



بررسی وضعیت تعادلی هاورکرافت در زمان پرتاب موشک در حالت‌های مختلف وزنی

کامبیز عالم پور^۱، علی دهقانپان^۲، کاووس زارع^۳

دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم و فناوری دریایی، پژوهشکده هوداريا

alempour@yahoo.com

چکیده :

هاورکرافت (Hovercraft) شناوری دوزیسته است که با استفاده از بالشتک (Skirt) بر روی سطوح آبی- خاکی حرکت مینماید. این شناور بالشتک هوایی (Air Cushion Vehicle) دارای قابلیت‌های فراوان در زمینه انجام مانورهای دریایی و عملیات ساحلی میباشد. گستردگی محدوده عملیاتی هاورکرافت در آبهای کم عمق مناطق باتلاقی، شنزارها و مردابها نیز از اهمیت به سزایی برخوردار می باشد. با وجود هاورکرافت عملیات ساحلی و گشت در نواحی کم عمق تسهیل شده و این وسیله می تواند براحتی در سواحل کم عمق نیز تردد نماید. استفاده از موشکهای کوتاه برد در این شناور مورد توجه کارشناسان بوده و می توان از این سلاح در هاورکرافتهای کلاس سنگین استفاده نمود. در این مقاله ضمن تحلیل ویژگیهای ساختاری هاورکرافت و محدودیتهای موجود تغییرات مومنتوم و روشهای کنترل پذیری شناور در زمان پرتاب موشک مورد تحلیل قرار گرفته است. از نتایج بدست آمده در زمینه کنترل پذیری این شناور می توان در راستای طراحی هاورکرافتهای نظامی و مجهز به سیستمهای دفاعی پرتاب موشک استفاده نمود.

۱- کارشناس ارشد مهندسی دریا - مجتمع دانشگاهی علوم و فناوری هوداريا - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- کارشناس ارشد مهندسی دریا - مجتمع دانشگاهی علوم و فناوری هوداريا - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۳- کارشناس ارشد تبدیل انرژی - عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر - دفتر طرحهای هیدروآئرواستاتیک



کلمات کلیدی: هاورکرافت - سلاح - موشک - کنترل

Y	میزان heave	K	سختی	I_0	مان اینرسی بدنه	Δt	زمان اعمال نیروی شلیک
θ	زاویه انحراف	L_i	مکان سختی	m	جرم شلیک	F	برایند نیروهای خارجی
C	دمپر	M_0	جرم بدنه	V	سرعت شلیک	d	محل اعمال برایند نیروها
M	ممان برایند خارجی	I_m	محل قرارگیری جرم شلیک	F_V	نیروی شلیک		

مقدمه

وسائل نقلیه بالشتک هوایی (Air Cushion Vehicle) یکی از پیشرفته ترین طرحهای شناورهای دریایی هستند که قابلیت عبور از موانع و سطوح آبی - خاکی را دارا می باشد. این شناور اثر سطحی دارای قابلیت های فراوان در زمینه انجام مانورهای دریایی و عملیات ساحلی می باشد [۱]. شکل (۱) نمای کلی از یک هاورکرافت را نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد هوای ورودی به سیستم از طریق یک فن به زیر سازه و بالشتکها منتقل شده و سبب هاورینگ سیستم میگردد و با استفاده از سیستم رانش و ملخ هوایی هاورکرافت به حرکت در می آید. به سبب جدایی سطح و هاورینگ کل بدنه استفاده از سیستمهای رانش آبی نظیر واتر جت (WaterJet) و موتورهای آب خنک میسر نمی باشد [۲]. سیستمهای کنترلی خاصی در این شناورها در نظر گرفته شده که در سایر شناورهای دریایی وجود نداشته و به صورت انحصاری طراحی گردیده است. پس از گذشت دهه ۱۹۶۰ شتاب فزاینده ای در زمینه طراحی و ساخت هاورکرافت بوجود آمد و بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعتی هزینه های هنگفتی را در زمینه طراحی و ساخت این شناور متقبل شدند [۳]. عبور هاورکرافت از روی موانع و سطوح آبی - خاکی واقعا "حیرت انگیز بود و مسئولین نظامی رابه استفاده همه جانبه از این شناور نوظهور ترغیب می نمود. ناظران نظامی و کارشناسان نقش انکارناپذیر هواناو را در معادلات نظامی تحسین می کردند و این خود دست آویزی برای تولید هواناوهای بزرگتر و پیچیده تر شد (شکل ۲). ویژگی بارز هاورکرافت در خصوص حمله های ناگهانی و انجام عملیات واکنش سریع کتمان ناپذیر است. یک هواناو در شرایط برابر تا ۲/۵ برابر یک شناور سریع السیر قادر به حرکت می باشد و این به معنای برتری نظامی و استیلای عملیاتی در جریان نبردهای دریایی، پشتیبانی رزمی و پرتاب موشک است [۴]. گستردگی محدوده عملیاتی هاورکرافت در آبهای کم عمق مناطق باتلاقی، شنزارها و مردابها نیز از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. به عقیده تمامی کارشناسان نظامی ویژگی بارز هواناو گذر از مرحله خطرناک نوار ساحلی در کمترین زمان ممکن است و با



بکار گیری هاورکرافت میزان تلفات انسانی به اندازه قابل ملاحظه ای کاهش یافته و درصد موفقیت در تک تهاجهی افزایش می یابد. در بسیاری از آبراههای پر تردد و مناطق جزیره ای امکان مخفی شدن هواناو از دید رادار بسیار زیاد است و در این مواقع با جابجایی سریع هواناو و شلیک موشکهای سطح به سطح می تواند خطوط دفاعی دشمن را به صورت کامل مورد هجوم قرار دهد (شکل ۳). شلیک موشک توسط هواناو به نوار ساحلی خطوط دفاعی دشمن را دچار اغتشاش نموده و در صورت پشتیبانی منسجم میتواند نقش فزاینده ای را در پیروزیهای تهاجمی ایفا نماید [۵].

توانمندیهای هاورکرافت و قابلیتهای عملیاتی

هاورکرافت به سبب ویژگیهای خاص طراحی دارای توانمندیهای خاص در زمینه های مختلف می باشد. هواناو با پرواز بر روی بستر دریا براحتی از تمامی این موانع عبور میکند و سرعت بسیار بالای این شناور پروازی در بسیاری از موارد رادارهای دشمن را گمراه میسازد و امکان شناسایی را از بین میبرد. هواناوها در زمینه حمل بار و پشتیبانی عملیات نیز از نقش حائز اهمیتی برخوردار میباشند. هواناوهای سنگین به راحتی تانکهای رزمی را در هر نقطه از ساحل پیاده میکنند و دهها سرباز با کمک تجهیزات زرهی به پیشروی ادامه میدهند. به طور خلاصه توانمندیهای هاورکرافتهای کلاس متوسط را می توان به شرح زیر برشمرد [۶].

- انجام عملیات پشتیبانی و لجستیک در رزم دریایی، خصوصاً در مناطق باتلاقی، لجنزار، آبراههای ناشناخته، مناطق کم عمق و مردابهای پوشیده از گیاهان دریایی و نیزار
 - انجام عملیات گشت ساحلی، مبارزه با قاچاقچیان و انجام عملیات تعقیب و گریز از نواحی کم عمق دریایی تا قسمتهای زیادی از نوار ساحلی
 - انجام عملیات رزمی و پرتاب موشک های با برد متوسط به خطوط دفاعی دشمن و از بین بردن نوار دفاعی
 - انجام عملیات امداد رسانی در خصوص حوادث غیر مترقبه (به ویژه سیل و آب گرفتگی) و کمک به مصدومین
- انجام انجام
- عملیات مین گذاری و مین روبی در سطح آبراههای بین المللی و تنگه های پر تردد



معادلات حاکمه

- جهت بررسی معادلات مربوط به پرتاب موشک در هاورکرافت شرایط اولیه را به صورت زیر تعریف می گردد. شکل (۴)
- ۱- هواناو به صورت یک صفحه که دارای قابلیت حرکت عمودی (Heave) و انحراف طولی (Pitch) میباشد در نظر می گیریم و با این فرض شرایط بررسی مسئله در مدل دو بعدی فراهم می گردد [۷].
 - ۲- در زمان پرتاب موشک هاورکرافت تحت اثر نیروی خارجی F در فاصله d از مرکز ثقل هاورکرافت (Cg) به همراه ممان M خارجی قرار می گیرد.
 - ۳- بالشتک هاورکرافت و دامن به صورت یک مجموعه نامحدود از فنر-دمپر در نظر گرفته می شود که در فواصل L_i از محورمختصات قرار گرفته اند که می توان در ساده ترین حالت آن این مجموعه را به صورت یک مجموعه سه تایی از فنر-دمپر در نظر گرفت.
 - ۴- از تغییر فرم بدنه در برابر تغییر شکل بالشتک صرف نظر شده است.
 - ۵- جرم شلیک برابر m که در فاصله L_m از مرکز ثقل قرار گرفته است.
 - ۶- مولفه عمودی شلیک فقط در نظر گرفته شده است و از تاثیر بقیه مولفه ها صرف نظر می گردد.
 - ۷- هاورکرافت را به صورت جرم M_0 با ممان اینرسی I_0 در نظر می گیریم.
- به طور کلی بالشتک و هوای زیر هاورکرافت را به صورت یک سری فنر-دمپر مدل می کنیم که نسبت به محور مختصات مستقر در روی CG بدنه هاورکرافت در فواصل معین قرار می گیرند [۸]. جرم گلوله ای است که شلیک می شود و در فاصله L_m از محور مختصات قرار گرفته است. سیستم تحت اثر یک نیروی F در فاصله d از مبدا مختصات و ممان M که می توان اثرات نیروهای خارجی را نیز در آن لحاظ نمود. جهت مدلسازی بالشتک را به صورت سه فنر-دمپر که در ابتدای هاورکرافت، روی CG ، و انتهای هاورکرافت قرار گرفته اند در نظر می گیریم که جرم گلوله ای معادل ۳۰ کیلوگرم را با سرعت اولیه ۹۰ متر بر ثانیه شلیک می کند. طول بدنه ۱۰/۶ متر می باشد.
- جهت ارزیابی حالت های متفاوت شلیک ۲۷ حالت مجزا در نظر گرفته شده است. این حالت ها شامل سه حالت متفاوت وزنی و سه مکان متفاوت شلیک موشک و سه حالت متفاوت مرکز ثقل می باشد. مکان اول پرتاب در ناحیه سینه شناور و مکان دوم در ناحیه مرکز ثقل و مکان سوم در ناحیه پاشنه می باشد. نتایج نهایی معادلات حاکم بر حرکت heave را قبل از شلیک می توان به صورت زیر نوشت.

$$\begin{aligned}
 & (M_0 + m)\ddot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n C_i - \frac{ml_m \sum_{i=1}^n C_i l_i}{I_0 + ml_m^2}\right)\dot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n K_i - \frac{ml_m \sum_{i=1}^n K_i l_i}{I_0 + ml_m^2}\right)Y + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i - \frac{ml_m \sum_{i=1}^n C_i l_i^2}{I_0 + ml_m^2}\right)\dot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i - \frac{ml_m \sum_{i=1}^n K_i l_i^2}{I_0 + ml_m^2}\right)\theta = \left(1 - \frac{ml_m d}{I_0 + ml_m^2}\right)F - \left(\frac{ml_m}{I_0 + ml_m^2}\right)M + \\
 & \left[(M_0 + m)g - \frac{m^2 gl_m^2}{I_0 + ml_m^2} \right]
 \end{aligned} \quad (1)$$

و برای حالت Pitch در معادله (۲) خواهیم داشت.

$$(I_0 + ml_m^2)\ddot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i^2\right)\dot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i^2\right)\theta + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i\right)\dot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i\right)Y = (d).F + (1).M + (mgl_m) \quad (2)$$

در هنگام شلیک، ناگهان جرم m از سیستم کاسته میشود، ضمن آنکه نیروی برابر $F_v = \frac{mV}{\Delta t}$ در فاصله L_m بر اثر

شلیک به صورت Pulse بر سیستم وارد می شود و میزان Heave و Pitch شناور و سرعتهای آن مورد ارزیابی قرار می گیرد. در این حالت معادلات نهایی حاکم بر دینامیک سیستم برای حرکت Heave بصورت زیر خواهد بود.

$$(M_0)\ddot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n C_i\right)\dot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n K_i\right)Y + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i\right)\dot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i\right)\theta = F + M_0 g + l_m.F_v \quad (3)$$

برای حالت Pitch معادلات بصورت زیر تغییر می کند.

$$I_0 \ddot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i^2\right)\dot{\theta} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i^2\right)\theta + \left(\sum_{i=1}^n C_i l_i\right)\dot{Y} + \left(\sum_{i=1}^n K_i l_i\right)Y = (d).F + (1).M + l_m.F_v \quad (4)$$

در این معادلات مقدار عددی C برابر ۹۵۱۲ و مقدار عددی k برابر ۱۹۹۹۸ در نظر گرفته شده است.

نتیجه گیری:

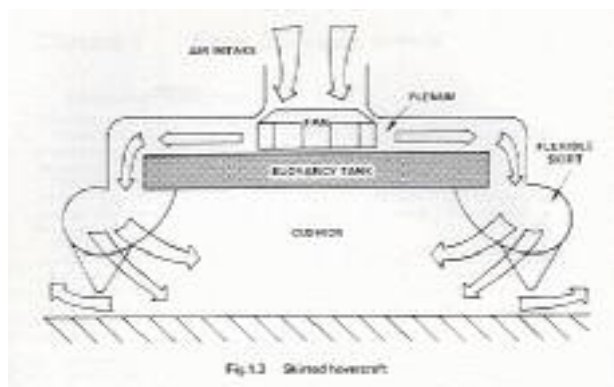
ارزیابی حالت‌های پرتاب موشک در نواحی متفاوت هاورکرافت بر اساس پرتاب از ناحیه جلویی، مرکز ثقل و پاشنه در شکل (۵) ارائه گردیده است. مشاهده می گردد که در این حالتها تاثیر عمده ای بر حرکت عمودی هاورکرافت (Heave) نداشته، اما در رابطه با زاویه انحراف طولی شناور به مقادیر قابل ملاحظه ای بر می خوریم. مشاهده می گردد زمانی که شلیک از عقب صورت پذیرفته، بدنه ناگهان به سمت عقب می رود و در شلیک از جلو، عکس حالت فوق رخ می دهد، اما میزان تاثیر شلیک در هنگامی که از روی C_g است ناچیز می باشد. در شکل (۶)



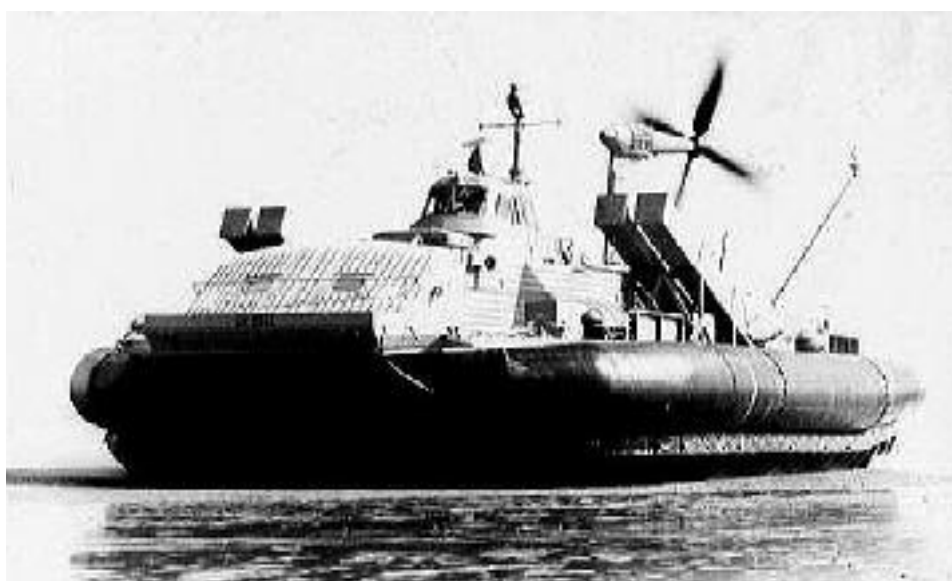
نمودارهای Have, Heave Speed, Pitch Speed, Pitch بر حسب زمان در حالت شلیک از ناحیه جلویی هاورکرافت با وزنهای متفاوت و موقعیت مرکز ثقل ثابت نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد با افزایش وزن بدن شناور از اثرات مربوط به شلیک موشک کاسته می شود. در شکل (۷) نمودار های Have, Heave Speed, Pitch Speed, Pitch بر حسب زمان در حالت شلیک از ناحیه جلویی هاورکرافت جهت وزن ثابت و سه تغییر مکان مرکز ثقل نمایش داده شده است و بررسی تغییرات مرکز ثقل در زمان پرتاب موشک صورت پذیرفته است. در این حالت مشاهده می شود که با پس رفت مرکز ثقل و افزایش فاصله بین مرکز ثقل تا مکان پرتاب موشک تغییرات Heave و Pitch افزایش می یابد. بررسی تمامی حالت های پرتاب موشک نشان میدهد که می بایست نصب موشک بر روی هاورکرافتهای سنگین تر صورت پذیرفته تا از اثرات مربوط به پرتاب موشک کاسته شود و در غیر اینصورت شاهد تغییرات شدید حرکتی و دینامیکی در زمان پرتاب موشک می باشیم. ضمن آنکه می بایست در طراحی سیستمهای پرتاب موشک نزدیکترین فاصله به مرکز ثقل را مد نظر قرار داد و یا آنکه در هر مرحله با جابجایی سوخت و مکانیزمهای بالانس مرکز ثقل را به مکان پرتاب موشک نزدیک نمود. از نتایج بدست آمده می توان در خصوص طراحی سیستمهای سلاح شناور های اثر سطحی بالشتک دار استفاده نمود و از نتایج تحلیلی ارائه شده و در راستای بهینه سازی طراحی مفهومی شناور های اثر سطحی بهره جست.

مراجع :

- [1] John W.wood/Hovercraft and Hydrofoil/Bland ford press/England/1976 .
- [2]G.H.Elesey/Hovercraft Construction and Design/Newton ABBOT,British Hovercraft corporation/England/1968 .
- [3] N.B Plisov, Hovercraft Motion on The Sea Leningrad State Marine University/3 Edition/1994 .
- [4] John Barham/Priliminary Design of Hovercraft Air Cushion Vehicles Vol 1/ Canada/December 1985 .
- [5] R.A.Blek/Russian Safety Regulation for dynamically supported craft Russian Register/Moscow 1990 .
- [6] Janes High Speed Marine Crafr and Air Cushion Vehicle/London/January 1980.
- [7]peter J.Mantel/air Cushion Craft Development first Revision,/Bethesda/ Maryland/ January.
- [8] L.Yuan/Theory and design of cushion vehicle/Arnold/London/2000 .



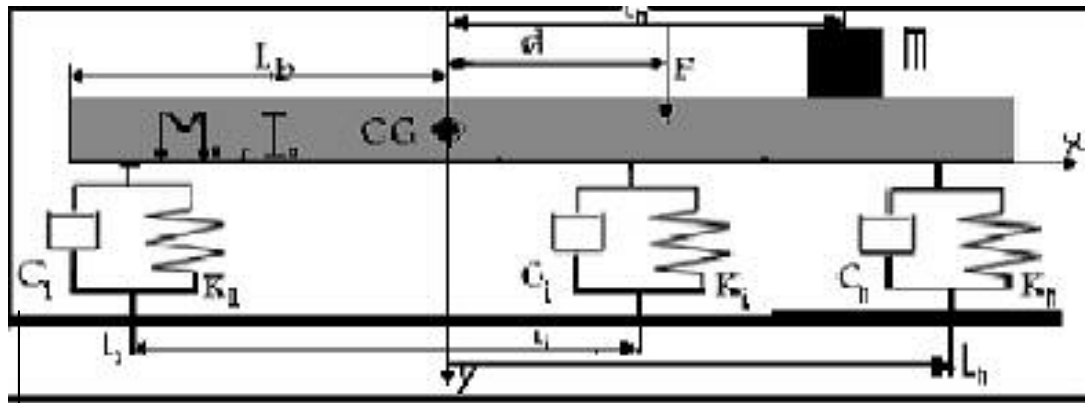
شکل (۱): ساختار سیستماتیک و شماتیک عملکرد هواناو



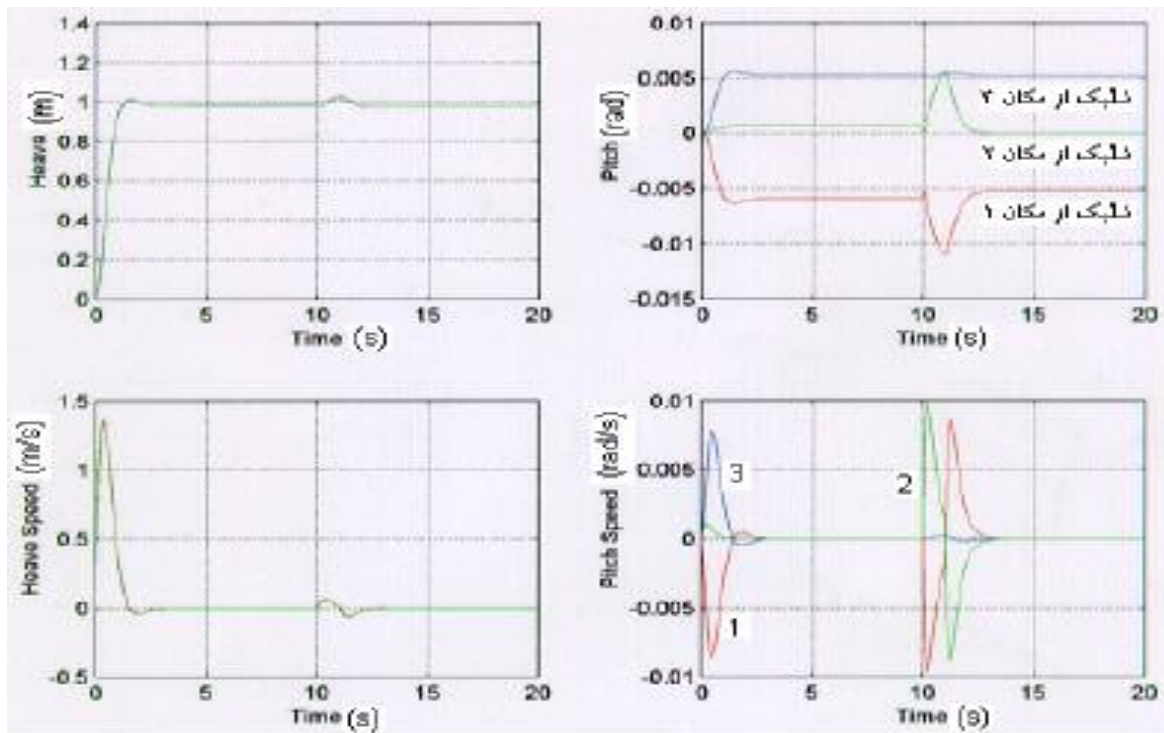
شکل (۲): نمایی از هاورکرافت BH-7 همراه با لانچر پرتاب موشک



شکل (۳): هواناو LCAC در حال پرتاب موشک

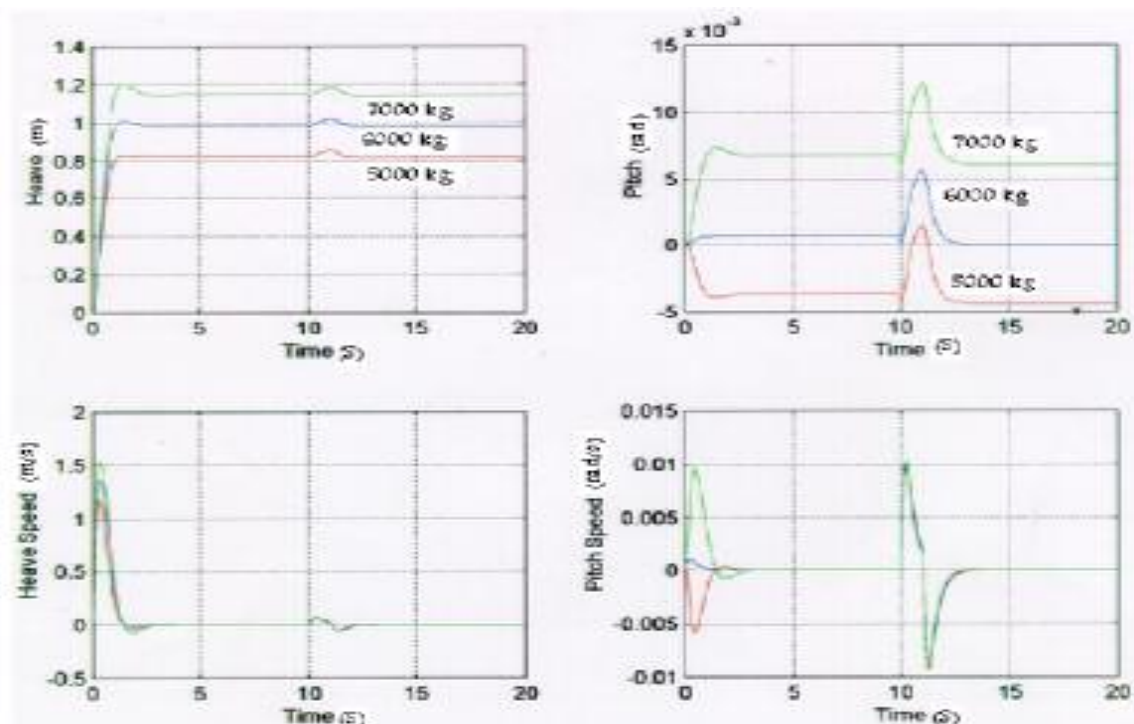


شکل (۴): نحوه مدلسازی سیستم تعلیق بالشتک در هاورکرافت

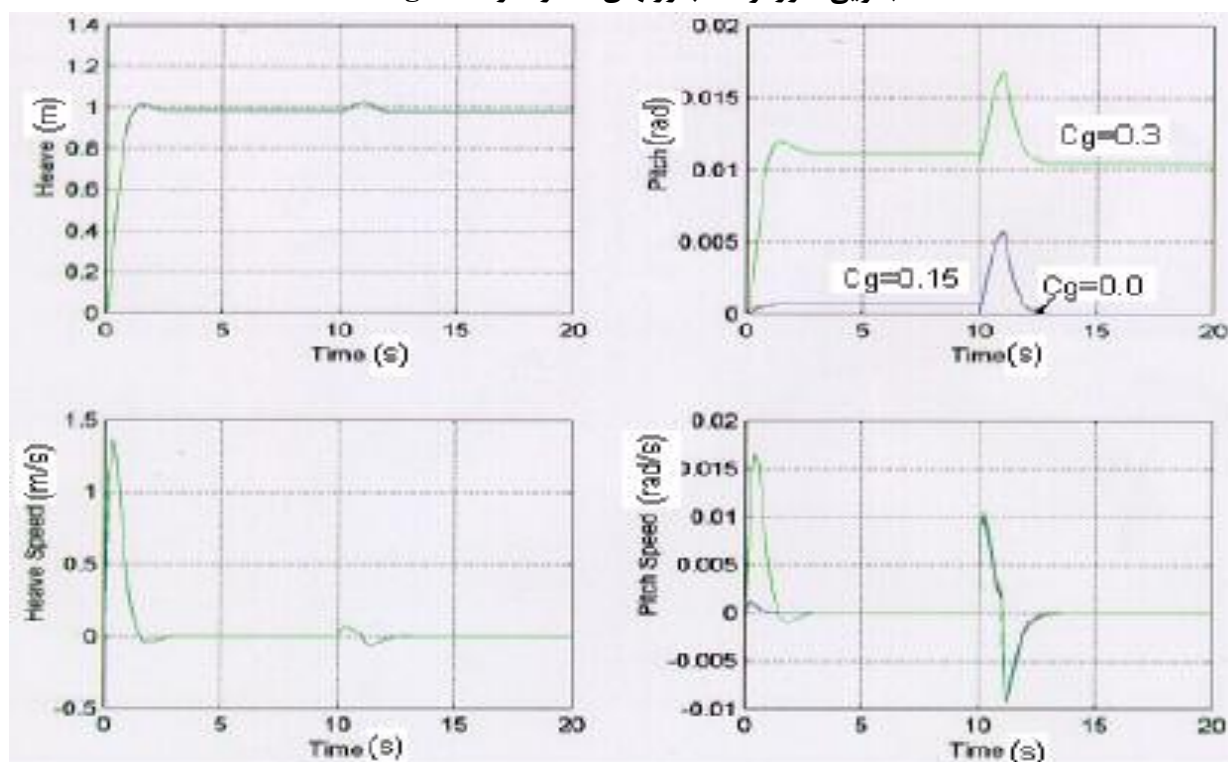


شکل (۵): نمودارهای Heave, Heave Speed, Pitch Speed, Pitch بر حسب زمان در حالت شلیک از سه ناحیه

هاورکرافت با وزن ثابت و مرکز ثقل ثابت



شکل (۶) نمودار های $Heave$, $Heave\ Speed$, $Pitch\ Speed$, $Pitch$ بر حسب زمان در حالت شلیک از ناحیه جلویی هاورکرافت با وزنهای متفاوت و $C_g=0.15$



شکل (۷) نمودار های $Heave$, $Heave\ Speed$, $Pitch\ Speed$, $Pitch$ بر حسب زمان در حالت شلیک از ناحیه

جلویی هاورکرافت جهت وزن ثابت و سه تغییر مکان مرکز ثقل