بررسی ارتعاشات زیان بخش ناشی از امواج دریا، بر بیماران با شرایط بحرانی حمل شونده در شناورهای دریایی

فیروز بختیاری نژاد [۱]، مهدی جبارزاده [۲]

۱- استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
۲- دانشجوی دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

حمل بیماران با شرایط بحرانی مثل بیماری های ناشی از سکته های قلبی و مغزی و یا ضربات مغزی و ستون فقرات در جاده‌ها و بلاخص بر روی دریا، از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد. شتاب شدید وارد بر بیمار در اثر ارتعاشات شناور تندرو بر روی امواج، یکی از عوامل مرگ بیماران گزارش شده است. برای کاهش این خطر ضروری است، میزا ن شتابی که در اثر این جابجائی بر بیمار وارد می‌شود، بررسی و شناسائی گردد، تا با طراحی تجهیزات مناسب این خطر را کاهش داد. عدم توجه به طراحی و ساخت سیستم‌های مناسب برای انتقال بیماران روی شناورهای دریایی، باعث شده است که سالانه تعدادی از کارکنان کشتی‌ها و یا ساکنین جزایری که دارای تجهیزات پزشکی کافی نیستند در موقع حمل به ساحل شهرهای بزرگ با خطرات جدی روبرو شوند و جاذبیت کار کردن در چنین محیط‌هائی شدیداً کاهش یافته و صنایع دریا ئی با مشکل جدی روبرو گردد. لذا بسیار ضروری است که خطرات ناشی از لرزش های وارد بر بیماران در زمان حمل با شناورهای دریایی شناسائی و تحلیل گردد. در این مقاله ارتعاشات وارد بر بیمار در اثرحمل او توسط شناورهای تندرو دریایی مورد بررسی قرار گرفته است، تا بتوان از نتایج آن شرایط حمل بیمار را بهبود بخشید.

کلمات کلیدی: ارتعاش، حمل بیمار، شناورهای دریائی، موج دریا، شرایط بحرانی

Investigations of harmful Vibration on Critically Sick Person During Sea Transportation

Abstract

Transferring patients under critical conditions such as heart attack, stroke or transient ischemic attack (TIA), and head and backbones injuries is very important, specially transportation on sea because of high level of vibration of ship due to the sea waves is very critical. Many injured persons who work on ships or offshore platform with specialist hospitals are under critical dangers of their life because of their transportation with sea vehicles.

In this paper a dynamic analysis is presented to investigate the effect of sea wave on the peak acceleration of critically seek persons during transporting them on a sea. With this information equipments can be designed and installed to transfer patients safer and healthier on sea.

Keywords: Vibration, transportation, ship, critically conditions, sea waves

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

۱- مقدمه

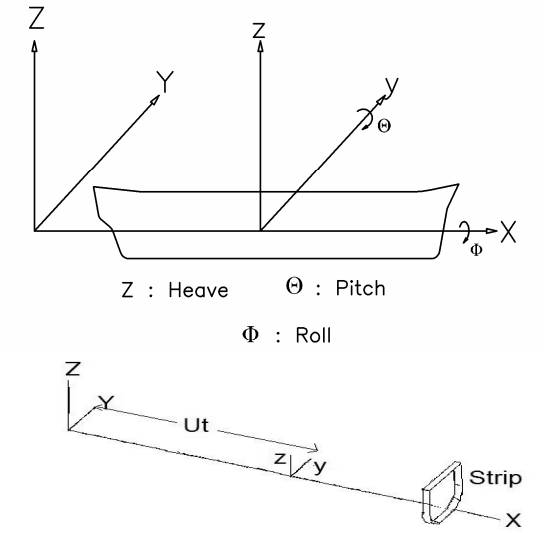
شناسائی و تجزیه تحلیل لرزش‌های ناخواسته و زیان بخش وارد بر بیمارانی که توسط شناورهای دریائی حمل می‌گردند، ضرورت طراحی سیستم‌های مناسب برای انتقال این بیماران توسط شناورهای دریایی است. با توجه به این‌که محدوده‌های مجازحمل و انتقال بیماران بر اساس استانداردها و آیین نامه‌های ایزو بسیار حساس و جدی است، تجزیه و تحلیل دینامیکی و استخراج شتاب‌های وارد بر بیمار در سرعت های مختلف و طول موج‌های متفاوت از اهمیت کافی بر خوردار است. حرکت شناور در امواج، باعث لرزش‌های شدید فرد بیمار خوابیده روی کشتی می‌گردد. شتاب حاصل از این لرزش‌ها ممکن است در محدوده قابل تحمل فرد بیمار قرار نگیرد. با توجه به معیارهای ایزو (۲۶۳۱) محدوده مجاز ارتعاشی در جهت‌های مختلف متفاوت می‌باشند.

مطالعات محدودی در زمینه شتاب‌های وارد بر بیمار در موقع حمل و در اثر ارتعاشات ناخواسته صورت گرفته و گزارش شده است. بطور عمده این مطالعات برای حمل بیمار در خشکی بوده است و به صورت تخصصی در زمینه حمل بیمار در دریا کار جامعی انجام نشده است.

از کارهای انجام شده در زمینه حمل بیمار در خشکی برای اولین بار توسط کالین در سال ۱۹۶۱ در زمینه اثرات حرکات مختلف خودرو روی بیمار بوده است[۳] سپس در سال ۱۹۷۳ اسنوک حال بیمارانی را که دارای صدمات ناشی از تصادف یا بیماریهای متفاوت از قبیل مغزی و قلبی و شکستگی بوده‌اند را در هنگام انتقال با آمبولانس مورد بررسی قرار داد. از آخرین کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به کاری توسط ساگوا در سال ۱۹۹۷ اشاره نمود که به بررسی اثرات ناشی از شتاب‌های لحظه‌ای و آنی ناشی از حمل بیماران پرداخته است.[۱۰]

۲- معادلات حرکتی شناور

برای تحلیل حرکت شناور و تعیین رابطه حرکت آن از روش نواری که عمدتا روشی عمومی و ساده برای مطالعه و پیش‌بینی حرکت شناور است، استفاده می‌شود، همچنین برای بررسی تاثیر موج روی آن می‌توان از رابطه لاگرانژ بهره برد. برای این کار از معادله لاگرانژ و روش نواری، معادلات حرکت کوپل شده هیو، پیچ و رول بدست می‌آیند و سپس با استفاده از تصحیح‌های مربوطه، معادلات حرکتی شناورهای تندرو استخراج می‌گردد. برای تعیین معادلات حرکت در ابتدا دستگاه‌های مختصات مطابق شکل (۱) در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۱- درجات آزادی کشتی ونوار بریده شده از آن

رابطه انرژی جنبشی، انرژی استهلاک و انرژی پتانسیل برای یک نوار بریده شده از شناور، با توجه به شکل (۱)، به صورت زیر قابل بیان است:

$$T=\frac{1}{2}m_n\left(\dot{z}-x\dot{\theta}\right)^2+\frac{1}{2}I_{xx}\dot{\phi}^2 +\frac{1}{2}a_n\left(\dot{\bar{z}}+u\theta-x\dot{\theta}\right)^2+\frac{1}{2}I_n\dot{\phi}^2 \quad (۱)$$

$$V_D=\frac{1}{2}b_n\left(\dot{\bar{z}}\right)^2+\frac{1}{2}N_\phi\dot{\phi}^2 =\frac{1}{2}b_n\left(\dot{z}+u\theta-x\dot{\theta}\right)^2+\frac{1}{2}N_\phi\dot{\phi}^2 \quad (۲)$$

$$U=\frac{1}{2}\int c_n\left(z-x\theta-y\phi\right)^2dy \quad (۳)$$

که در آنها m_n ، Ixx ، a_n و b_n ، I_n ، N_Φ ، C_n به ترتیب جرم نوار، ممان اینرسی نوار حول محور x، جرم افزوده ، ضرایب استهلاک، ممان اینرسی افزوده، ضرب

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

استهلاک دورانی و ضریب نیروی بویانسی (ρg) نوار هستند. همچنین u سرعت رو به جلو شناور و z و θ و ϕ نماینده درجات آزادی المان بوده که $\dot{\bar{z}}, \bar{z}$ تغییر مکان و سرعت نسبی نوار نسبت به موج می‌باشند که به صورت زیر بیان خواهند شد.

$$\bar{z} = z - x\theta \qquad (۴)$$

$$\dot{\bar{z}} = \frac{D\bar{z}}{Dt} = \left(\frac{\partial}{\partial t} - u\frac{\partial}{\partial t}\right)\bar{z} = \dot{z} + u\theta - x\dot{\theta} \qquad (۵)$$

با قرار دادن انرژی جنبشی، انرژی استهلاک و انرژی پتانسیل در رابطه لاگرانژ (۶) و ساده سازی روابط بدست آمده، معادلات حرکت شناور به صورت روابط (۷) تعیین خواهند شد.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V_D}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} = Q_i \qquad (۶)$$

که در آن Q_i نیروهای خارجی وارده بر نوار می‌باشند.[۶]

$$\begin{aligned}
&(M + A_{33})\ddot{z} + B_{33}\dot{z} + C_{33}z + A_{35}\ddot{\theta} \\
&\qquad + B_{35}\dot{\theta} + C_{35}\theta = F_z \\
&A_{53}\ddot{z} + B_{53}\dot{z} + C_{53}z + (I_{yy} + A_{55})\ddot{\theta} \\
&\qquad + B_{55}\dot{\theta} + C_{55}\theta = M_\theta \\
&(I_{xx} + A_{44})\ddot{\phi} + B_{44}\dot{\phi} + C_{44}\phi = M_\phi
\end{aligned} \qquad (۷)$$

ضرایب رابطه (۷) در جدول (۱) نشان داده شده است.

۱- بررسی کوپلینگ بین حرکتها

۲-۱-۱- اثر رول روی حرکت هیو نوار

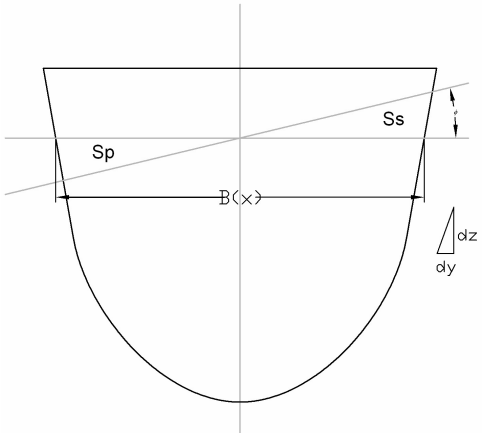
با توجه به شکل (۲) نیروی هیدرواستاتیکی وارده بر نوار را می‌توان به صورت $\rho g(S_0 + S_1)$ نوشت. که در آن S_o سطح مغروق هر نوار در هر لحظه به وسیله حرکت عمودی است، که با رابطه $S_0 = B_n(z - x\theta)$ بیان می‌شود. این قسمت از رابطه در معادله لاگرانژ در رابطه (۳)، برای محاسبه ضرایب C معادله (۷) مورد استفاده قرار گرفت، ولی بخش دوم (S_1)، افزایش مساحت مغروق هر نوار، بواسطه حرکت رولینگ را نشان می‌دهد که باعث کوپل بین حرکت‌ها می‌شود.

برای کشتی‌هایی با دیواره عمودی در محل آبخور، این ترم را می توان چشم‌پوشی کرد، زیرا مقدار آن ناچیز است، ولی اگر دیواره کشتی به صورت عمودی نباشد، این ترم می تواند قابل توجه خواهد بود.

جدول (۱) ضرایب رابطه(۷) [۵]

ضریب	روش نواری کلاسیک
A_{33}	$\int a_n dx$
B_{33}	$\int b_n dx$
C_{33}	$\int c_n dx$
A_{35}	$\int -xa_n dx$
B_{35}	$\int -xb_n dx + uA_{33}$
C_{35}	$\int -xc_n dx + uB_{33}$
A_{55}	$\int x^2 a_n dx$
B_{55}	$\int x^2 b_n dx$
C_{55}	$\int x^2 c_n dx - uB_{33}$
A_{53}	$\int -xa_n dx$
B_{53}	$\int -xb_n dx + uA_{11}$
C_{53}	$\int -xc_n dx$
A_{44}	$\int I_n dx$
B_{44}	$\int B_n dx - u\int (dI_n/dx)dx$
C_{44}	$\int c_n y^2 dydx$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]



شکل ۲- تاثیر حرکت رول روی حرکات هیو و پیچ

با توجه به شکل (۵) مساحت های S_s و S_p را می‌توان به صورت رابطه (۸) نوشته و مقدار S_1 را بر اساس آنها، طبق رابطه (۹) تعیین کرد. [۹]

$$\begin{cases} \frac{1}{8}B^2(x)\left(\frac{\tan(\bar{\phi})}{1-\frac{dy}{dz}\tan(\bar{\phi})}\right) \\ \frac{1}{8}B^2(x)\left(\frac{\tan(\bar{\phi})}{1+\frac{dy}{dz}\tan(\bar{\phi})}\right) \end{cases} \quad (۸)$$

$$S_1 = S_s - S_p = \frac{1}{4}B^2(x)\left(\frac{\frac{dy}{dz}\tan^2(\bar{\phi})}{1-\left(\frac{dy}{dz}\right)^2\tan^2(\bar{\phi})}\right) \quad (۹)$$

که در آن $\bar{\phi}$ جابجایی نسبی میان حرکت رول و شیب موج، $B(x)$ عرض کشتی در هر مقطع در آب آرام و dy/dz شیب بدنه کشتی در هر مقطع در آب آرام می‌باشد.

با صرفنظر کردن از تاثیر شیب موج به دلیل کوچک بودن آن، ضریب C' به عنوان رابطه غیر خطی به رابطه حرکت هیو (a-7) افزوده می‌شود.

$$C' = \int \frac{\rho g}{4}B^2(x)\frac{\frac{dy}{dz}\tan^2(\bar{\phi})}{1-\left(\frac{dy}{dz}\right)^2\tan^2(\bar{\phi})}dx \quad (۱۰)$$

۲-۱-۲- اثر رول روی حرکت پیچ

با توجه به رابطه حرکت هیو و پیچ، برای تصحیح حرکت رول روی پیچ ضریب C'' به عنوان کوپلینگ غیر خطی به رابطه حرکت پیچ (b-7) افزوده خواهد شد.

$$C'' = \int_{\ell} -xC'dx \quad (۱۱)$$

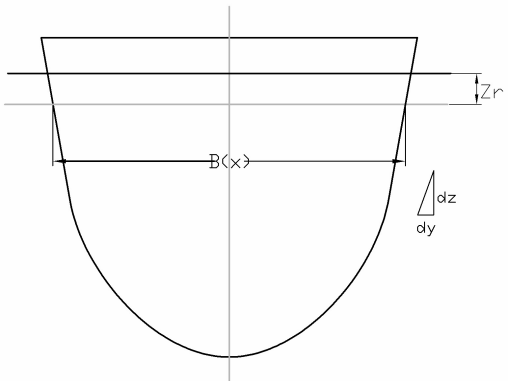
۲-۱-۳- اثر هیو و پیچ، روی حرکت رول

برای تعیین تاثیر حرکت عمودی هر نوار روی حرکت رول، می‌توان ضریب K را با توجه به شکل (۳)، به صورت رابطه (۱۲) نوشت. که نشان دهنده تاثیر تغییرات مشخصات بدنه بواسطه حرکت عمودی نوار می‌باشد. زیرا ضریب ممان هیدرواستاتیکی رولینگ، با تغییر مرکز و ممان سطح و همچنین تغییر حجم مغروق تغییر خواهد کرد.[۹]

$$K = -\rho g\int_{\ell}\left(\frac{1}{2}B^2(x)\frac{dy}{dz} - z_g B(x)\right)z_r dx \quad (۱۲)$$

که در آن z_g جابجایی عمودی مرکز ثقل کشتی و z_r جابجایی نسبی میان مقطع و سطح موج $z_r = z - x\theta - \xi$ می‌باشد. با ساده کردن رابطه بالا و صرفنظر کردن از عوامل غیر خطی با مرتبه بزرگتر از دو و همچنین چشم‌پوشی از اثر ارتفاع موج روی ممان برگرداننده استاتیکی، به دلیل کوچک بودن آن، رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) برای اضافه شدن به رابطه حرکت رول (c-7) بدست می‌آید.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]



شکل ۳- تغییرات مقطع عرضی با جابجایی نسبی عمودی

$$C_{\phi z} = -\rho g \int_{\ell} \left(\frac{1}{2} B^2(x) \frac{dy}{dz} \right) z_r dx \qquad (۱۳)$$

$$C_{\phi\theta} = -\rho g \int_{\ell} \left(\frac{1}{2} x B^2(x) \frac{dy}{dz} \right) z_r dx \qquad (۱۴)$$

۲-۲- محاسبه نیروهای اعمالی بر درجات آزادی هیو، پیچ و رول

نیروی وارده بر هر درجه آزادی با Q_i در معادله لاگرانژ تعریف می‌شود. نیروهای وارده از طرف موج بر هر درجه آزادی در ادامه بررسی و تحلیل خواهند شد.

۲-۲-۱- نیروی وارده بر درجه آزادی هیو

با استفاده از تغییرات کلی مومنتوم در جهت عمودی و نیروی شناوری، نیروی عمودی به صورت زیر خواهد بود: [۶]

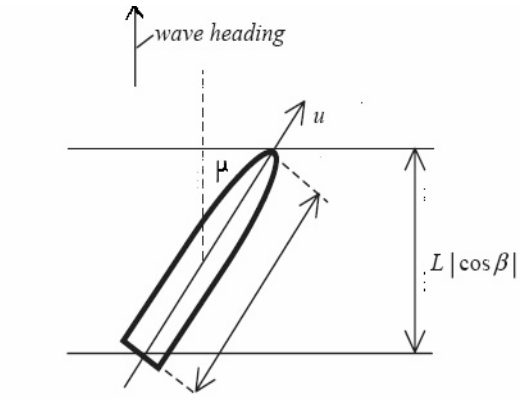
$$f_z = \int_{\ell} \left(\frac{D}{Dt}(a_n \upsilon) + b_n \upsilon + \rho g B(x) \xi \right) dx \qquad (۱۵)$$

$$\xi(x,y,t) = \bar{\xi} e^{-kT_m} \cos(kx\cos\mu + ky\sin\mu - w_e t) \qquad (۱۶)$$

که در رابطه بالا، $\bar{\xi}$ ارتفاع موج، k عدد موج $(k = 2\pi/\lambda)$ و λ طول موج است، $\omega_e = \omega - uk\cos(\mu)$ فرکانس برخورد، μ زاویه برخورد موج به شناور (شکل (۴))، ω فرکانس موج $T_m = S(x)/B(x)$ ضریب تصحیح عمق برای نوار، $S(x)$ مساحت نوار و $B(x)$ عرض نوار می‌باشد.

همچنین سرعت موج در راستای عمودی به صورت رابطه زیر بیان می‌شود: [۶]

$$\upsilon(x,y,t) = \bar{\xi}\omega e^{-kT_m} \sin(kx\cos\mu + ky\sin\mu - w_e t) \qquad (۱۷)$$



شکل ۴- جهت برخورد موج به کشتی

در نتیجه نیروی اعمالی بر درجه آزادی هیو به صورت زیر خواهد بود:

$$f_z = \bar{\xi} e^{-kT_m} \left(\int P_1 \sin(kx\cos\mu - w_e t) dx + \int P_2 \cos(kx\cos\mu - w_e t) dx \right)$$

$$\begin{cases} P_1 = \rho g B - \omega_e{}^2 a_n \\ P_2 = \omega_e \left(b_n - u \dfrac{da_n}{dx} \right) \end{cases} \qquad (۱۸)$$

۲-۲-۲- گشتاور وارده از طرف موج بر حرکت پیچ

گشتاور وارده بر درجه آزادی پیچ با انتگرال‌گیری از نیروی عمودی (f_z)، به صورت زیر تعیین می‌شود: [۶]

$$dM_\theta = x\,\delta f_z \quad , \quad M_\theta = \int_{\ell} x\,\delta f_z \qquad (۱۹)$$

۲-۲-۳- گشتاور وارده از طرف موج بر حرکت رول

گشتاور وارده بر حرکت رول نوار، با توجه به تغییرات مومنتوم بین حرکتهای رول و جانبی و نیروی هیدرواستاتیکی به صورت زیر بیان می‌شود: [۶]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

$$K_D(x,t)=\frac{dM_\phi}{dx}=-\frac{D}{Dt}\left(m_{\phi y}\overline{\vartheta}\right)-N_\phi\overline{\vartheta}-\frac{D}{Dt}\left(I_n\frac{D\overline{\phi}}{Dt}\right)-N_\phi\frac{D\overline{\phi}}{Dt}-\rho g\left(\frac{B^3(x)}{12}-\overline{B}\,\overline{C}S(x)\right)\overline{\phi} \quad (۲۰)$$

که در آن $m_{\phi y}$ جرم افزوده حاصل از کوپلینگ حرکت‌های رول و جانبی، $N_{\phi y}$ ضرایب استهلاک حاصل از کوپلینگ حرکت‌های جانبی و رول، I_n, N_ϕ ضرایب استهلاک و جرم افزوده برای حرکت خالص رول برای نوار، ϑ سرعت موج در جهت عرض کشتی (در جهت y) و $\overline{\phi}=\phi-\gamma$ اختلاف بین مقدار چرخش بدنه کشتی و مقدار متوسط شیب موج در هر نقطه می‌باشد. در نتیجه گشتاور وارده بر درجه آزادی رول با ساده سازی رابطه (۲۰)، به صورت زیر بیان می‌شود.

$$K_D=\overline{\xi}\alpha(x)(\sin(\mu))e^{-kT_m}\times[P\cos(kx\cos\mu-w_e t)+Q\sin(kx\cos\mu-w_e t)]$$

$$\alpha(x)=\frac{\sin(0.5kB(x)\sin\mu)}{0.5kB(x)\sin\mu}$$

$$\begin{cases}P=\omega\left[\left(u\dfrac{dm_{\phi y}}{dx}-N_{\phi y}\right)+k\left(u\dfrac{dI_n}{dx}-N_\phi\right)\right]\\ Q=\omega^2\left[\rho\left(\dfrac{B^3(x)}{12}-\overline{B}\,\overline{C}S(x)\right)-kI_n-m_{\phi y}\right]\end{cases} \quad (۲۱)$$

و ممان کل به صورت انتگرال $M_\phi=\int K_D dx$ محاسبه می‌شود: [۶]

۲-۳- تصحیح تئوری نواری برای کاربرد آن در بررسی حرکت شناور های تندرو

در روشها و نظریه‌های کلاسیک، حرکت شناور (روش کلاسیک نواری)، نیروهای هیدرودینامیکی حاصل از سرعت زیاد، که عمدتا بر استهلاک حرکت عمودی شناور تاثیر می‌گذارند، در نظر گرفته نمی‌شوند. زیرا در بدست آوردن آنها فرض می‌شود که کشتی با سرعت معمول حرکت می‌کند. کاربرد این روش بدون در نظر گرفتن برخی از اصلاحات بر روی شناورهای تندرو باعث غیر واقعی شدن نتایج خواهد شد. در این قسمت اصلاحات لازم بر روی روش نواری کلاسیک ارائه و معادله حرکت و ضرایب آنها تصحیح می‌شوند.

۲-۳-۱- تصحیح سرعت

در روش نواری کلاسیک، تاثیر سرعت زیاد شناور و همچنین فرکانس برخورد موج در نظر گرفته نشده است. برای در نظر گرفتن این تاثیرات، برخی از پارامترهای معادله (۷) طبق جدول (۲) تغییر می‌یابند و سایر پارامترها بدون تغییر باقی می‌مانند. [۷]،[۸]

جدول (۲): تصحیح سرعت و فرکانس برای روش نواری

ضریب	تصحیح شده برای سرعت و فرکانس
A_{35}	$\int -a_n x dx-\left(u/\omega^2{}_e\right)B_{33}$
A_{55}	$\int a_n x^2 dx+\left(u/\omega_e\right)^2 A_{33}$
B_{55}	$\int b_n x^2 dx+\left(u/\omega_e\right)^2 B_{33}$
A_{53}	$\int -a_n x dx+\left(u/\omega^2{}_e\right)B_{33}$

۲-۳-۲- تصحیح اثر لیفت و درگ

با افزایش سرعت شناور نیروهای هیدرودینامیکی (لیفت و درگ) شروع به افزایش می‌کند که در این حالت دیگر دمپینگ موج غالب نخواهد بود و اثر ویسکوزیته بیشتر نمایان می‌شود. این تاثیر به صورت آشکارا در طراحی شناورهای تندرو Planning مشاهده می‌شود.
برای جسمی که در حال نوسان، با سرعت رو به جلو u، در موج منظم حرکت می‌کند، نیروی موج بواسطه تاثیر

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

ویسکوزیته لیفت و درگ جریان، می‌تواند به صورت زیر نوشته شود: [۸]

$$F_j^{\,v} = \frac{1}{2}\rho A_j \frac{u^2 a\alpha_j(x) + C_D v_j(x)}{v_j(x)} \qquad (۲۲)$$

که در آن A_j سطح تصویر کشیده شده جسم در جهت jام، a ضریب لیفت، $\alpha_j(x)$ زاویه برخورد با جریان یکنواخت، C_D ضریب درگ ویسکوزیته و $v_j(x)$ سرعت نسبی سیال در جهت jام می‌باشد. همچنین زاویه برخورد $\alpha_j(x)$ را می‌توان به صورت تابعی از سرعت نسبی نوشت:

$$\begin{cases} \alpha_3 = \dfrac{\upsilon_3}{u} \\ \alpha_5 = \dfrac{\upsilon_5}{u} \end{cases} \qquad (۲۳)$$

ضریب درگ (C_D) براساس تابعی از هندسه بدنه، نوع حرکت و فرکانس برخورد تعریف می‌شود، ولی در اینجا، $a = 0.035$ و $C_D = 0.25$ در نظر گرفته می‌شود. [۸]

۲-۳-۳- تاثیر ترنسوم پاشنه

کشتیهای با سرعت بالا دارای پاشنه ترنسوم هستند. دلیل عمده آن بواسطه عدد فرود بالای آنهاست، که باعث می‌شود دومین قله موج ایجادی توسط بدنه، در منطقه‌ای دورتر از پاشنه به وجود آید. در این‌صورت تنها یک قله از موج که آن هم در سینه قرار دارد، بر کشتی اثر می‌کند. در اینجا ترنسوم پاشنه باعث به وجود آمدن لیفت شده، که بواسطه آن تریم در سینه کشتی کاهش پیدا می‌کند. برای در نظر گرفتن این اثر، مقادیر تصحیح در ضرایب هیدرودینامیکی برای نوار پاشنه (آخرین نوار)، در جدول (۳) داده شده‌اند، که این ضرایب به عبارت ذکر شده افزوده می‌شوند. که در آن a_T و b_T مقادیر جرم افزوده و ضریب استهلاک برای نوار پاشنه، و x_T فاصله پاشنه ترنسوم از مرکز ثقل شناور است.

جدول (۳) تصحیح ترنسوم پاشنه روش نواری [۸]

ضرایب	تصحیح
A_{33}	$-(u/\omega^2)b_T$
B_{33}	$+ua_T$
A_{35}	$-(u/\omega)^2 a_T + (u/\omega^2)x_T b_T$
B_{35}	$-ux_T a_T - (u/\omega)^2 b_T$
A_{55}	$-(u/\omega^2)x_T{}^2 b_T + (u/\omega)^2 x_T a_T$
B_{55}	$+ux_T{}^2 a_T + (u/\omega)^2 x_T b_T$
A_{53}	$+(u/\omega^2)x_T b_T$
B_{53}	$-ux_T a_T$

۲-۴- تعیین ضرایب هیدرودینامیکی

برای تعیین ضرایب هیدرودینامیکی از فرمول‌های لوئیس که با استفاده از تابع پتانسیل اطراف سیلندری با مقطع شبیه مقطع مورد نظر شناور بدست آمده‌اند به همراه تصحیح هایی مثل تاثیر موج و اثر سطح آزاد و ضریب تصحیح جریان سه بعدی برای ضرایب هیدرودینامیکی استفاده شده است.

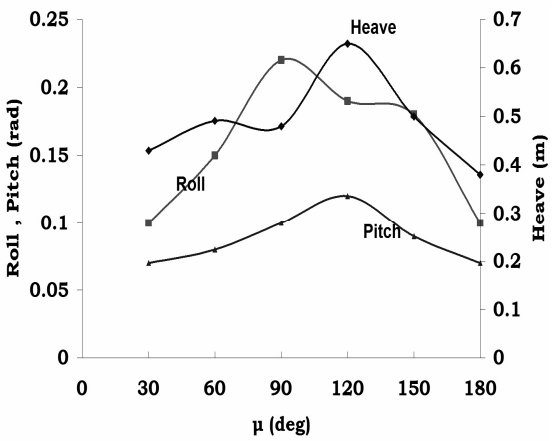
۲-۵- بررسی ارتعاشی شناور در اثر تحریک موج

برای بدست آوردن ضرایب و نیروهای وارده بر شناور تعیین مشخصات و پارامترهای موج ضروری می‌باشد. به همین دلیل شناخت شرایط و حالات مختلف دریایی برای منطقه و دریای مورد نظر ضروری است. در این مقاله شرایط حاکم بر منطقه دریایی آرام و بدون شرایط آب و هوایی سخت و موج های بلند که بیشتر در مناطق بین جزایر و سواحل اتفاق می‌افتد، در نظر گرفته می‌شود. [۲]

محاسبات انجام شده برای $\xi = 1(m)$ به عنوان دامنه موج، و مقادیر مختلف طول موج (λ) و زاویه برخورد موج به شناور (μ) صورت می‌گیرد. شکل (۵) تاثیر زاویه برخورد موج به شناور در طول موج معمول $\lambda = 50(m)$ را نشان می دهد. مقدار طول موج انتخابی بر اساس شرایط بحرانی انتخاب شده است در صورتی که در حالت معمولی برای شرایط ذکر شده مقدار آن بیشتر از ۷۵ متر خواهد بود.

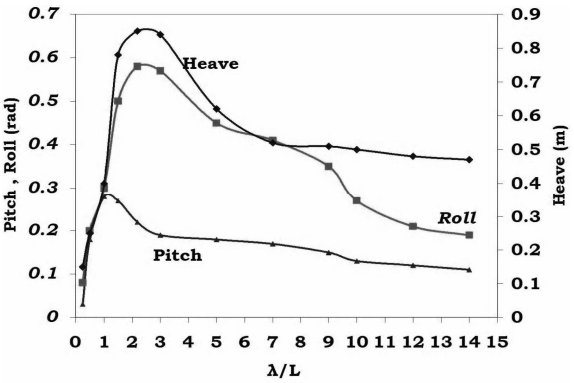
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

در این مقاله از شناور تندروی با فرم بدنه سری ۶۴ با مشخصات $\ell = 10(m)$، $B = 3(m)$ و $T = 1(m)$، برای انجام محاسبات استفاده شده است.



شکل ۵- تاثیر تغییرات زاویه برخورد موج به شناور برای بیشینه مقدار حرکتهای مختلف

همانطور که از نمودار شکل (۵) مشاهده می‌گردد، بیشترین تحریک در زاویه ۱۲۰ درجه برای برخورد موج با شناور بدست می‌آید. شکل (۶) اثر طول موج بر دامنه نوسان شناور را نشان می‌دهد. این نمودار بر اساس λ/ℓ های مختلف تا $\lambda/\ell = 15$ ترسیم شده است، زیرا برای مقادیر بیشتر λ/ℓ روابط بدست آمده نتایج غیر واقعی می‌دهند. در این حالت شناور سوار بر موج شده و موج سینوسی تاثیر زیادی بر شناور ندارد.

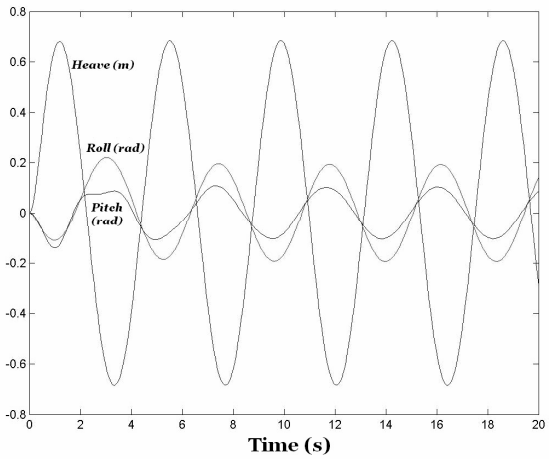


شکل ۶- تاثیر تغییرات طول موج (پریود موج) بر حرکات شناور

از نمودار شکل (۶) میتوان نتیجه گرفت که بیشترین تاثیر طول موج بر دامنه حرکتهای هیو و پیچ و رول در محدوده λ/ℓ بین ۱ تا ۲ اتفاق می‌افتد. در این محدوده به علت بالا بودن فرکانس تحریک موج که در طول موج پایین ایجاد می‌گردد، تاثیر بیشتری در مقایسه با فرکانس‌های کمتر که در طول موج بیشتر بوجود می‌آید بر دامنه نوسان شناور تاثیر دارد. طبق مطالب ذکر شده برای شرایط دریایی معمولی مقدار پریود موج ۸-۷ ثانیه در نظر گرفته می‌شود، که با در نظر گرفتن حرکت کشتی و سرعت آن در دریا، فرکانس تاثیر بروی شناور با استفاده از رابطه $\omega_e = \omega - ku\cos(\mu)$، در حدود $T_e = 4 - 4.5(Hz)$ خواهد شد. بعبارت دیگر در این حالت $\lambda/\ell = 10$ می‌باشد. با این فرض مقدار بیشینه دامنه حرکت هیو ۰/۵۵ متر، برای حرکت پیچ مقدار بیشینه ۷ درجه و برای حرکت رول بیشینه ۱۲ درجه می‌باشد. بنابراین این مقادیر برای تحلیل حرکت شناور در نظر گرفته شده است.

با در نظر گرفتن مطالب ذکر شده در بالا، تحریک وارده بر شناور برای ۱ متر ارتفاع موج و با زاویه برخورد موج ۱۲۰ درجه به شناور و پریود موج ۷/۵ ثانیه در شکل (۷) نشان داده شده است،که در تحلیل و طراحی سیستم رابط از آن استفاده خواهد شد.

همانطور که از شکل (۷) پیداست، تاثیر میرایی به دلیل انتخاب طول موج کوتاه (شرایط بحرانی) فقط در پریود اول مشهود است که با انتخاب طول موجهای بالاتر، میرایی آن مشخص خواهد بود.



شکل ۷- پاسخ شناور برای برخوردی با زاویه ۱۲۰ درجه

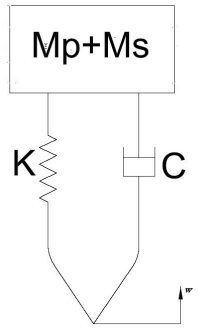
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

۳- سیستمهای انتقال دهنده ارتعاشی

برای بررسی اثرات امواج دریا بر بیمارانی که توسط یک شناور تندرو حمل می‌شوند و تحلیل و بررسی شتاب‌های وارده بر آنها، سیستم های ساده‌ای به صورت یک و دو درجه آزادی با سختی‌های ثابت را به عنوان تخت یا برانکادر بیمار در نظر می‌گیریم. در این حالت می‌توان به صورت تقریبی شتاب‌های وارده بر بیمار را تعیین کرده و در طراحی سیستم‌های بهینه از آن استفاده کرد. حداکثر دامنه شتاب و فرکانس های وارد بر بیمار در اثر لرزش‌های کشتی ناشی از امواج دریا در این قسمت بررسی و نتایج حاصله ارائه خواهد شد.

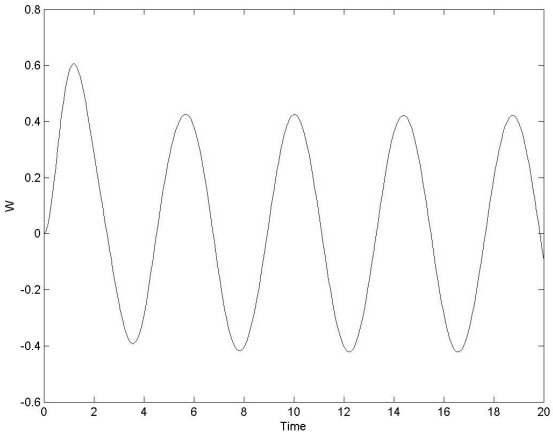
۳-۱- سیستم رابط یک درجه آزادی

در این سیستم همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌گردد، از یک سیستم یک درجه آزادی فنر و دمپر استفاده شده است که بیمار به صورت جرم متمرکز M_p و جرم برانکارد با M_s نشان داده شده است. w تحریک وارده بر برانکارد یا جابجایی شناور می‌باشد. برای تعیین مقدار تحریک w که بیشترین تاثیر را در طراحی برانکارد دارد، از بیشترین دامنه ممکن تحریک در روی شناور با در نظر گرفتن امکان نصب برانکارد در آن محل استفاده می‌شود.



شکل ۸- سیستم رابط یک درجه آزادی

با در نظر گرفتن مختصات شکل (۱)، محل نصب سیستم ارائه شده $v=1(m), u=-2(m)$ می‌باشد، که در این صورت تحریک وارده به سیستم مطابق $w = z - x\theta - y\phi$، شکل (۹) خواهد بود.



شکل ۹- منحنی تحریک

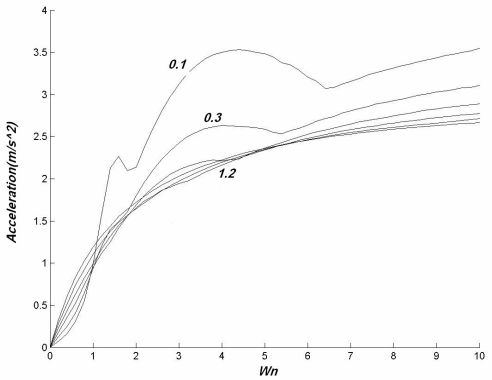
روابط حاکم بر این سیستم را می توان به صورت رابطه (۲۴) بیان کرد:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = C\dot{w} + Kw \qquad (۲۴)$$

با در نظر گرفتن پارامترهای $\omega_n = \sqrt{K/M}$ و $\xi = C/2\sqrt{KM}$، رابطه بالا به رابطه زیر تبدیل خواهد شد:

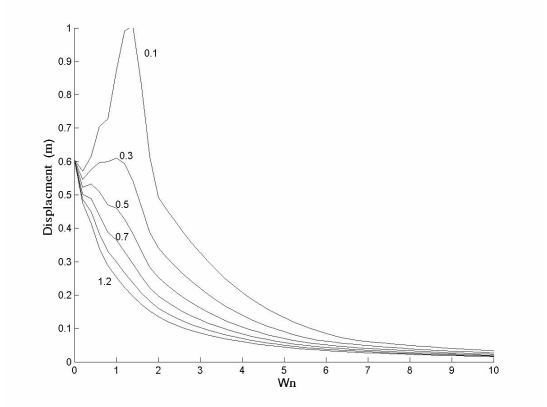
$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n\dot{x} + \omega_n{}^2 x = 2\xi\omega_n\dot{w} + \omega_n{}^2 w \qquad (۲۵)$$

حل رابطه (۲۵) برای محدوده‌های $0 < \omega_n < 10$ و $0.1 < \xi < 1.2$ برای شتاب و جابجایی بیشینه، در شکلهای (۱۰) و (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- شتاب وارده بر سیستم یک درجه آزادی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

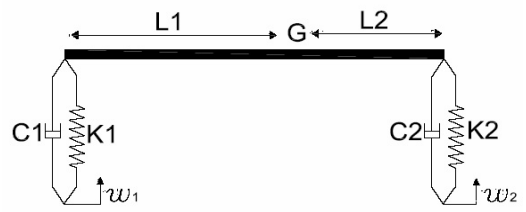


شکل ۱۱- جابجایی برانکارد از کف شناور

همانطور که از شکل (۱۰) پیداست، برای ایجاد شتاب مناسب و مجاز، ω_n در حدود $4-5(rad/s)$ باید انتخاب گردد که این باعث سختی حدود $1500(N/m)$ برای ۵۰ کیلوگرم و $2500(N/m)$ برای ۱۲۰ کیلوگرم می‌گردد. بنابراین تغییرات سختی برای وزنهای مختلف فرد، به صورت زیادی تغییر می‌کند و بکار بردن چنین سختی های برای وزن‌های اشاره شده غیر ممکن خواهد بود، زیرا در حالت تعادل باعث تغییر مکان بزرگی می‌شود، مگر اینکه در ابتدا فشردگی اولیه مورد نیاز برای فنر فراهم گردد. همچنین برای ایجاد وضعیت بهتر و شتاب وارده کمتر به شخص باید سیستم نرمتر گردد. که در این حالت تغییرات ارتفاع از کف شناور به حدود ۱متر می رسد که معقول نخواهد بود. برای کاهش این مقدار باید سختی سیستم را افزایش داد که این به معنی افزایش شتاب وارده بر بیمار خواهد بود.

۳-۲- سیستم رابط دو درجه آزادی

در این حالت یک سیستم دو درجه آزادی یک برانکارد، طبق شکل (۱۲) را مورد مطالعه قرار می‌دهیم که درجات آزادی شامل Z و θ می‌باشند.



شکل ۱۲- سیستم رابط دو درجه آزادی

روابط حرکتی سیستم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$M\ddot{z}+(C_1+C_2)\dot{z}+(K_1+K_2)z+(l_2C_2-l_1C_1)\dot{\theta}+(l_2K_2-l_1K_1)\theta=C_2\dot{w}_2+K_2w_2+C_1\dot{w}_1+K_2w_2 \quad (۲۶)$$

$$I\ddot{\theta}+\left(C_2l_2^{\,2}+C_1l_1^{\,2}\right)\dot{\theta}+\left(K_2l_2^{\,2}+K_1l_1^{\,2}\right)\theta+(C_2l_2-C_1l_1)\dot{z}+(K_2l_2-K_1l_1)z=l_2C_2\dot{w}_2+l_2K_2w_2-l_1C_1\dot{w}_1-l_1K_1w_1 \quad (۲۷)$$

برای بدست آوردن مقادیر l_1, l_2 و فاصله مرکز جرم بیمار از وسط تخت X_s از روابط ویلیامز که برای توزیع جرم و ممان اینرسی بیمار ارائه شده استفاده می‌شود : [4]

$$H_p = 0.42M_p^{\,0.333}$$

$$X_s = \frac{M_p\left(1-\ 0.42H_p\right)}{M_p+M_s}$$

$$I_p = 0.0056M_pH_p^{\,2}+M_p\left(1-\ 0.42H_p-\ X_s\right)^2$$

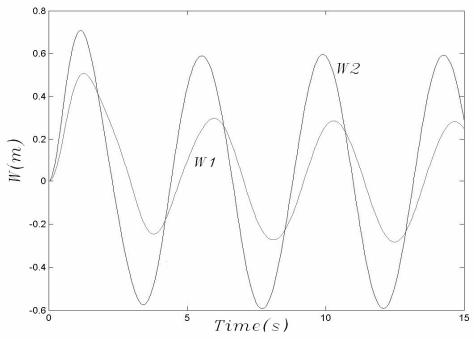
$$I_s = \frac{M_sl_s^{\,2}}{12}+M_sX_s^{\,2}$$

$$I = I_p + I_s$$

$$\begin{cases} l_1 = \dfrac{l_s}{2}+X_s \\ l_1 = \dfrac{l_s}{2}-X_s \end{cases} \quad (۲۸)$$

محل نصب پایه‌های سیستم در مکان‌های $u=1(m), v=-1(m)$ برای w_1 و مکان $u=1(m), v=-3(m)$ برای w_2 در نظر گرفته می‌شود، که در شکل (۱۳) نمودار این تحریک‌ها ترسیم شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]



شکل ۱۳- تحریک های w_2, w_1

از حل روابط (۲۶) و (۲۷)، نمودارهای شتاب و جابجایی از کف شناور برای برانکارد ، برای درجات آزادی θ, z برای مقادیر $K_1 = 2500(N/m)$ و $K_1 = 2800(N/m)$ در شکل های (۱۴) و (۱۵) برای وزن بیمارهای مختلف ترسیم شده است.

مشخصات در نظر گرفته شده برای برانکارد با توجه به استاندارد ملی ایران ۴۷۳۰ می‌باشد که وزن برانکارد خالی را ۲۵ کیلوگرم و درازای آنرا دو متر ذکر کرده است. [۱]

همانطور که از شکل های (۱۴) و (۱۵) پیداست، بیشترین شتاب وارده به بیمار در این حالت شتاب زاویه‌ای حاصل از حرکت زاویه ای است، که بدلیل اختلاف زیاد تحریک های w_2, w_1 می‌باشد که در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

مقدار بیشینه این شتاب در حدود $35(rad/s)$ برای وزن $60(kg)$ بیمار و $28(rad/s)$ برای وزن $120(kg)$ بیمار است. براساس استاندارد ایزو مقدار مجاز برای این شتاب برای حمل بیماران با شرایط بحرانی، باید کمتر از $2(rad/s)$ باشد، بنابراین سیستم تحت بررسی نمی‌تواند سیستمی مناسب برای حمل بیمار در نظر گرفته شود. همچنین مقدار شتاب حرکت قائم نیز با تغییر وزن بیمار بطور محسوسی تغییر می‌کند به صورتی که برای وزن $60(kg)$ بیمار مقدار آن $3(m/s^2)$ و برای وزن $60(kg)$ بیمار مقدار آن $2.5(m/s^2)$ می‌باشد، همچنین تغییرات ارتفاع برانکارد از کف شناور در این سیستم خیلی زیاد (در حدود ۱ متر) می‌باشد، که استفاده از این سیستم را غیر ممکن می‌سازد. بنابراین باید از سیستمی استفاده گردد که شتاب زاویه ای کاهش پیدا کرده و به حد مجاز برسد، و جواب سیستم برای وزنهای مختلف، زیاد تغییر نکند.

۴- نتیجه گیری

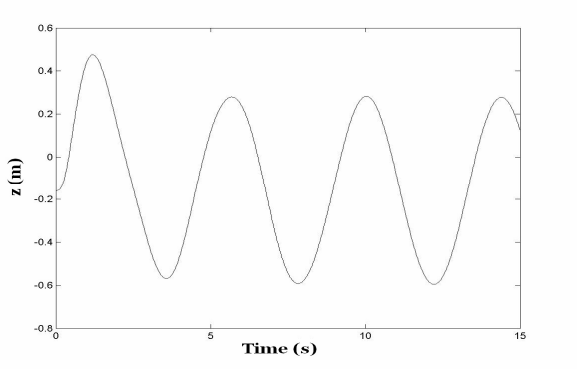
در این مقاله تاثیر موج بر ارتعاشات کشتی و در ادامه بر بیماری که توسط این شناور حمل می‌گردد، بررسی و تحلیل گردید. ابتدا از طریق روش نواری معادلات سه درجه آزادی حاکم بر شناور بدست آمده و کوپلینگ بین حرکت های آن تعیین گردید. سپس با استفاده از تصحیح های روش نواری، معادلات حرکتی شناور تندور که به عنوان آمبولانس دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مشخص شد.

با حل روابط بدست آمده پاسخ ارتعاشی شناور در اثر امواج مختلف تعیین شد. از این نتایج برای مشخص کردن تحریک وارده بر بیمار از طریق سیستم های رابط معمولی که شامل تخت حمل بیمار یا برانکارد است استفاده می‌شود.

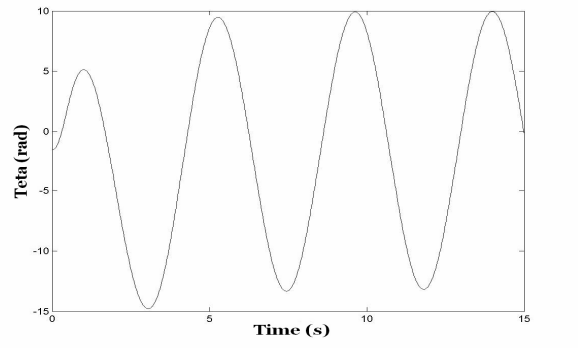
سپس سیستم های حمل معمولی و ساده یک و دو درجه آزادی برای پیش بینی و تخمین اولیه شتاب‌های وارده بر بیمار استفاده گردید. همانطور که مشاهده شد، سیستم رابط یک درجه آزادی، سیستم رابط مناسبی برای تحلیل و بررسی شتاب های وارده بر بیمار نمی‌باشد، زیرا نمی‌توان سختی و ضریب استهلاک مناسبی برای کنترل ارتعاشات وارده بر بیمار پیدا کرد، که در آن هم جابجایی بیمار از کف شناور و هم شتاب‌های وارده بر بیمار در محدوده مناسبی قرار بگیرند.

در سیستم رابط دو درجه آزادی، به علت اختلاف مکان نصب پایه های آن، شتاب زاویه ای وارده بر بیمار بسیار زیاد می‌باشد. همچنین رفتارهای متفاوت آن در وزن‌های مختلف بیمار، بعلت ثابت بودن سختی این نوع سیستم در وزن های مختلف بیمار، باعث شده است که شتاب های وارده بر بیمار در وزن های مختلف متفاوت بوده و بر اساس آیین نامه های ایزو که بر در سیستم رابط دو درجه آزادی، به علت اختلاف مکان نصب پایه های آن، شتاب زاویه ای وارده بر بیمار بسیار زیاد می‌باشد. همچنین رفتارهای متفاوت آن در وزن های

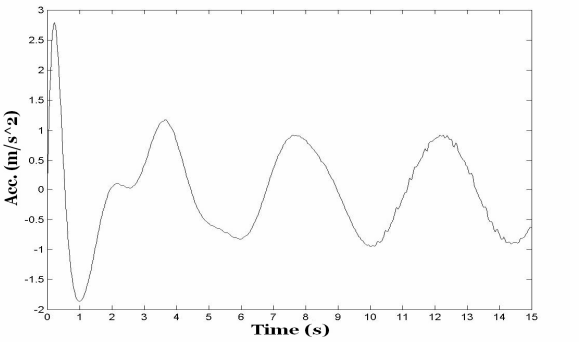
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]



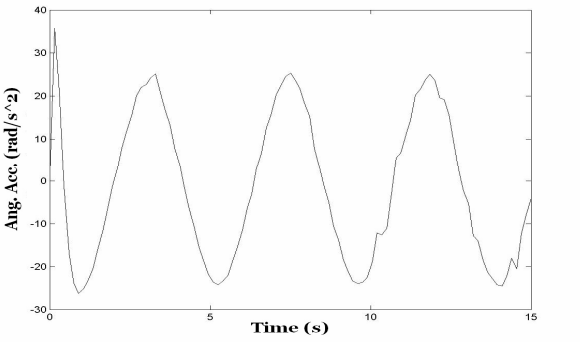
(الف)



(ب)



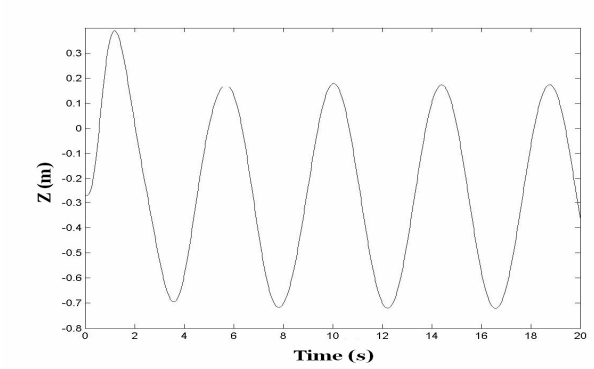
(ج)



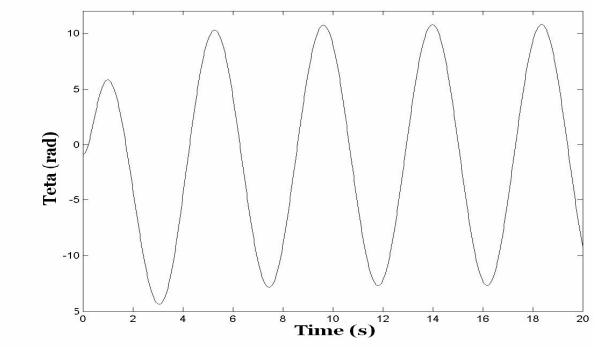
(د)

شکل ۱۴- الف: جابجایی عمودی ب: جابجایی زاویه ای
ج: شتاب عمودی د: شتاب زاویه ای
برای سیستم رابط دو درجه آزادی برای

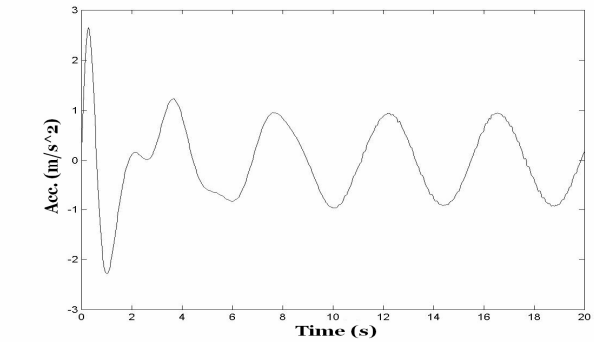
$$K_1 = 2800(N/m), K_1 = 2500(N/m), M_p = 60(kg)$$



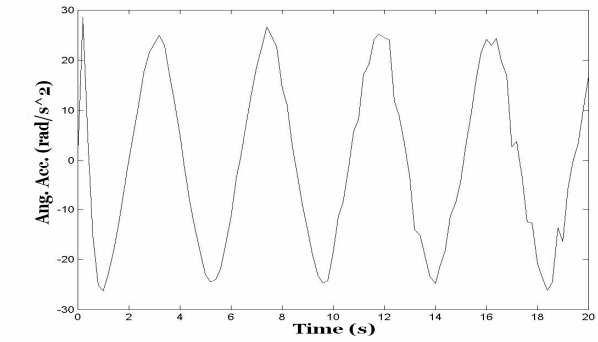
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱۵- الف: جابجایی عمودی ب: جابجایی زاویه ای
ج: شتاب عمودی د: شتاب زاویه ای
برای سیستم رابط دو درجه آزادی برای

$$K_1 = 2800(N/m), K_1 = 2500(N/m), M_p = 120(kg)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]

متفاوت بوده و بر اساس آیین نامه های ایزو که بر اساس فرکانس محدوده مجاز شتاب را برای تحمل بیمار بیان می‌کند، شتاب های وارده بر بیمار در این نوع سیستم رابط، در محدوده های غیر مجاز قرار بگیرد.

به صورت خلاصه باید ذکر گردد که در این مقاله تاثیر شتاب های وارده بر بیمار در اثر امواج دریا مورد بررسی قرار گرفت، تا مقدمه ای بر طراحی سیستم های متاسبی برای حمل بیمار در شناورها و آمبولانس‌های دریایی گردد، بنابراین برای طراحی سیستمی مناسب برای حمل بیمار باید سیستمی طراحی گردد که باعث کنترل مطلوب شتاب های عمودی و زاویه ای وارده بر بیمار بر اساس استاندارد ایزو گردد. چنین شرایطی هنگامی ایجاد خواهد شد که فاصله بین پایه های متصل کننده برانکارد به شناور دور از هم نبوده و در صورت امکان برانکارد در یک نقطه به شناور متصل گردد، که چنین شرایطی باعث تحلیل برانکارد با سختی متغیر می‌باشد. همچنین با در نظر گرفتن سختی های متغیر برای وزن‌های مختلف بیمار، رفتار مناسب‌تری در وزن‌های مختلف بیمار داشته باشد.

۵- مراجع

۱- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ،شماره استاندارد ۴۳۷۰ "برانکارد و سایر تجهیزات حمل بیمار در آمبولانس"، مهر ماه ۱۳۷۷.

۲- مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تالیف دکتر کبیر صادقی ۱۳۸۰، دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

3- Stammers, C.W. and D., Ambulance Stretcher Suspension, Instn Mech. Eng 1985.

4- ISO 2631/1-1985, Evaluation of human exposure to whole body vibration, Part 1: General requirement (maturational. Standarzation organization).

5- Bhattacharyya, R., 1974, Dynamics of Marine Vehicles. Wiley, London.

6- Bishop, R.E.D., Price, W.G., 1979. Hydroelectric of ships, Cambridge University Press.

7- Lewis, E. (Ed), 1989.Principles of Naval Architecture , vol. 3, Chapter VIII. Ed. SNAME.

8- F. Perez Arribas, J.A. Clemente Fernandez , Strip theories applied to the vertical motions of high speed crafts, Journal of Ocean Engineering, April 2005.

9- Sheming Fan , Jinzhu Xia , Simulation of Ship Motions - Coupled Heave, Pitch and Roll , Technical Report ,March, 2002.

۱۰- پایان نامه کارشناسی ارشد، " طراحی و تحلیل مکانیزم مناسب برای سیستم تعلیق برانکارد آمبولانس برای حمل بیمار در شرایط بحرانی" ، حسن بیک محمدی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر دانشکده مکانیک ۱۳۷۸.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1386.4.6.3.4]