



بررسی تاثیر مشخصات امواج دریا در حرکات شناورهای تندرو

علیرضا روشن‌بین *

* کارشناس ارشد مهندسی کشتی سازی

A.ROWSHANBEEN@Gmail.com

(تلفن: ۷۳۹۰۵۲۸۹ - ۰۲۱)

چکیده

با توجه به کاربرد روز افزون شناورهای پروازی (planning) سرعت بالا به عنوان شناورهای تفریحی، گشت ساحلی و شناورهای نظامی واکنش سریع، بررسی حرکات این نوع شناورها در امواج از اهمیت خاصی برخوردار است و نتایج آن معیاری برای تعیین میزان کارایی شناور در شرایط دریایی متفاوت می‌باشد. در این مقاله به منظور بررسی تاثیر امواج بر حرکات شناورهای تندرو پروازی، بر اساس روش تئوری نواری خاصی، حرکات شناورهای تندرو منشوری مدل شده و یک برنامه کامپیوتری به نام PBM (PLANING BOAT MOTION) بر این اساس تهیه شده است. در این برنامه فرض بر این بوده که امواج منظم، از جهت مقابل به شناور برخورد می‌کنند. پس از محاسبه نیروهای وارد بر شناور در هر مقطع، مجموع اثرات آنها در کل شناور محاسبه می‌شود و سپس معادله حرکات شناور حل می‌گردد. اعتبار نتایج عددی بدست آمده نیز از طریق مقایسه با اطلاعات موجود مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مقاله، همچنین با کمک نرم افزار PBM حرکات یک شناور واقعی در امواج بررسی شده و با تغییر مشخصات موج برخوردی به شناور، تاثیر عوامل مختلف بر حرکات این نوع شناورها مورد بررسی قرار گرفته است.



کلمات کلیدی: شناور تندرو ، حرکات شناور، تئوری نواری

علائم مورد استفاده

M جرم شناور	X_d فاصله مرکز جرم تا مرکز اعمال نیروی درگ
I ممان اینرسی $pitch$ شناور	اصطکاکی
N نیروی نرمال هیدرودینامیک	X_p بازوی ممان تراست حول مرکز جرم
D درگ اصطکاکی	V سرعت در صفحه مقطع عرضی نرمال نسبت
W وزن شناور	به $base\ line$ است
T_x مؤلفه تراست درجهت x	m_a جرم افزوده وابسته به شکل مقطع
T_z مؤلفه تراست درجهت z	$C_{D,C}$ ضریب درگ مقطع جریان
X_c فاصله مرکز جرم تا مرکز فشار برای بردار	ρ دانسیته سیال
نرمال	b نیم عرض شناور در هر مقطع

۱- مقدمه

امواج سطحی دریا باعث اعمال بارهای متناوب بر همه انواع سازه‌های ساخت بشر در دریا می‌شوند. امواج دریا و حرکات حاصل از آن در شناورها، باعث ایجاد مقاومت اضافی، کاهش سرعت و افزایش مصرف سوخت می‌شود. همچنین پاسخ شناور به پدیده‌هایی همچون خیسی عرشه و یا اسلیمینگ می‌تواند باعث به مخاطره افتادن ایمنی شناور شود.

انواع روشهای عددی برای آنالیز دینامیکی شناورهای فوق در امواج عبارتند از [۱]:

الف) روشهای نیمه تجربی

ب) $Panel\ Methods$ سه بعدی

د) روشهای متکی بر CFD

ه) $Planing\ Theory$ دو بعدی



توصیف تحلیلی شناورهای پروازی سرعت بالا در امواج، شامل چندین نوع مختلف از پدیده‌های جریانی از قبیل plan کردن، برخورد‌های هیدرودینامیک و به میزان کمتری شامل مسائل هیدرواستاتیک و سطح موج تولید شده خواهد بود. نیروی لیفت در شناورهای سطحی از جابجایی هیدرواستاتیک آب و از تغییر ممنتم دینامیکی آب در زیر شناور ناشی می‌شود. در سرعت‌های پایین نیروی لیفت محدود به نیروهای هیدرواستاتیک است و با افزایش سرعت نیروی لیفت هیدرودینامیکی افزایش یافته، شناور از آب به همان نسبت خارج می‌شود، خروج شناور از آب نیز به نوبه خود باعث کاهش نیروهای هیدرواستاتیکی خواهد شد. ریاضیات حاکم بر مسئله به سرعت در جهت غیر خطی بودن پیش می‌رود و در نتیجه آن حرکات پیچیده شده یا در بعضی از مواقع ناپایداری قابل توجهی همانند porpoising، مشاهده خواهد شد.

استفاده از روش‌های سه بعدی برای مدل کردن این جریانها و حرکات شناور به سبب محدودیتهای موجود در این روشها بسیار سخت و طاقت فرسا است. امروزه روش دو بعدی برای محاسبه فشار و به عنوان یک راه خوب برای سنجش طراحی‌های تجربی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق مراحل یک روش دو بعدی که توسط Zarnick (۱۹۷۸) ابداع شده، مورد استفاده قرار گرفته است. برای شناورهای پروازی جز در موارد محدود و منحصر به فرد، برنامه‌های کامپیوتری که قابلیت تخمین حرکات شناورهای جابجایی در امواج را برای تمام سرعتها داشته باشند، موجود نیست. بنابراین تهیه یک چنین نرم افزاری برای طراحان شناورهای کوچک بسیار مفید خواهد بود زیرا به آنها در برآوردهای اولیه طراحی و تعیین کارایی این شناور در امواج، کمک خواهد کرد. در این تحقیق با لحاظ کردن فرضهای ویژه‌ای، نرم‌افزاری نوشته شده که در آینده قابل توسعه خواهد بود. شرایط مسئله به شرح زیر است:

- یک بدنه منشوری V شکل با chine و deadrise ثابت، از نوع شناورهای پروازی سرعت بالا، در حالت حرکت رو به جلو و در شرایط موج منظم از جهت مقابل خواهد بود.
- فرمولاسیون ریاضی مسئله بر پایهٔ strip theory همراه با فرض وجود بارهای ضربه‌ای هیدرودینامیک، شکل گرفته است.
- در این تحقیق از امواج سطحی تولید شده، نیروهای ناشی از جریان چرخشی و غیرپایا صرف نظر شده است. به عبارت دیگر فرض شده که جریان پایا (یکنواخت) و غیرچرخشی است.



- موج ورودی به صورت یک موج تک فاز خطی آب عمیق با طول موج متوسط و شیب موج پایین خواهد بود. در قسمت بعد ابتدا روش مورد استفاده تشریح شده و سپس نتایج عددی بدست آمده، مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲- مدل ریاضی

محاسبات بر اساس سیستم محور مختصات ثابت (X, Z) (شکل ۱) انجام می‌شود. محور X در جهت سطح آب آرام، در راستای افق بوده و در جهت حرکت رو به جلو شناور مثبت خواهد بود، محور Z در جهت عمود بر سطح افق و رو به سوی پایین مثبت فرض خواهد شد.

اگر حرکات شناور را محدود به pitch به اندازه θ ، heave به اندازه Z_{CG} و surge به اندازه X_{CG} فرض کنیم معادله حرکات شناور به صورت زیر نوشته می‌شود [۵]:

$$\begin{aligned} M\ddot{X}_{CG} &= T_X - N \sin \theta - D \cos \theta \\ M\ddot{Z}_{CG} &= T_Z - N \cos \theta + D \sin \theta + W \\ I\ddot{\theta} &= NX_c - DX_d + TX_p \end{aligned} \quad (1)$$

معادلات فوق صورت کلی معادلات حرکت هستند. در هر روش نواری نیروهای هیدرودینامیک دو بعدی اعمال شونده بر روی هر مقطع عرضی دلخواه از بدنه، می‌بایست تعیین شود (شکل ۲).

که مشتق نیروهای هیدرودینامیکی در واحد طول با کمک فرمول زیر بدست می‌آید:

$$f = - \left\{ \frac{D}{Dt} (m_a V) + C_{D,C} \rho b V^2 \right\} \quad (2)$$

میزان تغییرات ممنتوم سیال نیز در هر مقطع به وسیله فرمول زیر بدست می‌آید [۲]

$$\frac{D}{Dt} (m_a V) = m_a \dot{V} + \dot{m}_a V - \frac{\partial}{\partial \xi} (m_a V) \frac{d\xi}{dt} \quad (3)$$

که ξ محور مختصات موازی با base line شناور است.

ورس در سال ۱۹۹۶ اظهار کرد که ضریب جرم افزوده به زاویه dead rise وابستگی زیادی دارد [۳]. شکل (۳) یک نمودار معادل ضریب جرم افزوده بدست آمده از مراجع مختلف است.

بنابراین انتگرال این نیروها نسبت به مختصات ثابت به صورت زیر خواهد بود [۴]:



$$-N \cos(\theta) = F_Z(t) = \int_l f \cos(\theta) d\xi - \int_l f_B d\xi$$

$$= - \int_l \left[\begin{aligned} & \left\{ m_a(\xi, t) \dot{V}(\xi, t) + \dot{m}_a(\xi, t) V(\xi, t) - U(\xi, t) \frac{\partial}{\partial \xi} [m_a(\xi, t) V(\xi, t)] \right\} \times \cos(\theta) d\xi \\ & + C_{D,C}(\xi, t) \rho b(\xi, t) V^2(\xi, t) \\ & - \rho g A d \xi \end{aligned} \right] \quad (4)$$

$$F_X = \int_L f \sin(\theta) d\xi$$

$$= - \int_l \left\{ \begin{aligned} & m_a(\xi, t) \dot{V}(\xi, t) + \dot{m}_a(\xi, t) V(\xi, t) - U(\xi, t) \frac{\partial}{\partial \xi} [m_a(\xi, t) V(\xi, t)] \\ & + C_{D,C}(\xi, t) \rho b(\xi, t) V^2(\xi, t) \end{aligned} \right\} \times \sin(\theta) d\xi \quad (5)$$

$$F_\theta(t) = - \int_l f(\xi, t) \xi d\xi - \int_l f_b \cos(\theta) \xi d\xi$$

$$= - \int_l \left\{ \begin{aligned} & m_a(\xi, t) \dot{V}(\xi, t) + \dot{m}_a(\xi, t) V(\xi, t) - U(\xi, t) \frac{\partial}{\partial \xi} [m_a(\xi, t) V(\xi, t)] \\ & + C_{D,C}(\xi, t) \rho b(\xi, t) V^2(\xi, t) - \rho g A \cos(\theta) \end{aligned} \right\} \xi d\xi \quad (6)$$

برای محاسبه هر یک از این نیروها باید ابتدا تاثیر امواج و نیروهای ناشی از آن مورد بررسی قرار گیرد. نیروی موج با صرف نظر از انکسار موج و با فرض اینکه نیروی تحریک موج ناشی از خصوصیات هندسی موج، تغییرات طول خیس، آبخور شناور، تغییرات سرعت نرمال V و تحت تاثیر عمودی سرعت گردشی موج در سطح آزاد (W_Z) می باشد، محاسبه می شود. از جزء افقی سرعت گردشی موج صرف نظر خواهد شد، زیرا فرض بر این است که مؤلفه افقی سرعت گردشی موج در مقایسه با سرعت رو به جلوی شناور بسیار کوچک است.

سرعت شناور نسبت به جزء عمودی سرعت موج به صورت زیر نوشته می شود [۲]:

$$U = \dot{x}_{CG} * \cos(\theta) - (\dot{z} - W_Z) * \sin(\theta) \quad (7)$$

$$V = \dot{x}_{CG} * \sin(\theta) - (\dot{z} - W_Z) * \cos(\theta) - \dot{\theta} \xi \quad (8)$$

با فرض عمیق بودن آب و خطی بودن موج، ارتفاع موجی که از رو به رو به شناور برخورد می کند از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$Z = Z_0 \cos(kx + \omega t) \quad (9)$$



Z_0 ارتفاع مشخصه موج، k عدد موج، ω فرکانس موج می‌باشد. صورت ماتریسی معادله (۱) به شکل زیر خواهد بود:

$$A\vec{X} = \vec{F} \quad (10)$$

که A ماتریس جرم شناور است. معادله (۱۰) را می‌توان با کمک یکی از روش‌های عددی مثل Runge-Kutta-Merson حل کرد.

برای حل این معادله باید بردار موقعیت اولیه شناور را به عنوان ورودی به سیستم وارد نمود. بردار موقعیت شناور $[X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6]$ به صورت در زیر نمایش داده می‌شود:

$$(X_1 = \dot{x}_{CG}, X_2 = \dot{z}_{CG}, X_4 = x_{CG}, X_3 = \dot{\theta}, X_5 = z_{CG}, X_6 = \theta) \quad (11)$$

اگر فرض شود که تغییرات سرعت‌ها در جهت رو به جلو، در مقایسه با سرعت شناور کوچک باشد، می‌توان معادلات حرکت را به صورت ساده‌تری نوشت. مفهوم این شرط قرار دادن یک مقدار ثابت به عنوان سرعت رو به جلو شناور و حذف معادله حرکت طولی است.

$$\ddot{X}_{CG} = 0 \ \& \ \dot{X}_{CG} = CONSTANT \quad (12)$$

۳- تشریح نرم‌افزار PBM

نرم‌افزار PBM در هر مقطع زمانی با حل معادلات حرکات شناور، مقادیر شتاب $heave$ و $pitch$ ، سرعت $heave$ و $pitch$ و مقادیر $heave$ و $pitch$ به همراه نیروی بویانسی و نیروی عمودی کلی وارد بر شناور در مرکز جرم را به صورت یک فایل Excel.xls بر روی درایو C رایانه ذخیره می‌نماید. صحت و دقت نرم‌افزار در تیز کارشناسی ارشد، به طور مفصل بررسی و تایید شده است. [۶]

۴- شناور مورد بررسی

این شناور (شکل ۴) به عنوان یک شناور گشت ساحلی طراحی و ساخته شده است و با توجه به سبکی بدنه قابلیت رسیدن به سرعت‌های بالا را دارد.



جنس بدنه این شناور از نوع فایبرگلاس می‌باشد و ظرفیت حمل ۴ سرنشین و یک سکاندار را دارد. سرعت ماکزیمم این شناور ۴۸ گره دریایی است و وزن شناور برابر ۱/۸ تن می‌باشد. دو موتور YAMAHA هر یک با توانی برابر ۲۰۰ اسب بخار به صورت outboard، شناور را به حرکت در می‌آورند.

مشخصات شناور که برای اجرای نرم افزار و مدل‌سازی حرکات مورد نیاز هستند در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

۵- بررسی تاثیر طول موج

با اعمال طول موج برابر ۵۰ متر و ۱۵۰ متر، تاثیر این پارامتر بر حرکات شناور مورد بررسی قرار خواهد گرفت در حالت اول فرض بر این خواهد بود که شناور SAR با زاویه Deadrise برابر ۳۰ درجه با سرعتی معادل ۳۰kn در موجی با طول موج ۵۰ متر و دامنه ۰/۲۵ متر حرکت نماید. در حالت بعد فرض بر این خواهد بود که شناور SAR با همان زاویه Deadrise و با همان سرعت در موجی با طول موج ۱۵۰ متر و دامنه ۰/۲۵ متر حرکت نماید. نمودارهای حرکات heave و pitch شناور در دو حالت بالا، در اشکال (۵) تا (۸) نشان داده شده است. با رسم نمودارهای بدست آمده از دو حالت فوق در کنار هم نمودارهایی به دست خواهند آمد که به مقایسه تغییر رفتار شناور در دو حالت فوق کمک خواهند کرد (اشکال ۹ تا ۱۲).

با توجه به شکلهای (۹) تا (۱۲) می‌توان دریافت که با افزایش طول موجها، پریودهای برخورد کاهش یافته و حرکات پریودیک شناور به صورت یکنواخت تری در می‌آید. هر چه طول موجها بزرگتر باشد به سبب افزایش پریود موج برخوردی پاسخهای شناور نیز کمتر بوده و شناور دچار نوسانات کمتری می‌گردد. در این حالت شناور گویی در امتداد پروفیل موج حرکت می‌کند و در نتیجه دامنه پاسخ heave و pitch آن کاهش می‌یابد. همزمان با کاهش دامنه heave شناور از میزان سطح خیس شناور نیز کاسته خواهد شد زیرا منحنی heave به سوی پایین مرکز محور عمودی متمایل می‌شود. دلیل یک چنین رفتاری را نیز، می‌توان به کوچک شدن نوسانات نیروی تحریک و یا عدم تغییر ناگهانی پروفیل سطح موج نسبت داد. در این حالت تاثیر نیروی بویانسی و مقدار نیروی درگ هر دو کاهش می‌یابند و در نتیجه جرم افزوده شناور نیز کاهش خواهد یافت. این در حالی است که نوسانات این نیروها و جرم افزوده نیز تا حد قابل توجهی کاهش یافته است.



۶- تاثیر دامنه موج

در این بخش با تغییر دامنه موج، مطابق با جدول (۲) تاثیر دامنه موج بر عملکرد شناور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در تمام حالات فرض بر این خواهد بود که شناور SAR با زاویه Deadrise برابر ۴۵ درجه با سرعتی معادل ۷۰ kn در موجی با طول موج برابر ۱۰۰ متر در حرکت است. شکل شماتیک حرکت شناور نسبت به موج، همچنین نمودارهای حرکات heave و pitch شناور به همراه نمودارهای نیروی بویانسی و جرمافزوده شناور برای هر یک از حالات بالا در اشکال (۱۳) تا (۲۷) نشان داده شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده، مشخص می‌شود که با افزایش دامنه امواج در یک طول موج مشخص، حرکات شناور نامتعادلتر شده، نوسانات محلی افزایش می‌یابد و رفتار شناور تا حدی غیر پریودیک می‌گردد. تغییر رفتار شناور نسبت به تغییر دامنه موج بسیار قابل ملاحظه است از این رو دامنه امواج می‌تواند پارامتری تعیین کننده در بررسی کارایی شناور باشد. با افزایش دامنه امواج، دامنه نوسانات heave و pitch شناور و ماکزیمم مقدار این حرکات، هر دو افزایش یافته و در نتیجه پدیده‌هایی نظیر خروج از آب و deck wetness در شناور دیده می‌شود. همچنین با افزایش دامنه موج تعداد دفعات تکرار پدیده اسلمینگ در طول یک پریود افزایش می‌یابد که این امر باعث وقوع ارتعاش در سازه شناور و کاهش عمر آن می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با کمک نرم افزار PBM حرکات شناور SAR در دو درجه آزادی (حرکت قائم و غلتش طولی) در امواج روبرو بررسی شده و با تغییر مشخصات موج برخوردی به شناور، تاثیر امواج بر حرکات این شناور مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج زیر از این بررسی بدست آمده است :

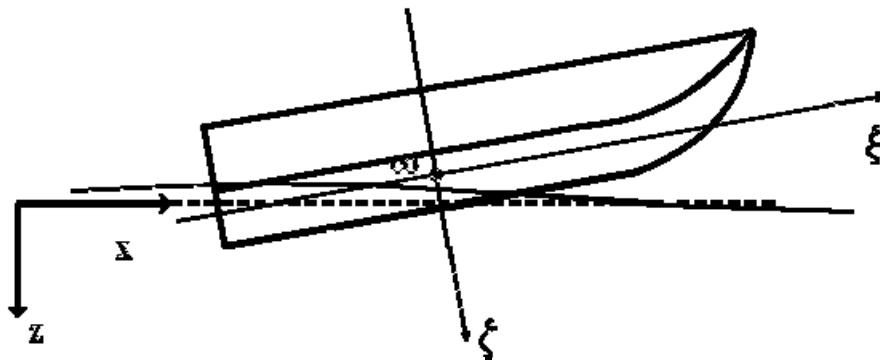
۱. با افزایش طول موجها، پریودهای برخورد کاهش یافته و حرکات پریودیک شناور بصورت یکنواخت تری در می‌آید.



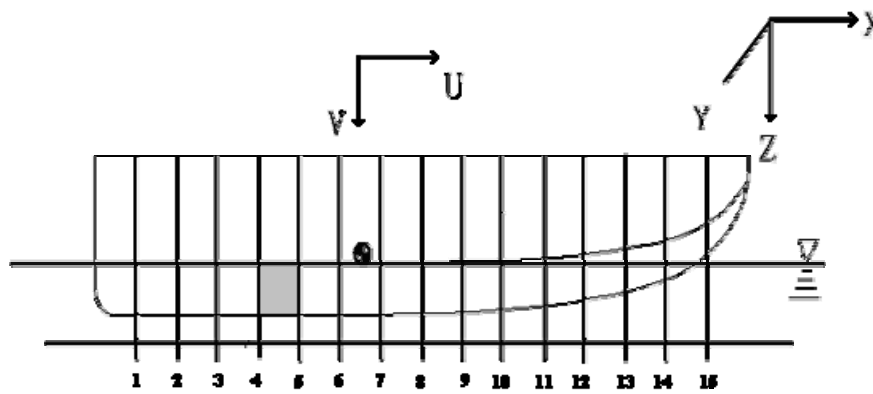
۲. با افزایش طول موجها، دامنه حرکات شناور کاهش یافته، همزمان با کاهش دامنه heave شناور از میزان سطح خیس شناور نیز کاسته شده و منحنی heave به سوی پایین مرکز محور عمودی متمایل می‌شود. تغییر رفتار شناور نسبت به تغییر دامنه موج بسیار قابل ملاحظه است.
۳. با افزایش دامنه امواج در یک طول موج مشخص، حرکات شناور نامتعادلتر شده، نوسانات محلی افزایش می‌یابد و رفتار شناور تا حدی غیر پریودیک می‌گردد.
۴. با افزایش دامنه امواج، دامنه نوسانات heave و pitch شناور و ماکزیمم مقدار این حرکات، هر دو افزایش یافته و در نتیجه پدیده‌هایی نظیر خروج از آب و deck wetness در شناور دیده می‌شود.

۸- مراجع:

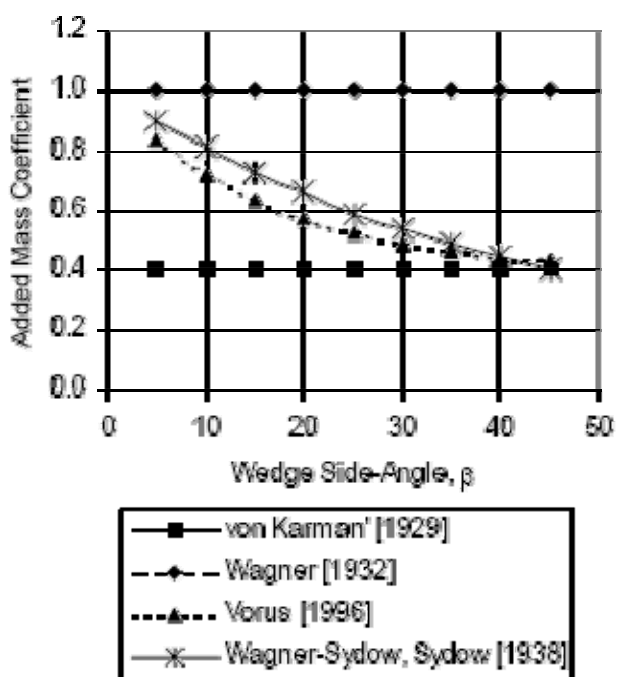
- [1] Richard H. Akers, Dynamic Analysis of Planing Hulls in the Vertical Plane, 1999.
- [2] ZARNICK, ERNEST E, A Nonlinear Mathematical Model of Motions of a Planing Boat in Regular Waves, 1978. David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center
- [3] VORUS, WILLIAM S, A Flat Cylinder Theory for Vessel Impact and Steady Planing Resistance, 1996. Journal of Ship Research
- [4] VON KARMAN', T. The Impact of Seaplane Floats During Landing, 1929. NACA Technical Note TN 321, Washington, D.C.
- [5] MARTIN, M. Theoretical Predictions of Motions of High-Speed Planing Boats in Waves, 1976. David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, DTNSRDC-76/0069.
- [۶] روشن‌بین، ع. بررسی حرکات دو درجه آزادی شناور تندرو در امواج منظم، ۱۳۸۳. کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.



شکل (۱) - مختصات محلی متصل به شناور و مختصات کلی ثابت (حالت فرضی شناور نسبت به موج منظم)



شکل (۲) - تقسیم شناور به مقاطع عرضی



شکل (۳) - نمودارهای ضریب جرم افزوده بدست آمده از منابع مختلف

شکل (۴) - نمایی از شناور SAR



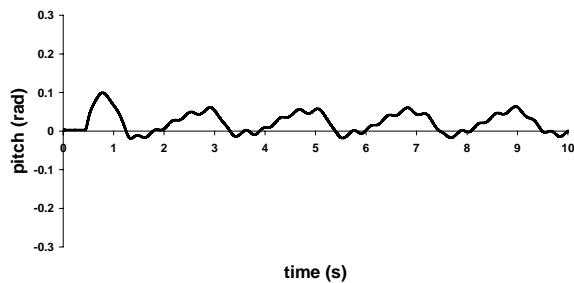
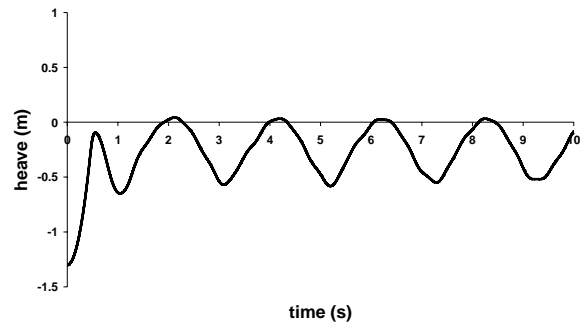
جدول (۱) - مشخصات ابعادی شناور SAR

شناور	جرم	شعاع ژیراسیون	LCG نسبت به پاشنه (m)	طول	عرض
SA R	(kg)	(m)		(m)	(m)
	1800	1.9	2.6	7.8	2



جدول (۲) - دامنه‌های مختلف موج در طول موج ۱۰۰ متر

حالت	دامنه موج (m)
e	0.25
f	50
g	100

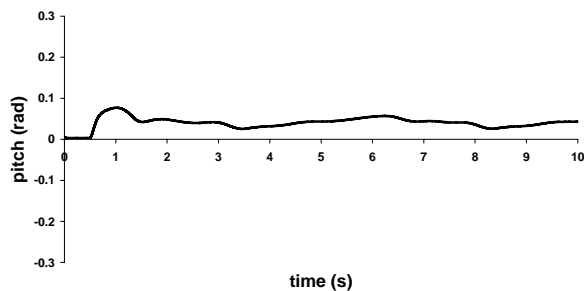
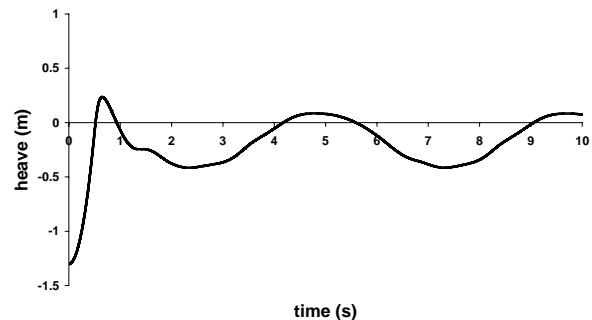
l = 50 m , v = 30 kn
FOR SARl = 50 m , v = 30 kn
FOR SAR

شکل (۶) - نمودار تغییرات pitch بر حسب زمان

$$(l=50 \text{ m} , b=30 , V= 30 \text{ Kn})$$

شکل (۵) - نمودار تغییرات heave بر حسب زمان

$$(l=50 \text{ m} , b=30 , V= 30 \text{ Kn})$$

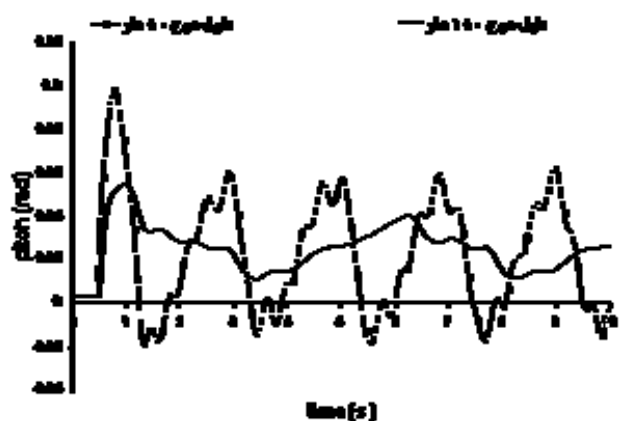
l = 150 m , V = 30 kn
FOR SARl = 150 m , V = 30 kn
FOR SAR

شکل (۸) - نمودار تغییرات pitch بر حسب زمان

$$(l=150 \text{ m} , b=30 , V= 30 \text{ Kn})$$

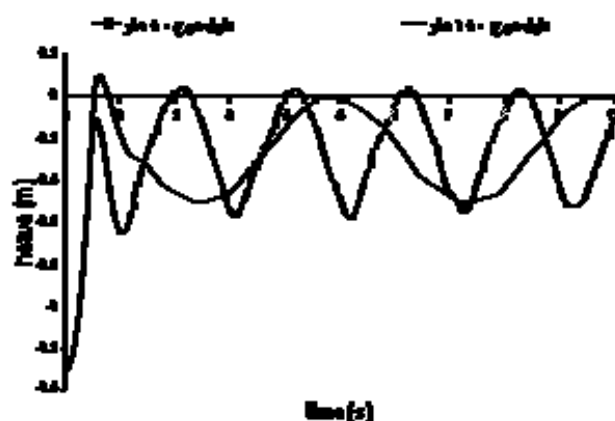
شکل (۷) - نمودار تغییرات heave بر حسب زمان

$$(l=150 \text{ m} , b=30 , V= 30 \text{ Kn})$$



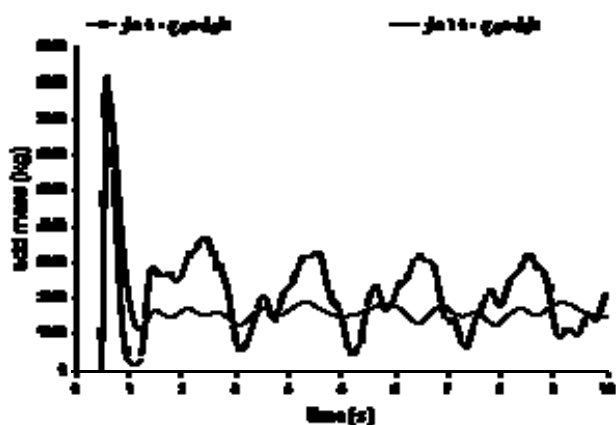
شکل (۱۰) - نمودار تغییرات pitch بر حسب زمان

$$(b=30, V=30 \text{ Kn})$$



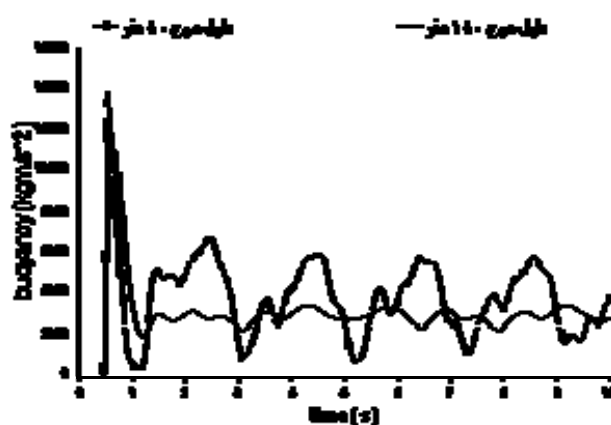
شکل (۹) - نمودار تغییرات heave بر حسب زمان

$$(b=30, V=30 \text{ Kn})$$



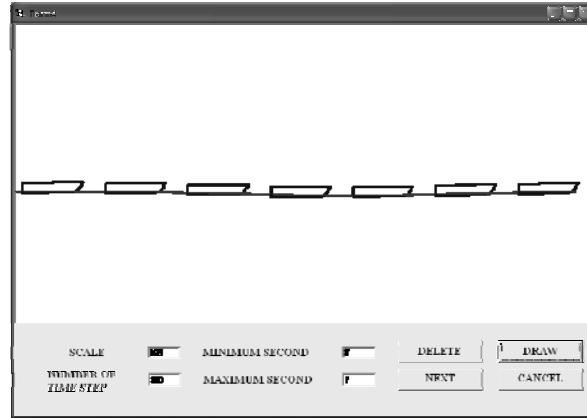
شکل (۱۲) - نمودار تغییرات جرم افزوده بر حسب زمان

$$(b=30, V=30 \text{ Kn})$$

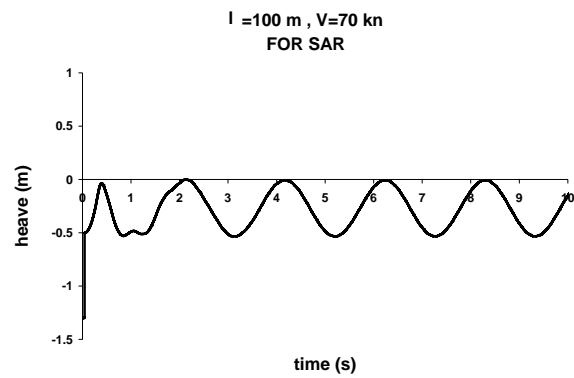
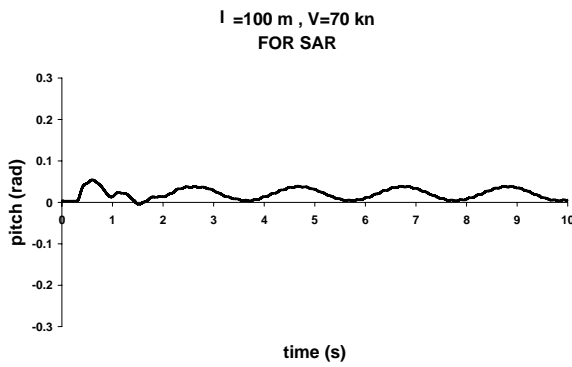


شکل (۱۱) - نمودار تغییرات نیروی بویانسی بر حسب زمان

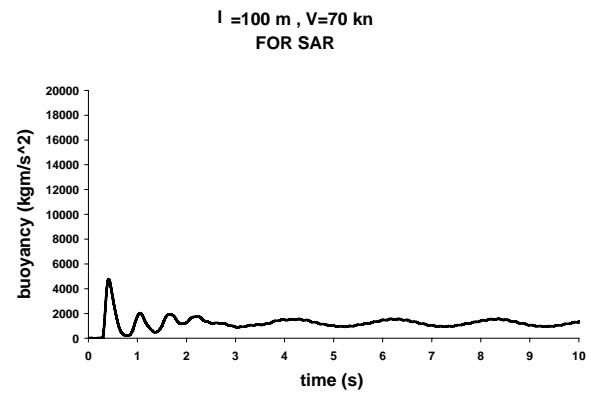
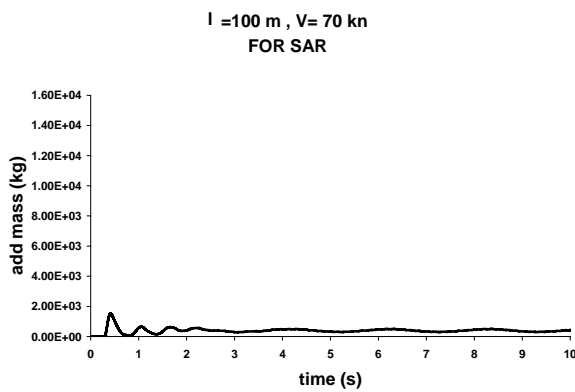
$$(b=30, V=30 \text{ Kn})$$



شکل (۱۳) - حرکت شناور نسبت به سطح موج بر حسب زمان (حالت e)

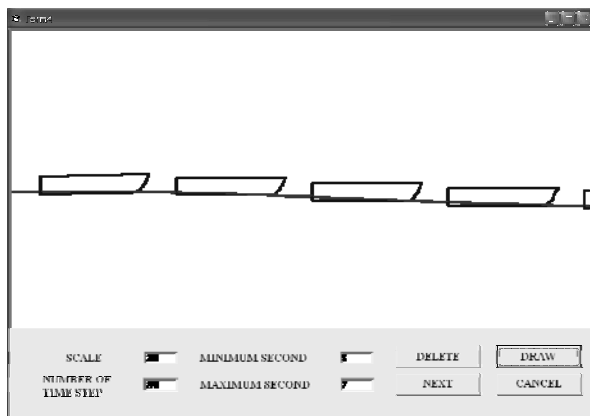


شکل (۱۴) - نمودار تغییرات heave بر حسب زمان (حالت e) شکل (۱۵) - نمودار تغییرات pitch بر حسب زمان (حالت e)

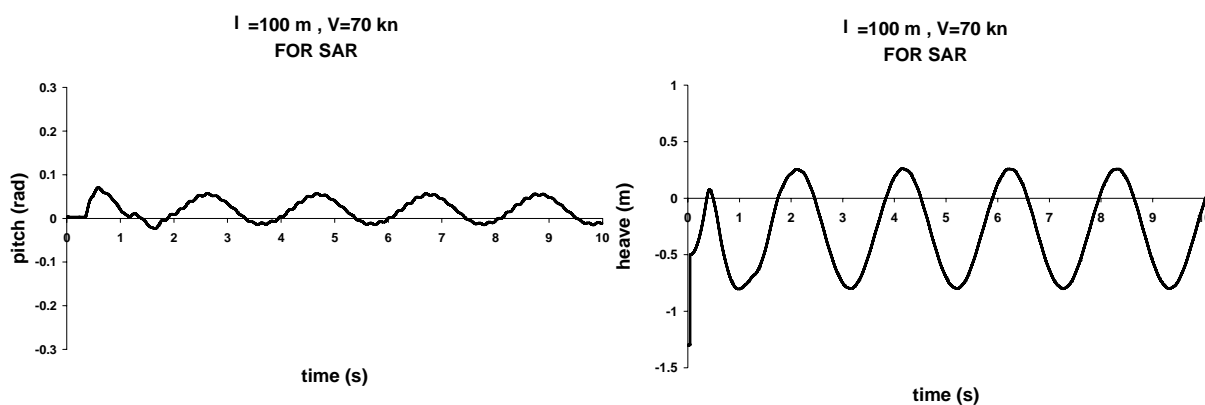


شکل (۱۷) - نمودار تغییرات سرعت pitch بر حسب زمان (حالت e)

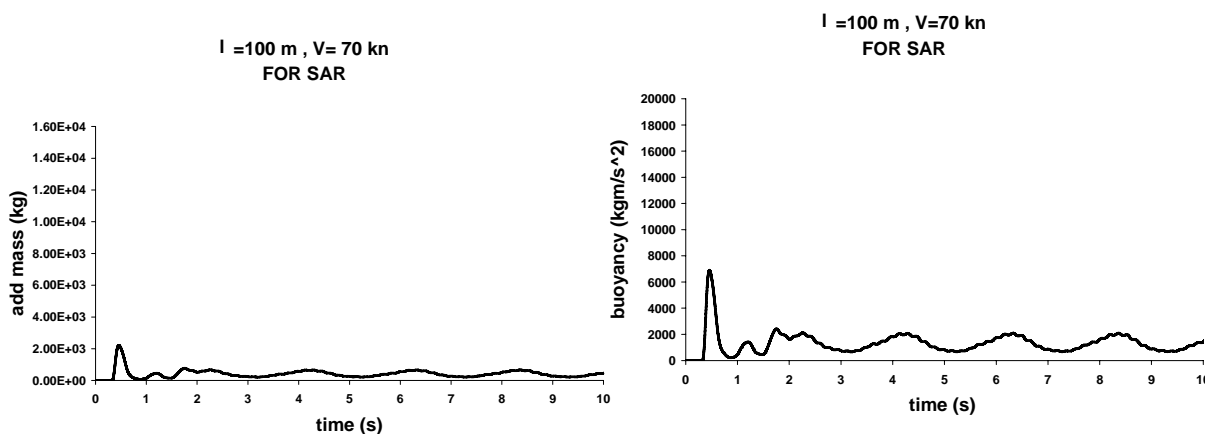
شکل (۱۶) - نمودار تغییرات سرعت heave بر حسب زمان (حالت e)



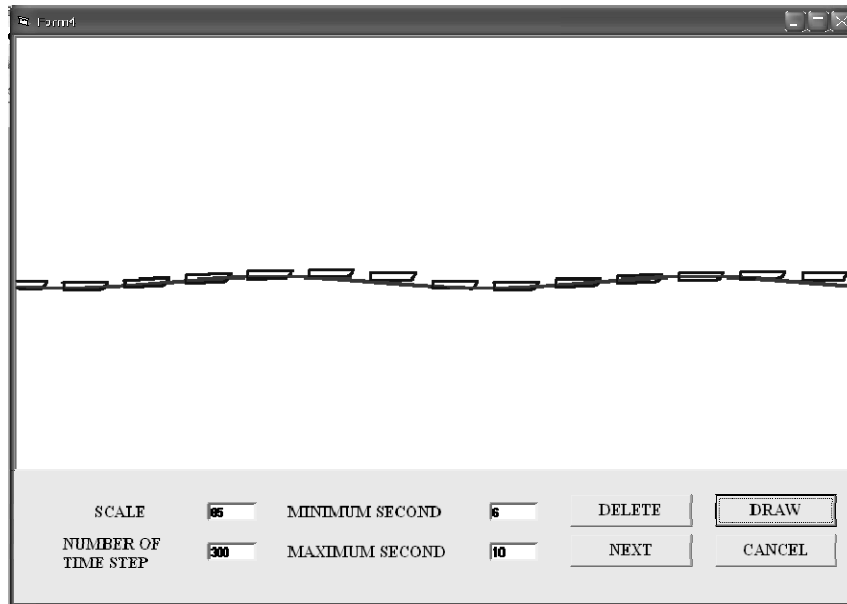
شکل (۱۸) - حرکت شناور نسبت به سطح موج برحسب زمان (حالت f)



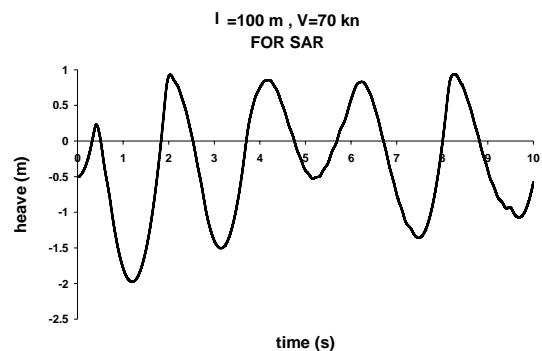
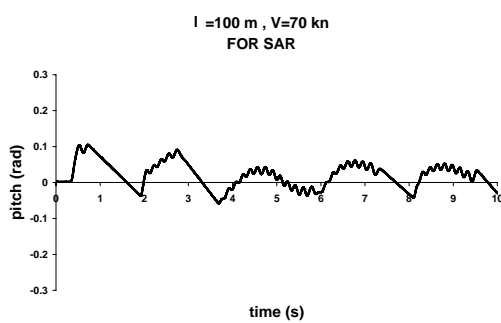
شکل (۱۹) - نمودار تغییرات heave برحسب زمان (حالت f) شکل (۲۰) - نمودار تغییرات pitch برحسب زمان (حالت f)



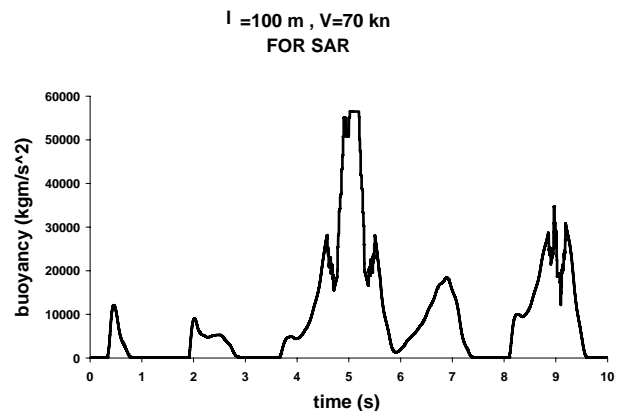
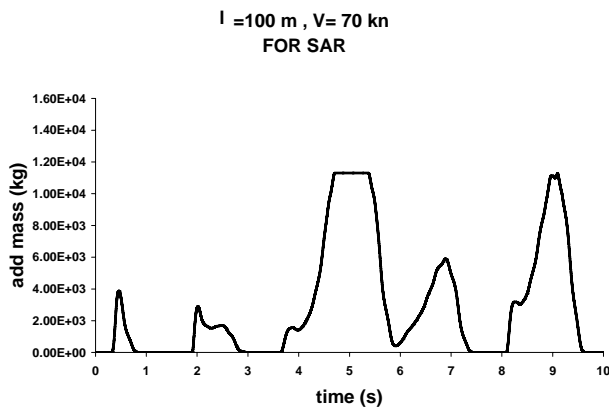
شکل (۲۱) - نمودار تغییرات نیروی بویانسی برحسب زمان (حالت f) شکل (۲۲) - نمودار تغییرات جرم افزوده برحسب زمان (حالت f)



شکل (۲۳) - حرکت شناور نسبت به سطح موج برحسب زمان (حالت g)



شکل (۲۴) - نمودار تغییرات heave برحسب زمان (حالت g) شکل (۲۵) - نمودار تغییرات pitch برحسب زمان (حالت g)



شکل (۲۶) - نمودار تغییرات نیروی بویانسی برحسب زمان (حالت g) شکل (۲۷) - نمودار تغییرات جرم افزوده برحسب زمان (حالت g)