مقایسه قابلیت مدلسازی و پیش بینی نیروهای هیدرودینامیکی واقع بر پایه های درمعرض امواج آب توسط دوروش آنالیزطیفی و شناسائی سیستم

رضا جهانگیری درزه کنانی
مربی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سلماس

محمدعلی لطف اللهی یقین
دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد واحد ارومیه
(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۸۸/۱۲/۱۴)

چکیده :
کسب معیاری جهت آگاهی و شناخت ماهیت نیروهای وارد بر یک سازه مهندسی، قطعا یکی از مهمترین قدمها در طراحی، ساخت و بهره برداری از آن می باشد. در عین حال، هنگامیکه این نیروها از فرآیندهای تصادفی که به صورت دینامیکی عمل می کنند ناشی می شود، قطعا ماهیت پیچیده تری پیدا خواهند کرد. امواج تولید شده در محیطهای آبی، از جمله فرآیندهائی است که باعث اثر نیروهای هیدرودینامیکی بر سازه های ساحلی، دریائی و هیدرولیکی می گردد. در این مقاله، با در نظر گرفتن یک المان سازه ای پایه استوانه ای که در یکسری آزمایشهای مقیاس بزرگ بارگذاری امواج آب، نیروهای هیدرودینامیکی واقع بر آن بدست آمده است، قابلیت دو روش آنالیز طیفی و شناسائی سیستمها جهت تخمین و پیش بینی نیروهای مذکور، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. بدین منظور، پایه استوانه ای به صورت یک سیستم سازه ای که امواج آب، محرکها و نیروهای هیدرودینامیکی پاسخ آن می باشتد در نظر گرفته شده است. سپس، با استفاده از تئوریهای آنالیز طیفی، تابع انتقال مناسبی جهت شناخت پاسخ سیستم بدست آمده است. آنگاه، در حوزه سری زمانی و با توجه به مبحث شناسائی سیستمها، یک مدل پارامتری مناسب تخمین زده شده و قابلیت آن نیز در تخمین نیرو، ارزیابی گردیده است. نهایتا، بین کارآمدی دو روش، مقایسه انجام گرفته و نتایج حاصل ارائه گردیده است.

کلید واژه ها: پایه استوانه ای، امواج آب، نیروهای هیدرودینامیکی، آنالیز طیفی، تابع انتقال، شناسائی سیستم.

۱- مقدمه

سازه‌های ساحلی و دریایی، سیستمهایی می باشند که علاوه بر تحمل بارهای مرده و سرویس، در طول زمان بهره برداری، در معرض دسته‌ای از نیروهای دینامیکی که به صورت متغیر زمانی بوده و عمدتا ناشی از امواج دریائی می‌باشند، قرار دارند . در نتیجه عملکرد این امواج، اجزای تشکیل دهنده این سازه‌ها، تحت اثر دو نیروی غیر همراستا که یکی در جهت جریان و دیگری عمود بر آن (جانبی) می‌باشد، قرار می‌گیرند. این دو نیرو، به تبعیت طبیعت تصادفی موجهای نامنظم سطح دریا، بصورت اثراتی نامنظم و تصادفی روی سازه اعمال می‌شوند. یکی از روشهای تجربی بررسی ماهیت نیروها، انجام تستهای آزمایشگاهی در کانالهای موج ساز و بر روی پایه‌های استوانه‌ای می‌باشد [۱]. این پایه ها را می‌توان مشابه با المانهای سازه‌ای تشکیل دهنده یک سازه جکتی و همچنین پایه‌های اسکله در نظر گرفت. با توجه به مقدار نیروهای وارده بررسی آنها از جهت اهداف طراحی سازه حائز اهمیت بسیاری می‌باشد. از سوی

دیگر، شناخت نیروهای وارده از پیچیدگی خاصی برخوردار بوده و ارائه یک مدل دقیق ریاضی برای تخمین آنها مشکل می‌باشد [۲].

در این مقاله با در نظر گرفتن پایه در معرض امواج، به عنوان سیستمی که پاسخ آن نیروهای هیدرودینامیکی مذکور می باشند، به ارزیابی دو روش آنالیز طیفی (تعیین تابع انتقال) و شناسائی سیستمها، به ترتیب در دو حوزه فرکانسی و سری زمانی، اقدام شده است. داده های تجربی مورد استفاده برای این تحلیلهای عددی، طی یکسری آزمایشهای مقیاس بزرگ در یک فلوم تحقیقاتی، گردآوری شده اند که در ارتباط با نحوه انجام آنها، توضیحاتی ارائه خواهد شد. بنابراین ساختار کلی مقاله بر این اساس می باشد که ابتدا در فصل دوم به طور مختصر هیدرودینامیک پایه استوانه ای در معرض امواج دریا بررسی می‌شود و پارامترهای مطرح آن معرفی می گردند. در فصل سوم تئوریهای مورد استفاده در بررسیهای عددی تحقیق حاضر تشریح شده است. در فصل چهارم یکی از آزمایشگاههای بزرگ و مجهز دنیا (آزمایشگاه کانال موج دلتا) که در این تحقیق، از داده های تهیه شده در آن استفاده گردیده است، معرفی می‌شود. در فصل پنجم، داده‌های تجربی آزمایشات با استفاده از تئوریهای عددی مطرح شده مورد بررسی قرار می گیرد، بدینصورت که ابتدا تحلیل طیفی خطی انجام شده و سپس، با استفاده از تئوری‌های شناسایی سیستمها، الگوریتم مناسبی برای مدلسازی سریهای زمانی نیروهای ناشی از امواج نامنظم معرفی شود و نهایتا نتایج عملکرد ایندو، با هم مقایسه می گردد. در فصل ششم نیز نتایج و جمع‌بندی حاصل از مباحث مذکور و پیشنهادات جهت انجام تحقیقات آتی ارائه شده است.

۲- هیدرودینامیک پایه استوانه ای در معرض امواج دریا

۲-۱- پایه در معرض امواج منظم

کمیتهای هیدرودینامیکی ای که وضعیت جریان یکنواخت را برای یک پایه استوانه‌ای بیان می‌کنند، به عدد رینولدز وابسته می‌باشند ولی در شرایط جریان نوسان کننده پارامتری افزون تر یعنی عدد کلوگان – کارپنتر ظاهر می‌شود که به صورت رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

(۱)

$$Kc = \frac{U_m T_m}{D}$$

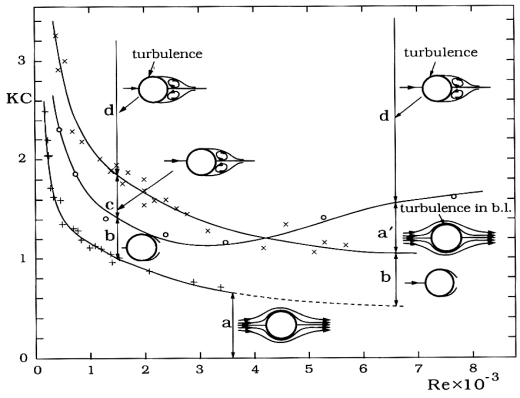
در این رابطه، U_m سرعت ماکزیمم و Tm پریود جریان نوسانی می‌باشد. اگر جریان با توجه به سرعت، سینوسی باشد آنگاه می‌توان نوشت:

(۲)

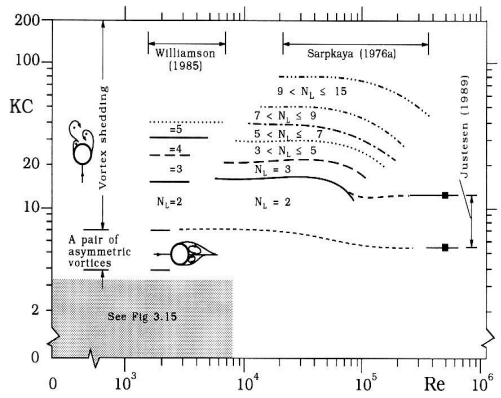
$$U_m = a\omega = \frac{2\pi a}{T_\omega}$$

که در این روابط، ω فرکانس زاویه ای و a دامنه حرکت است.

به منظور نشان دادن اثر عدد رینولدز در جریان، اشکال (۱) و (۲) که بر اساس عدد رینولدز و عدد K_c می‌باشند، ارائه شده اند. شکل (۱) نقش عدد رینولدز را برای اعداد K_c کوچک ($K_c < 3$) نشان میدهد و شکل (۲)، مورد را در حالت اعداد K_c بزرگ، بررسی می‌کند.



شکل ۱- رژیمهای جریان حول استوانه صاف در جریان نوسانی برای Kc



شکل ۲- رژیمهای گردابه جاری شونده حول یک استوانه صاف در جریان نوسانی [۳]

۲-۲- هیدرودینامیک امواج نامنظم

در گذشته در اکثر کارهای مربوط به بررسی اثر امواج نامنظم بر روی نیروهای هیدرودینامیکی، محیط واقعی امواج در نظر گرفته می‌شد[۳]. این کار، باعث ایجاد بعضی آثار اضافی نظیر غیر خطی بودن موج و عدم تقارن آن در مسئله می‌شد. یکی از روشهای حذف این آثار اضافی بدین صورت است که آزمایشها با یک موج نوسانی تصادفی که با یکی از دو شیوهٔ تولید در کانال آب یا شبیه سازی توسط حرکت یک ارابه در آب آزاد مستقل تولید می‌شود، انجام گیرند. نهایتا، ضرایب دراگ و اینرسی برای هر سیکل از داده‌ها با روش برازش کمترین مربعات سریهای زمانی تعیین می شوند.

یکی از اشخاصی که آزمایشهای خود را بدین روش و با حرکت نوسانی تصادفی در یک کانال آب انجام داد، Longoria[۴] می‌باشد. برای طیف ورودی آزمایشهای Longoria حالت نرمال شده طیف ارتفاع موج Pierson – Moskowitz استفاده گردید.

در شرایط امواج نامنظم، Re_r و Kc_r مترادفهای آماری اعداد K_c و Re می‌باشند که جانشین عدد K_c و رینولدز شده اند و به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

(۳)

$$KC_r = \frac{(\sqrt{2}\sigma v)T_z}{D} \quad , \quad \mathrm{Re}_r = \frac{(\sqrt{2}\sigma v)D}{v}$$

کمیت σv در روابط فوق، مقدار ریشهٔ میانگین مربعات سرعت جریان سیال (U) برای بازهٔ کلی ثبت داده های آزمایش جریان تصادفی می‌باشد که می‌توان آن را مترادف با مقدار سرعت میانگین، در جریانهای سینوسی دانست.

۳- روشهای تحلیلی جهت ساخت مدل پیش بینی داده های نیروهای هیدرودینامیکی

۳-۱- آنالیز طیفی و فرآیندهای تصادفی

برای پروسه های تصادفی ارگودیک (با سیگنالهای $x(t)$ و $y(t)$ ، دو تابع همبستگی متداخل و چگالی طیفی متداخل یک زوج تبدیل فوریه می‌باشند، یعنی :

$$S_{xy}(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)e^{-i\omega\tau}\,d\tau$$
$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(\omega)e^{-i\omega\tau}\,d\omega \qquad (۴)$$

بایستی اشاره نمود که بر خلاف تابع حقیقی چگالی خود همبستگی، تابع چگالی طیفی متداخل یک تابع مختلط می‌باشد. برای مشخص نمودن بخش موهومی تابع $S_{xy}(\omega)$ می‌توان روابط زیر را نوشت:

$$S_{xy}(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau)e^{-i\omega\tau}\,d\tau = C_{xy}(\omega) + iQ_{xy}(\omega)$$
$$C_{xy}(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\infty}\left\{R_{xy}(\tau)+R_{yx}(\tau)\right\}\cos\omega\tau\,d\tau \qquad (۵)$$
$$Q_{xy}(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\infty}\left\{-R_{xy}(\tau)+R_{yx}(\tau)\right\}\sin\omega\tau\,d\tau$$

با استفاده از روابط فوق مقدار $S_{xy}(\omega)$ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$S_{XY}(\omega) = \sqrt{(C_{XY}(\omega)^2 + Q_{XY}(\omega)^2} \qquad (۶)$$

در شکل (۳) یک سیستم نوسانی که در معرض یک محرک تصادفی x(t) قرار گرفته، نشان داده شده است. اگر تحریک به صورت نامنظم انجام شود، سیستم به صورت تصادفی نوسان می‌کند و مقدار پاسخ $y(t)$ (مثلاً مولفه های فرکانسی آن) همانند ورودی $x(t)$ نمی‌باشند. رفتار و عملکرد پاسخ کاملاً به خصوصیات پاسخی ویژه سیستم مفروض بستگی دارد.

شکل ۳- طرح شماتیک نشان دهنده یک سیستم خطی

پاسخ (خروجی سیستم $(y(t))$ به یک محرک (ورودی)، $x(t)$ را به صورت زیر نشان داده می شود:

$$L[x(t)] = y(t) \qquad (۷)$$

اگر پاسخ سیستم همان تغییرات زمانی متناظر ورودی را دنبال کند، سیستم را ثابت زمانی[1] می‌نامند، یعنی:

$$L[x(t+\tau)] = y(t+\tau) \qquad (۸)$$

بعلاوه، یک سیستم را خطی می‌نامند، اگر دو شرط را دارا باشد. اول آنکه مقدار بزرگی خروجی همانند مقدار بزرگی ورودی دنبال شود، یعنی :

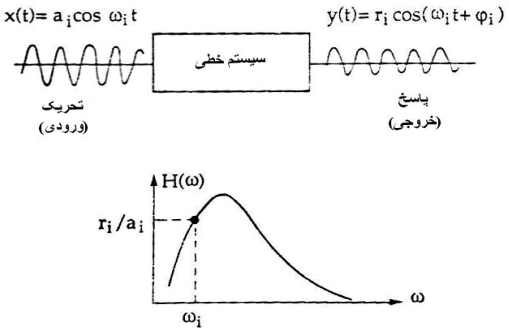
$$L[ax(t)] = ay(t) \qquad (۹)$$

و دیگر آنکه سیستم، خاصیت جمع پذیری را برآورده کند:

$$L[x_1(t)+x_2(t)] = y_1(t)+y_2(t) \qquad (۱۰)$$

برای بعضی از سیستمهای نوسانی، در نظر گرفتن فرض خطی بودن سیستم قابل بحث و بررسی بوده و کنترل این مسئله که آیا سیستم خطی است یا نه، مطلوب و مورد نظر می‌باشد [۵]. با دانستن تابع پاسخ محرک $h(t)$ در حوزه زمانی و یا تابع پاسخ فرکانسی $H(\omega)$ مربوط به یک سیستم خطی، بدست آوردن پاسخ سیستم به یک ورودی اختیاری ارائه شدهٔ $x(t)$ امکان پذیر می‌باشد. به منظور ارزیابی این تابعهای پاسخ از دو روش تئوری و تجربی می‌توان استفاده نمود. در روش تجربی، تابع پاسخ فرکانس $H(\omega)$ یک سیستم خطی را می‌توان با انجام یک سری آزمایشات که در آنها پاسخ سیستم به محرکهای سینوسی منظم و با فرکانسهای گوناگونی اندازه-گیری می‌شوند، بدست آورد. با فرض اینکه $x(t) = a_i \cos\omega_i t$ یک محرک سینوسی وارد به سیستم می‌باشد و پاسخ سیستم به این محرک نیز $y(t) = r_i \cos(\omega_i t + \phi)$ باشد آنگاه نسبت ri/ai پاسخ فرکانسی سیستم به محرک ورودی با فرکانس ω_i خواهد بود. با انجام آزمایش برای فرکانسهای مختلف، تابع پاسخ فرکانسی $H(\omega)$ را با متصل نمودن نقاط ri/ai برای فرکانسهای مختلف می‌توان تعیین نمود [۵]. شکل (۴) یک تابع پاسخ فرکانسی محاسبه شده از طریق تجربی را نشان می‌دهد.

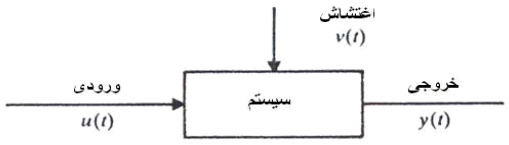
1- Time Invariant



شکل ۴- ارزیابی تابع پاسخ فرکانسی در طی مشاهدات تجربی

۳-۲- کاربرد نظریهٔ شناسائی سیستم

شناسائی سیستمها حوزه‌ای است که در آن سیستمهای دینامیکی با استفاده از داده‌های تجربی مدلسازی می‌شوند. یک سیستم دینامیکی را می‌توان همانند شکل (۵) متصور شد. سیستم مذکور از یک ورودی متغیر $U(t)$ و اغتشاشات $V(t)$ تاثیر می گیرد. سیگنالهای خروجی، متغیرهائی هستند که اطلاعات سودمندی را در مورد سیستم ارائه می‌دهند.



شکل ۵- یک سیستم دینامیکی دارای ورودی، خروجی و اغتشاش متغیر زمانی

آزمایش شناسائی سیستم، اساسا با تحریک آن سیستم توسط سیگنالهای ورودی معین انجام می‌گیرد و ورودی و پاسخهای سیستم مفروض، بر روی یک بازه زمانی ثبت می‌گردد. آنگاه تلاش می‌شود تا مدلی مناسب، برای برازش بر روی داده‌های ورودی و خروجی فرآیند انتخاب گردد. سپس با روشهائی که بر پایه مفاهیم فرآیندهای تصادفی می‌باشند، پارامترهای نامعلوم مدل انتخاب شده، تخمین زده می‌شوند. در عمل، تخمین ساختار و پارامترها، به صورت عملی تکرار شونده انجام می‌گیرد، به این معنا که یک ساختار مدل آزمایشی انتخاب می‌شود و پارامترهای متناظر آن تخمین زده می‌شود، سپس مدل بدست آمده به منظور بررسی مناسب بودن آن برای سیستم، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر نتایج مطلوب نباشد، مدل با ساختاری پیچیده‌تر را باید در نظر گرفت و پارامترهایش را تعیین و نهایتاً اعتبار آن را دوباره بررسی کرد [۶].

در این پژوهش با به کار بردن مدل ARMAX که پارامترهایش با استفاده از روش خطای پیش‌بینی[۲]، تخمین زده شده‌اند، بررسی‌های لازم انجام گرفته است. بدین منظور از جعبه ابزار شناسائی سیستم نرم‌افزار MATLAB[۷] استفاده گردیده است.

۳-۲-۱- ساختار مدل ARMAX

ساختار کلی این مدل به صورت رابطهٔ زیر است [۸]:

$$A(q).y(t) = B(q).u(t-n_k) + C(q).e(t) \qquad (۱۱)$$

در این رابطه پارامترها به صورت زیر می‌باشند:

$$A(q) = \sum_{k=1}^{na} a(k)q^{-k}; B(q) = \sum_{k=1}^{nb} b(k)q^{-k} \qquad (۱۲)$$
$$C(q) = \sum_{k=1}^{nc} C(k)q^{-k}$$

در رابطه (۱۱)، $u(t)$ ورودی و $y(t)$ خروجی سیستم بوده و $e(t)$ با توجه به خصوصیات آماری‌اش یک white noise می‌باشد. n_b، n_a، n_c به ترتیب مرتبه‌های مربوط به قسمت‌هایAutoregressive, Exogenous و Moving Average می‌باشند و n_k به صورت یک تأخیر زمانی است که در رابطهٔ (۱۱) مشاهده می‌شود. همچنین q^{-k} عملگری برای فشرده کردن صورت رابطه مدل است و به صورت زیر عمل می‌کند:

$$q^{-k} \times y = y(t-k) \qquad , q^{-k} \times u = (t-k) \qquad (۱۳)$$

۳-۲-۲- روش تخمین پارامترهای مدل (روش خطای پیش‌بینی (PEM))

روش PEM حالت بسط دهده شده روش مربعات حداقل[۳]، برای تخمین غیرخطی مدل‌ها می‌باشد. در روش مربعات حداقل، تخمین بردار پارامترهای معادله به گونه‌ای انجام می‌گیرد که مجموع مربعات خطای معادله کمینه شوند. روش مربعات حداقل برای تخمین دقیق خطی مدل‌های AR یا ARX مناسب می‌باشد. گسترش این روش برای مدل ARMAX که در آن تخمین از نوع غیرخطی است[۶] منجر به روش کلی‌تری می‌گردد. روش مذکور که قادر به تخمین‌های پایدار تحت شرایطی با محدودیت کمتر می‌باشد، روش خطای پیش‌بینی نامیده می‌شود.

۵- کلیات مربوط به آزمایشها

نتایج تجربی بکار گرفته شده در این مقاله با توجه به دقیق بودن داده ها، بر مبنای یکسری آزمایشات بارگذاری موج روی نمونهٔ استوانه مدور به قطر ۲۱۰ میلی متر که درسال ۱۹۹۳ در کانال موج دلتای آزمایشگاه هیدرولیک دلفت انجام گرفت، می‌باشد [۹].

این آزمایشات با مقیاس بزرگ در کانال موج دلتا، با طول ۲۵۰، عرض ۵ و ارتفاع ۷ متر و با متوسط عمق آب ۵ متری انجام شده است. برای امواج تصادفی تولید شده در این آزمایشات از طیف

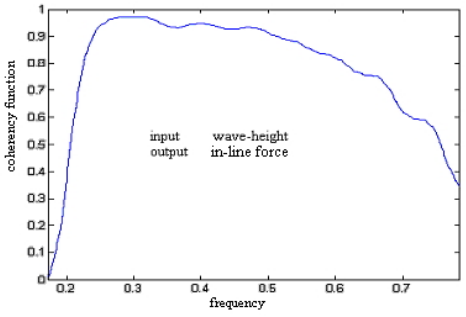
2-Prediction Error Method

3-.The least squares method

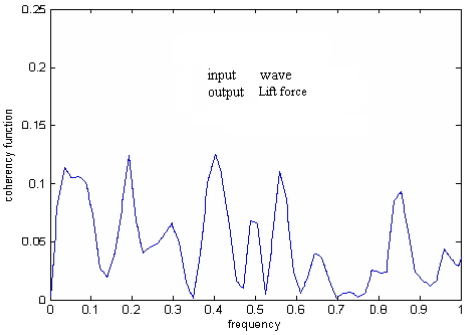
jonswap (پروژه مشترک موج دریای شمال) و با ارتفاع موج مشخصهٔ ۱/۵ مترو پریود پیک ۵/۹ ثانیه بهره گرفته شده است و همچنین موجهای تولید شده به صورت امواج تصادفی و دارای تاج طویلند. نیروهای موثر بر پایه‌ها، توسط چندین حسگر واقع بر آنها، اندازه گیری شده‌اند. با توجه به اینکه با افزایش عمق آب، تاثیر امواج و نیروهای ناشی از آن با کاهش روبرو می‌شود و از طرفی در اثر تغییرات سطح آب و نوسان امواج ممکن است ترازهای بالای نمونه خارج از آب قرار گیرد، لذا نیروهای اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۱/۵ متری زیر سطح آب، مبنای بررسی در این مقاله قرار گرفته اند.

۵- تجزیه و تحلیل داده ها

در اینجا، پایه استوانه ای به عنوان سیستمی سازه ای که نوسانات سطح آب، محرکهای ورودی آن بوده و در مقابل، نیروهای هیدرودینامیکی دراگ و لیفت حاصل بر روی آن (به طور جداگانه)، پاسخ خروجی می باشند، در نظر گرفته شده است. قبل از بررسی قابلیت پیش بینی نیروهای هیدرودینامیکی توسط دو روش مطرح شده، لازم است که شرایط این سیستم با در نظر گرفتن هر یک از این نیروها، با توجه به مطالب بخش ۳، از نظر خطی و غیر خطی بودن بررسی شود. تابع کوهرنسی معیاری است که بدین منظور از آن استفاده می شود که اگر بر اساس ورودی و خروجی سیستم، دارای مقداری بین ۰/۹ الی ۱ باشد، نشان دهنده خطی بودن آن می باشد. با توجه به مقادیر معیار مذکور در اشکال (۷ و ۶) می توان چنین نتیجه گیری کرد که با در نظر گرفتن نیروی لیفت به عنوان پاسخ سیستم، شرایط غیر خطی و در حالت نیروی دراگ (طولی)، شرایط خطی حاکم می باشد. از آنجائیکه غیرخطی بودن باعث non-stationary شدن داده ها می گردد، بنابراین عملکرد مدل ARMAX نیز برای نیروی عرضی موثر نمی باشد [۱۰]. بنابراین از هر دو روش، تنها برای بررسی نیروی هیدرودینامیک دراگ استفاده می شود.



شکل ۶- تابع کوهرنسی برای حالت سیستم با ورودی موج آب و پاسخ شامل نیروی طولی مؤثر بر پایه



شکل ۷- تابع کوهرنسی بین نیروی طولی مؤثر بر پایه برای داده ها در دو حالت موج تنها و موج ترکیب شده با جریان

جهت بررسی قابلیت دو روش مطرح شده و مقایسه کارآمدی آنها در پیش بینی نیروی طولی ناشی از امواج آب، ابتدا با استفاده از روش آنالیز طیفی، اقدام به تعیین تابع انتقال[۴] لازم گردیده است. به منظور انجام این کار، نتایج مربوط به داده‌های تجربی آزمایشهای مذکور انتخاب شدند. داده‌های مربوط به نوسانات سطح آب (امواج) و تغییرات نیروی طولی در تراز ۱/۵ متری در نظر گرفته شدند، آنگاه در محیط Matlab به ترتیب به عنوان ورودی و خروجیهای عملگر Spectrum معرفی شدند و در هشت ستون مقادیر پارامترهای مربوط به آنالیز طیفی متداخل آنها بدست آمدند. پنجمین ستون از نتایج مذکور برابر با تابع وابستگی دو طیف مفروض می‌باشد و ستون چهارم مقادیر تابع پاسخ فرکانسی (تابع انتقال) را که اعدادی مختلط می‌باشند ارائه می‌دهد. به منظور تعیین نمودن رابطه ای برای تابع انتقال بایستی معادله مناسبی را نسبت به این نقاط برازش نمود. بدین منظور ابتدا با توجه به مقدار تابع وابستگی، نقاط واقع در کرانه مناسبی از فرکانسها که در آن سیستم را می توان خطی فرض کرد انتخاب شده است. آنگاه پس از تعیین قدر مطلق مقدار اعداد موهومی مربوط به این نقاط، به داخل جعبه ابزار برازش منحنی (fitting curve) نرم افزار Matlab ارسال شده و در آنجا با استفاده از آزمون و خطا مناسبترین منحنی برازش شده انتخاب گردیده است.

به منظور تشخیص بهترین منحنی از پارامترهای مناسب بودن برازش نظیر R-Squar و Adjusted R-Square استفاده می‌شود که هر چقدر مقدار این پارامترها به یک نزدیکتر باشد وضعیت برازش مناسبتر می‌باشد. با توجه به این توضیحات، تابع گوسین مرتبهٔ چهارم به صورت رابطه زیر مناسب تشخیص داده شده و استفاده گردیده است:

$$TF = AL * \exp(-((\omega - b1)/c1^2 + \quad (۱۴)$$
$$+ a4 * \exp(-((\omega - b4)/c4^2)$$

در شکل (۸) منحنی حاصل از مراحل فوق نشان داده شده است و در جدول (۱) مقادیر ضرایب معادلهٔ فوق، برای چند آزمایش مشابه ارائه

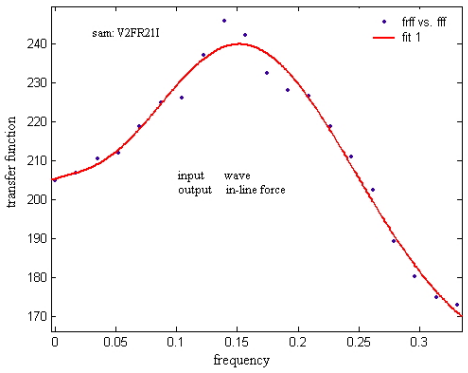
4- Transfer function

گردیده‌اند. مقادیر موجود در جدول (۱) نشان می دهد که پارامترهای حاصل برای چندین آزمایش در کرانهٔ مشابهی واقع می‌باشند، بنابراین به منظور پیش‌بینی مقادیر نیروی طولی حاصل از امواج برای المانی با شرایط مشابه، می‌توان از معادله‌ای با چنین ضرایبی، استفاده نمود..

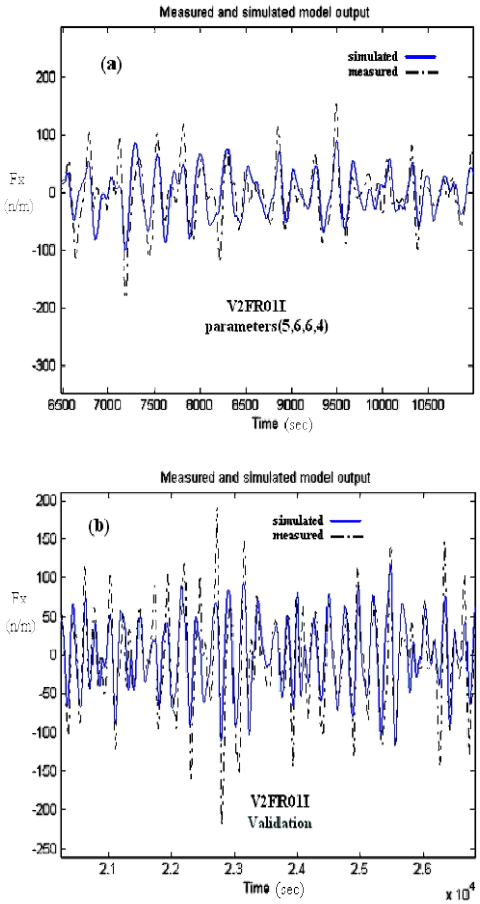
جدول (۱) مقادیر مربوط به ضرایب معادلات برازش شده بر نقاط توابع انتقال آزمایشهای مفروض

ضرایب معادله مفروض	R01	R21	R01	S02
a 1	۱۹۹	۱۸۵/۶	۱۶۱	۱۸۶/۵
b 1	۰/۱۲۷۳	۰/۱۲۸۶	۰/۲۰۹۵	۰/۱۷۲۶
c 1	۰/۱۲۲۹	۰/۱۶۸	۰/۱۰۹۳	۰/۱۱۶
a 2	۱۲۷/۴	۱۴۷/۷	۱۵۲/۴	۱۶۶/۶
b 2	۰/۲۰۲۳	۰/۴۳۹۹	۰/۱۳۶۱	۰/۱۰۸۱
c 2	۰/۰۶۷	۰/۲۶۸	۰/۱۱۸۹	۰/۱۱۷۱
a 3	۱۲۲/۵	۱۲۲/۲	۱۱۸/۳	۲۱۷/۸
b 3	-۰/۰۰۹	-۰/۰۵۸	۰/۴۳۳	۰/۵۰۷
c 3	۰/۰۶۲۷	۰/۰۹۹	۰/۰۸۷۲	۰/۱۰۰۱
a 4	۱۶۴/۴	۱۴۶/۹	۱۵۲/۸	۱۴۹/۵
b 4	۰/۳۱۹۲	۰/۰۰۵۵	-۰/۰۵۸	-۰/۰۱۲
c 4	۰/۱۷۱۹	۰/۰۰۹۸	۰/۱۲۸۴	۰/۱۲۴۲

در مرحله بعد، قابلیت مدل پارامتری شناسائی سیستم بررسی گردیده است. برای ایجاد مدلی به منظور پیش‌بینی نیروهای طولی حاصل از امواج، یک نمونهٔ استوانه‌ای با قطر ۲۱۰ میلی متر جهت انجام آزمایش انتخاب شده است.لازم به توضیح است که سطح بدنهٔ این نمونه دارای زبری نسبی معادل با K/D =۰/۰۳۸ می‌باشد. به منظور استفاده از دادها برای دو حالت ایجاد مدل و همچنین بررسی اعتبار آن، داده‌ها به دو قسمت که هر کدام دارای چهل و پنج هزار برداشت می‌باشند، تقسیم شدند. شکل (۹) دادهای سری زمانی نیروهای طولی حاصل از مدلسازی، برای دو مرحلهٔ ایجاد مدل و تأیید اعتبار آن را در کنار دادهای حاصل از آزمایشات برای بخشی از بازهٔ داده‌های مربوطه نشان می‌دهد.



شکل ۸– تابع انتقال نیروی طولی مؤثر بر پایه، حاصله از امواج آب برای نمونه استوانه زبر با قطر ۰/۲۱ متر



شکل ۹– سیگنالهای نیروی طولی ناشی از موج آب برای نمونهٔ استوانه‌ای زبر با قطر ۰/۲۱ متر (a) نحوهٔ مدلسازی(b) بررسی اعتبار مدلسازی

همانطوریکه در این دو تصویر مشاهده می‌شود، مدل به خوبی داده‌ها را در حوزهٔ زمانی پیش‌بینی نموده است. البته نسبت به داده‌های حاصل از آزمایش، نیروها مقداری دست پایین تخمین زده شده‌اند. پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل، پارامترهای آن به صورت رابطهٔ زیر معرفی می‌شوند:

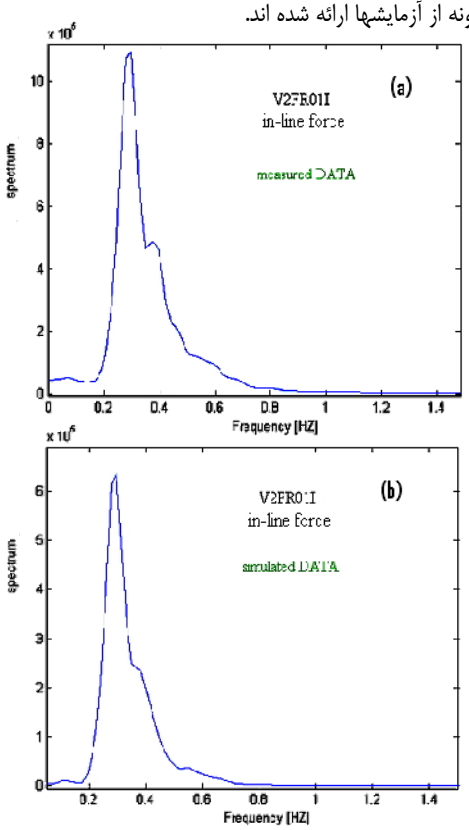
$$A(q) = 1 - 4.398\,q^{-1} + 7.77\,q^{-2} - 6.894\,q^{-3} + \quad (۱۵)$$
$$+ 3.07\,q^{-4} - 0.5504\,^{-5}$$

$$B(q) = 13.26\,q^{-4} - 50.33\,q^{-5} + 75.46\,q^{-6} +$$
$$- 56.24\,q^{-7} + 21.21^{-8} - 3.368\,q^{-9}$$

$$C(q) = 1 - 0.7791\,q^{-1} + 0.2399\,q^{-2} - 0.06625\,q^{-3} +$$
$$+ 0.06518\,q^{-4} + 0.069\,^{-5} + 0.3811\,q^{-6}$$

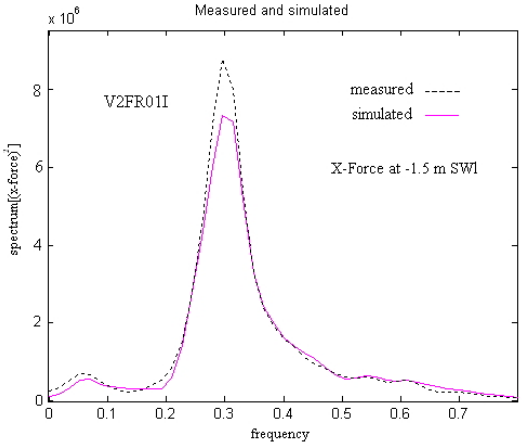
نهایتا پس از بدست آوردن روابط لازم جهت پیش بینی نیروی طولی توسط دو روش مفروض و حصول اطمینان از صحت عملکرد آنها، اقدام به مقایسه میزان دقت نتایج آنها می گردد. به منظور انجام این عمل، ابتدا در روش شناسائی سیستم، سریهای زمانی دادههای نیروی طولی پیش‌بینی شده توسط مدل و همچنین حاصل از آزمایش درحوزه فرکانسی، توسط بدست آوردن طیفهای توان مربوطه مورد

سنجش قرار می گیرند [۹]، تا جهت هماهنگی با روش آنالیز طیفی، مقایسه از طریق طیف توان انجام گیرد. نتایج حاصل در شکل ۱۰ برای یک نمونه از آزمایشها ارائه شده اند.



شکل ۱۰- طیفهای توان داده‌های نیروی طولی برای نمونه استوانه‌ای زبر با قطر ۰/۲۱ متر در دو وضعیت a) اندازه گیری شده وb) مدلسازی شده

در شکل (۱۱) نیز یک نمونه از طیفهای نیروی طولی حاصل از تخمین توسط تابع انتقال حاصل از روش آنالیز طیفی در کنار طیف حاصل از داده های بدست آمده از آزمایش برای نمونه استوانه ای با قطر ۰/۲۱ متر و سطح بدنه زبر، بر روی همدیگر رسم شده اند.



شکل ۱۱- طیف نیروی طولی حاصل از تخمین توسط انالیز طیفی در کنار طیف حاصل از آزمایش در نمونه با قطر ۰/۲۱ متر و سطح بدنه زبر

با انجام مراحل فوق برای پنج دسته از آزمایشهای مشابه و با مقایسه مقدار انرژی برای فرکانس پیک غالب در طیفهای حاصل، مشاهده می گردد که خطای حاصل از روش شناسائی سیستم نسبت به روش آنالیز طیفی که مطابق با تئوریهای مطرح در این پژوهش انجام شده اند، در حوزه فرکانسی حدود ۱۵٪ بیشتر می باشد. در مقابل، با توجه به اینکه عملکرد روش شناسائی سیستم و مدل ARMAX به گونه ایست که نیروهای مربوطه را به صورت نوسانات داده های سری زمانی پیش بینی می کند، بنابراین از این نظر، دید کاملتری را نسبت به نحوه رفتار و شرایط نیروها بدست می دهد.

نتیجه گیری

در فصلهای گذشته، هیدرودینامیک نیروهای ناشی از امواج واقع بر المان سازه ای پایه استوانه ای، به صورت تجربی و با استفاده از تئوریهای، آنالیز طیفی و شناسائی سیستمها، مورد بحث و بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در بندهای زیر خلاصه می شوند:

با استفاده از آنالیز طیفی متداخل نشان داده شده است که در حوزه فرکانسی، رابطه امواج آب با نیروهای عرضی حاصل از آن به صورت غیر خطی و رابطه نیروهای طولی حاصله با این امواج به صورت خطی می باشد، بنابر این تئوریهای مد نظر در این مقاله، تنها برای نیروهای طولی کارآمد می باشند.

در حوزه فرکانسی با توجه به خطی بودن رابطه امواج آب با نیروهای طولی حاصله، ماتریس مقادیر تابع انتقال برای تعدادی از نمونه های تجربی مذکور استخراج گردیده و یک منحنی با معادله مشخص بر آنها برازش شده است و با ترسیم توابع چگالی طیفی برای داده های اندازه گیری شده در آزمایش وهمچنین تخمین زده شده توسط رابطه تابع انتقال استخراج شده، کارآمد بودن تابع انتقال برای تخمین داده های طولی مربوطه، نشان داده شده است.

توانائی پیش بینی نیروهای طولی ناشی از امواج واقع بر پایه های استوانه ای، با استفاده از روش شناسائی سیستم و بوسیله مدل پارامتری ARMAX بررسی و تائید گردید و پارامترهای مدل مذکور برای تعدادی از داده های نمونه های تجربی مفروض تخمین زده شده است.

در کلیه مراحل، عملکرد توابع تخمین دارای درصدی از خطا بوده و نیروها دست پائین محاسبه شده اند که پدیده گردابه جاری شونده و به تبع آن نوساناتی که در نیروهای نوسانی ایجاد می کند، می تواند از عوامل ایجاد خطا در محاسبه و تخمین نیروهای طولی توسط روشهای مذکور باشد.

مشاهده گردید که خطای حاصل از روش شناسائی سیستم نسبت به روش آنالیز طیفی که مطابق با تئوریهای مطرح در این پژوهش انجام شده اند، در حوزه فرکانسی حدود ۱۵٪ بیشتر می باشد ولی با توجه به نحوه عملکرد مدل پارامتری ARMAX که بر روی داده های به صورت سری زمانی برآورد می شود، می توان عنوان نمود که این روش

در مقایسه با روش آنالیز طیفی، نسبت به ماهیت عملکرد نیروهای حاصله شناخت کاملتری را ارائه میدهد.

مراجع

۱- فرزاد، ک.، بررسی تجربی نیروهای هیدرودینامیک وارد بر اعضای قائم سکوهای دریائی تحت تأثیر جریان و امواج تصادفی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ۱۳۷۸.

2- Morison, J.R., O'brien, M.P., Johnson, J.W., and Schaaf, S., The Force Exerted by Surface Wave on Piles, American Institute of Mining and Metallurgical Engineering, Yd. 189, pp.147-154, 1950.

3- Sumer B. Mutlu, Fredsoe Jorgen, Hydrodynamics around cylindrical structures, World Scientifics, 1997.

4- Longoria, R.G., Miksad, R.W., and Beaman, J., Frequency domain analysis of in-line forces on circular cylinders in random oscillatory flow, Trans.ASME, J. offshore Mech. And Arctic Engrg., no.115, pp. 23-30, 1993.

5- Ochi, M.K., Applied probability and stochastic process in engineering and physics sciences, gohn wily & sons,inc,new-york, 1990.

6- Soderstorm, T., Stocia, P., System Identification. Prentice – Hall International Ltd, 1989.

7- Ljung, L., System Identification Toolbox for use with MATLAB. Fifth Printing, 2001.

8- Ljung, L., System Identification. Prentice – Hall, Inc, 1987.

9- Mackwood, P.R., Wave and current Flows Around Circular Cylinders at Large Scale, Lip Project 10D, pp.27, 1993.

10-Poulimenos, A.G. Fassois, S.D. Parametric time-domain methods for non-stationary random vibration modelling and analysis A critical survey and comparison, Mechanical Systems and Signal Processing 20 pp.763–816, 2006.

Comparing of System Identification and Spectral Analysis Capability in Modeling and Predicting of the Sea Wave Hydrodynamic Forces on Cylindrical Pile

Jahangiri, R.
Islamic Azad University- Salmas Branch

Lotfollahi Yaghin, M.A.
Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Uromia Branch

Abstract

Evaluating criteria of nature of forces on structures is an important step in design, construction and utility. In a stochastic phenomenon, the process of the force exerting, are more complicated. Sea waves have such characteristics, where hydrodynamic forces act on hydraulic, offshore and coastal structures. In this paper, the cylinder structure is considered as a system with incoming water wave inputs and the time series of the resultant forces are system's responses. The experimental data used in this study were collected at a hydraulics laboratory on a full-scale rough vertical cylinders and the capability of system identification and spectral analysis to modeling and prediction of these forces were evaluated and compared. For this purpose, first, a transfer function has been estimated, and then an ARMAX model has been used to capture the dynamics of the process relating in-line forces provided by water waves. Finally, the comparisons between two methods and conclusion have been made.

Key words: Cylindrical pile, Sea wave, Hydrodynamic forces, Spectral analysis, Transfer-function, System identification