



شبیه سازی امواج گروهی در حالت دو بعدی

محمد جواد کتابداری، رضا محمدپور چهرقانی

مقدمه

امواج آب تحت اثر تنش برشی باد که روی سطح دریاها و اقیانوسها می وزد بوجود می آیند . مطالعه این امواج اهمیت حیاتی در طراحی و ساخت کشتیها ، سازه های فراساحلی و ساحلی دارد . گر چه مطالعه روی امواج دریا عمری حدود دو قرن دارد اما پیشرفتهای در این زمینه رضایتبخش نبوده است . علت این امر سه بعدی بودن ، رفتار غیر خطی و طبیعت تصادفی امواج واقعی دریا است . برای درک این امواج و یافتن مکانیزم اثر آنها در حمله به سواحل و سازه های دریایی لازم است این امواج در شرایط کنترل شده آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گیرند . اما مشکل اصلی در این رابطه این است که امواجی که تا کنون در آزمایشگاهها تولید شده اند با امواج واقعی دریاها متفاوت بوده اند . مطالعات اخیر نشان داده اند که امواج خطرناک دریا به صورت گروهی ظاهر می شوند . این امواج نزد دریانوردان به امواج تشدید شده معروفند .

از جمله افرادی که در این زمینه مطالعات گسترده ای انجام داده اند عبارتند از فونک و منسارد که روشی را با نام خود در سال ۱۹۸۰ ارائه نمودند و کتابداری و کوتس که روش جدید تری را در سال ۲۰۰۰ به نام خود ثبت کردند .

مقاله حاضر برگرفته از جدیدترین کار بر روی امواج گروهی است که توسط نویسندگان مقاله حاضر (کتابداری و محمدپور) در سال ۲۰۰۳ انجام پذیرفت .

کلمات کلیدی :

شبیه سازی امواج ، امواج گروهی ، فاکتور گروهی ، طیف انرژی امواج ، طول گام ، ارتفاع موج حدی .

امواج گروهی

مشاهدات محلی و رکوردهای ثبت شده در سطح آب دریاها و اقیانوسها نشان می دهد که امواج خطرناک معمولاً به صورت گروهی ظاهر می شوند . متأسفانه علیرغم اهمیت زیاد امواج گروهی کارهای تحقیقاتی بر روی آنها سابقه ای بیش از سه دهه ندارد . دلیل این امر نامشخص بودن منشأ امواج گروهی و فقدان تئوریهای مناسب جهت ساخت مدل ریاضی آنها می باشد . تاریخ نشان می دهد مردان دریا از بیش از چند قرن پیش امواج گروهی را می شناختند و از آنها وحشت داشتند به طوری که ماژلان در قرن شانزدهم در لاگ بوک خود می نویسد :

Dangerous waves come in groups .

یکی از ملوانان در قرن هفدهم می نویسد :

Groupy waves have enough power to break the ship in two parts .



نویسنده کتاب پاپیون در کتاب خود از امواج در دسته های هفت تایی نام میبرد که در برخورد به صخره های جزیره می شکستند و موج قوی برگشتی موجی بود که باید پاپیون را از جزیره ای که در آن تبعید بود نجات می داد .

تحقیقات نشان می دهد که امواج گروهی اثر تخریبی بر روی موج شکنها ، سازه های شناور مهار شده و دیگر سازه های دریایی دارند . همچنین این امواج می توانند باعث ایجاد پدیده رزونانس در بنادر و چپ شدن کشتیها گردند . با توجه به گفته های بالا می توان به اهمیت بررسی امواج گروهی پی برد . برای طراحی سازه های دریایی نیاز است که حتماً اثرات امواج گروهی بر روی سازه ، مورد بررسی قرار گیرد چرا که با در نظر گرفتن اثرات امواج به صورت ساده بر روی سازه های دریایی نمی توان طراحی دقیقی انجام داد .

دانشمندان متعددی بر روی امواج گروهی کار کرده اند و روشهای مختلفی برای بررسی امواج گروهی ارایه نموده اند . از جمله کسانی که در این زمینه مطالعاتی انجام داده اند می توان به فونک و منسارد^۱ ، لیست^۲ ، کتابداری و کوتس^۳ ، کتابداری و محمدپور^۴ اشاره نمود .

فونک و منسارد در کانادا در سال ۱۹۸۰ اولین کسانی بودند که سعی در مدل نمودن و شبیه سازی این امواج کردند . مدل آنها به دو دلیل عمده به فراموشی سپرده شد :

۱- عدم درک اهمیت امواج گروهی در زمان آنها .

۲- وجود اشکالاتی در مدل آنها که کاربرد آن را غیر عملی می نمود و امواج تولیدی شباهت کمی به امواج واقعی گروهی دریا داشتند .

اگر چه امواج شبیه سازی شده توسط فونک و منسارد دارای معایبی بودند ولی افق تازه ای در بررسی بهتر این امواج باز نمودند . فونک و منسارد فاکتوری به نام فاکتور گروهی برای شناسایی امواج گروهی معرفی نمودند . این فاکتور گروهی دارای ایراداتی بود که بعدها توسط کتابداری و کوتس اصلاح گردید . کتابداری و کوتس در بیرمنگام انگلیس بین سالهای ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹ کارهای تحقیقاتی زیادی بر روی این امواج انجام دادند و ضمن نشان دادن اهمیت این امواج با اصلاح مدل فونک و منسارد و ارائه تئوری جدید برای ارزیابی امواج گروهی در واقع این موضوع را مجدداً احیا نمودند .

فاکتور اصلاح شده معیار بسیار خوبی برای شناسایی امواج گروهی می باشد . امواج شبیه سازی شده فوق با استفاده از روش اصلاح شده در فلوم توسط کتابداری و کوتس مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج بسیار خوبی بدست آمد .

مقاله حاضر برگرفته از جدید ترین کار بر روی این امواج بر اساس مدل کتابداری و کوتس می باشد که در جهت تکمیل تر کردن آن تلاش گردیده است .

روش فونک و منسارد

فونک و منسارد شاید اولین کسانی بودند که در سال ۱۹۸۰ سعی نمودند امواج گروهی را با تعریف پارامتری به نام فاکتور گروهی مدل نمایند . روش ارائه شده توسط فونک و منسارد به روش سیوه^۱ معروف است .

۱- Funke and Mansard

۲-list

۳- Ketabdari and Coats

۴- Ketabdari and Mohammad pour



فرمول ارائه شده برای فاکتور گروهی توسط فونک و منسارد به شرح ذیل می باشد :

$$GF = \frac{\sqrt{\frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} [E(t) - \bar{E}]^2 dt}}{\bar{E}} = \frac{\sqrt{m_{\varepsilon 0}}}{m_0}$$

که در رابطه فوق خواهیم داشت :

$$E(t) = \frac{1}{T_n} \int_{-\infty}^{\infty} \eta^2(t + \tau) Q(\tau) d\tau$$

$$Q(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{|\tau|}{T_p} & |\tau| < T_p \\ 0 & |\tau| > T_p \end{cases}$$

که در روابط بالا \bar{E} متوسط انرژی موج گروهی ، E انرژی موج ، η جا به جایی سطح آب ، T_n پریود محدوده موج ثبت شده ، T_p پریود پیک طیف موج و $Q(\tau)$ یک تابع هموار ساز می باشد .
حال با داشتن مقدار $Q(\tau)$ در محدوده $-T_p$ و T_p برای فرمول سیوه خواهیم داشت :

$$\begin{cases} E(t) = \frac{1}{T_p} \int_{-T_p}^{T_p} \eta^2(t + \tau) Q(\tau) d\tau \\ T_p \leq t \leq T_n - T_p \end{cases}$$

و برای فواصل ابتدایی و انتهایی خواهیم داشت :

$$\begin{cases} E(t) = \frac{2}{(T_p + t)} \int_{-t}^{T_p} \eta^2(t + \tau) Q(\tau) d\tau \\ 0 \leq t < T_p \end{cases}$$

$$\begin{cases} E(t) = \frac{1}{T_p + (T_n - t)} \int_{-T_p}^{T_n - t} \eta^2(t + \tau) Q(\tau) d\tau \\ T_n - T_p < t \leq T_n \end{cases}$$

در این روش فاکتور گروهی در واقع انحراف معیار انرژی موج نسبت به متوسط آن می باشد که توسط انرژی موج متوسط بی بعد گردیده است .



روش لیست

فرد دیگری به نام لیست در سال ۱۹۹۱ تلاش نمود امواج گروهی را با استفاده از تکنیک بدست آوردن تابع پوش منحنی سری زمانی موج مدل نماید. حاصل کار او فاکتور گروهی امواج به صورت زیر می باشد:

$$GF = \frac{\sqrt{2}\sigma_A}{A(t)}$$

در فرمول فوق $A(t)$ منحنی پوش موج و σ_A انحراف معیار آن می باشد. آقای لیست فقط فاکتور گروهی امواج را معرفی نمود و اقدامی جهت شبیه سازی امواج گروهی انجام نداد.

روش کتابداری و کوتس

مدل جدیدی توسط کتابداری و کوتس در سال ۲۰۰۰ برای محاسبه فاکتور گروهی ارائه گردید. کتابداری و کوتس ادعا نمودند که پارامترهای انتخاب شده توسط فونک - منسارد و لیست برای مشخص کردن گروه های موج لازم ولی ناکافی بوده اند. بنابراین کتابداری و کوتس پارامتر دیگری به نام طول گام^۱ را برای محاسبه فاکتور گروهی انتخاب نمودند. براساس این روش فاکتور گروهی یک موج به تعداد امواج پشت سر هم که ارتفاع آنها از یک ارتفاع موج معین به نام ارتفاع موج حدی^۲ بیشتر باشد بستگی دارد. در نهایت تعریف جدیدی برای فاکتور گروهی امواج به شکل زیر پیشنهاد گردید:

$$GF = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{tr}} \sum_{k=1}^{k=N_j} j_{1k} \sum_{i=1}^{i=i_j} (H_i - H_T)^2}}{H_T}$$

که در رابطه بالا داریم:

H_T : ارتفاع موج حدی که همان $H_{1/3}$ است

N_{tr} : تعداد کل امواج با ارتفاع بیشتر از ارتفاع موج حدی

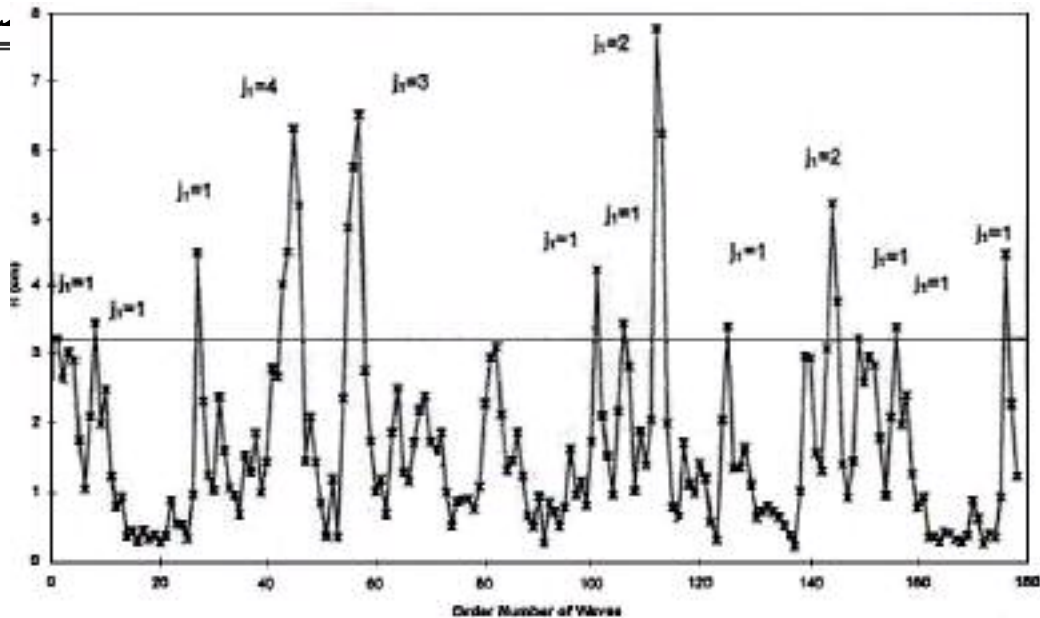
N_j : تعداد گامها در سری زمانی موج

i_j : تعداد موج در هر گام

پارامترهای فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.

^۱-Rung length

^۲-Threshold wave height



شکل ۱: پارامترهای دخیل در فرمول جدید فاکتور گروهی ($H_T = 3.2$ ، $N_{ir} = 20$ ، $N_j = 13$) .

برای محاسبه فاکتور گروهی به روش جدید ابتدا باید H_T را محاسبه نمود . برای محاسبه H_T دو روش وجود دارد که در ذیل به آنها اشاره خواهد شد .

الف) محاسبه ارتفاع موج حدی به روش طیفی در این روش ابتدا با داشتن یک موج ، طیف انرژی را برای موج فوق رسم نموده و سپس با استفاده از طیف انرژی مقدار ارتفاع موج حدی را محاسبه می نماییم . خواهیم داشت :

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega$$

$$H_T = H_{1/3} = 4\sqrt{m_0}$$

ب) محاسبه ارتفاع موج حدی به روش آماری

در این روش ابتدا فاصله قائم بین قله و قعر را برای دونقطه تقاطع صفر^۱ به سمت بالا یا به سمت پایین را برای کل موج محاسبه می نماییم . شماره هر کدام از این موج ها را عدد موج می گوئیم . بنابراین برای هر عدد موج یک ارتفاع موج خواهیم داشت . با استفاده از روابط زیر ارتفاع موج حدی را به روش آماری محاسبه می نماییم :

$$H_{rms} = \sqrt{\sum \frac{H_i}{N}}$$

$$H_T = H_{1/3} = 1.416H_{rms}$$

در روش آماری برای محاسبه ارتفاع موج حدی می توان از رابطه زیر هم استفاده نمود (این رابطه به نظر می رسد که دقیق ترین جواب را در بر داشته باشد ، چون در روابط قبلی در بعضی از جاها ممکن است که از تقریب استفاده شده باشد و به همین علت ارتفاع موج حدی استفاده شده در فرمول کتابداری و کوتس از این روش محاسبه شده است) .



$$H_{\frac{1}{3}} = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} H_i}{N/3}$$

که در رابطه فوق H_i ها عبارتند از بزرگترین ارتفاع های موج (ارتفاع های موج را به روش گفته شده بدست آورده و آنها را به ترتیب ارتفاع از بزرگ به کوچک مرتب نموده و میانگین یک سوم بزرگترین ارتفاعهای موج را محاسبه می نماییم) .

حال نمودار ارتفاع بر حسب عدد موج را رسم نموده و روی نمودار ارتفاع موج حدی را رسم می نماییم . حال با استفاده از ارتفاع موج حدی سایر پارامترها را می توانیم محاسبه نماییم .

روش کتابداری و محمدپور (روش تصادفی)

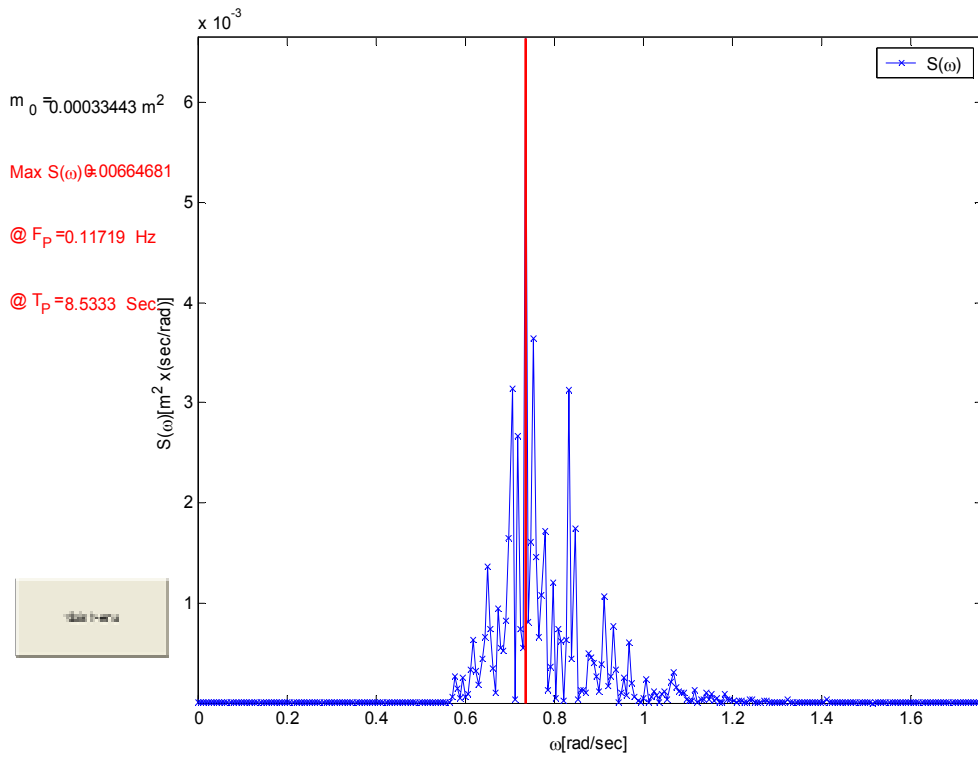
روش فوق روشی است که توسط نویسندگان مقاله فوق ارائه گردیده است . در این روش مراحل شبیه سازی امواج دقیقاً شبیه روش کتابداری و کوتس می باشد ، با این تفاوت که در روش کتابداری و کوتس از یک تابع منحنی انرژی لحظه ای موج جهت تولید امواج گروهی استفاده می شود اما در روش ارائه شده انرژی لحظه ای را خودمان تولید می نماییم . در این روش کتابداری و محمدپور موفق به ساخت نرم افزاری جهت شبیه سازی امواج گروهی شدند . نرم افزار فوق با استفاده از برنامه مطلب تهیه شده است . لازم به ذکر است که نرم افزار

فوق به سه روش قادر به تولید امواج گروهی می باشد (روش سیوه ، روش کتابداری و کوتس ، روش کتابداری و محمدپور) .

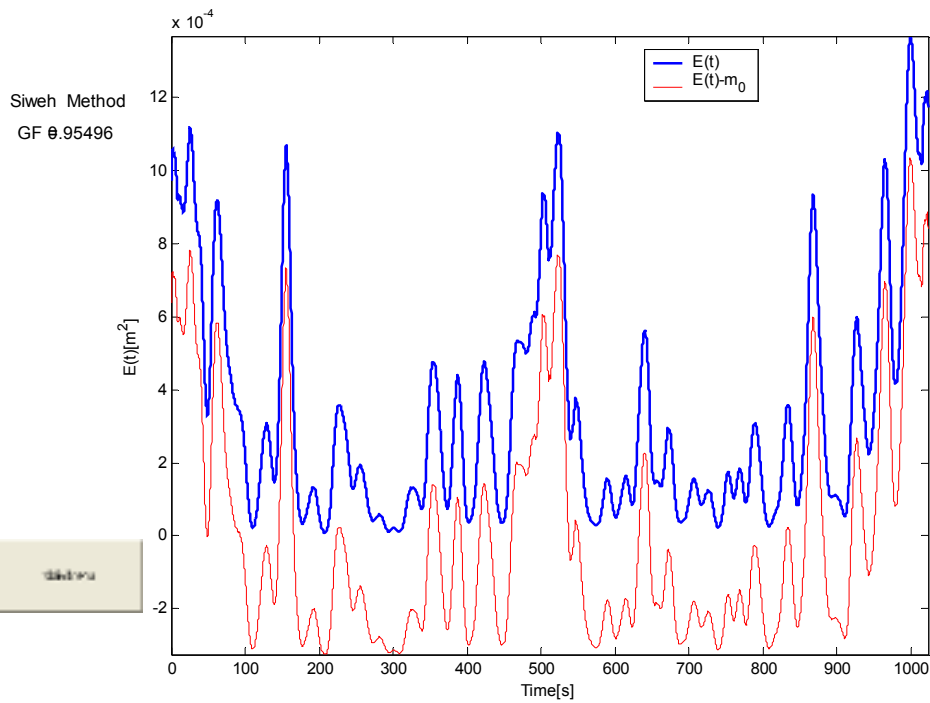
روش کار به شرح ذیل است :

- ۱- ابتدا یک تابع انرژی با استفاده از روش تصادفی تولید می نماییم .
 - ۲- با استفاده از تابع انرژی تولید شده و با استفاده از روش شبیه سازی سیوه و فرمول محاسبه فاکتور گروهی به روش کتابداری شروع به تولید امواج گروهی می نماییم .
 - ۳- حال با ایجاد تغییرات در انرژی تولید شده با استفاده از روش تصادفی ، پارامترهای دخیل در فرمول فاکتور گروهی کتابداری را تغییر داده تا به محدوده موج گروهی مورد نظر نزدیک گردیم .
- لازم به ذکر است که در روش تصادفی تولید انرژی لحظه ای باید سه سری داده در اختیار نرم افزار قرار دهیم (این انرژی به صورت تصادفی تولید خواهد شد ولی برای تطبیق دادن انرژی تولید شده با واقعیت نیازمند هستیم که این انرژی تصادفی را تحت کنترل خود قرار دهیم) .
- اولین پارامتری را که لازم است در اختیار نرم افزار قرار دهیم تعداد گروههای مورد نظر می باشد . دومین پارامتر تعداد انرژی های لحظه ای را در هر گروه از ما سؤال می نماید که این پارامتر به نوعی می توان گفت که عرض هر گروه را مشخص می نماید . سومین پارامتر ماکزیمم ارتفاع هر گروه را از ما سؤال می نماید . با دادن پارامترهای مورد نظر به نرم افزار یک انرژی لحظه ای خواهیم داشت که با استفاده از انرژی فوق و روش توضیح داده شده در بالا می توان یک موج گروهی دلخواه تولید نمود .

چند مثال عددی با استفاده از نرم افزار فوق



شکل ۲: طیف انرژی موج .



شکل ۳: نمودار انرژی موج .



ت دو بعدی Ketabdari Method

$GF_{Ketabdari} = 0.3705$

$N_{tr}^{St1} = 7$
 $N_{tr}^{St1} = 20$

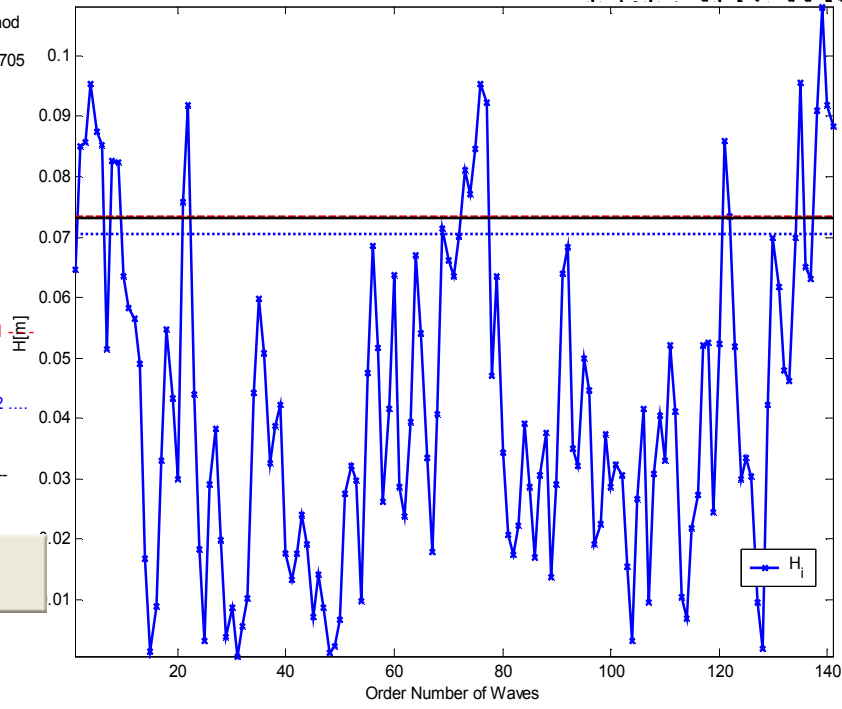
$N_{tr}^{St2} = 8$
 $N_{tr}^{St2} = 22$

$N_{tr}^{Sp} = 7$
 $N_{tr}^{Sp} = 21$

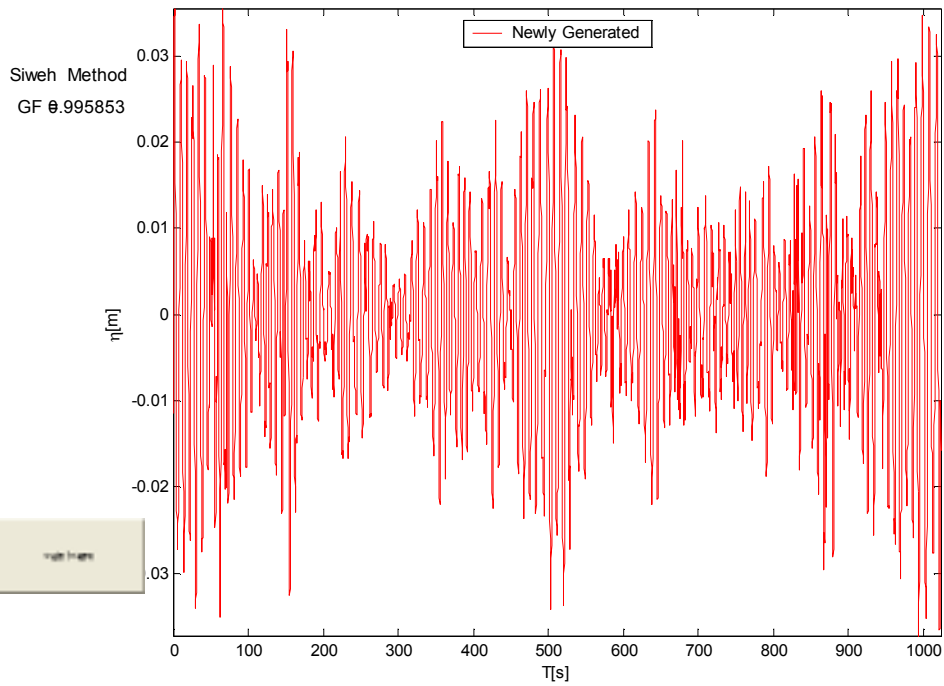
$H_{tr}^{Statistical 1} = 0.07347$ m

$H_{tr}^{Statistical 2} = 0.070493$ m

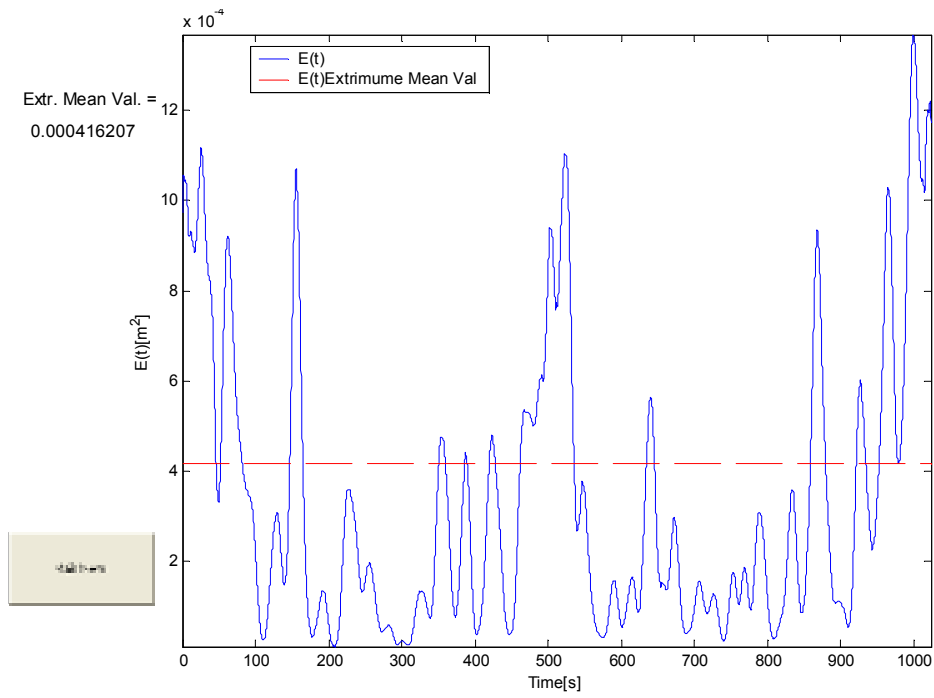
$H_{tr}^{Spectral} = 0.07315$ m



شکل ۴ : پارامترهای فاکتور گروهی کتابداری .

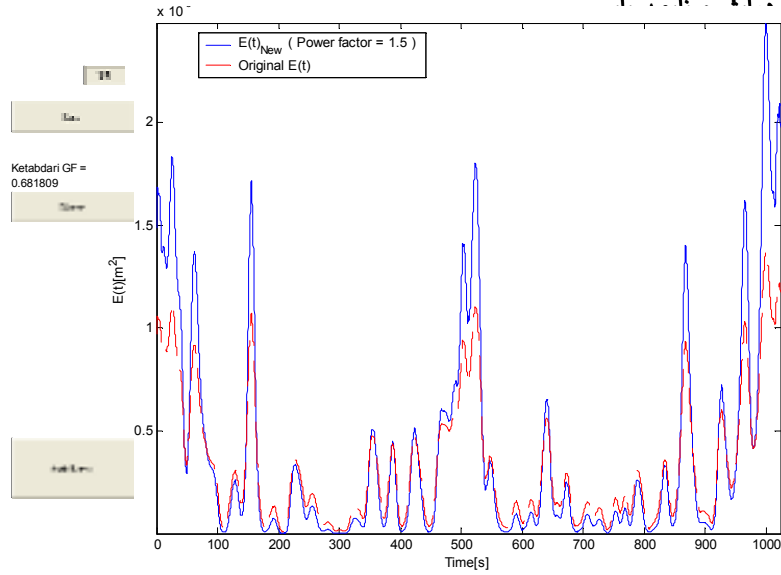


شکل ۵ : موج شبیه سازی شده توسط روش سیوه .

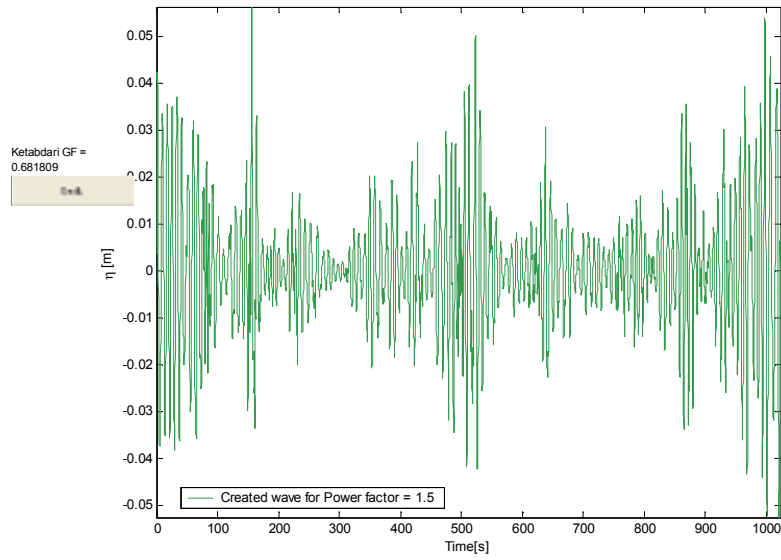


شکل ۶: نمودار انرژی و ارتفاع حدی در روش کتابداری.

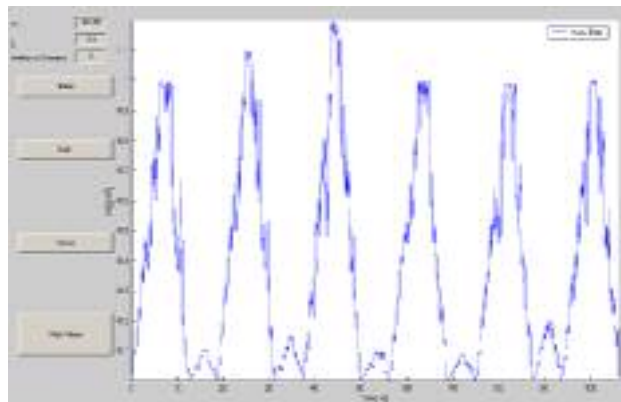
بی در حالت دو بعدی



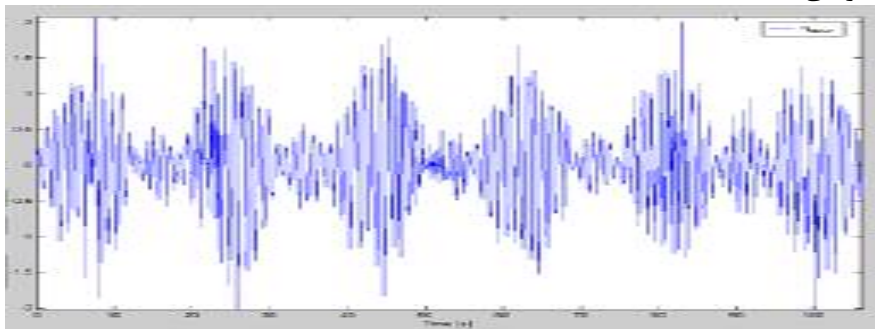
شکل ۷ : نمودار انرژی جدید با توان عدد ۱/۵ .



شکل ۸ : موج گروهی شبیه سازی شده توسط روش کتابداری



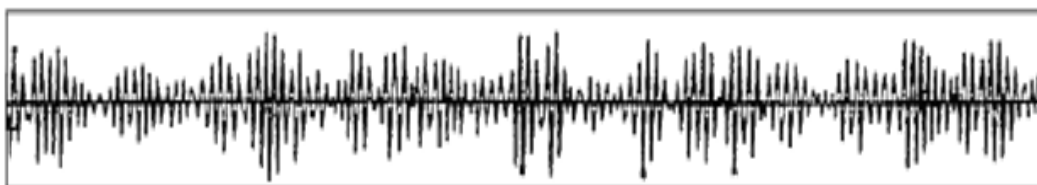
شکل ۹ : نمودار انرژی بدست آمده با استفاده از روش تصادفی .



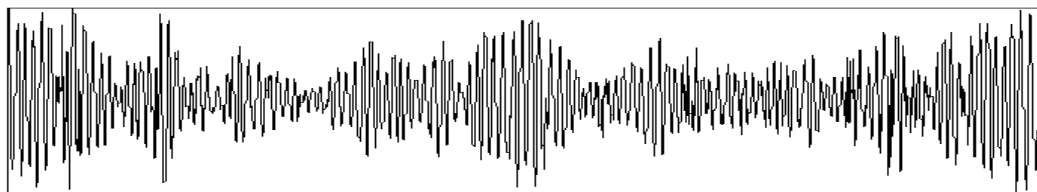
شکل ۱۰ : موج گروهی تولید شده از روش تصادفی (روش مولفین) .

مقایسه امواج گروهی شبیه سازی شده با امواج واقعی دریا

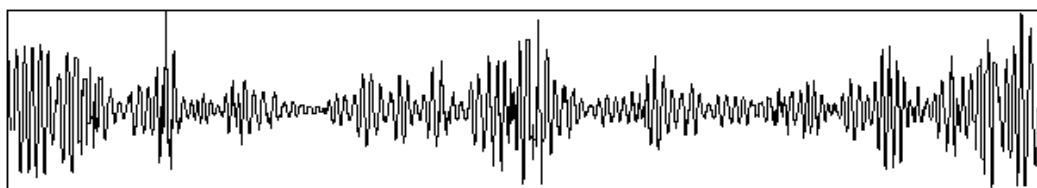
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۱۲ : شکل الف یک موج گروهی واقعی را نشان می دهد ، شکل ب یک موج گروهی شبیه سازی شده توسط روش سیوه را نشان می دهد ، شکل ج یک موج گروهی شبیه سازی شده توسط کتابداری و کوتس را نشان می دهد و شکل د یک موج شبیه سازی شده توسط مولفین را نشان می دهد .



بحث و نتیجه گیری

۱- تحقیقات جهت شبیه سازی امواج گروهی از حدود دو دهه پیش آغاز گردید . مدل سیوه توسط فونک و منسارد و مدلی دیگر توسط لیست ارائه گردید .

۲- ایرادات متعددی به مدل‌های فوق وارد است که مهمترین آنها عبارتند از :

- ✓ طولانی بودن زمان انجام محاسبات فوق .
- ✓ مشخص نبودن حد پایین و حد بالا برای فاکتور گروهی سیوه (به عنوان مثال در روش سیوه یک موج ساده سینوسی هم دارای فاکتور گروهی است و این در حالی است که یک موج ساده سینوسی یک موج گروهی نمی باشد) .
- ✓ عدم شباهت امواج تولیدی با امواج واقعی دریا .

۳- تحقیقات به عمل آمده نشان داد که علل ناکار آمد بودن مدل‌های قبلی بخاطر عدم انتخاب پارامترهای مناسب جهت شبیه سازی امواج گروهی بوده است .

۴- ادامه تحقیقات منجر به ارائه تئوری جدیدی برای مدل کردن امواج گروهی توسط دکتر کتابداری و کوتس گردید .

۵- مدل کتابداری و کوتس نسبت به مدل های قبلی بسیار کارا تر نشان داد چون :

- ✓ زمان انجام محاسبات بسیار کوتاه تر خواهد بود .
- ✓ حد پایین و حد بالای فاکتور گروهی در روش جدید مشخص است (حد پایین فاکتور گروهی در روش جدید صفر و حد بالای آن یک خواهد بود) .
- ✓ امواج شبیه سازی شده به امواج واقعی بسیار شبیه هستند .

۶- ارائه مدل جدید توسط کتابداری را می توان موفقیت بزرگی در شبیه سازی امواج خطرناک دریا دانست .

۷- در نهایت با استفاده از مدل کتابداری و کوتس مدل جدیدتری توسط کتابداری و محمدپور ارائه گردید که بتواند بعضی از پارامترهای مدل کتابداری را تا حدودی کنترل نماید .

۸- برای شبیه سازی امواج گروهی در روشهای گذشته ، نیازمند بودیم حتماً یک انرژی لحظه ای موج در اختیار داشته باشیم و این در حالی است که در روش جدید انرژی لحظه ای را خودمان تولید می نماییم .



۹ شبیه سازی امواج کتابداری و کوتس و بعدی تولید موج گروهی مورد نظر فقط می توانیم ارتفاع گروهها را تغییر دهیم و منابع دریایی
این در حالی است که در روش جدید علاوه بر ارتفاع گروهها می توان پهنای گروه و همچنین جای گروه را تغییر داد .

۱۰- با استفاده از روش فوق می توان تعداد گامها را در فرمول کتابداری و کوتس کنترل نمود .

منابع

۱. Goda , Y ., **“RANDOM SEA & DESIGN OF MARITIME STRUCTURES”** , Un . Of Tokyo Press , pp . ۳-۲۳ , ۱۹۸۵ .
۲. Mase , Hajime and Kita , Naoki and Iwagaki , Yuichi ., **“RANDOM WAVE SIMULATION”** , Castal Engineering in Japan , Vol . ۲۶ , ۱۹۸۳ .
۳. Ketabdari , M . J ., **“SIMULATION OF DANGEROUS GROUPY WAVES”** , proceedings of third conference of marin technology , Tehran , ۲۰۰۲ .
۴. Zhengji , Yang and Qihua , Zuo and Weidong , Su ., **“SIMULATION AND ANALYSIS OF WAVE GROUPS IN A WAVE FLUME”** , China Ocean Engineering , Vol . ۳ , No . ۴ , pp . ۴۱۱-۴۲۰ , ۱۹۸۹ .
۵. Funke , E . R . and Mansard , E . P . D ., **“ON THE SYNTHESIS OF REALISTIC SEA STATES IN A LABORATORY”** , Divison Of Mechanical Engineering - Division De Genie Mecanique Ottawa , Canada , ۱۹۷۶ .