

# بررسی پدیده تفرق امواج آب حول سازه‌های عمودی ثابت و تدوین برنامه رایانه‌ای

ناصر طالب بیدختی\* و امیر پاشا زنجانی نسب\*\*

بخش مهندسی راه و ساختمان، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز

بخش مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس (بوشهر)

(دریافت مقاله: ۱۳۷۶/۸/۲۱ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۷۸/۷/۲۴)

چکیده - در این مقاله برنامه تدوین شده رایانه‌ای برای محاسبه تفرق امواج خطی بر روی سازه‌های عمودی و ثابت که دارای مقاطع یکنواخت در ارتفاع هستند، بررسی می‌شود. در این برنامه تفرق امواج با استفاده از مفهوم منابع موج نقطه‌ای مدل شده است. سپس با فرض غیر لزج، تراکم ناپذیر و غیر چرخشی بودن جریان، معادله‌های حاکم در قالب توابع پتانسیل حاصل می‌شوند. برای حل این معادله‌ها از نظریه گرین استفاده می‌شود. سرانجام با به دست آمدن توابع پتانسیل سرعت، سایر عکس‌العملها و نیروها و لنگرهای وارد بر سازه محاسبه می‌شوند. صحت نتایج حاصل از برنامه رایانه‌ای مذکور با نتایج نظری موجود مقایسه می‌شود. در انتها اشکالی به منظور طراحی اولیه سازه‌های با مقاطع دایره‌ای، بیضی و مربعی و تجزیه و تحلیل‌های مربوطه ارائه می‌شود.

## Diffraction of Water Waves Around Vertical Fixed Structures with Arbitrary Section

N. Talebbeydokhti and A.P. Zanjani Nassab

Department of Civil Engineering, Shiraz University

Department of Civil Engineering, Persian Gulf University

**ABSTRACT-** *In this paper, the developed computer program was applied to calculate the diffraction of water waves around vertical fixed structures. The wave diffraction was modeled using point wave source concept. Assuming that the flow is non-viscous, irrotational, and incompressible, the governing equations are then derived in the form of potential functions. The Green theorem was applied to solve these equations. Therefore, reaction of wave, forces and moments on structure were analyzed through the velocity potential function thus obtained. The accuracy of this computer program results are compared with available theoretical studies in the literature. Design diagrams for structures with circular, elliptical, and square cross-sections are presented for preliminary design and analysis.*

\*\* - عضو هیئت علمی

\* - دانشیار

فهرست علائم	
$a_{ij}$	درایه‌های ماتریس A
$d$	عمق آب در مجاورت سازه
$F_z$	کل نیروهای افقی در ارتفاع z
$f(\xi, \eta)$	تابع قدرت منبعها
$G(x, y; \xi, \eta)$	تابع گرین
$H^{(1)}(kr)$	تابع هنکل از مرتبه صفر
$k$	عدد موج
$L_j$	ابعاد جز سطح $\lambda$ ام
$M_{total}$	کل لنگر وارد بر سازه حول پای سازه
$R$	میزان بالارفتگی موج روی سازه
$r = ((x_i - \xi_j)^2 + (y_i - \eta_j)^2)^{0.5}$	فاصله نقطه $i$ از منبع $\lambda$ ام
$Z(z)$	تابع تغییرات پتانسیل موج در راستای محور z
$(\xi_i, \eta_j)$	مختصات منبعهای موج
$\Phi_s, \Phi_w, \Phi$	برروی جسم توابع پتانسیل موج متفرق شده
$\eta(x, y, z, t)$	برخوردی و کل پروفیل سطح آب
$\omega$	فرکانس موج

## ۱- مقدمه

برخورد با موج از  $\lambda/2$  طول موج بیشتر باشد، سازه روی وضعیت امواج تاثیر گذاشته و پدیده تفرق را به وجود می‌آورد.

هوانگ و تاک [۱] میزان پراکندگی امواج در داخل محوطه بندرگاه‌های با اشکال مختلف را مورد بررسی قرار داده و روشی را به منظور محاسبه تفرق امواج بر پایه توابع پتانسیل ارائه کردند. بعدها گازیسون و چو [۲] نیز نظیر این روش را برای بررسی تفرق امواج بر روی سازه عمودی ثابت در دو حالت غوطه ور و شناور به کار گرفتند. آنها برای تابع موج با استفاده از کارهای وهاسن و لایتون [۳] از تابع گرین در حالت سه بعدی استفاده کردند. ایساکسون [۴] با توجه به مفهوم تابع موج نواری از طریق انتگرالگیری تابع گرین مربوطه، برای همان سازه‌ها اما با مقاطع یکنواخت در ارتفاع، معادله‌های حاکم را به صورت دو بعدی درآورد و در نتیجه روش ساده تری را برای این نوع سازه‌ها ارائه کرد.

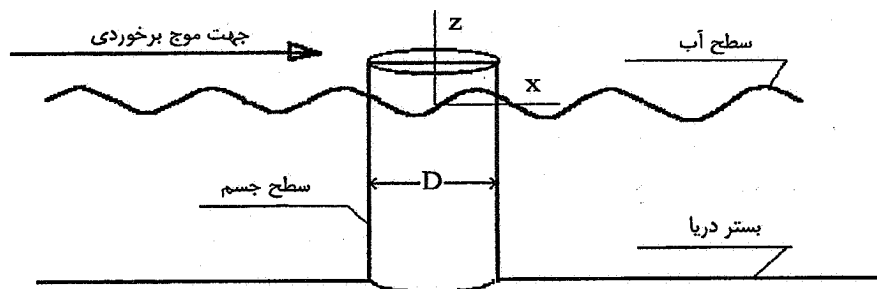
برای تهیه برنامه رایانه‌ای در این مقاله نیز از مفهوم توابع موج نقطه‌ای برای بررسی تفرق روی سازه‌های عمودی و ثابت دارای مقاطع یکنواخت استفاده می‌شود. همچنین تابع پتانسیل موج متفرق شده نیز با توجه به قضیه گرین انتخاب می‌شود. لذا بررسی جامعی برای وقوع تفرق روی سازه‌های با اشکال مختلف با استفاده از بر نامه رایانه‌ای انجام شده و نتایج آن با کارهای مشابه صورت گرفته روی مقاطع خاص کنترل می‌شود. سرانجام اشکالی به منظور طراحی مقدماتی این نوع سازه‌ها ارائه می‌شوند.

## ۲- معادله‌های حاکم بر پدیده تفریق

ترسیم از وضعیت امواج سطحی با ارتفاع H و پریود T در یک محیط دریایی بر روی یک سازه عمودی و ثابت با مقطع یکنواخت

در قرن اخیر نیازمندیها و بهره برداریهای بی‌رویه انرژی به حدی رسیده است که استفاده از منابع انرژی در روی خشکیها نه تنها از لحاظ کمیت و کیفیت بلکه از لحاظ مسائل زیست محیطی با مشکلات فراوان روبرو شده است. سدها و بناهای پی در پی احداث شده بر روی رودخانه‌ها ویا آلودگیهای ایجاد شده توسط مراکز انرژی اتمی وپالایشگاهها، مثالهای بارزی از این مسئله‌اند. به همین منظور در دهه‌های اخیر با پیشرفت علم و تجربه بشر، دریاها و اقیانوسها که تقریبا دو سوم سطح زمین را تشکیل می‌دهند، بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در راستای همگام شدن با این مطالعات نوین جهانی، کشور ایران با دارا بودن مرزهای آبی در شمال (از طریق دریای خزر) و در جنوب (از طریق خلیج فارس و دریای عمان) از پتانسیل بسیار خوبی برای استفاده از منابع دریایی و تحقیقات ذریبط برخوردار است و بررسی اثرات امواج روی سازه‌های دریایی کمابیش حجیم و بزرگ فرا ساحل می‌تواند راهگشای حل مسائل عمده‌ای در این زمینه باشد. در مواقعی که سازه دور از ساحل باشد، میزان تاثیر امواج بر روی آن نسبت به حالتی که در کنار ساحل قرار گیرد، تفاوت خواهد داشت. در نزدیکی سواحل معمولا دامنه امواج بلندتر شده و با نزدیک شدن به ساحل، به تدریج متاثر از وضعیت ساحل و توپوگرافی کف دریا می‌شود. برعکس با دور شدن از ساحل، امواج حالت منظمتری پیدا می‌کنند و از آنجایی که عمق افزایش می‌یابد کمتر تحت تاثیر وضعیت توپوگرافی کف دریا قرار می‌گیرند. در هر کدام از این حالتها، توزیع نیروها و سایر عکس العملها روی سازه متفاوت خواهد بود. برای سازه‌های بزرگی که بعد مشخصه سازه در



شکل ۱- وضعیت یک موج سطحی دامنه کوتاه و پایه مورد نظر با حجم کنترلی حاکم بر مسئله

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_w \quad (6)$$

در این معادله  $\Phi_w$  معرف پتانسیل امواج برخوردی و  $\Phi_s$  معرف پتانسیل امواج منفرجه شده‌اند. بنابر این معرف یک سری امواج بیرون رونده<sup>۱</sup> خواهد بود. این امواج باید در مرز بینهایت شرط تابشی را تامین کنند یعنی

$$\lim_{r \rightarrow \infty} r^{0.5} \left[ \frac{\partial \Phi_s}{\partial r} - ik\Phi_s \right] = 0 \quad (7)$$

طوری که در این معادله  $\Gamma$  فاصله شعاعی و  $k$  عدد موج اند و مقدار  $k$  را می‌توان از طریق معادله پراکندگی<sup>۲</sup> محاسبه کرد [۷]. حل معادله‌های حاکم با توجه به شکل هندسی سازه، تغییرات تابع پتانسیل در راستای محور  $Z$  مستقل از  $x$  و  $y$  خواهد بود. بنابر این با استفاده از گسسته سازی متغیرها، معادله (۶) به صورت زیر خواهد شد

$$\Phi(x,y,z,t) = A(\phi(x,y))Z(z)f(t) \quad (8)$$

طوری که در این معادله  $\phi = \phi_w + \phi_s$  است. به علت آنکه امواج برخوردی دوره‌ای در نظر گرفته می‌شوند، خواهیم داشت

$$f(t) = e^{-i\omega t} \quad (9)$$

با قرار دادن معادله (۸) در معادله لاپلاس، معادله (۱) دستگاه معادله‌های زیر حاصل خواهد شد

$$\begin{cases} \nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0 & (10 - \text{الف}) \\ Z'' - k^2 Z = 0 & (10 - \text{ب}) \end{cases}$$

در شکل (۱) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود برای سادگی عملیات محاسباتی همواره می‌توان محورهای مختصات را به نحوی در نظر گرفت که محور  $x$  در راستای انتشار موج قرار گیرد. با فرض غیر لزج، تراکم ناپذیر و غیر چرخشی بودن سیال، حرکت سیال را می‌توان با یک تابع پتانسیل بیان کرد. بنابراین معادله حرکت سیال به صورت زیر خواهد شد.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

همچنین از آنجایی که سازه‌های مورد نظر در ناحیه دور از ساحل قرار داشته و دامنه امواج برخوردی کوتاه است، شرایط مرزی مسئله به صورت خطی خواهند شد [۶ و ۵] این شرایط عبارت اند از

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{در} \quad z = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad \text{در} \quad z = -d \quad (3)$$

$$\eta = -\frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} \right) \quad \text{در} \quad z = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad \text{بر روی سطح جسم} \quad (5)$$

در این معادله‌ها  $\Phi$  تابع پتانسیل سرعت کل،  $d$  عمق آب،  $\eta$  پروفیل سطح آب و  $n$  معرف بردار یکه عمود بر سطح سازه و  $g$  شتاب جاذبه زمین اند. به علت آنکه شرایط مسئله خطی است، می‌توان تابع پتانسیل کل را به صورت زیر در نظر گرفت

بسیلی که شرایط مذکور را ارضا می‌کند، تابع هنکل نوع اول و مرتبه صفر است. این تابع در حالتها که  $(x, y)$  بر  $(\xi, \eta)$  منطبق باشد، منفرد خواهد شد. همچنین در مرز بینهایت به صورت  $\frac{e^{ikr}}{\sqrt{r}}$  خواهد شد. بنابراین تابع گرین مذکور را می‌توان به صوت زیر در نظر گرفت

$$G(x, y, \xi, \eta) = i\pi H_0^{(1)}(kr) \quad (15)$$

در این معادله  $H_0^{(1)}(kr)$  تابع هنکل نوع اول و از مرتبه صفر  $r = \sqrt{(x, \xi)^2 + (y, \eta)^2}$  است. معادله (5) با توجه به معادله (13) به صورت زیر خواهد شد

$$\frac{k}{4\pi} \int_S f(\xi, \eta) \frac{\partial G}{\partial n} ds = - \frac{\partial \phi_w}{\partial n} \quad (16)$$

از آنجایی که تابع  $G$  در مواقع انطباق  $(x, y)$  بر  $(\xi, \eta)$  منفرد خواهد شد، بنابراین این معادله (16) منفرد خواهد شد طوری که بعد از رفع منفردیت به روش مقدار اصلی کوشی<sup>3</sup> این معادله به صورت زیر خواهد شد [3]

$$-\frac{1}{4} f(x, y) + \frac{1}{4\pi} \int_S f(\xi, \eta) \frac{\partial G(x, y, \xi, \eta)}{\partial n} ds = - \frac{\partial \phi_w}{\partial n} \quad (17)$$

تابع مجهول در معادله (17) در داخل انتگرال است. بنابراین معادله (17) یک معادله انتگرالی است. این معادله، برای حالت‌های مختلف شکل جسم، حل صریحی نخواهد داشت. بنابراین برای حل آن باید از یکی از روشهای عددی استفاده کرد. در اینجا اگر فرض کنیم که سطح جسم از اجزای سطحی بسیار کوچکی تشکیل شده که منابع موج روی آنها دارای قدرت یکنواخت است، معادله (17) به یک دستگاه معادله‌های جبری خطی تبدیل خواهد شد. برای نقطه  $(x_i, y_i)$  بر روی سازه، معادله به شکل زیر خواهد بود

$$-\frac{f(x_i, y_i)}{4} + \frac{1}{4\pi} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N f_j \int_{\Delta s_j} \frac{\partial G_{ij}}{\partial n} ds = - \frac{\partial \phi_w}{\partial n}(x_i, y_i) \quad (18)$$

به طوری که در معادله (18) جزء انتگرالها روی هر المان  $\Delta s_j$  به راحتی قابل محاسبه خواهد بود. معادله (18) در شکل ماتریسی به صورت زیر است

$$Bf = \alpha \quad (19)$$

معادله (10 - ب) یک معادله دیفرانسیلی درجه دوم خطی بوده و دارای حل مشخص است. با توجه به شرایط مرزی (2) و (3) جواب این معادله عبارت است از

$$Z(z) = \frac{-iHg}{2\omega} \times \frac{\cosh [k(Z+d)]}{\cosh(kd)} \quad (11)$$

معادله (10 - الف) نیز به شکل معادله هلمهولتز است. با توجه به معادله‌های (6) و (10 - الف)، نتیجه می‌شود که هر یک از توابع  $\phi_w$  و  $\phi_s$  به طور مستقل، معادله هلمهولتز را ارضا می‌کنند. به این ترتیب تابع  $\phi_w$  عبارت خواهد شد از

$$\phi_w = e^{ikx} \quad (12)$$

به منظور محاسبه تابع پتانسیل موج متفرق شده، ابتدا فرض می‌شود که سطح جسم از یکسری منابع موج نقطه‌ای تشکیل شده باشد [1 - 3]. بنابراین هر نقطه  $(x, y)$  متاثر از این منبع موج نقطه‌ای بر روی سازه خواهد بود. در نتیجه تابع پتانسیل سرعت موج متفرق شده عبارت خواهد بود از

$$\phi_s(x, y) = \int_S f(\xi, \eta) G(x, y, \xi, \eta) ds \quad (13)$$

در این رابطه  $f(\xi, \eta)$  تابع قدرت منبع در نقطه  $(\xi, \eta)$  و  $G(x, y, \xi, \eta)$  تابع تاثیر منبع در نقطه  $(\xi, \eta)$  بر روی نقطه  $(x, y)$  است. با استفاده از نظریه گرین [8] تابع  $G$  باید به نحوی انتخاب شود که علاوه بر معادله هلمهولتز شرایط مرزی سینماتیکی بر روی سطح جسم و شرط تابشی در بینهایت را ارضا کند. شایان ذکر است که معادله هلمهولتز در دستگاه مختصات استوانه‌ای به صورت زیر است

$$\phi'' + \frac{1}{r} \phi' + k^2 \phi = 0 \quad (14)$$

همان طور که ملاحظه می‌شود این معادله به شکل معادله دیفرانسیل بسل مرتبه صفر ( $\nu = 0$ ) است. بنا بر این جوابهای معادله هلمهولتز (یا به عبارتی تابع  $G$ ) به صورت یکی از انواع توابع بسل مرتبه صفر خواهد بود. از سوی دیگر، تابع  $G$  باید شرط مرزی در بینهایت و شرط مرزی بر روی سطح جسم را ارضا کند. بهترین تابع

### ۳- برنامه رایانه‌ای DWAP

با توجه به روش گفته شده در بخشهای قبل یک برنامه رایانه‌ای به نام DWAP به منظور محاسبه تفرق امواج روی سازه‌های ثابت با مقاطع یکنواخت در ارتفاع تهیه شده است [۱۰]. برنامه مذکور از یک برنامه اصلی و سیزده برنامه فرعی و به زبان فورتن ۷۷ تشکیل شده و توسط کمپایلر لاهی<sup>۵</sup> اجرا شده است. اطلاعات ورودی به برنامه رایانه‌ای DWAP به راحتی توسط سوالهای متوالی که برنامه از کاربر می‌کند می‌تواند به برنامه داده شود و بنابراین مشکل خاصی برای کاربر مبتدی وجود نخواهد داشت و ورودیهای این برنامه مقادیر پارامترهای مختلف موج (پریود موج، ارتفاع مشخصه موج)، وضعیت آب مجاور سازه (عمق آب، جرم حجمی آب و شتاب جاذبه زمین) و همچنین خصوصیات سازه‌اند. برنامه برای سه حالت پایه‌های با مقاطع دایره‌ای، بیضوی و مربعی توانایی محاسبه شکل مقطع با توجه به ابعاد این مقاطع را دارد. برای حالتی که شکل مقطع سازه دلخواه باشد، باید مختصات شکل مقطع به برنامه وارد شود. خروجیهای برنامه با توجه به نیاز کاربر، نیروها، لنگرها و میزان توپوگرافی سطح موج و بالاروی موج برای زمانهای مختلف است و برای هر یک از این عوامل، پرونده خروجی مجزایی تشکیل خواهد داد. یکی از قابلیت‌های دیگر این برنامه زمان اجرای کم آن برای تحلیلهای بالاست.

### ۴- نتایج کاربرد برنامه رایانه‌ای و مقایسه با تحقیقات دیگران

به منظور کنترل دقت برنامه رایانه‌ای تهیه شده DWAP [۱۰]، نتایج حاصل از برنامه برای چند حالت مختلف سازه با کارهای انجام شده در این زمینه مقایسه می‌شود.

۱- مقاطع دایره‌ای - برای تفرق امواج روی این مقاطع حل‌های صریحی وجود دارد [۱۱] که این حل‌ها مبنای مقایسه خوبی برای برنامه رایانه‌ای حاضر است. تغییرات ضریب نیرو بر حسب مقادیر مختلف  $ka$  بر اساس روش حل صریح و برنامه رایانه‌ای حاضر در شکل (۲) ترسیم شده است. تعداد المانهای انتخابی در این مسئله ۹۲ عدد است. در این حالت حداکثر خطایی که نسبت به روش حل دقیق مشاهده می‌شود، حدود ۵٪ خواهد بود. البته با افزایش المانها به جوابهای دقیق بسیار نزدیک خواهیم شد. همان طوری که دیده می‌شود، میزان نتایج DWAP با نتایج نظری دقیق در بیشترین حالتها حدود ۰/۰۳ تفاوت دارد که این خود نشان دهنده

معادله اخیر معرف یک دستگاه معادله‌های جبری خطی همزمان است. در برنامه رایانه‌ای تهیه شده، این معادله به روش گوس حل می‌شود. با توجه به مقادیر توابع قدرت منابع، تابع پتانسیل موج متفرق شده با توجه به معادله (۱۳) در حالت عددی به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\phi_s = \underline{A} \underline{f} \quad (20)$$

ماتریس  $\underline{A}$  در این معادله به صورت زیر است

$$a_{ij} = \frac{k\Delta s_j}{2\pi} G(x_i, y_i, \xi_j, \eta_j) \quad (21)$$

برای حالتی که  $i = j$  باشد، تابع گرین منفرد خواهد شد. با استفاده از روش c.p.v [۷] برای حالت  $i=j$  (عناصر روی قطر  $\underline{A}$ ) خواهیم داشت

$$a_{ij} = \frac{k\Delta s_j}{2\pi} \left[ \text{Ln} \left( \frac{k\Delta s_j}{2} \right) - 1 \right] \quad (22)$$

با داشتن توابع  $\phi_w$ ،  $\phi_s$ ، تابع پتانسیل کل با توجه به معادله (۸) مشخص می‌شود. سایر عوامل مورد نیاز، از قبیل نیرو، لنگر و نیمرخ سطح آب و... با استفاده از تابع پتانسیل کل محاسبه خواهند شد.

$$P = + \frac{1}{\gamma} \rho g H \frac{\cosh [k(Z+d)]}{\cosh(kd)} \phi e^{-i\omega t} \quad (23)$$

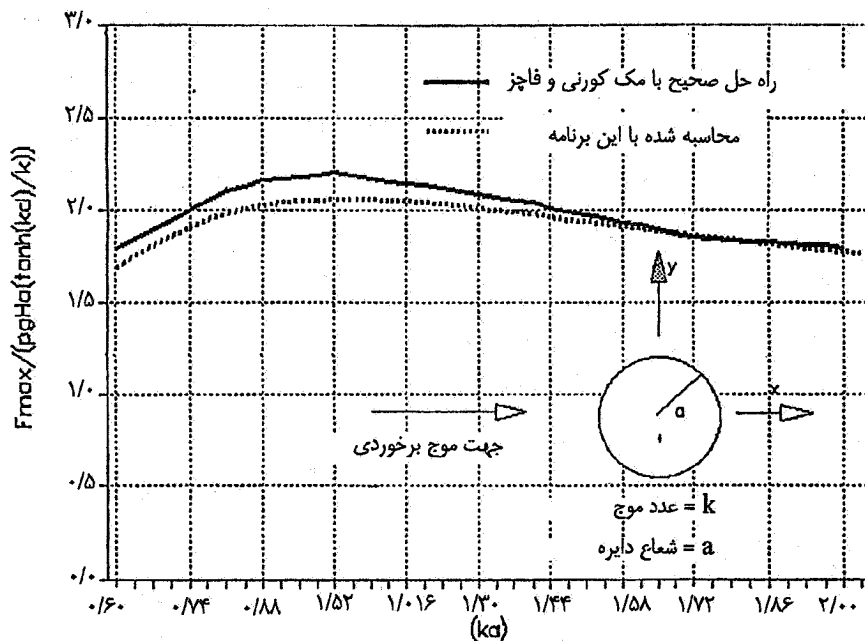
$$\eta = \frac{1}{\gamma} H \phi e^{-i\omega t} \quad (24)$$

$$R = \frac{1}{\gamma} H |\phi| \quad (25)$$

$$F_{\gamma} = \rho g H \frac{\cosh [k(z+d)]}{\cosh(kd)} \int_s \phi \vec{n} ds \quad (26)$$

$$F = \rho g H d \frac{\tanh(kd)}{(kd)} \int_s \phi \vec{n} ds \quad (27)$$

$$M = \rho g H d^2 \left[ \frac{kd \sinh(kd) + 1 - \cosh(kd)}{(kd)^2 \cosh(kd)} \right] \int_s \phi \vec{n} ds e^{-i\omega t} \quad (28)$$



شکل ۲- نمودار بی بعد به منظور محاسبه نیروهای حداکثر برای حالت‌های مختلف سازه و پارامترهای مختلف موج

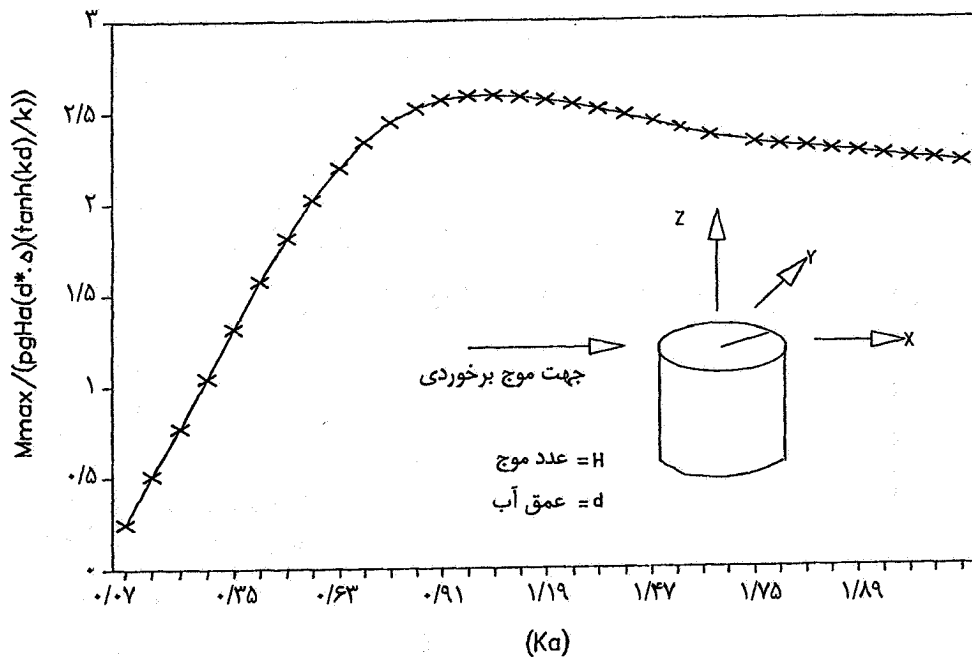
آب در زمانی که تاج موج از  $x = 0$  می‌گذرد، در شکل (۴) ترسیم شده است. در این شکل همان طور که مشاهده می‌شود توپوگرافی سطح آب در مجاورت یک استوانه دایره ای به شعاع ۶ متر (۲۰ft) برای موجی با  $T=6\text{sec}$  و ارتفاع مشخصه ۶ متر بررسی شده است. در حالت (الف) میزان تاثیر توپوگرافی سطح آب در امتداد محور  $x$  و در حالت (ب) در امتداد محور  $y$  نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود موج متفرق شده در جناح‌های بالادست سازه دچار بالا آمدگی می‌شود و به تدریج که به سمت پایین دست سازه می‌رود به سمت سازه منحرف می‌شوند و در واقع به منطقه سایه در پشت جسم نفوذ پیدا می‌کنند.

در شکل (۴) که معرف میزان تاثیر تفرق در امتداد‌های جانبی است مشاهده می‌شود که اثرات تفرق تا فواصل حدود یک طول موج از طرفین مانع ادامه دارد و از آنجا به بعد به تدریج بسیار کم خواهند شد. بنابراین هر جسم دیگری که در این محدوده قرارگیرد، تحت تاثیر وضعیت امواج متفرق شده از روی این استوانه خواهد بود (تأثیر چند پایه مجاور روی یکدیگر) نیز درصدی از امواج به پشت سازه نفوذ پیدا کرده اند. از شکل‌های (۲) و (۳) به منظور طرح اولیه این نوع مقاطع نیز می‌توان استفاده کرد. با داشتن پارامترهای

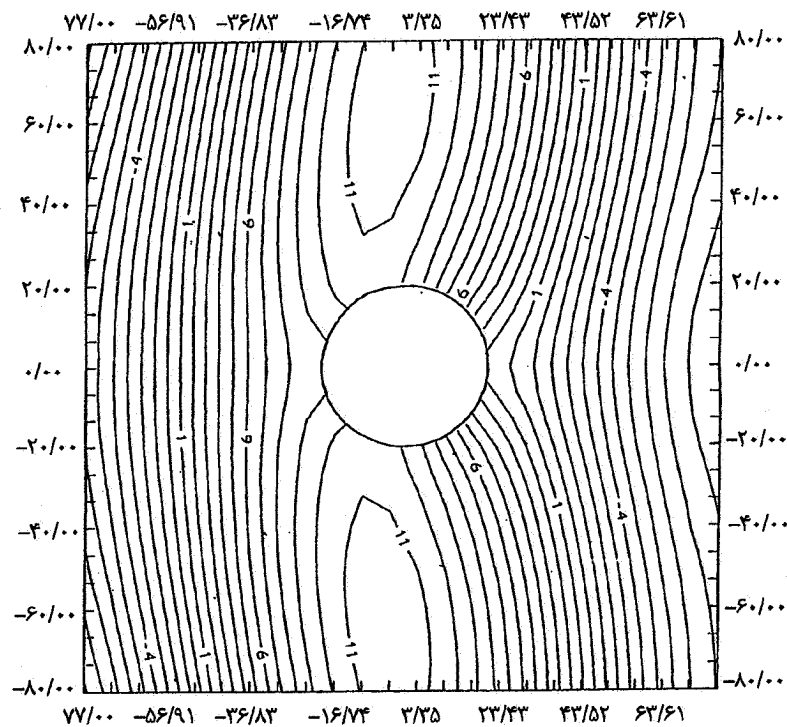
دقت خوب برنامه رایانه‌ای مذکور است. همان طور که دیده می‌شود نمودار کلا دارای تعقیری روبه پایین است و علاوه بر این در حدود  $Ka = 1$  ضریب نیروها به مقدار حد اکثر می‌رسد برای توجیه این رفتار می‌توان ابتدا فرض کرد که شرایط موج ثابت باشد. با افزایش ابعاد سازه چون فاصله هر منبع تا نقاط مختلف روی سازه دورتر می‌شود، از تاثیر آن نیز کاسته می‌شود. بنابراین با اینکه سطح برخوردی با امواج بیشتر می‌شود ولی گام تغییرات نیروهای حاصل از تفرق کاهش خواهد داشت.

از این نمودار می‌توان برای محاسبه نیروهای وارد بر سازه در بحرانی‌ترین حالت موج یعنی وضعیت موج برخوردی به سازه به نحوی باشد که بیشترین نیرو را به وجود آورد استفاده کرد. با داشتن پارامترهای موج مقدار  $K$  (عدد موج) محاسبه شده و بنابراین برای هر اندازه از ابعاد سازه، مقدار نسبت نیروها و در نتیجه نیروی کل حداکثر وارد بر سازه قابل محاسبه خواهد بود. در این صورت، این مسئله به دقت مورد نیاز برای جوابها و هزینه‌های محاسباتی مورد نظر بستگی دارد.

تغییرات نسبت بی بعد لنگر حول پای سازه نسبت به مقادیر مختلف نیز براساس برنامه رایانه ای محاسبه شده که در شکل (۳) نشان داده شده است. همچنین برای این نوع مقاطع توپوگرافی سطح



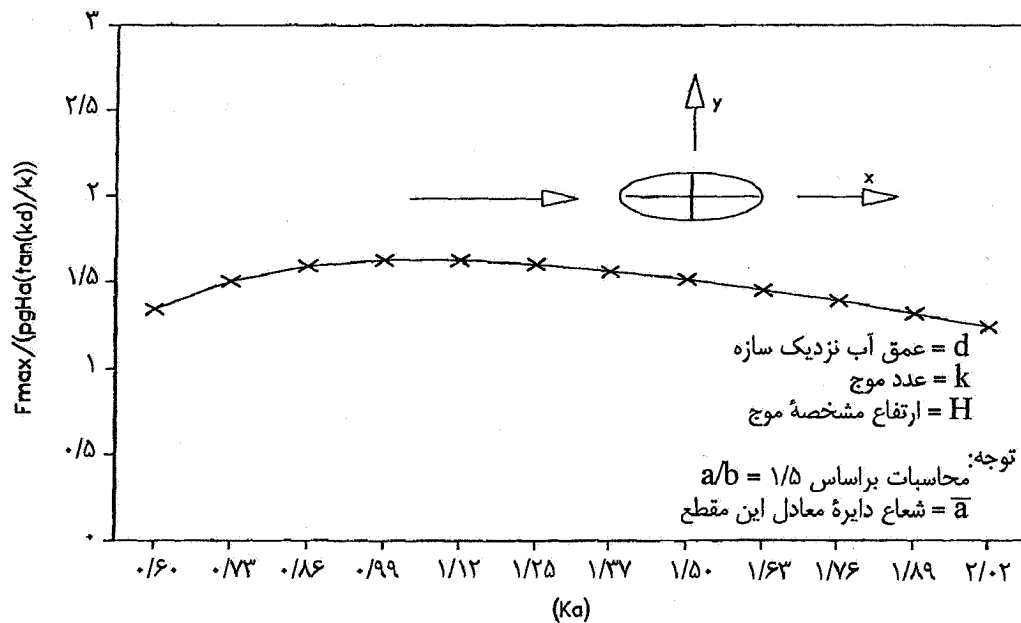
شکل ۳- نمودار بی بعد به منظور محاسبه لنگرهای حداکثر برای حالت‌های مختلف سازه و پارامترهای مختلف سازه



شکل ۴- توپوگرافی سطح موج متفرق شده در اطراف یک استوانه دایره‌ای، (الف) - در امتداد محور X و (ب) - در امتداد محور Y

می‌شوند و بنابراین در طرح اولیه می‌توان کفایت مقطع انتخابی را با توجه به مقادیر نیرو و لنگر به دست آمده کنترل کرد.  
۲- مقاطع بیضوی شکل - یکی دیگر از مقاطع متداول مورد استفاده

موج و انتخاب بعدی برای مقطع، پارامتر  $Ka$  مشخص شده و بر این اساس نسبت بی بعد نیرو و لنگر به ترتیب از شکل (۲) و (۳) تعیین می‌شود. در نتیجه نیرو و لنگرهای وارد بر مقطع انتخابی تعیین



شکل ۵- نمودار بی بعد به منظور محاسبه نیروهای حداکثر برای حالت‌های مختلف ابعاد مقطع بیضی شکل پارامترهای موج

همچنین در شکل (۸) نیز تغییرات ضریب بدون بعد لنگر برحسب تغییرات پارامتر بی بعد  $Ka$  ترسیم شده است. در گوشه‌های تیز این نوع مقاطع پدیده جدایی جریان اتفاق می‌افتد و توابع پتانسیل دیگر اعتبار نخواهند داشت [۴ و ۱۲]. البته تأثیر این عوامل در مقدار نیروهای کل ناچیز است بنابراین در این نوع مقاطع، از توابع پتانسیل فقط می‌توان برای محاسبه نیروها و لنگرهای کل استفاده کرد. لذا محاسبه سایر عوامل نظیر نیمرخ سطح موج و نیروهای وارد بر هر نقطه از سطح، خطای زیادی را در بر خواهد داشت.

ضمناً وجود توپوگرافی سطح امواج متفرق شده بر روی موانع دایره‌ای و بیضی شکل در شکل (۹) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود شدت اغتشاش به وجود آمده در حالت مقطع بیضی شکل بیشتر از مقطع دایره است.

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

با توجه به مثال‌های در نظر گرفته شده در بخش قبل و همچنین مقایسه نتایج حاصله با نتایج تحقیقاتی سایر متخصصان می‌توان نشان داد که دقت برنامه رایانه‌ای حاضر مناسب است. حتی دقت محاسبات با افزایش تعداد تقسیمات بیشتر خواهد شد. البته همواره

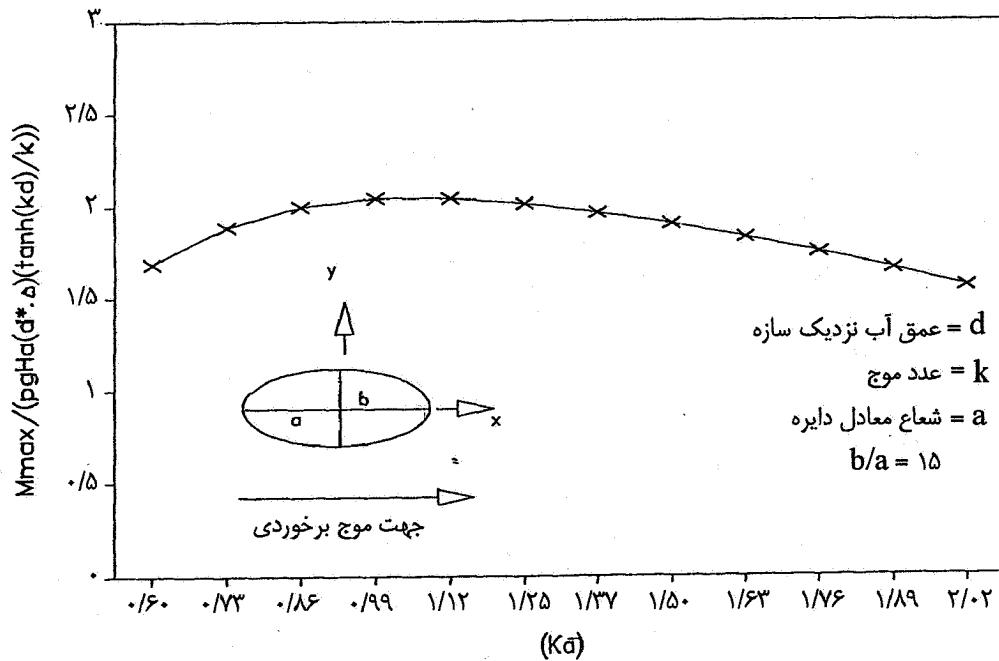
به عنوان اعضای عمودی و باربر سازه‌های دریایی، مقاطع بیضی شکل است. به لحاظ هندسی، این نوع مقاطع در دو حالت نسبت به امتداد موج برخوردی می‌توانند قرار گیرند. این نوع مقاطع دارای تقارن نسبت به محورهایشان هستند. بنابراین درحالتی که محورهای تقارن در راستای موج قرار گیرد، وضعیت امواج متقارن خواهند بود. این مقاطع در دو حالت، نسبت به امتداد موج برخوردی، مورد بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج به دست آمده [۱۰] در مواقع قرارگیری بعد کوچک مقطع در امتداد امواج، تأثیر امواج بر روی سازه کمتر خواهد بود. نتایج حاصله برای تغییرات ضریب بی بعد نیرو و لنگر برحسب مقادیر مختلف  $(Ka)$  به ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) برای حالت قرارگیری بعد بزرگ در راستای امتداد امواج نشان داده شده‌اند.

برای مقاصد طراحی مثل حالت قبل می‌توان از شکل‌های (۵) و

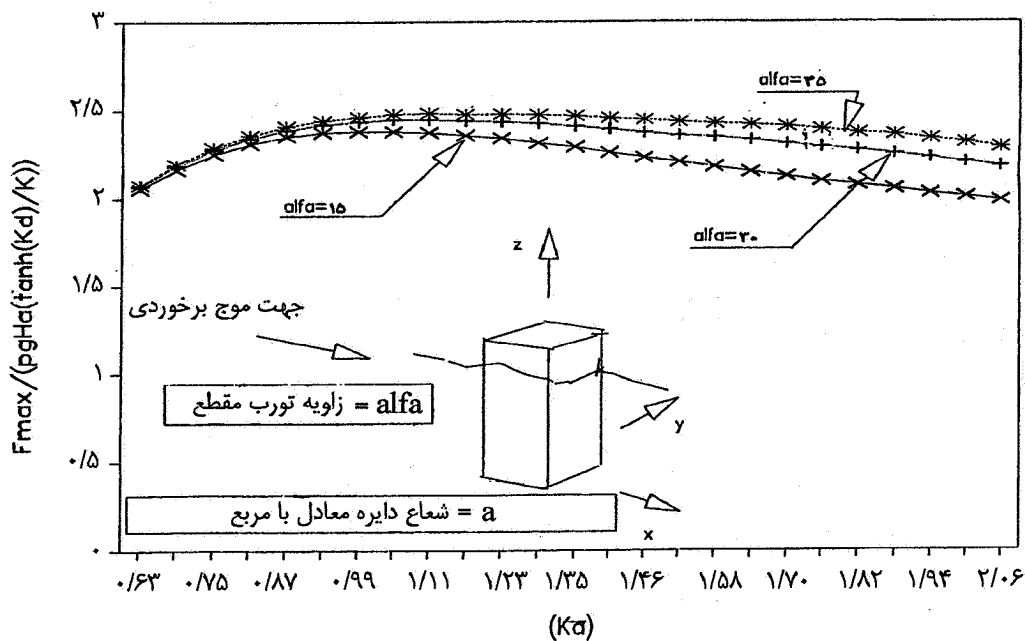
(۶) استفاده کرد.

۳- مقاطع مربع شکل - برای این نوع مقاطع هوگریج و جانیسون [۱۲] و ایساکسون [۱۳] مطالعات آزمایشگاهی و نظری گسترده‌ای انجام داده‌اند. در شکل (۷) نتایج برنامه رایانه‌ای حاضر برای تغییرات ضریب بدون بعد نیرو برحسب مقادیر مختلف پارامترهای موج و ابعاد مقاطع مربع شکل ترسیم شده است.





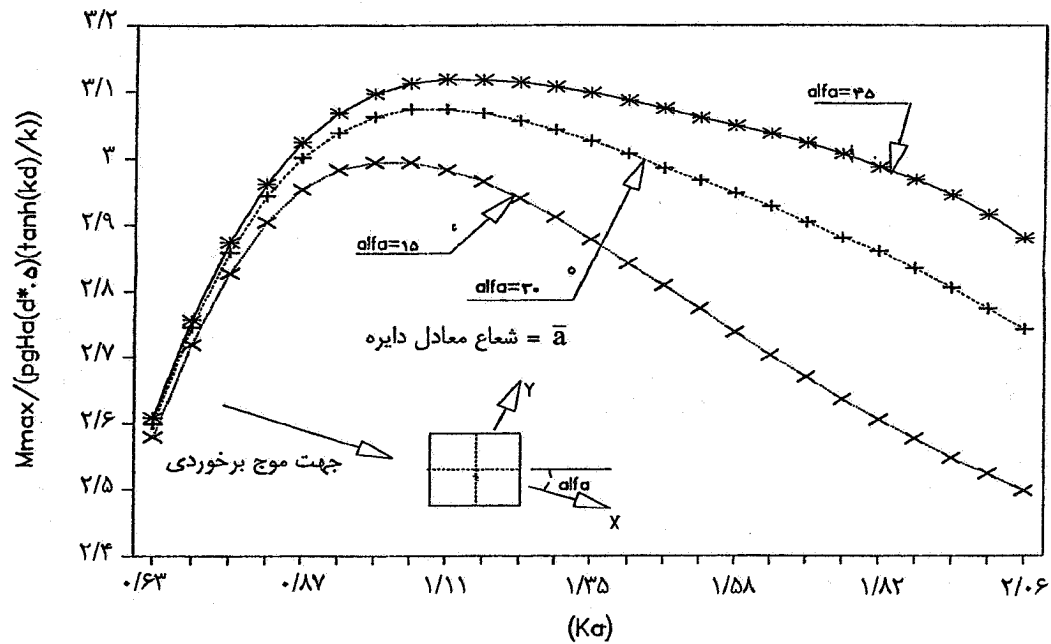
شکل ۶- نمودار بی بعد به منظور محاسبه لنگرهای حداکثر برای حالت‌های مختلف ابعاد مقطع بیضی شکل و پارامترهای موج



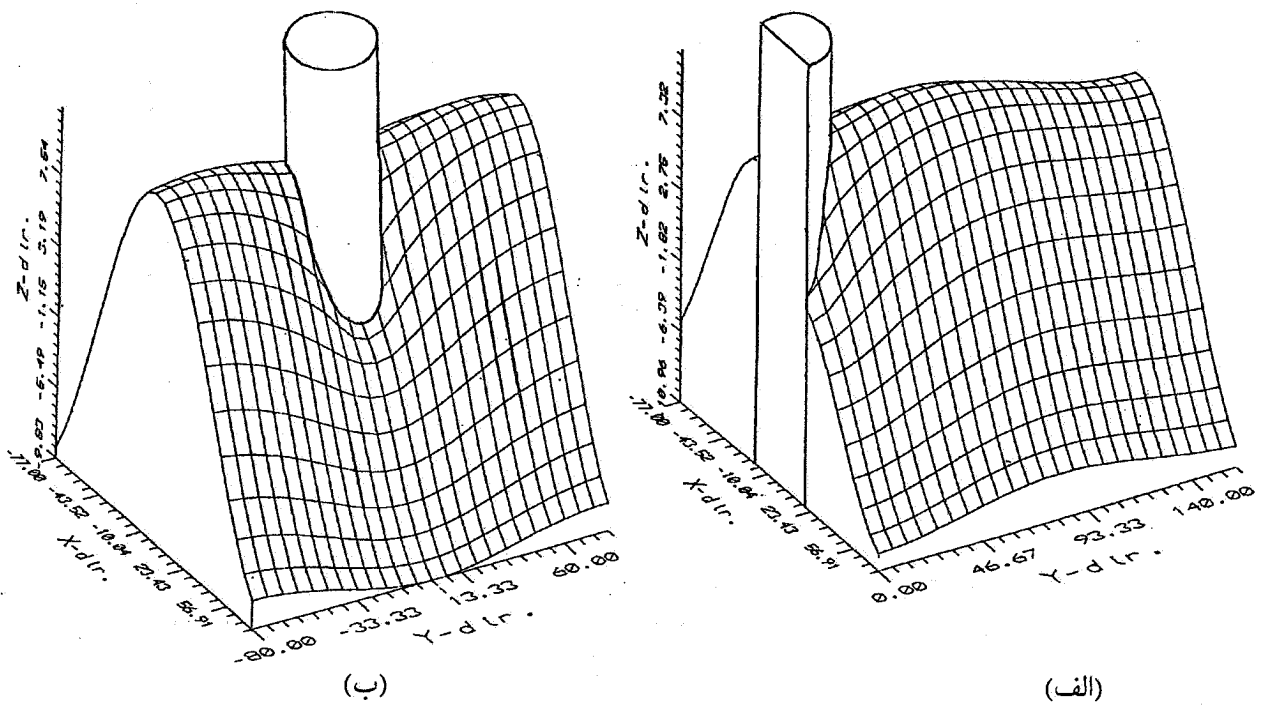
شکل ۷- نمودار بی بعد به منظور محاسبه نیروهای حداکثر برای حالت‌های مختلف ابعاد مقطع مربع شکل و پارامترهای موج با توجه به زاویه تورب مقطع

نیروها و عکس‌العمل‌های وارد به سازه کمتر می‌شوند، از لحاظ سازه‌ای نیز از بیشترین ظرفیت مقطع استفاده خواهد شد. برای مقاطع مربعی شکل نیز با افزایش زاویه تورب مقطع

باید بررسی بین هزینه‌های محاسباتی و دقت محاسباتی انجام گیرد. مقاطع بیضوی شکل نیز بهتر است به نحوی باشند که محور بزرگتر در راستای موج قرار گیرد. در این حالت علاوه بر اینکه



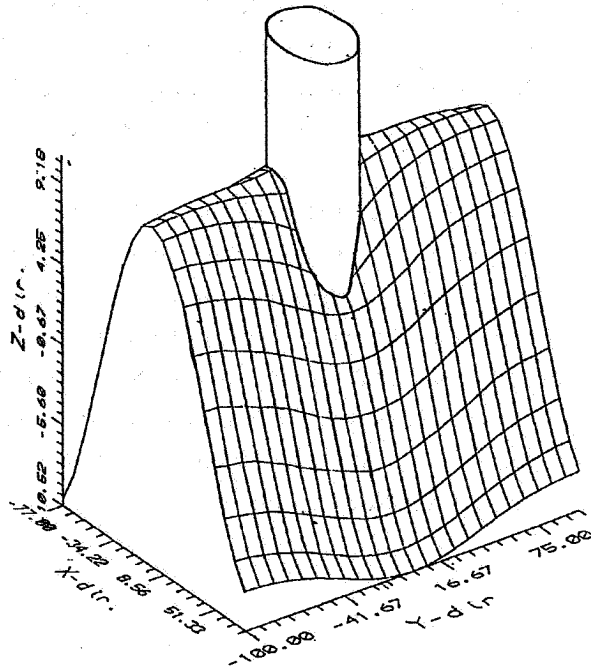
شکل ۸- نموداری بعد به منظور محاسبه لنگرهای حداکثر برای حالت‌های مختلف ابعاد مقطع مربع شکل و پارامترهای موج با توجه به زاویه تورب مقطع



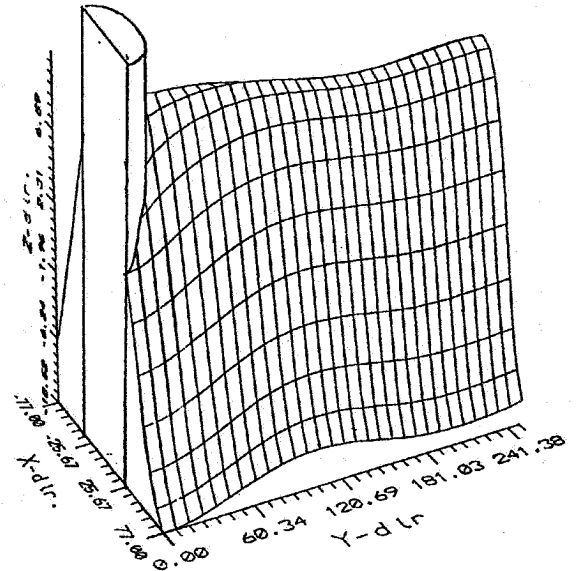
شکل ۹- وضعیت توپوگرافی سطح امواج متفرق شده بر روی موانع مختلف، (الف) و (ب) مقطع دایره‌ای

موجب ایجاد تأخیر فاز در امواج متفرق شده نسبت به امواج برخوردی می‌شود. البته در این حالت رفتارهای دوره‌ای (پریودیک) ادامه پیدا خواهند کرد. می‌توان از شکلهای بدون بعد طراحی و ارائه

نسبت به امتداد موج، نیروها و عکس‌العملها افزایش پیدا خواهند کرد. در بررسیهای انجام شده مشاهده می‌شود که پدیده تفرق



(د)



(ج)

ادامه شکل ۹- (ج) و (د) مقطع بیضی

### قدردانی

از مساعدتهای مالی دانشگاه شیراز، معاونت پژوهشی در قالب طرح پژوهشی مصوب قدردانی می شود.

شده در بخش قبلی، شکل‌های (۲) تا (۷) برای تعیین نیروها و لنگرهای حداکثر وارد بر سازه یا به منظور طراحی مقدماتی سازه‌های مذکور استفاده کرد.

### واژه نامه

- |  |   |
|--|---|
| 1. outgoing wave                         | 4. diffracted wave and analysis program |
| 2. dispersion equation                   | 5. Lahy                                 |
| 3. Cauchy principle value method (c.p.v) | 6. shadow zone                          |

### مراجع

- Hwang, L.S., and Tuck, E.D., "On the Oscillation of Harbours of Arbitrary Shape," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 42, pp. 447-464, May 1970.
- Garrison, C.J., and Chou, PP., "Wave Forces on Submerged Bodies," *Journal of Waterway, port Coastal and ocean Engineering, ASCE*, Vol. 98, No. WW3, pp. 375-392, Aug. 1972.
- Wehausen, J.V., and Laiton, E.V., *Surface Waves Encyclopedia of physics*, S. Flugge, Vol. 9, Fluid Dynamics III, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1960.
- Isaacson, M.de st.Q., "Vertical Cylinders of Arbitray Section in Waves," *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE*, Vol. 111, No. WW4, 1978.
- Garrison, C.J., and Rao, V.S., "Interaction of wave with Submerged Objects," *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE*, Vol. 105, No. WW2, pp. 131-147, 1970.
- Raman, H., and Vankatasaih, P., "Forces due to Nonlinears Waves on Vertical Cylinders," *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering*,

ASCE, Vol. 102, No. WW3, 1976.

7. Dean, R.G., and Dalrymple, R.G., *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific, Vol. 2, 1991.

8. Dettman, J.W., *Mathematical Methods in Physics and Engineering*, Dover Publications, New York, 1988.

9. Moskhelishvili, M.I., *Some Basic Problems of the Mathematical Theory of Elasticity*, Netherlands, Noordhoff, 1963.

۱۰. زنجانی نسب، ا. پ.، "بررسی تفرق امواج بر روی سازه‌های عمودی و ثابت،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۷۵.

11. Mac Camy, R. and Fuchs, R.A., "Wave Forces on Piles: A Diffraction Theory," *Technical Memorandum*, No. 69, USA Corps of Engineering, Beach Erosion Board, Washington D.C., Dec., 1954.

12. Mogridge, G.R., and Jamieson, WW., "Wave Forces on Square Caissons", *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, Honolulu, Hawaii, pp. 2271-1289, 1975.

13. Isaacson, M.de st.Q., "Wave forces on Large Square Cylinders," *In Mechanics of Wave-Induced Forces on Cylinders*, Edited by Show, Pitman, pp. 609-622 London, 1979.