} + Y_{\dot{q}} + Y_{\dot{r}} \\ \alpha_3(v) &= X_{\dot{w}} + Y_{\dot{v}} + Z_{\dot{w}} + Z_{\dot{p}} + Z_{\dot{q}} + Z_{\dot{r}} \\ \beta_1(v) &= X_{\dot{p}} + Y_{\dot{p}} + Z_{\dot{p}} + K_{\dot{p}} + K_{\dot{q}} + K_{\dot{r}} \\ \beta_2(v) &= X_{\dot{q}} + Y_{\dot{q}} + Z_{\dot{q}} + K_{\dot{q}} + M_{\dot{q}} + M_{\dot{r}} \\ \beta_3(v) &= X_{\dot{r}} + Y_{\dot{r}} + Z_{\dot{r}} + K_{\dot{r}} + M_{\dot{r}} + N_{\dot{r}} \end{aligned} \quad (16)$$

در این مقاله از معادلات و روابط مرتبط با جرم افزوده صرف نظر شده است.

۳-۲-۴- ماتریس دمپینگ هیدرودینامیکی

دمپینگ هیدرودینامیک زیر آب شامل نیروهای درگ و لیفت است.

۳-۲-۴-۱- نیروهای ناشی از باله‌ها

برای محاسبه نیروی لیفت و درگ وارد بر باله‌های هدایت‌گر در یک زیردریایی، ابتدا به تبیین این بحث در دو بعد و سپس سه بعد پرداخته می‌شود. ضرایب لیفت و درگ وارد بر باله‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند [۱۴]:

$$C_{l_{fin}} = \frac{6.13 \cdot \Lambda}{2.25 + \Lambda} \quad (17)$$

$$C_{d_{fin}} = \frac{C_l^2}{\pi \cdot \Lambda} \quad (18)$$

که Λ ، نسبت طول کورد به سطح مقطع هیدروفویل می‌باشد.

$$\Lambda = \frac{\text{length}}{\text{area}} \quad (19)$$

نیروی لیفت و درگ وارد بر باله به صورت زیر محاسبه می‌شوند [۱۴]:

$$L_{fin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{fin} \cdot C_{l_{fin}} \cdot \cos \delta_e \cdot \sin \delta_e \quad (20)$$

$$D_{fin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{fin} \cdot C_{d_{fin}} \cdot \sin^2 \delta_e \quad (21)$$

A_{fin} مساحت سطح باله در دید از بالا بوده، δ_e زاویه حمله باله نسبت به جهت سرعت می‌باشد که در مختصات محلی

گلایدر مورد بررسی در صفحات XZ و XY متقارن است. و با کمی چشم‌پوشی می‌توان فرض کرد، در صفحه YZ تقارن وجود دارد. این اتفاق باعث کاهش چشم‌گیر محاسبات می‌شود و جرم جسم صلب به صورت زیر به دست می‌آید:

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_{xx} & 0 & 0 \\ mz_G & 0 & -mx_G & 0 & I_{yy} & 0 \\ -my_G & mx_G & 0 & 0 & 0 & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (9)$$

جرم افزوده هیدرودینامیکی به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$M_A = \begin{bmatrix} X_{\dot{u}} & X_{\dot{v}} & X_{\dot{w}} & X_{\dot{p}} & X_{\dot{q}} & X_{\dot{r}} \\ Y_{\dot{u}} & Y_{\dot{v}} & Y_{\dot{w}} & Y_{\dot{p}} & Y_{\dot{q}} & Y_{\dot{r}} \\ Z_{\dot{u}} & Z_{\dot{v}} & Z_{\dot{w}} & Z_{\dot{p}} & Z_{\dot{q}} & Z_{\dot{r}} \\ K_{\dot{u}} & K_{\dot{v}} & K_{\dot{w}} & K_{\dot{p}} & K_{\dot{q}} & K_{\dot{r}} \\ M_{\dot{u}} & M_{\dot{v}} & M_{\dot{w}} & M_{\dot{p}} & M_{\dot{q}} & M_{\dot{r}} \\ N_{\dot{u}} & N_{\dot{v}} & N_{\dot{w}} & N_{\dot{p}} & N_{\dot{q}} & N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

که براساس قرارداد SNAME، درایه ماتریس جرم افزوده با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$X_{\dot{u}} = \frac{\partial X}{\partial \dot{u}} \quad (11)$$

۳-۲-۴-۲- ماتریس کریولیس و سانتریفیوژ

ماتریس کریولیس و سانتریفیوژ شامل ترم‌های بدنه و جرم افزوده هستند [۱۳]:

$$C_{-}(v) = C_{-RB}(v) + C_{-A}(v) \quad (12)$$

ترم بدنه به فرم زیر بیان می‌شود:

$$C_{-RB}(v) = \begin{bmatrix} m\omega_B \times v_B + m\omega_B \times (\omega_B \times r_G) \\ \omega_B \times (I_B \omega_B) + mr_G \times (\omega_B \times v_G) \end{bmatrix} \quad (13)$$

m جرم زیردریایی و I_B تانسور اینرسی ذکر شده در رابطه (۱) می‌باشند. با قرار دادن این مقادیر، رابطه (۱۳) به فرم زیر در می‌آید:

$$C_{-RB}(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & mw & -mv \\ 0 & 0 & 0 & -mw & 0 & mu \\ 0 & 0 & 0 & mv & -mu & 0 \\ 0 & mw & -mv & 0 & I_{zz}r & -I_{yy}q \\ -mw & 0 & mu & -I_{zz}r & 0 & I_{xx}p \\ mv & -mu & 0 & I_{yy}q & -I_{xx}p & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

ماتریس کریولیس مربوط به جرم افزوده به فرم زیر بیان می‌شود:

لیفت بدنه ناشی از حرکت شناور با زاویه حمله می باشد که باعث جدایش جریان در انتهای بدنه می شود و در نتیجه یک نیروی عمود بر جهت سرعت ایجاد می کند. این نیرو به مرکز فشار جسم وارد می شود که معمولاً بر روی مرکز دستگانه مختصات قرار ندارد؛ بنابراین یک ممان نیز حول مرکز مختصات ایجاد می کند. از این رو مقدار این نیروها باید با توجه به ضرایب لیفت، درگ و مومنتم مرتبط به گلایدر مورد نظر محاسبه شود. در این پژوهش، با توجه به این که مقادیر این ضرایب در دسترس نبودند، از ضرایب مربوط به یک هندسه نزدیک به گلایدر مورد بحث استفاده شده است (شکل (۵)) [۱۵].

نمودار شکل (۵)، تغییرات ضریب درگ پوسته را با زاویه حمله آب نسبت به بدنه گلایدر نمایش می دهد. برای استفاده از این نمودار در کد متلب تهیه شده، از رابطه (۳۰) استفاده شده است که با تقریب خوبی با نقاط تجربی حاصل از آزمایشها هم خوانی دارد.

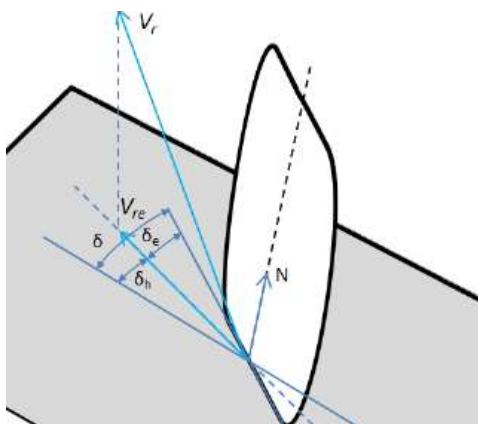
$$C_D = a\alpha^2 + b\alpha + c \quad (30)$$

این معادله با فرض کوچک بودن سرعت هیوا^۱ و سوای^۲ در مقایسه با سرعت سرچ قابل قبول است و زاویه حمله در صفحه های XZ و XY بترتیب به صورت زیر تعریف می شود.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\omega}{u}\right) \quad (31)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{v}{u}\right)$$

از آنجایی که هدف، بررسی حرکت گلایدر در صفحه XZ است، تنها محاسبه نیروهای درگ این صفحه بیان می شود.



شکل (۴) زاویه باله در سه بعد [۱۴].

به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\delta_e = \delta - \delta_h \quad (22)$$

δ زاویه بین بدنه گلایدر و باله، و δ_h زاویه بین بدنه و جهت سرعت آب است (شکل (۳)) که از رابطه زیر به دست می آید:

$$\delta_h = \arctan\left(\frac{v_y}{v_x}\right) \quad (23)$$

این مولفه ها به نیروی های طولی و جانبی و مومنتم در جهت یابو تبدیل می شوند:

$$F_x = -D_{fin} \cdot \cos \delta_h - L_{fin} \cdot \sin \delta_h \quad (24)$$

$$F_y = L_{fin} \cdot \cos \delta_h - D_{fin} \cdot \sin \delta_h \quad (25)$$

$$\tau = x \times (F_x, F_y, 0) \quad (26)$$

جهت بررسی نیروهای وارد بر باله های هدایت گر در فضای سه بعدی نیاز به محاسبه δ_h است (شکل (۴)). بردار سرعت آب در موقعیت باله x_r به صورت رابطه (۲۷) محاسبه می شود:

$$v_r = -(v_1, v_2 \times x_r) \quad (27)$$

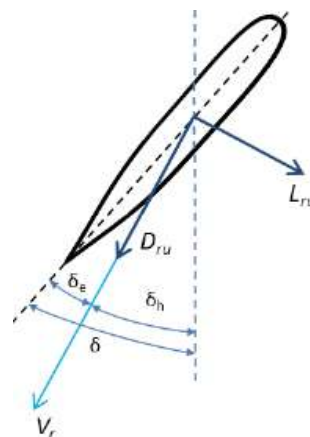
$$v_1 = (u, v, w) \quad v_2 = (p, q, r) \quad (28)$$

این سرعت در راستای بدنه و به صورت عمود بر نرمان باله عمل خواهد کرد:

$$v_{re} = \left(1 - \frac{NN^T}{N^T N}\right) V_r^5 \quad (29)$$

که δ_h زاویه بین v_{re} و $[-1 \ 0 \ 0]^T$ است و در واقع زاویه بین راستای گلایدر و راستای جریان سیال است.

δ_e نیز زاویه حمله باله نسبت به جهت سیال می باشد. نیروهای درگ و لیفت نیز با استفاده از روابط (۲۰) و (۲۱) محاسبه می شود.

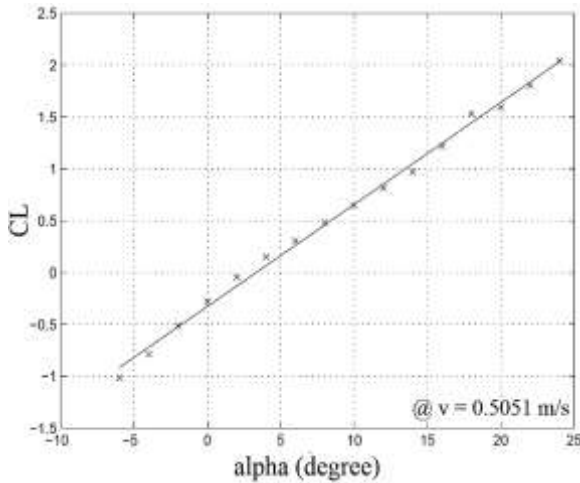


شکل (۳) نیروهای لیفت و درگ باله در دو بعد [۱۴].

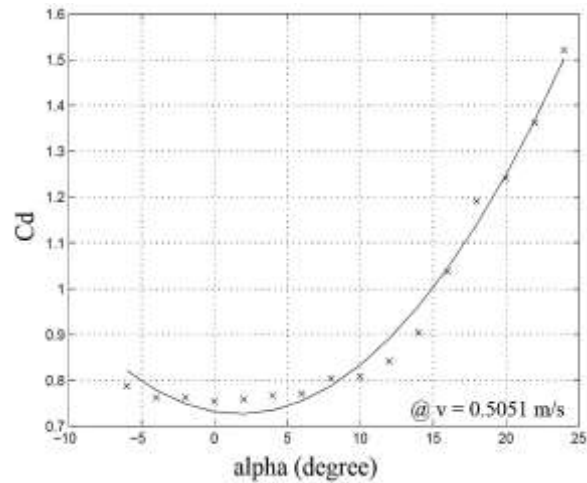
۴-۲-۳-۲-۴- نیروهای ناشی از بدنه گلایدر

² Sway

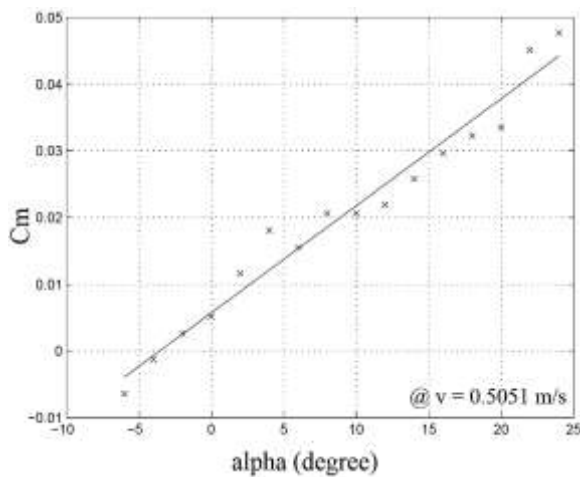
¹ Heave



شکل (۶) نرخ تغییرات ضریب لیفت پوسته با زاویه حمله گلايدر، $(C_{L\alpha} = 4.79 \text{ rad}^{-1})$ [۱۵].



شکل (۵) نرخ تغییرات ضریب درگ پوسته با زاویه حمله گلايدر، $(a=5.25 \text{ rad}^{-2}, b=-0.315 \text{ rad}^{-1}, c=0.732)$ [۱۵].



شکل (۷) نرخ تغییرات ضریب گشتاور پوسته با زاویه حمله گلايدر، $(C_{M\alpha} = 0.0974 \text{ rad}^{-1})$ [۱۵].

$$\underline{g}(\eta) = \begin{bmatrix} -(W-B)\sin(\theta) \\ (W-B)\cos(\theta)\sin(\phi) \\ (W-B)\cos(\theta)\cos(\phi) \\ y_g W \cos(\theta)\cos(\phi) - z_g W \cos(\theta)\sin(\phi) \\ -z_g W \sin(\theta) - x_g W \cos(\theta)\cos(\phi) \\ x_g W \cos(\theta)\sin(\phi) + y_g W \sin(\theta) \end{bmatrix} \quad (34)$$

معادلات و روابط بیان شده برای حرکت با شش درجه آزادی می‌باشند؛ درحالی که در مقاله حاضر هدف، بررسی یک گلايدر دریایی در صفحه XZ است که به معنی کاهش درجات آزادی به سه خواهد بود.

بر این اساس ساده‌سازی‌هایی در معادلات ارائه شده صورت می‌گیرد که در ادامه مدل خطی حرکت در این صفحه ارائه می‌شود. معادلاتی که در توصیف حرکت زیردریایی به کار می‌روند، به صورت کوپل و غیرخطی هستند. با فرض این که

نیروی لیفت ناشی از حرکت بدنه به صورت عمود بر جریان آب، بر روی مرکز فشار گلايدر اثر می‌کند. قرار دادن این نیرو در مرکز شناوری باعث ایجاد یک گشتاور پیچشی حول مرکز شناوری می‌شود. هر دو نیروی لیفت و گشتاور پیچ همانگونه که در شکل‌های (۶) و (۷) ترسیم شده‌اند. به طور مستقیم با زاویه حمله متناسب هستند.

$$\begin{aligned} D_x &= -\frac{\rho}{2} A_f C_D (u^2 + w^2) \cos \alpha \\ &\approx -\frac{\rho}{2} A_f C_D (u^2 + w^2) \left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right) \\ &\approx -\frac{\rho}{2} A_f (c \times u \times |u| + b \times u \times w + \\ &\quad (a + 0.5c) \times w \times |w|) \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} D_z &= -\frac{\rho}{2} A_f C_D (u^2 + w^2) \sin \alpha \\ &\approx -\frac{\rho}{2} A_f C_D (u^2 + w^2) \alpha \\ &\approx -\frac{\rho}{2} A_f (c \times u \times w + b \times w \times |w|) \end{aligned}$$

نیروی لیفت و گشتاور پیچ در صفحه XZ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_L = -\frac{\rho}{2} A_f C_{L\alpha} (u^2 + w^2) \alpha \cos \alpha \quad (33)$$

۳-۴- ماتریس گرانش و شناوری

بردار گرانشی و شناوری، $\underline{g}(\eta)$ به صورت رابطه (۳۴) محاسبه می‌شود [۱۴]. به این ترتیب نیروهای موثر بر حرکت گلايدر دریایی محاسبه می‌شود.

الگوریتم می‌توان به محاسبه شتاب‌های ناشی از برآیند نیروها و گشتاورهای وارد بر مرکز شناوری گلايدر اشاره کرد.

۵-۱- بهینه‌سازی فرا ابتکاری^۱

روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق و الگوریتم‌های تقریبی تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند؛ اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت، کارایی کافی ندارند و زمان اجرای آن‌ها متناسب با ابعاد مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری، فراابتکاری و فوق ابتکاری بخش‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند. رده‌های گوناگونی از این نوع الگوریتم در دهه‌های اخیر توسعه یافته است که همه آن‌ها زیر مجموعه الگوریتم فراابتکاری می‌باشند.

فرایند طراحی و پیاده‌سازی الگوریتم‌های فراابتکاری دارای سه مرحله متوالی است که هر کدام از آن‌ها دارای گام‌های مختلفی هستند. در هر گام فعالیت‌هایی باید انجام شود تا آن گام کامل شود. مرحله نخست آماده‌سازی است که در آن باید شناخت دقیقی از مسئله به دست آورد و اهداف طراحی الگوریتم فراابتکاری برای آن باید با توجه به روش‌های حل موجود برای این مسئله به‌طور واضح و شفاف مشخص شود. مرحله بعدی، ساخت نام دارد. مهم‌ترین اهداف این مرحله انتخاب استراتژی حل، تعریف معیارهای اندازه‌گیری عملکرد و طراحی الگوریتم برای استراتژی حل انتخابی می‌باشد. آخرین مرحله پیاده‌سازی است که در آن پیاده‌سازی الگوریتم طراحی شده در مرحله قبل، شامل تنظیم پارامترها، تحلیل عملکرد و در نهایت تدوین و تهیه گزارش نتایج است [۱۶]. از مشکلات کدنویسی مقاله حاضر می‌توان نیاز به ساده‌سازی‌ها و خطی‌سازی‌های مربوطه، جهت گریز از معادلات قطبی و دستگاه‌های پیچیده نام برد. همچنین در برخی از نقاط، روابط مثلثاتی با خطا روبه‌رو شده و نیازمند دستوراتی جهت عبور از این نقاط بحرایی است. دیگر بخش چالش برانگیز کار تعریف دستگاه‌هایی می‌باشد که بتواند زاویه حمله بدنه و باله‌های گلايدر را نمایش دهد.

شناور زیرسطحی حرکت رول نداشته باشد، می‌توان معادلات شماره (۲) را به دو دسته معادله تفکیک کرد. یک دسته بیانگر حرکت در راستای طولی (صفحه XZ) و دسته دیگر بیانگر حرکت عرضی (صفحه XY) است. هدف از پژوهش پیش رو مطالعه حرکت گلايدر در صفحه طولی می‌باشد. این دسته از معادلات با فرضیات زیر حل می‌شوند:

- ۱- در راستای محور y نیرویی وجود ندارد ($Y_{ext}=0$) و در نتیجه حرکتی در این راستا وجود ندارد.
- ۲- حول محور x گشتاوری وجود ندارد ($K_{ext}=0$) و در نتیجه چرخشی وجود ندارد.
- ۳- حول محور z گشتاوری وجود ندارد ($N_{ext}=0$) و در نتیجه چرخشی وجود ندارد.
- ۴- موقعیت مرکز گرانش گلايدر در دستگاه B به صورت زیر به دست می‌آید:

$$r_G = [x_G \quad 0 \quad z_G]^T \quad (۳۵)$$

این مقدار نسبت به مرکز شناوری که مرکز دستگاه مختصات است، اندازه‌گیری می‌شود.

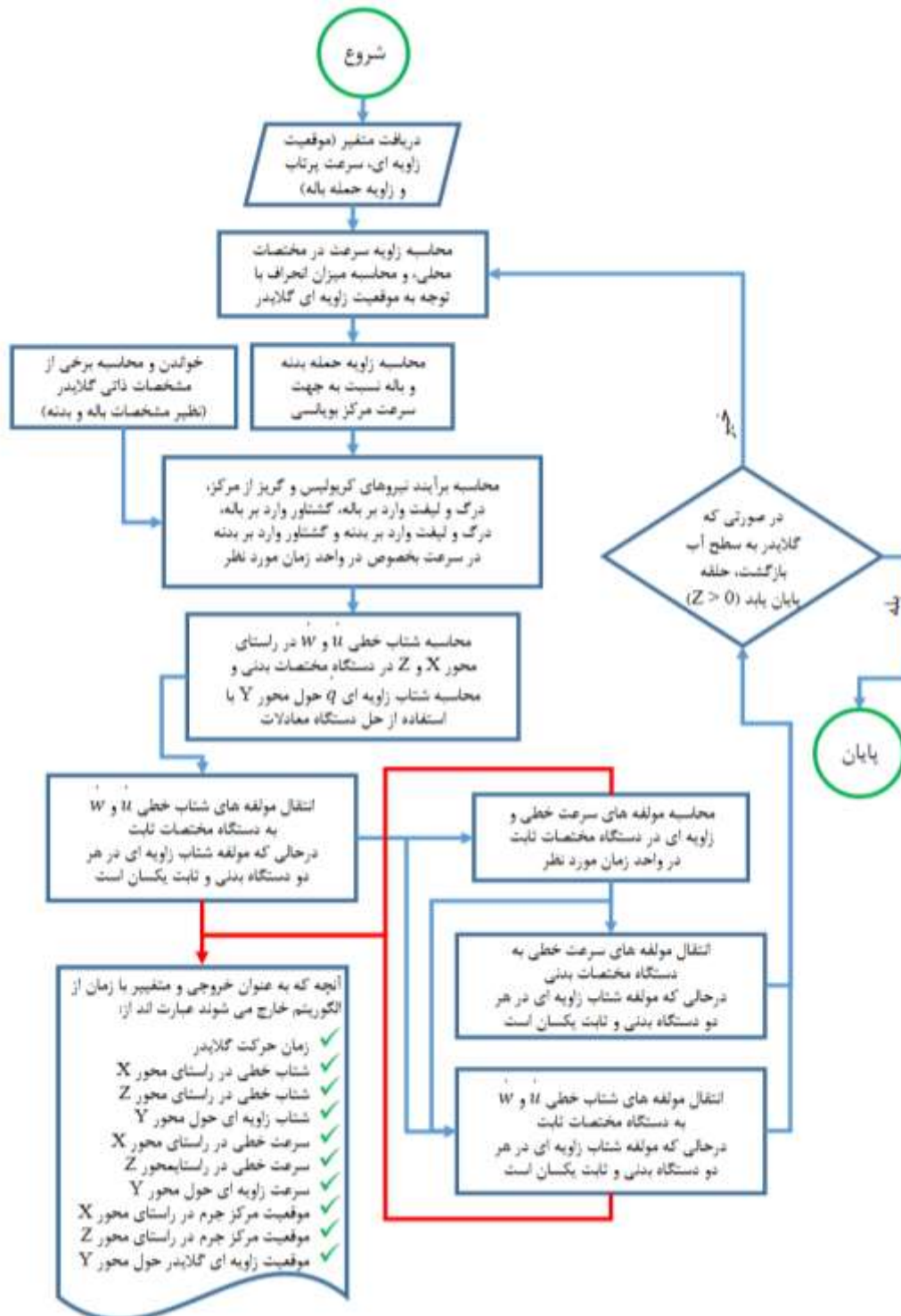
- ۵- با کمی چشم‌پوشی گلايدر در تمام صفحات گذرنده از دستگاه مختصات B متقارن فرض شده است.

۵- روندنمای کد مورد استفاده

با استفاده از روابط بیان شده در بخش‌های قبل، کدی در نرم افزار تجاری متلب تهیه شده است، که روند حرکت گلايدر را از زمان پرتاب از نقطه‌ای در سطح آب و با یک زاویه مشخص به درون آب تا لحظه بازگشت مجدد به سطح آب شبیه‌سازی می‌کند. الگوریتم حاضر در هر لحظه ابتدا زاویه پیچ و زاویه حرکت گلايدر را محاسبه می‌کند و در گام بعدی با توجه به این دو زاویه تمامی نیروها و گشتاورهای موثر در حرکت گلايدر اعم از نیروها و گشتاورهای ناشی از لیفت و درگ بدنه، باله و جرم گلايدر را به دست می‌آورد؛ سپس تأثیر آن‌ها بر شتاب حرکت گلايدر مشخص می‌شود و در نهایت می‌توان یک پیش‌بینی معقول از تغییرات سرعت و مسیر حرکت گلايدر به دست آورد.

به این ترتیب یک حلقه کامل می‌شود و حلقه بعدی برای محاسبات مربوط به گام زمانی بعدی آغاز می‌شود. شکل (۸) روندنمای الگوریتم برنامه اجرا شده را به صورت مختصر و جامع در خود جای داده است. از مهم‌ترین بخش‌های این

^۱ Meta-Heuristic



شکل (۸) روندنمای کد استفاده شده در نرم افزار متلب.

۶- نتایج و بحث

۶-۱- اعتبارسنجی کد

در آن عامل محرک، تغییر نیروی بویانسی و جرم گلايدر است. در ابتدا و بر روی سطح آب، جرم و بویانسی گلايدر برابرند و در مدت زمان ۱۰ ثانیه ۰/۵ کیلوگرم به جرم گلايدر افزوده و گلايدر با زاویه حمله صفر باله نسبت به بدنه گلايدر به عمق می‌رود؛ البته در این مدت مرکز جرم به میزان ۵

جهت اعتبارسنجی کد مورد استفاده از مقاله زمانی و همکاران [۱۷] استفاده شده است. برای این کار ابتدا گلايدری با مشخصات نزدیک به مقاله مرجع طراحی شد که

شکل (۱۰) شماتیک زاویه پرتاب تعریف شده در مقاله را نمایش می‌دهد.

● **زاویه حمله باله:**

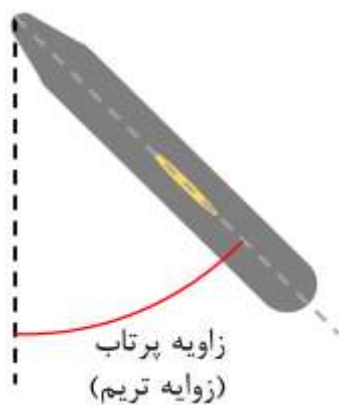
با توجه به عدم وجود نیروی پیش رانشی در باله، زاویه حمله باله از مهم‌ترین ابزارهای کنترلی در گلایدرهای دریایی است (شکل (۱۱)). زوایای باله‌ای که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است، شامل پنج زاویه حمله ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه می‌باشد که این مقادیر با توجه به نتایج ارائه شده در کارهای پیشین انتخاب شده است.

● **موقعیت مرکز جرم گلایدر:**

موقعیت مرکز جرم گلایدر به صورت فاصله از مرکز دستگاه مختصات بدنی تعریف می‌شود. در مقاله پیش رو این دستگاه مختصات بر روی مرکز شناوری گلایدر واقع شده است. در صورتی که مرکز جرم در قسمت انتهایی گلایدر واقع شود، این فاصله به صورت منفی و مادامی که در بخش ابتدایی گلایدر واقع شود، فاصله مثبت در نظر گرفته می‌شود (شکل (۱۲)).

● **۳-۶- تأثیر پارامترهای برشمرده در مسیر حرکت گلایدر**

از آنجا که الگوریتم حاضر با فرض صلبیت گلایدر در هر یک از آزمایش‌ها طراحی شده است، و همچنین اندازه شناوری گلایدر، از جرم آن بزرگ‌تر است؛ مهم‌ترین عاملی که باعث افزایش عمق گلایدر درون آب می‌شود، سرعت پرتاب اولیه می‌باشد؛ زیرا در گلایدر نیروی تراستی وجود ندارد. در این بخش نمودارهای مسیر حرکت گلایدر، تحت تأثیر پارامترهای سرعت، زاویه پرتاب، زاویه حمله باله و موقعیت مرکز جرم بررسی می‌شود.



شکل (۱۰) شماتیک زاویه پرتاب گلایدر درون آب.

میلی‌متر به سمت دماغه منحرف می‌شود و در مرحله دوم حرکت با تخلیه آب و کاهش ۱ کیلوگرمی جرم و بازگشت نقطه ثقل به جای اول خود، به سطح آب برمی‌گردد. به همین ترتیب روند ادامه می‌یابد. شکل (۹) اعتبارسنجی کار حاضر را نمایش می‌دهد. علت اختلاف بین نتایج را می‌توان اختلافات کد به کار گرفته شده و ضرایب درگ به کار رفته دانست.

● **۲-۶- انتخاب پارامترهای ورودی**

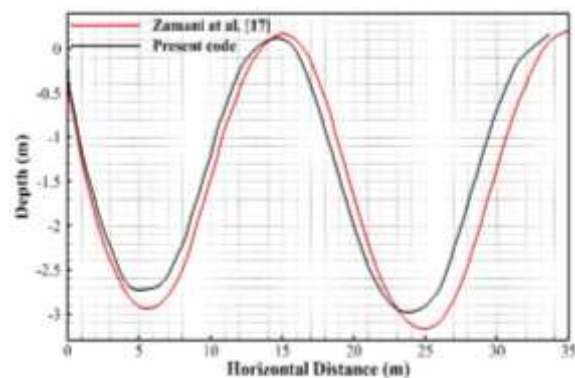
در این مقاله، نحوه حرکت یک مدل خاص از گلایدر دریایی، تحت تأثیر نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر آن با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده است. پارامترهای موثر بر روند حرکت گلایدر به شرح زیر تعریف شده‌اند:

● **سرعت اولیه پرتاب گلایدر:**

سرعت اولیه پرتاب گلایدر به درون آب یکی از مهم‌ترین المان‌های حرکتی در گلایدرها می‌باشد، این سرعت در نمونه‌های تجربی مقادیری تا ۵ متر بر ثانیه را به خود اختصاص می‌دهد. بر این اساس بازه سرعتی که در این مقاله بررسی شده، شامل سرعت‌های پرتاب ۰/۵، ۰/۸، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ متر بر ثانیه است. البته در نمونه‌های واقعی و کاربردی، با توجه به نحوه پرتاب این وسیله به درون آب، احتمال دستیابی به سرعت‌های تا چندین برابر بالاتر نیز وجود دارد.

● **زاویه پرتاب گلایدر:**

زاویه پرتاب گلایدر به درون آب، دیگر پارامتر ورودی مورد بحث در این مقاله است. چهار حالت ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای آن نسبت به خط فرضی عمود بر سطح آب در نظر گرفته شده است.



شکل (۹) اعتبارسنجی کد مقاله حاضر با مقاله زمانی و همکاران

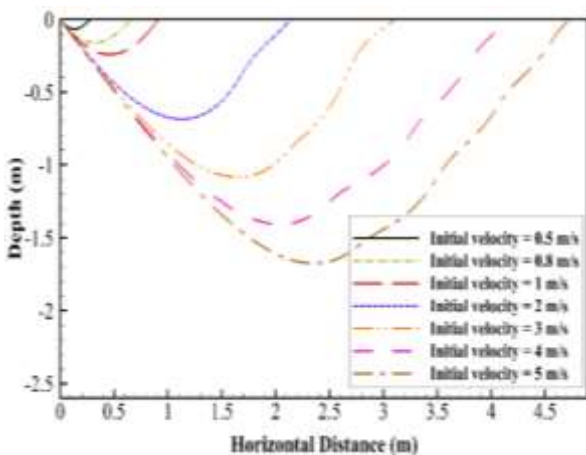
[۱۷].

عمق و پیشروی افقی می‌باشد که این امر در پرتاب با زاویه ۳۰ درجه حاصل می‌شود. همچنین افزایش زاویه پرتاب باعث افزایش پایداری در حرکت به سمت سطح آب می‌شود و انحراف جزئی در حین حرکت را کاهش می‌دهد.

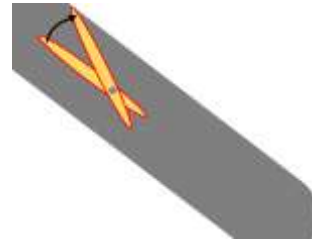
۶-۳-۳- زاویه حمله باله گلايدر

مبحث مهم دیگر در حرکت یک گلايدر زاویه حمله باله‌هاست. این بخش در حالت سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه، زاویه پرتاب ۳۰ درجه و فاصله مرکز جرم ۰/۰۱ متر؛ به بررسی زوایای مختلف حمله باله می‌پردازد. با توجه به شکل (۱۵) می‌توان دریافت بیشترین تأثیر تغییر زاویه حمله باله در میزان پیشروی افقی گلايدر مشاهده می‌شود و در واقع تأثیر قابل توجهی در عمق دستیابی وجود ندارد. همچنین مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه حمله نتایج ضعیف‌تری حاصل می‌شود که این اتفاق را می‌توان ناشی از افزایش نیروی درگ مقاوم ناشی از باله با افزایش زاویه حمله دانست. در واقع می‌توان گفت تأثیر نیروی درگ بر نیروی لیفت چیره می‌شود.

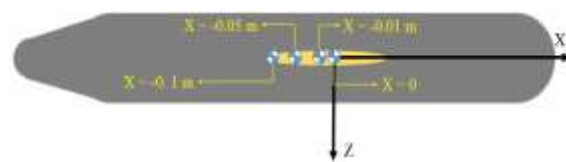
بیشترین عمق نفوذ حاصل شده، مربوط به زاویه حمله ۱۵ درجه و بیشترین مسافت طی شده نیز مربوط به زاویه باله صفر درجه می‌باشد؛ اما زاویه حمله ۵ درجه در هر دو آیتم میزان نفوذ در آب و میزان مسافت طی شده مقادیر قابل ملاحظه‌ای را ارائه داده است که به مقادیر پیشینه هر یک از این آیتم‌ها نزدیک بوده است؛ بنابراین می‌توان زاویه حمله ۵ درجه را مقدار بهینه این بخش در نظر گرفت.



شکل (۱۴) تغییرات مسیر حرکت در صفحه XZ با تغییر سرعت پرتاب گلايدر در زاویه پرتاب ۴۵ درجه، زاویه باله صفر درجه و فاصله مرکز جرم ۰/۰۱ متر.



شکل (۱۱) شماتیک جهت چرخش و زاویه باله.



شکل (۱۲) شماتیک موقعیت مرکز جرم گلايدر.

۶-۳-۱- سرعت پرتاب گلايدر

در شکل (۱۳) تغییرات موقعیت مکانی گلايدر، تحت سرعت‌های پرتاب مختلف نمایش داده شده است. زاویه پرتاب ۴۵ درجه و زاویه حمله باله صفر درجه، فاصله مرکز جرم ۰/۰۱ متر می‌باشد. با توجه به شکل، میزان پیشروی و حرکت گلايدر در سرعت‌های پایین بسیار کم بوده، این امر به دلیل دستیابی به یک عمق مناسب می‌بایست سرعت پرتاب اولیه تا حد امکان افزایش یابد. گرچه این افزایش سرعت به نوعی باعث کاهش میزان پایداری گلايدر می‌شود؛ اما این عدم تعادل بیشتر در قسمت دوم حرکت و صعود به سطح آب مشهود است. برای جلوگیری از این اتفاق باید از سیستم کنترلی مناسب استفاده شود. با توجه به مطالب بیان شده، سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه به عنوان بهترین سرعت در میان تست‌های انجام شده انتخاب می‌شود. حداکثر عمق دست‌یافته با این سرعت برابر ۱/۶۸- متر و پیشروی افقی نیز برای این حالت خاص ۴/۷۳ متر ثبت شده است.

۶-۳-۲- زاویه پرتاب گلايدر

در بخش قبلی بیان شد که با افزایش سرعت گلايدر نتایج مطلوب‌تری حاصل می‌شود و بر این اساس سرعت ۵ متر بر ثانیه انتخاب شد. در شکل (۱۴) به بررسی زاویه پرتاب گلايدر در سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه، زاویه باله صفر درجه و فاصله مرکز جرم ۰/۰۱- متر پرداخته شده است و در صورتی که حداکثر مسافت افقی مدنظر باشد، زاویه پرتاب ۴۵ درجه بهترین نتیجه را می‌دهد؛ اما آنچه در یک پرتاب خوب مورد انتظار است، یک نسبت مناسب از پیشروی در

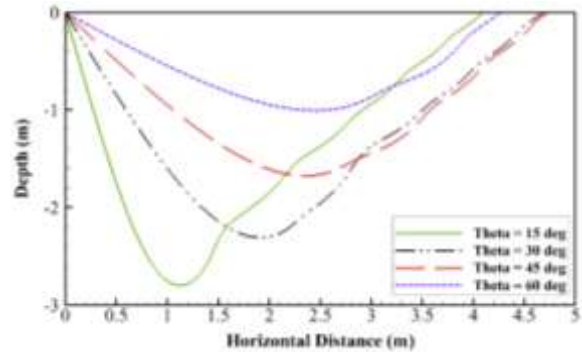
از آن جاکه بیشترین ناپایداری در حرکت گلايدر در بخش دوم حرکت و هنگام صعود به سطح آب می باشد، در صورتی که مرکز جرم در بخشی جلوتر از مرکز شناوری قرار گیرد باعث تشدید ناپایداری می شود. بر همین اساس نقاط انتخاب شده در بخش انتهایی قرار داده شده اند.

بررسی موقعیت مرکز جرم در سرعت ۵ متر بر ثانیه، زاویه پرتاب ۳۰ درجه و زاویه باله ۵ درجه انجام شده است. با توجه به شکل هرچه مرکز جرم و مرکز شناوری به یکدیگر نزدیک تر باشند، پیشروی در راستای عمق و راستای افقی بیشتر می باشد و بیشترین مقدار در حالتی که مرکز جرم و شناوری بر یکدیگر منطبق باشند اتفاق می افتد؛ علت این امر را می توان حذف مولفه مومنت ناشی از جرم گلايدر حول مرکز دستگاه مختصات (مرکز شناوری) دانست که باعث به تاخیر افتادن زمان چرخش گلايدر به طرف سطح آب می شود.

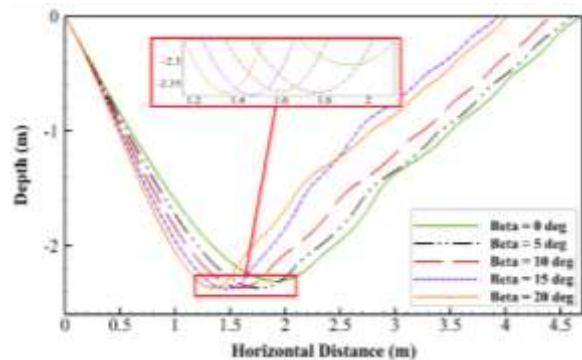
مشکلی که در حین حرکت در حالت فاصله صفر وجود دارد این است که گلايدر تقریباً با زاویه عمود با سطح آب به بالا بر می گردد که موجب می شود گلايدر برای شروع سیکل بعدی شرایط خوبی نداشته باشد و در واقع مولفه افقی سرعت آن بسیار کوچک خواهد بود. می توان این گونه نتیجه گرفت که کمی اختلاف فاصله بین مرکز جرم و شناوری مقدار مقبولی خواهد بود؛ بنابراین در این نمونه گلايدر فاصله اندک ۰/۱- متر به دلیل زاویه خروج مناسب از آب و فاصله صفر به دلیل مقدار مسافت طی شده و بسته به شرایط می توانند حالت های مطلوب باشند.

۷- نتیجه گیری

در مقاله حاضر دینامیک حرکت یک نمونه اولیه از گلايدر دریایی بررسی شد. بر این اساس پس از شناسایی تمامی نیروهای اثرگذار بر حرکت گلايدر، الگوریتم مربوط به آن در نرم افزار تجاری متلب پیاده سازی شد. در نهایت شبیه سازی حرکت گلايدر برای سرعت های ۰/۵ تا ۵ m/s انجام شد. از دیگر پارامترهای مورد بررسی، زاویه پرتاب گلايدر به درون آب بوده که برای آن، چهار زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه انتخاب شدند. همچنین زوایای حمله باله ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه نیز بررسی و مقایسه شدند و در نهایت فاصله بین مرکز جرم و مرکز شناوری گلايدر مورد مطالعه قرار گرفت. برای دستیابی به مقادیر بهینه، از یک الگوریتم بهینه سازی فرا ابتکاری استفاده شد. با توجه به نتایج می توان این گونه



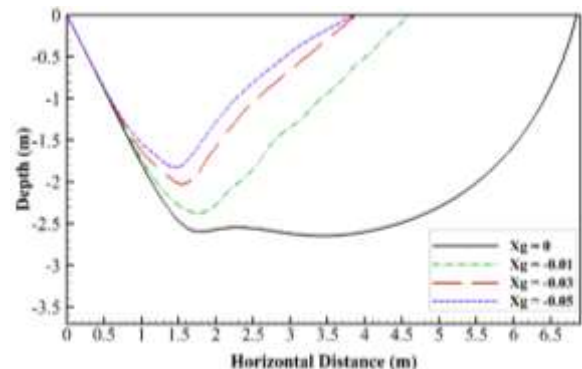
شکل (۱۴) تغییرات مسیر حرکت در صفحه XZ با تغییر زاویه پرتاب گلايدر در سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه، زاویه باله صفر درجه و فاصله مرکز جرم ۰/۱ متر.



شکل (۱۵) تغییرات مسیر حرکت در صفحه XZ با تغییر زاویه باله گلايدر در سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه، زاویه پرتاب ۳۰ درجه و فاصله مرکز جرم ۰/۱ متر.

۶-۳-۴- موقعیت مرکز جرم گلايدر

در یک گلايدر دریایی عامل اصلی حرکت و هدایت، مرکز جرم و تغییر موقعیت آن در حین حرکت است. شکل (۱۶) تغییرات موقعیت مرکز جرم را در چهار حالت روی مرکز شناوری و بخش انتهایی گلايدر نمایش می دهد.



شکل (۱۶) تغییرات مسیر حرکت در صفحه XZ با تغییر فاصله مرکز جرم در سرعت پرتاب ۵ متر بر ثانیه، زاویه پرتاب ۳۰ درجه و زاویه حمله باله ۵ درجه.

- [10] Jeong, S.K., Choi H.S., Bae J.H., You S.S., Kang H.S., Lee S.J., Kim J.Y., Kim D.H., and Lee Y.K., "Design and Control of High Speed Unmanned Underwater Glider", *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, Vol.3, No.3, pp.273-279, 2016.
- [11] Putri, Tri Wahyu O., Ulinuha L., Bambang R. T., and Hidayat, E., "Modelling and Identification of Underwater Glider for Heading Angle Correction", *International Journal of Modeling and Optimization*, Vol.7, No.2, pp.65-69, 2017.
- [12] Chen, C.W., Zhuo F., and Xu. L. "Hydro-Dynamic Analysis of Underwater Glider with Diamond Wing in Unsteady and Nonuniform Flow Field", *Journal of Marine Science and Technology*, Vol.26, No.6, pp.787-802, 2018.
- [13] Vervoort, J.H. A.M. "Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle", Master Traineesh. pp.5-15, 2009.
- [14] Lind, E., and Magnus M. "Simulation and Control of Submarines", MSc Thesis, Department of Automatic Control Lund University. ISSN 0280-5316, 2014.
- [15] Ridley, P., Fontan J., and Corke P., "Sub-Marine Dynamic Modelling", In *Proceedings of the Australasian Conference on Robotics & Automation*, 2003.
- [16] Yaghini, M., Akhavan, R., "DIMMA: A Design and Implementation Methodology for Metaheuristic Algorithms - A Perspective from Software Developmen", *International Journal of Applied Metaheuristic Computing*, Vol.1, No.4, pp.57-74, 2010.
- [۱۷] هادی زمانی، جواد امینی، حسین نوروزی و امین پاک نژاد، "شبیه‌سازی دینامیکی گلايدر زیر سطحی"، *مفدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران، ۱۳۹۴*.
- بیان کرد که زاویه پرتاب ۳۰ درجه گلايدر و زاویه حمله ۵ درجه باله را می‌توان یک مقدار بهینه برای سرعت پرتاب ۵ متربرثانیه در نظر گرفت. همچنین فاصله بهینه مرکز جرم را بایستی نزدیک به مرکز شناوری انتخاب کرد که در اینجا مقدار صفر و ۰/۰۱- متر انتخاب شده است.
- ۸- مراجع**
- [1] Parsons, Jerome S., Raymond E. Goodson, and Fabio R. Gold -schmied. "Shaping of Axisymmetric Bodies for Minimum Drag in Incompressible Flow", *Journal of Hydronautics*, Vol.8, No.3, pp.100-107, 1974.
- [2] Alvarez, A., Bertram V., and Gualdesi L., "Hull Hydrodynamic Optimization of Autonomous underwater Vehicles Operating at Snorkeling Depth", *Ocean Engineering*, Vol.36, No.1, pp.105-112, 2009.
- [3] Hussain, N.A.A., Mohd Rizal A., and Rosmiwati M.M. "Underwater Glider Modelling and Analysis for Net Buoyancy, Depth and Pitch Angle Control", *Ocean Engineering*, Vol.38, No.16, pp.1782-1791, 2011.
- [4] Ghani, M.F., and Shahrum S.A., "Design of a Body with Depth Control System for an Underwater Glider", Vol.15, 2014.
- [5] Ruiz, S., Lionel R., Bartolomé G., and Joaquín T., "Underwater Glider Observations and Modeling of an Abrupt Mixing Event in the upper Ocean", *Geophysical Research Letters*, Vol.39, No.1, 2012.
- [6] Barker, W.P., "An Analysis of Undersea Glider Architectures and an Assessment of Undersea Glider Integration into Undersea Applications" *Naval Postgraduate School Monterey Ca Dept of Systems Engineering*, 2012.
- [7] Caiti, A., Calabrò V., Grammatico S., Munafò A., and Geluardi S., "Switching Control of an Underwater Glider with Independently Controllable Wings", *IFAC Proceedings Vol.45, No.27*, pp.194-199, 2012.
- [8] Gafurov, Salimzhan A., and Evgeniy V. Klochkov, "Autonomous Unmanned Under-Water Vehicles Development Tendencies", *Procedia Eng.*, Vol.106, pp.141-148, 2015.
- [9] Sun, C., Baowei S., and Peng W., "Parametric Geometric Model and Shape Optimization of an Underwater Glider with Blended-Wing-Body", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, Vol.7, No.6, pp.995-1006, 2015.