



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



تولید و اصلاح امواج نامنظم توسط یک موجساز پیستونی برای شبیه سازی امواج در مناطق ساحلی

رضا فیروز کوهی
شرکت صنایع دریایی اودنگ

مهدی شفیعی فر
دانشگاه تربیت مدرس

حمید نظری
دانشگاه تربیت مدرس

r.firoozkoohi@gmail.com

shafiee@modares.ac.ir

h_nazari@modares.ac.ir

چکیده

برای تولید و بازسازی امواج در مناطق کم عمق و بخصوص سواحل معمولاً از موجسازهای پیستونی استفاده می شود. برای اولین بار در ایران این مساله از ابتدای طراحی موجساز تا طراحی و آماده سازی و راه اندازی نرم افزار تولید امواج نامنظم دلخواه در دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. در این مقاله مروری بر فرآیند تولید و بازسازی و تصحیح امواج نامنظم با شکل طیف دلخواه انجام شده است، بدینصورت که ابتدا مرحله نخست تولید موج با طیف دلخواه بررسی و سپس مرحله تصحیح طیف ایجاد شده ارایه می شود. طراحی های هیدرولیکی سیستم تولید موج و طراحی، آماده سازی و راه اندازی نرم افزار مجموعه توسط شرکت صنایع دریایی اودنگ و با نظارت آقای دکتر شفیعی فر انجام شده است.

مقدمه

کاربرد مدل های فیزیکی در مهندسی دریا و سواحل در صورتی که امکان تولید امواج با مقیاس کوچک و با مشخصات اصلی امواج در طبیعت فراهم نباشد، بسیار محدود خواهد شد. اگرچه از باد هم می توان برای تولید موج درون تانک در مقیاس کوچک استفاده کرد اما بایستی طول تانک مورد نیاز به اندازه کافی زیاد باشد تا بتوان امواج دلخواه را تولید کرد. اما روش قدیمی تر استفاده از تولید موج مکانیکی توسط یک بخش متحرک است که با نوسان این بخش امواج تولید می شود.

اولین موجسازها امواج یکنواختی را با حرکت سینوسی یک صفحه با دامنه و پررود معین تولید می کردند. اگرچه این روش تقریب بسیار ساده ای از امواج واقعی بود، این امواج ساده به گونه ای معقولانه با تئوری موج خطی همخوانی داشت و محققین پیشگام در این زمینه گام های بزرگی را در مهندسی سواحل برداشتند. ماشین های موج قابل جابجایی، حوضچه هایی را برای تولید رشته ای از امواج یک جهته با قله های موازی با صفحه مولد، فراهم کرده اند. [4]

معادلات حاکم موجساز دوبعدی [2]

تئوری عمومی تولید موج مکانیکی توسط هاولاک¹ (۱۹۲۹) ارائه شد. معادلات تئوریک و بحث های کاربردی موجسازهای لولایی و پیستونی توسط بیزل^۲ و سوکوئت^۳ در ۱۹۵۱ در یک سری از مقالات منتشر شد. شکل (۱)، یک فلوم موج دو بعدی با کف هموار، یکنواخت و یک صفحه مولد را با دو حرکت دورانی و انتقالی نشان می دهد. شرایط مرزی حاکم بر این مساله در جدول (۱) آورده شده اند. وقتی $l=0$ است، شرایط مرزی جدول (۱) برای موجساز لولایی و هنگامی که $l \rightarrow \infty$ برای موجساز پیستونی برقرارند.

جدول ۱: معادلات حاکم بر مساله موجساز دو بعدی و شرایط مرزی

$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0$	(۱) معادله لاپلاس در کل محدوده سیال
$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0$	(۲) شرط مرزی کف در Error! Objects cannot be created from editing field codes.
$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0$	(۳) شرط سینماتیک سطح آزاد در $z = \eta$
Error! Objects cannot be created from editing field codes.	(۴) شرط دینامیکی سطح آزاد در $z = \eta$
$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = (1 + \frac{z}{h+l}) \frac{\partial X_0(t)}{\partial t}$	(۵) شرط مرزی روی صفحه مولد در $x = X(z, t)$

¹ Havelock

² Biesel

³ Suquet

مساله موجساز که توسط معادلات جدول (۱) تعريف می شوند با استفاده از تکنیکهای استاندارد پرتريشن^۴ قابل حل است. با اين روش مجموعه ای از معادلات با مراتب مختلف پارامتر پرتريشن به دست می آیند. ابتدا پتانسیل سرعت، سطح آزاد، زاویه صفحه مولد و موقعیت عرضی صفحه مولد به صورت سریهای توانی در نظر گرفته می شوند:

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n \varphi_n = \varepsilon \varphi_1 + \varepsilon^2 \varphi_2 + \varepsilon^3 \varphi_3 + O(\varepsilon^4) \quad (۱)$$

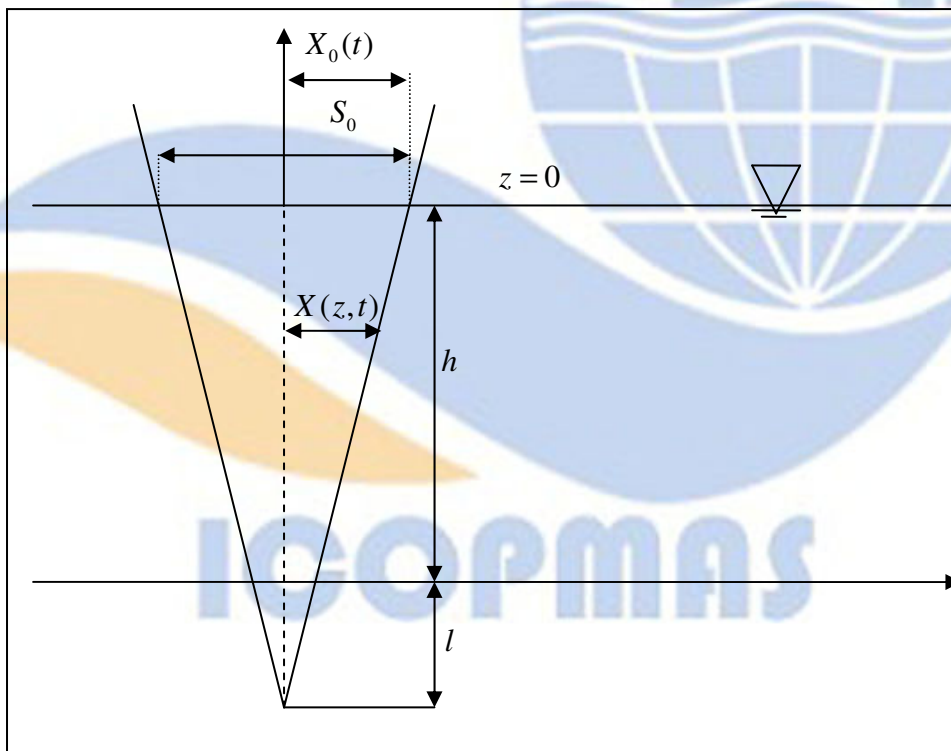
$$\eta = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n \eta_n = \varepsilon \eta_1 + \varepsilon^2 \eta_2 + \varepsilon^3 \eta_3 + O(\varepsilon^4) \quad (۲)$$

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n \theta_n = \varepsilon \theta_1 + \varepsilon^2 \theta_2 + \varepsilon^3 \theta_3 + O(\varepsilon^4) \quad (۳)$$

$$X_0 = \sum_{n=1}^{\infty} \varepsilon^n X_{0n} = \varepsilon X_{01} + \varepsilon^2 X_{02} + \varepsilon^3 X_{03} + O(\varepsilon^4) \quad (۴)$$

که ε یعنی پارامتر پرتريشن متناسب با شیب موج $\frac{H}{L}$ است.

با جایگزینی معادله (۱) در معادله لاپلاس و معادله شرط مرزی کف و در نظر گرفتن ترمهای حداکثر با مرتبه ۲، معادلات مرتبه اول و دوم موجساز به دست می آید که به ترتیب در جدولهای ۲ و ۳ آورده شده اند.



شکل ۱: شکل شماتیک صفحه مولد موج و معرفی پارامترهای l و S_0

⁴ Perturbation

جدول (۲): معادلات مرتبه اول موجساز

$\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} = 0$	در کل محدوده سیال
$\frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = 0$	در $z = -h$
$\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} + g \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = 0$	در $z = 0$
$\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = f(z) \frac{dX_{01}}{dt} 0$	در $x = 0$
$f(z) = (1 + \frac{z}{h+l})$	

معادلات مرتبه دوم موجساز در جدول (۳) جمع آوری شده اند.

جدول (۳): معادلات مرتبه دوم موجساز

$\frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial z^2} = 0$	در کل محدوده سیال
$\frac{\partial \varphi_2}{\partial z} = 0$	در $z = -h$
$\frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial t^2} + g \frac{\partial \varphi_2}{\partial z} = -\eta_1 (g \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z^2} + \frac{\partial^3 \varphi_1}{\partial z \partial t^2})$ $-2(\frac{\partial \varphi_1}{\partial x} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial x \partial t} + \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z \partial t})$	در $z = 0$
$\frac{\partial \varphi_2}{\partial x} = f(z) \frac{dX_{02}}{dt}$ $-X_{01} [f(z) \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial x^2} - \frac{1}{(l+h)} \frac{\partial \varphi_1}{\partial z}]$	در $x = 0$
$f(z) = (1 + \frac{z}{h+l})$	

الف- شبیه سازی موج منظم

در تئوری مرتبه اول^۵ موجساز، دامنه موج a توسط یک رابطه خطی به دامنه گام صفحه مولد e مرتبط می شود.

$$a = e.m_1 \quad (۵)$$

در این رابطه $e = \frac{S_0}{2}$ و S_0 گام حرکت صفحه مولد موج است. تابع تبدیل m_1 ، توسط رابطه

$$.m_1 = \frac{H}{S} = \frac{4 \sinh(kh)}{\sinh(2kh) + 2kh} (\sinh(kh) + \frac{1 - \cosh(kh)}{k(h+l)}) \quad (۶)$$

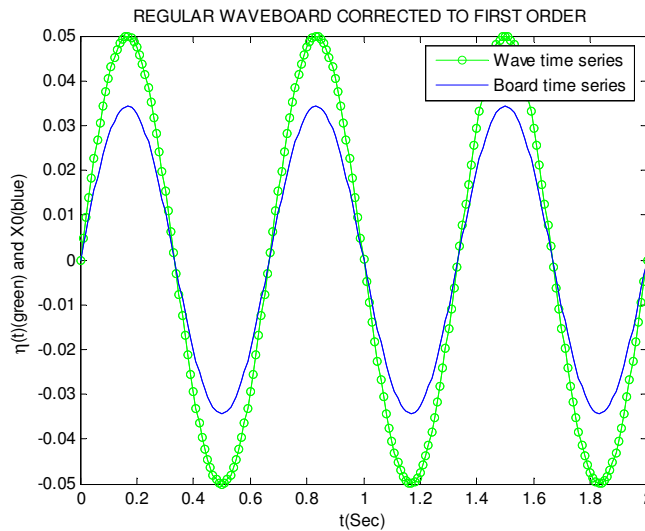
که برای موجساز پیستونی $l \rightarrow \infty$ و برای موجساز لولایی $l \rightarrow 0$ منظور می شود.

^۵ منظور از مرتبه اول، پارامتر پرتربیشن مرتبه اول است.

به عبارت دیگر برای تولید پروفیل موج سینوسی با ارتفاع H و فرکانس ω برای یک موجساز معادله حرکت صفحه مولد موج در راستای طول به صورت

$$X_0(t) = \frac{H}{2m_1} \sin(\omega t) \quad (7)$$

در شکل ۲ نمودار حرکت در راستای طول صفحه مولد متناظر با موج تولید شده در کانال آورده شده است.



شکل ۲: جابجایی صفحه مولد و موج منظم متناظر با آن برای فرکانس ۱٫۵ هرتز، دامنه موج ۵ سانتیمتر و عمق ۴۰ سانتیمتر

ب- شبیه سازی موج نامنظم

برای تولید امواج در آزمایشگاه ابتدا باید آنرا در مقیاس مناسب شبیه سازی کرد. برای شبیه سازی دریا با توجه به اطلاعات موجود در مورد خصوصیات امواج روشهایی ابداع شده است که در ادامه به شرح آنها می پردازیم

شبیه سازی عددی دریای تصادفی^۶ توسط روشهای DSA^۷ و NSA^۸ [۲]

رایس^۹ دو مدل عددی برای مدل سازی گاوسی ارائه داده است. در این دومدل، رایس با استفاده از الگوریتم تبدیل فوریه و نویز سفید گاوسی درحوزه فرکانس، موج تصادفی خطی با توزیع گاوسی تولید می کند. این دو مدل عددی برای شبیه سازی امواج تصادفی دریا در دامنه فرکانسی مورد استفاده قرار گرفته اند. این دو مدل عبارتند از:

(۱) مدل دامنه طیفی نامعین (NSA)

(۲) مدل دامنه طیفی معین (DSA)

این دو مدل توسط لانگوت - هیگینز^{۱۰} و بورگمن^{۱۱} بعنوان مدل امواج واقعی دریا مورد استفاده قرار گرفت. تکنیکهای شبیه سازی برای استفاده در مدل سازی نیروهای امواج اقیانوس قبلا توسط بورگمن ارائه شده بود، منتهی این تکنیکهای شبیه سازی فقط در حوزه زمان قابل استفاده بودند.

اولین مدل رایس برای جریانهای نویز گاوسی خطی که تابع پیوسته ای از زمان هستند به صورت سری فوریه گسسته زیر ارائه شد [3]:

$$I(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t) \quad (8)$$

⁶ Numerical random sea simulation

⁷ deterministic spectral amplitude

⁸ Non-deterministic spectral amplitude

⁹ Rice

¹⁰ Longuet- Higgins

¹¹ Borgman

که $\omega_n = 2\pi n\Delta f$ فرکانسی گسسته برحسب رادیان است و a_n , b_n متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع نرمال و متوسط صفر هستند که انحراف معیار آنها به صورت زیر است:

$$\sigma_n = [S(\omega_n)\pi\Delta f]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

که $S(\omega_n)$ یک مقدار گسسته از طیف پیوسته چگالی توان متعلق به یک جریان نویز سفید گاوسی است مقادیر a_n , b_n را به طور معمول می توان از روابط زیر محاسبه کرد:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T I(t) \cos(\omega_n t) dt; \quad n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad (10) \text{ الف}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T I(t) \sin(\omega_n t) dt; \quad n = 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2} \quad (10) \text{ ب}$$

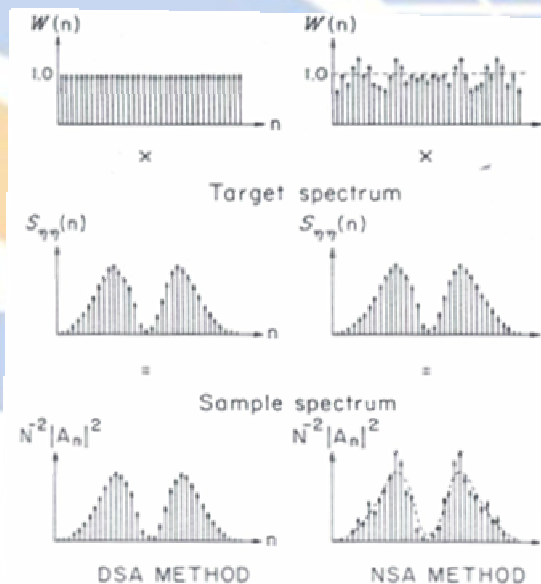
نتایج بدست آمده از معادله (8) در حوزه فرکانس، مدل دامنه طیفی نامعین (NSA) نامیده می شود. دومین مدل رایس به صورت سری فوریه گسسته زیر ارائه شد:

$$I(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} (C_n \cos(\omega_n t - \theta_n)) \quad (11)$$

که $\omega_n = 2\pi f_n$ فرکانس گسسته برحسب رادیان است و θ_n زاویه فاز تصادفی گسسته ای است که به طور یکنواخت در بازه $[0, 2\pi]$ توزیع شده است.

C_n نیز مقادیر دامنه است که از رابطه $C_n = [2\pi\omega(\omega_n)\Delta f]^{\frac{1}{2}}$ بدست می آید. نتایج بدست آمده از معادله (9) در حوزه فرکانس، مدل دامنه طیفی معین (DSA) نامیده می شود.

نتایج هر دو روش شبیه سازی بصورت دریای تصادفی خطی گاوسی است. شکل (3) طرحواره ای از شبیه سازی دریای تصادفی به دو روش DSA و NSA را در حوزه فرکانس نشان می دهد.



شکل 3: طرحواره ای از شبیه سازی دریای تصادفی به دو روش DSA و NSA در حوزه فرکانس. [10]

در روش شبیه سازی DSA، یک طیف نویز سفید گاوسی یکنواخت بدست می آید، درحالی که در روش شبیه سازی NSA، نتیجه یک طیف نویز سفید گاوسی نوسانی خواهد بود. نتایج گسسته زمانی که از هر دو روش شبیه سازی بدست می آید نمایشگر فرایندهای گاوسی با مقدار متوسط صفر و انحراف معیار 1 میباشد.

هر یک از روشهای شبیه سازی نشان داده شده در شکل ۳ مزایا و معایب خاص خود را دارند. در روش DSA، طیف نمونه ای که بدست می آید با طیف مورد استفاده در شبیه سازی یکسان خواهد بود ولی طیف نمونه بدست آمده از شبیه سازی با روش NSA، حول طیف مورد استفاده در شبیه سازی نوسانات تصادفی خواهد داشت. در پروژه حاضر از روش DSA برای شبیه سازی موج استفاده شده است.

تولید سیگنال محرک صفحه مولد موج نامنظم

برای بازسازی امواج ممکن است داده های ورودی یک طیف نمونه باشد که باید بر اساس آن سری زمانی امواج ترکیب سازی^{۱۲} شود. در غیر این صورت داده ها به صورت سریهای زمانی اندازه گیری شده هستند که در ادامه به روشهای تولید سیگنالهای راه انداز صفحه مولد بر مبنای نوع داده های ورودی پرداخته می شود.

تولید سیگنال امواج ترکیب سازی شده [2]

اگر یک حالت دریایی حاصل از برهم نهی مقادیر متعددی موج منظم در نظر گرفته شود، آنگاه دامنه هر جزء فرکانسی می تواند توسط رابطه (۵) بیان شود و با تقسیم طرفین رابطه بر ۲ به یک رابطه خطی بین طیف سطح دریا و طیف صفحه موجساز می توان رسید.

$$\frac{a_n^2}{2} = \frac{e_n^2}{2} (m_{1n})^2 \quad (12)$$

این تبدیل خطی منجر به طیف صفحه موج با یک شکل بهبود یافته در سوی فرکانس پایین و شکلی میرا شده در سوی فرکانس بالا می شود. (۱۹۸۳، گودا^{۱۳}). استفاده از تابع تبدیل خطی بین طیف موج و طیف صفحه مولد، یک پروسه خطی را فرض می کند، که فرض قانع کننده ای برای بسیاری از حالات است.

مشخصات دستگاه تولید موج دانشگاه تربیت مدرس

مجموعه تولید موج دانشگاه تربیت مدرس شامل یک پارو^{۱۴} با قابلیت حرکت رفت و برگشتی در یک دامنه مفید ± 30 cm است که توسط یک بالسکرو^{۱۵} نیروی محرک را از یک سروو موتور^{۱۶} ۲.۵ کیلووات می گیرد. موتور بکار گرفته شده با گام ۳۲ میلیمتر در مود کنترل موقعیت^{۱۷} راه اندازی شده است. راه انداز^{۱۸} موتور قابلیت کنترل حرکت و موقعیت صفحه را در حد یک میلیمتر دارد. کانال موج^{۱۹} این مجموعه دارای عرض و ارتفاع یک متر و طول ۱۶ متر است. در انتهای کانال یک جاذب غیرفعال^{۲۰} با شیب یک به هفت در طول ۳.۵ متر متشکل از سنگ شکسته تعبیه شده است تا بازتابش موج را به حداقل مقدار مناسب (کمتر از ۱۰٪) محدود کند. برای سیستم اکتساب داده ها^{۲۱} از ۶ سنسور ارتفاع سنج مقاومتی^{۲۲} بهره گرفته شده است که هر یک تغییرات ارتفاع سطح آب در یک موقعیت را با فرکانس ۱۰ هرتز و دقت یک میلیمتر به دست می دهد.

نتایج تولید موج در مرحله اول (قبل از تصحیح)

در این قسمت یک نمونه از نتایج تولید موج نامنظم در مرحله نخست فرآیند تولید ارائه می شود. طیف موج مورد نظر طیف JONSWAP با $T_z=0.53$ S و ارتفاع مشخصه $H_p=6$ cm است که طبق یک مقیاس طول 1/100 و بر اساس قانون فرود مدل شده است. [1]

¹² Synthesize

¹³ Goda

¹⁴ Paddle

¹⁵ Ball Screw

¹⁶ Servo motor

¹⁷ Position control

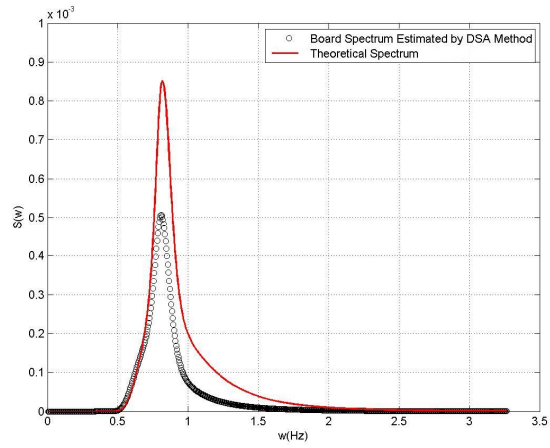
¹⁸ driver

¹⁹ Wave flume

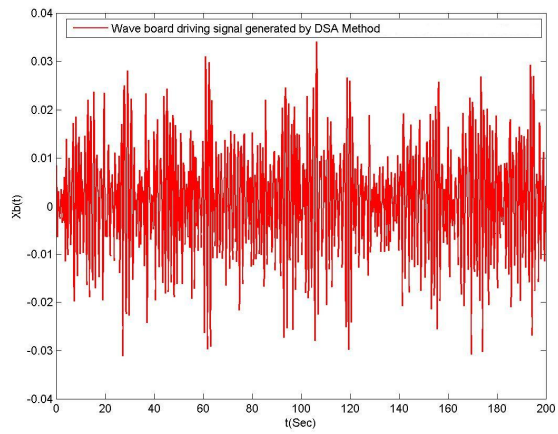
²⁰ Passive absorber

²¹ Data acquisition

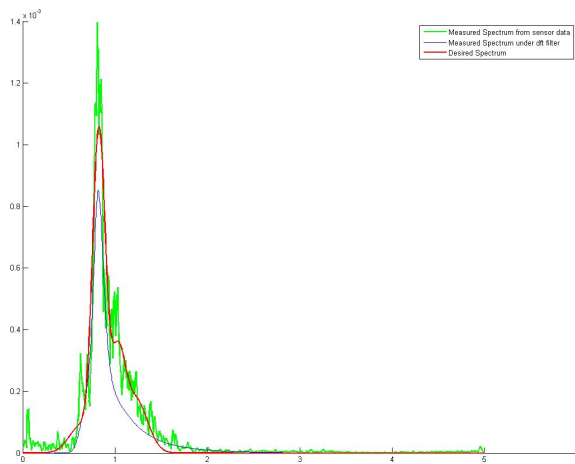
²² Resistance level meter



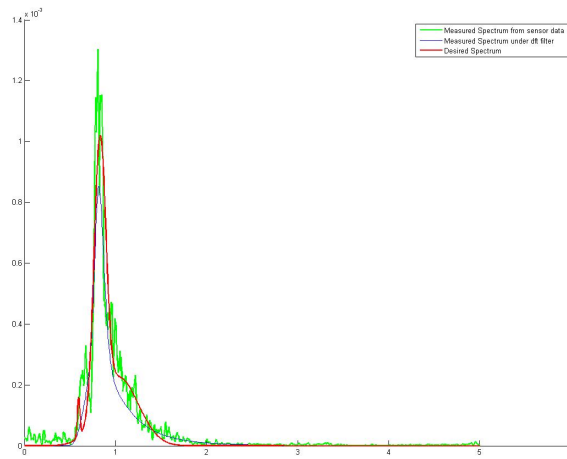
شکل ۴ - خط پر طیف موج مورد نظر و خط متشکل از دایره‌ها طیف تغییر مکان پارو می‌باشد



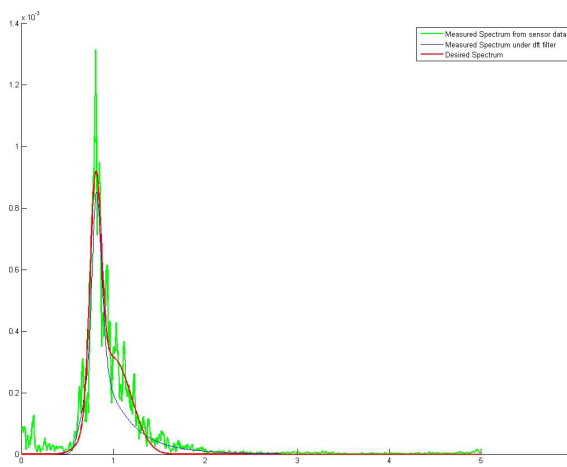
شکل ۵ - سری زمانی حرکت پارو برای تولید طیف موج مورد نظر



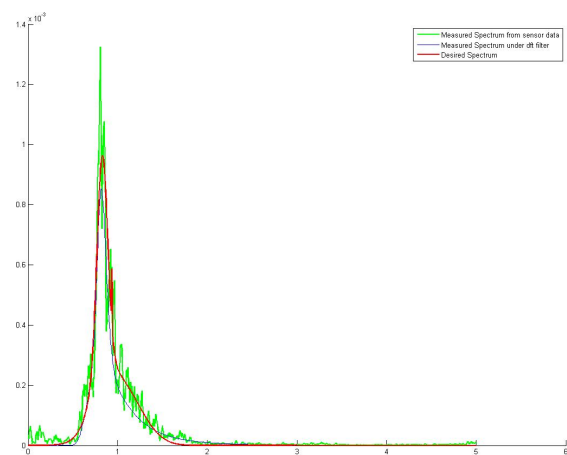
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۶ - (a) طیف اندازه‌گیری شده در فاصله ۱۱۵ cm پارو (b) طیف اندازه‌گیری شده در فاصله 245 cm پارو (c) طیف اندازه‌گیری شده در فاصله 410 cm پارو (d) طیف اندازه‌گیری شده در فاصله 750 cm پارو
خط پر باریک نشاندهنده طیف مورد نظر و خط پر ضخیم نشاندهنده طیف اندازه‌گیری شده است

در شکل (6) نتایج بدست آمده در ۴ نقطه در طول کانال موج ارایه شده است. همانطور که دیده می‌شود، انرژی موج در طول کانال و به دلایل مختلف مستهلک می‌شود. همچنین انحرافات از شکل طیف مورد نظر در طیف‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد. لذا برای رسیدن به طیف مورد نظر نیاز به انجام اصلاح بر روی طیف ورودی وجود دارد.

اصلاح طیف ورودی برای رسیدن به طیف مورد نظر

معمولاً، سیگنال صفحه مولد موج دارای اجزایی برای اجتناب از اثرات گذرای شدید است و این بخش از رشته موج اندازه‌گیری شده از تحلیل کنار گذاشته می‌شود. به طور مشابه اگر نقطه اندازه‌گیری از صفحه مولد فاصله داشته باشد، فرآیند تفرق در میان امواج ابتدایی با پیشی گرفتن امواج بلند از کوتاه، رخ خواهد داد. بنابراین اندازه‌گیری‌ها تا قبل از رسیدن امواج کوتاه به سنسور، نباید آغاز شود. فانکه و منسرد^{۲۳}، منابع سبب انحراف و اختلاف میان مدل فیزیکی و واقعی موج را ناشی از عوامل زیر دانستند [2]:

- دانش ناقص و ناکافی در مورد خصوصیات تابع انتقال دینامیکی مولد موج
 - انعکاس از دیواره‌های کناری، مولد و خنثی کننده موج
 - انتقال انرژی موج-موج که انرژی موج را به فرکانسهای مجاور در طول انتشار منتقل می‌کند.
 - اختلال ایجاد شده در امواج ناشی از حرکت اجزای مکانیکی در تماس با سطح آب
 - رزونانس یا تشدید در نوسانات ناشی از موجهای ایستای پهلویی یا مستقیم
 - رزونانس آب در پشت صفحه موجساز یا نشت آب بین صفحه موجساز و دیواره‌های کناری و کف که سبب از دست رفتن انرژی در فرکانسهای پایین می‌شود.
 - گردش مجدد سیال به علت انتقال جرم خالص در تانک موج
- به علت وجود اثرات بازدارنده بالا، از تکنیکهای تکرار شونده برای اصلاح طیف صفحه موج بهره گرفته می‌شود، در نتیجه این عمل می‌توان به طیف هدف نزدیک و نزدیکتر شد.

گام‌های روش اصلاح در دامنه فرکانس بکارگرفته شده:

- در حالت کلی گامهای این تکنیک به قرار زیرند:
- انتخاب و به مقیاس مدل در آوردن یک طیف هدف برای بازسازی مدل فیزیکی.
- تبدیل طیف هدف به طیف صفحه موج با استفاده از تابع تبدیل مرتبه اول.
- تولید شرایط موج در تانک، و اندازه‌گیری موج در موقعیتهای مطلوب. سپس سریهای زمانی اندازه‌گیری شده به طیف موج تبدیل می‌شوند و با طیف هدف مقایسه می‌شوند.
- تعیین تابع تبدیل حوزه فرکانس به صورت:

$$T_r(\omega_n) = \frac{[S_{\eta\eta}(\omega_n)]_{\text{target}}}{[S_{\eta\eta}(\omega_n)]_{\text{measured}}} \quad (13)$$

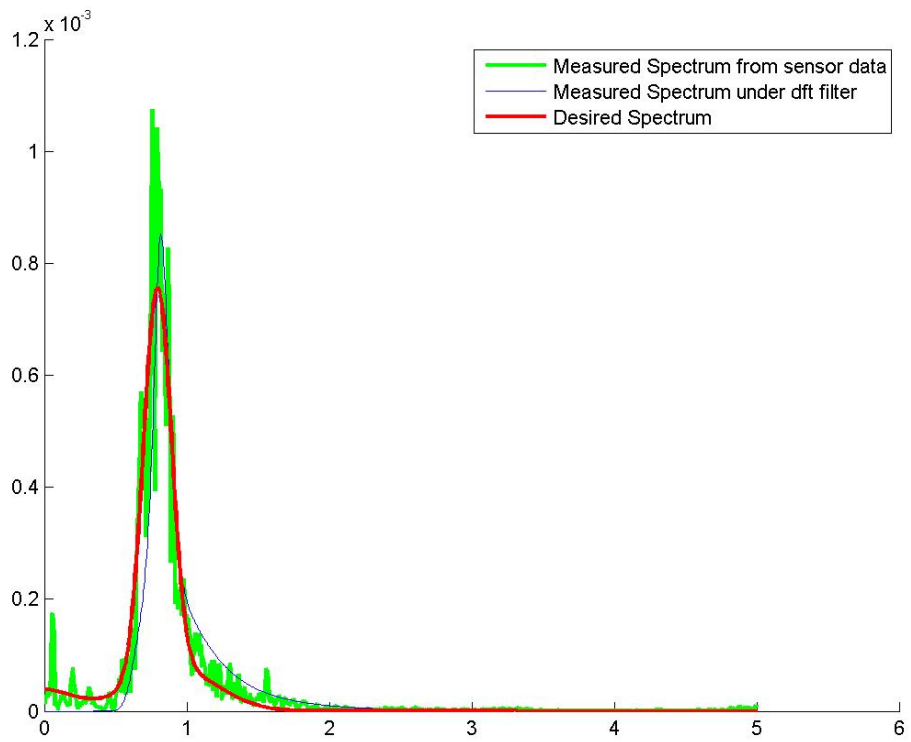
- و اعمال این تابع تبدیل بر طیف صفحه مولد موج.
 - ترکیب سازی یک سری زمانی جدید برای صفحه مولد و تولید موج جدید در تانک.
 - ادامه این پروسه تکراری تا زمانی که یک رشته موج ارضا کننده بدست آید.
- گودا^{۲۴} در ۱۹۸۵ توصیه می‌کند که تستهای متعددی با مدت به اندازه کافی طولانی برای دستیابی به خصوصیات آماری پایدار موج بایستی انجام شود.

در ادامه طیف‌های بدست آمده در محل سنسور ۵ و در مراحل مختلف اصلاح آورده شده است. به عنوان معیار شکل طیف قابل قبول برای اتمام فرآیند اصلاح، در کنار کنترل چشمی اپراتور، برابری مساحت سطح زیر منحنی طیف بدست آمده و طیف مورد نظر با محدوده خطای $\pm 5\%$ در نظر گرفته شده است.

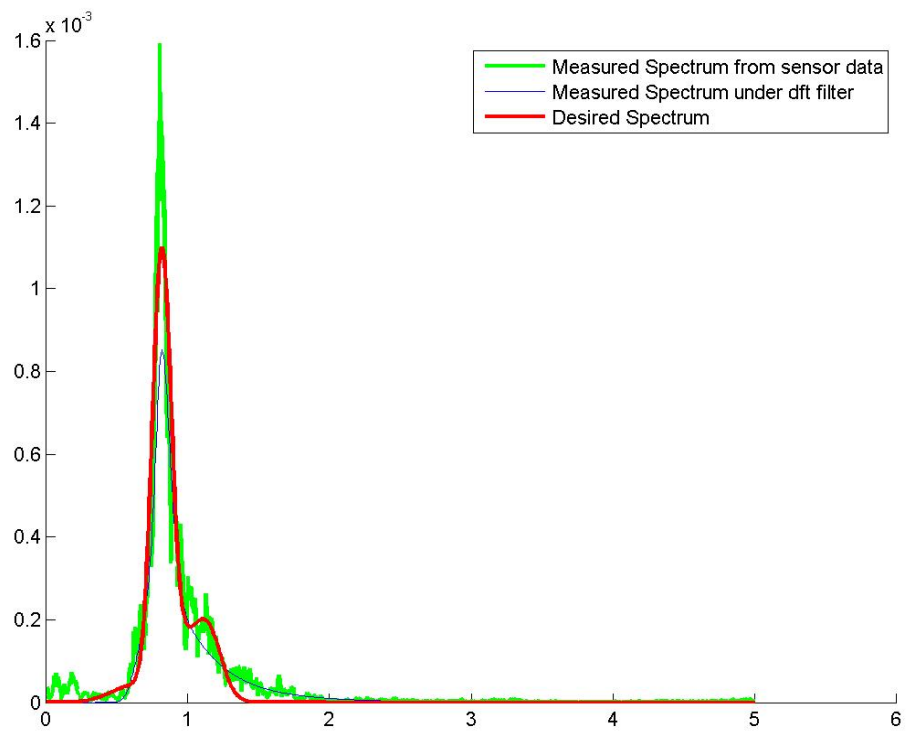
این نرم افزار با توجه به شرایط تست شامل عمق آب در کانال، نوع طیف، ارتفاع مشخصه، پریود طیف و فاصله محل مورد نظر اپراتور برای ساختن طیف از پارو، بهترین حالت طیف ساخته شده را ذخیره می‌کند و لذا اپراتور نیازی به اصلاح طیف برای حالت‌های تکراری ندارد.

²³ Funke & Mansard

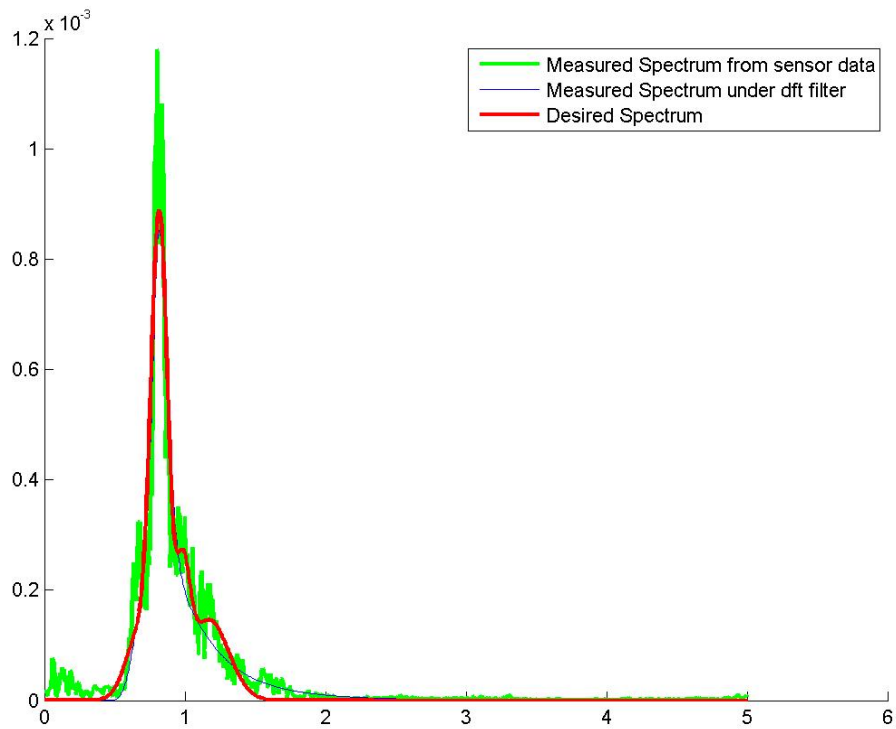
²⁴ Goda



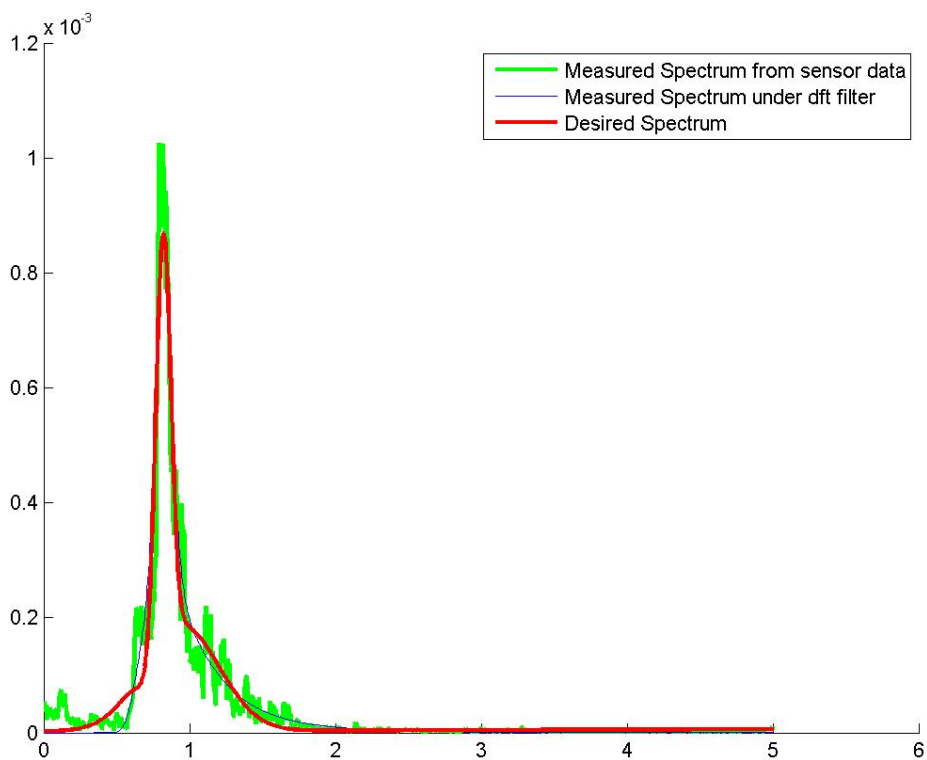
(a)



(b)



(c)



شکل ۷: a, b و c نشاندهنده مراحل ۱ تا ۳ اصلاح و d نشانگر طیف اصلاح شده قابل قبول در محل سنسور ۵ در فاصله ۸۷۵ cm پارو است.

نتیجه گیری

در این مقاله روش تولید و اصلاح موج نامنظم در کانال موج بررسی شد. روش DSA به عنوان روشی مناسب برای تولید موج نامنظم با ارتفاع موج هایی مستخرج از طیف دلخواه مورد نظر کاربر و فازهای تصادفی منطبق بر توزیع گاوسی معرفی شد. با توجه به وجود عوامل مختلف ذکر شده در کانال موج که در کل به عنوان ضریب استهلاک²⁵ کانال موج شناخته می شوند، بخشی از انرژی طیف موج تولیدی مستهلک می شود. لذا باید برای داشتن طیف مورد نظر اپراتور در محل مورد نظر اصلاحاتی شامل چند مرحله بر روی طیف ورودی انجام شود. در این مقاله یک روش اصلاح در دامنه فرکانس و نتایج بدست آمده ارایه شد.

مراجع

[۱] چگینی، وحید، نظریه های امواج، چاپ اول، سازمان چاپ پر، شرکت جهاد آب و آبخیز داری، ۱۳۷۷، شابک: ۹۶۴-۹۱۹۲۰-۰-۱۰.

[2] Hughes, S.A., **Physical models and laboratory techniques in coastal engineering**, World Scientific, Singapore, 1993, ISBN 981-02-1540-1.

[3] Hudspeth, R.T., Nath, J.H, “Digital to analog wavemaker simulation”, **Physical modeling in coastal engineering**, 1983.

[4] G.L.Body , “Inclined wavemaker in linear water wave theory”, **Department of theoretical mechanics, Nottingham University, Nottingham, U.K., 2004.**

²⁵ Dissipation Coefficient

**Production and Correction of Irregular Waves Generated by a Piston
Wave-Maker to Simulate Waves in Coastal Areas**

H. Nazari, Tarbiat Modares University [TMU]

M. Shafieefar, Tarbiat Modares University [TMU]

R. Firouz Kouhi, Odang Marine Co.

Abstract

For production and restoration of waves in shallow waters, especially in coastal areas, wave-making pistons are commonly used. Tarbiat Modares University (TUM) was the first university in Iran which performed all stages of designing such pistons from very beginning up to final stage and operation. Generally, the applications of physical models shall be limited in marine engineering if natural environment does occasionally not allow such waves to be produced in small-scale. Despite wind can be used for the purpose of production of such waves, it is not able to provide us the amount of wave we desire to have in our studies. This paper tries to assess the production of wave and then provide a review on the desirable spectrum and finally on the correction of the spectrum. The process of hydraulic system designing - that is used for producing the waves and software tools - has been supplied by Odang Marine Co., under direct supervision of Dr. Shafiee.

Keywords: *piston, wave, hydraulic system, spectrum, operation*