

## بررسی تغییرات ضریب بازتاب موج و ضرایب بالاروی و نیروی امواج در موج‌شکن‌های مشبک با استفاده از مدل عددی Flow 3D

فاطمه رهسپار<sup>۱</sup>، مهدی بهداروندی عسکر<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران  
۲- عضو هیات علمی گروه سازه‌های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران، پست الکترونیکی: sazehenteghal@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۹

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۲۳

### چکیده

موج‌شکن‌ها به شکل گسترده‌ای برای محافظت سازه‌های واقع شده در نواحی ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه، الگوی جریان عبوری از روی موج‌شکن‌های مشبک با استفاده از نرم‌افزار فلوت‌ریدی مورد بررسی قرار گرفته است. برای آشفتگی میدان جریان از مدل‌های آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد و  $k-\epsilon$  RNG استفاده گردیده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی، مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد از دقت بیشتری برخوردار است. در این تحقیق تأثیرات نسبت عرض ناحیه متخلخل به عمق آب  $(b/d)$ ، نسبت ضخامت دیواره متخلخل جلویی به عمق آب  $(h/d)$ ، تخلخل ناحیه میانی  $(\epsilon_r)$  و نوع موج گسیل شده به سمت موج‌شکن مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل سازی نشان می‌دهد که با افزایش مقدار تخلخل، روند تغییرات ضریب بازتاب به صورت نزولی دنبال می‌شود. با افزایش پارامتر بدون بعد  $(b/d)$ ، مقدار ضریب بالاروی با یک شیب تند افزایش می‌یابد همچنین تغییرات ضریب نیرو در مقابل  $(b/d)$  برای بخشی از مدل‌ها با افزایش رو به رو شد و برای بخش دیگری از نتایج مدل‌سازی با کاهش همراه است.

کلمات کلیدی: موج شکن مشبک، ضریب بازتاب موج، ضریب بالاروی موج، مدل سازی عددی.

### ۱. مقدمه

اهمیت بسیاری می‌باشد. موج‌شکن (Breakwater) سازه‌هایی از جنس بتن یا سنگ و یا ترکیبی از هر دو که برای حفاظت تاسیسات ساحلی از خطر امواج و مقابله با تاثیر آنها ساخته می‌شود. این سازه‌ها به لحاظ ساختاری، ساده بوده و دارای کاربرد وسیعی در طرح ساماندهی سواحل و تثبیت کناره‌ها می‌باشند. به دلیل اهمیت فراوان موج شکن‌ها در مبحث مهندسی ساحل و بندر، مطالعات آزمایشگاهی، عددی و تحلیلی فراوانی بر روی این نوع از سازه‌ها انجام گرفته است. محققان نشان دادند که استفاده از یک جاذب موج پیشرونده می‌تواند موجب افزایش راندمان

وجود بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر مرز ساحلی در کرانه‌های جنوبی و شمالی کشور از یک سو و رشد چشمگیر طرح‌های صنعتی، تجاری و گردشگری در این مناطق از سوی دیگر، لزوم توجه ویژه به طرح‌های حفاظت و توسعه سواحل را روشن می‌سازد. حفاظت از سواحل در برابر فرسایش همواره یکی از مسائل مهم و پیش روی مهندسان سواحل بوده است. این پدیده در شهرهای ساحلی مجاور دریا‌های بزرگ و همچنین در محدوده بنادر دارای

بعد از برخورد موج به سازه است که بیانگر برهم‌کنش موج و سازه می‌باشد (یگانه بختیاری و همکاران، ۱۳۹۳). قدسی حسن‌آباد و همکاران (۱۳۹۴) موج شکن نیوماتیکی و تاثیر آن بر میرایی امواج با استفاده از نرم افزار فلونت انفیس به صورت عددی مدل‌سازی گردید. آنها تغییرات سطح آزاد جریان را با استفاده از روش VOF بازسازی نمودند. (قدسی حسن‌آباد و همکاران، ۱۳۹۴). در موج شکن با صفحه تک دارای حفرات مربعی، با مقدار تخلخل ۱۵٪ و ۴۰٪ ضریب انعکاس دارای کمترین مقدار و موج شکن با حفرات دایروی با همین مقدار تخلخل دارای بیشترین مقدار ضریب انعکاس هستند. (قاسمی زاده و کتابداری ۱۳۹۴). بیشترین تنش‌های ایجاد شده در موج‌شکن در اثر برخورد امواج، تحت موجی رخ می‌دهد که پریودی برابر با یکی از پریودهای طبیعی سازه داشته باشد و همچنین با توجه به توزیع پریود در مقابل ارتفاع موج، بلندترین ارتفاع موج ممکن که در یک پریود مشخص اتفاق می‌افتد بیشترین تنش را نتیجه می‌دهد (کلاهدوزان و همکاران، ۱۳۹۲). بی‌ریا و همکاران با تجزیه و تحلیل نتایج خود بیان کردند که ارتفاع امواج در بالادست سازه در آب‌شکن‌های غیرمستغرق بیشتر از حالت‌های دیگر می‌باشد، اما هرچه به سمت ساحل نزدیک می‌شویم، از ارتفاع امواج کاسته خواهد شد (بی‌ریا و همکاران، ۱۳۹۳). لذا در این تحقیق سعی شده تا موج شکن مشبک و تاثیر آن بر شاخصه‌های هیدرولیکی امواج با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار گیرند تا با شناخته تر شدن زوایای مختلف آن و بخصوص تاثیر آن در میرایی امواج شناختی سنجیده تر و به نسبت کامل تر در اختیار محققین قرار گیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Flow3D که یک نرم‌افزار قوی در در زمینه مکانیک سیالات است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت Flow Science Inc صورت گرفته است. این نرم افزار برای تحقیق درمورد رفتار یک، دو و سه بعدی دینامیک سیالات در محدوده کاربردی وسیعی طراحی شده است، و با استفاده از آن به بررسی تاثیر هر یک از پارامترهای هندسی بر موج شکن مشبک پرداخته شد. معادلات حاکم در دو سیستم مختصات کارترین  $(x, y, z)$  و مختصات استوانه‌ای  $(r, \theta, z)$  تعریف شده‌اند. معادله پیوستگی جرم در حالت کلی

استهلاک انرژی در داخل فلوم موج شود. در این نوع دیوار ضریب تخلخل به سمت آخرین دیوار کاهش می‌یابد (له مه‌اوت، ۱۹۷۲). محققین همچنین نشان‌دادند که در صورت استفاده از دو ردیف دیوار به جای یک دیواره متخلخل در جهت پیشروی موج، ضریب انعکاس موج کاهش می‌یابد. آنها استفاده از موج شکن ساخته شده از دو دیواره متخلخل را به جای موج شکن ساخته شده از یک دیواره متخلخل، پیشنهاد نمودند. آنها با فرض انعکاس‌های متوالی بین نخستین دیوار متخلخل و دیواره غیر متخلخل انتهائی و با در نظر گرفتن ضرایب انعکاس و عبور موج و اختلاف فازهای یکسان حاصل از عبور موج از دیوارهای متخلخل، سعی کردند رابطه‌ای برای تعیین ضریب انعکاس موج از سازه پیدا کنند. آنها سپس با ترکیب موج تابشی و امواج منعکس شده متوالی، روابطی برای محاسبه ضریب انعکاس موج و نوسان سطحی آب درون موج شکن (به صورت بی بعد) بدست آوردند (سواراگی و همکاران، ۱۹۷۶). نجفی جیلانی و منشی‌زاده با استفاده از مطالعه‌ای آزمایشگاهی، الگوی بالاروی و انکسار امواج برخوردی با موج شکن‌های متخلخل با شرایط هندسی و تخلخل مختلف مورد بررسی قرار دادند. آنها اصطلاحاتی بر روی معادلات که برای پیش‌بینی انتقال امواج از روی این دسته از موج شکن‌ها انجام دادند (جیلانی و منشی‌زاده، ۲۰۱۰). مرینگلو و همکاران با استفاده از مدل عددی SPH اندرکنش بین امواج برخوردی با موج شکن‌های متخلخل را شبیه‌سازی کردند. آنها مشخصات میدان جریان در طی روند برخورد موج به دیواره موج شکن را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (مرینگلو و همکاران، ۲۰۱۵). کرمی خانیکی و شکرلب تاثیر پارامترهای سازه‌ای از قبیل ابعاد حفره‌ها و نحوه چیدن بلوکها و نیز پارامترهای هیدرولیکی از قبیل ارتفاع و پریود موج را بر روی میزان انعکاس از دیوارهای ساحلی صندوقه‌ای مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. آنها نشان دادند که بلوک‌های توخالی می‌توانند ضریب انعکاس را به میزان قابل توجهی کاهش دهند و میزان کاهش تابع پارامترهای مختلفی از جمله ارتفاع آب جلوی سازه، پریود و ارتفاع موج و ابعاد صندوقه‌ها می‌باشد (کرمی خانیکی و شکرلب، ۱۳۸۴). یگانه بختیاری و همکاران مکانیسم‌های هیدرودینامیکی که در رخداد پدیده انعکاس موج رخ می‌دهد را به دو مرحله تقسیم کردند. مرحله اول، مرحله انتشار موج است که عمدتاً حاکی از اهمیت برهم‌کنش موج و بستر بوده و پارامتر عمق نسبی در آن تاثیر گذار است و مرحله دوم، مرحله

در معادله شماره ۲  $(G_x, G_y, G_z)$  شتاب‌های جرمی،  $(f_x, f_y, f_z)$  شتاب‌های ناشی از لزجت،  $(b_x, b_y, b_z)$  افت جریان در محیط‌های دارای خلل و فرج در راستای  $(x, y, z)$  و ترم سمت راست مربوط به توزیع جرم در سرعت صفر است.  $U_w = (u_w, v_w, w_w)$  مولفه‌های سرعت ترم چشمه و  $U_s = (u_s, v_s, w_s)$  مولفه‌های سرعت سیال در چشمه نسبی در خود چشمه می‌باشد (رشیدی نسب و بهداروندی، ۲۰۱۷). پس از ایجاد هندسه‌های لازم با استفاده از نرم افزار Autocad، این هندسه‌ها به مدل عددی اصلی منتقل گردید و مورد شبیه سازی قرار گرفت. سپس خروجی‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار خواهند گرفت. جدول شماره ۱ تعداد حالات مورد بررسی در مورد هر پارامتر را نشان می‌دهد. جهت صحت سنجی نتایج مدل عددی، از مورد مطالعه ایساکسون و همکاران استفاده می‌شود (ایساکسون و همکاران، ۲۰۰۰) شکل شماتیک مدل ایساکسون و همکاران در شکل شماره ۱ قابل مشاهده است. شرایط مرزی اعمال شده برای مدل عددی به‌گونه‌ای انتخاب شده است که با شرایط مرزی مدل موج-شکن مورد مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) انطباق داشته باشد. به همین دلیل با توجه به شرایط ورودی مدل فیزیکی که موج به سمت موج شکن در حال حرکت است از شرایط مرزی "Wave" استفاده شده است. نوع موج معرفی شده برای شرایط مرزی مذکور، موج خطی می‌باشد. در نرم افزار فلوتریدی هر سلولی که بخشی از بدنه صلب در داخل آن قرار دارد، به عنوان سلول مرزی در نظر گرفته می‌شود (رشیدی نسب و بهداروندی، ۱۳۹۵). کلیه مرزهای جامد به عنوان شرایط مرزی "دیواره" تعریف شده‌اند. کل سطح فوقانی میدان جریان توسط شرایط مرزی "تقارن" معرفی گردیده است. در شرایط مرزی تقارن اصطکاک و تغییرات زمانی و مکانی کلیه پارامترها برابر صفر است. همچنین یادآوری می‌شود که، در خروجی مدل عددی از شرایط مرزی "خروجی" استفاده شده است. به منظور کالیبراسیون مدل از اندازه‌های مش‌بندی‌های مختلف مطابق جدول شماره ۲ استفاده شده است و با محاسبه میزان خطای ایجاد شده شبکه بندی شماره ۳ به عنوان بهترین اندازه مش‌بندی انتخاب گردید.

جدول ۱: پارامترهای مورد بررسی و حالات مختلف آن‌ها

ردیف	موارد مورد آزمایش	تعداد حالات
۱	نسبت b/d های مختلف (یا فقط نقاط b)	۵
۲	نسبت h/d های مختلف (یا فقط نقاط h)	۵
۳	نسبت تخلخل‌های مختلف (E)	۳

بصورت زیر تعریف شده است (دیلمی و بهداروندی عسکر، ۲۰۱۶).

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) + \zeta \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR}$$

رابطه (۱)

در اینجا  $V_F$  نسبت کسر حجمی فضای باز به جریان،  $\rho$  دانسیته سیال،  $R_{DIF}$  ترم نفوذپذیری آشفتگی،  $R_{SOR}$  ترم چشمه می‌باشد.  $(u, v, w)$  مولفه‌های سرعت در راستای  $x, y, z$  یا  $r, \theta, z$  هستند.  $(A_x, A_y, A_z)$  برابر مساحت کسری محیط به جریان در راستاهای  $x, y, z$  است. ضریب  $R$  به سیستم مختصات انتخابی وابسته است. فلوتریدی یکی از قدرتمندترین نرم افزارهای شبیه‌ساز میدان جریان و انتقال حرارت در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی محسوب می‌شود. این نرم‌افزار بر پایه روش حجم محدود که یک روش بسیار قوی و مناسب در روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد، بنا شده است. در دینامیک سیالات محاسباتی معادلات ناویر استوکس و معادله پیوستگی برای هر سلول محاسباتی حل می‌گردند. نرم افزار قابلیت شبیه‌سازی مدل‌های یک، دو و سه‌بعدی انتقال، لزجت، تشعشع، فرسایش و غیره در محیط‌های پیوسته و متخلخل را دارا می‌باشد (ابراهیمی و بهداروندی، ۲۰۱۵). معادلات ممتوم (ناویر-استوکس) برای مولفه‌های سرعت سیال در سه راستای  $(x, y, z)$  به شرح زیر می‌باشند.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \zeta \frac{A_y v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_w - \delta u_s)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \zeta \frac{A_y u v}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \left( R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)$$

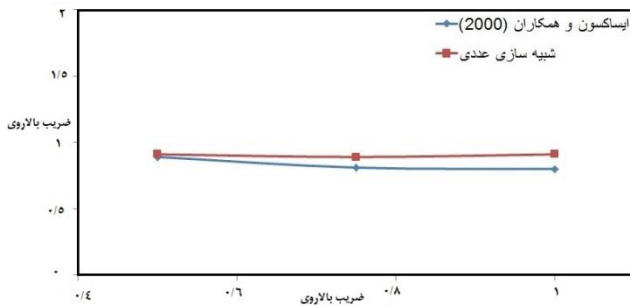
رابطه (۲)

جدول ۲: مشخصات مش بندی‌های استفاده شده به منظور کالیبراسیون مدل

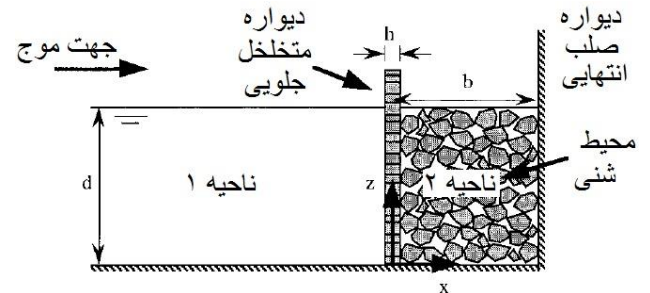
شبه‌بندی	تعداد المان‌ها در راستاهایی X و Z	درصد خطای مطلق میانگین (MAPE)
شماره ۱	$175 \times 100$	۹/۵۲٪
شماره ۲	$265 \times 155$	۷/۰۳٪
شماره ۳	$325 \times 200$	۴/۶۸٪
شماره ۴	$355 \times 225$	۴/۰۵٪
شماره ۵	$375 \times 250$	۳/۹۷٪

جدول ۳: درصد خطای مطلق میانگین برای ضریب بازتاب، ضریب بالاروی و ضریب نیرو مدل عددی حاضر با مقادیر مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) برای مدل‌های مختلف

پارامتر	درصد خطای مطلق میانگین (MAPE)
ضریب بازتاب	۵/۰۵۲
ضریب بالاروی	۸/۶۲۵
ضریب نیرو	۳۳/۴۳۳



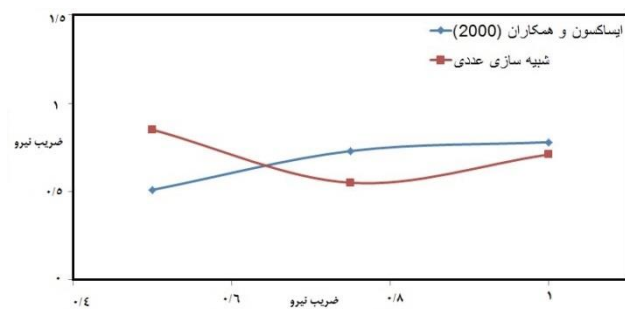
شکل ۳: مقایسه ضریب بالاروی ( $R/H$ ) مدل عددی حاضر با مقادیر مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) برای مدل‌های مختلف



شکل ۱: موج شکن مورد مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰)

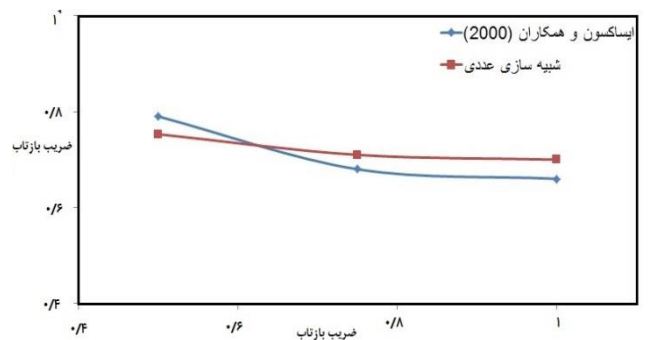
### ۳. نتایج و بحث

بررسی اعتبارسنجی مدل انجام شده در شکل‌های شماره ۲ تا ۴ مقایسه ضریب بازتاب ( $Kr$ ), ضریب بالاروی ( $R/H$ ) و ضریب نیرو ( $F/\rho g H d$ ) مدل عددی حاضر با مقادیر مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) برای مدل‌های مختلف به تصویر کشیده شده است. همچنین مقادیر درصد خطای مطلق میانگین (MAPE) برای مدل‌های مذکور در جدول ۳ مرتب شده است. بر اساس جدول مذکور، مقدار MAPE برای ضریب بازتاب، ضریب بالاروی و ضریب نیرو به ترتیب مساوی ۵/۰۵۲، ۸/۶۲۵ و ۳۳/۴۳۳ درصد محاسبه گردیده است. بنابراین مدل عددی رفتار موج و ضریب بازتاب را برای حالت‌های مختلف با دقت مناسبی شبیه‌سازی نموده است.



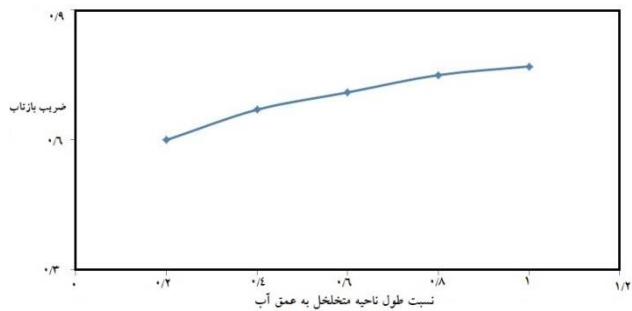
شکل ۴: مقایسه ضریب نیرو ( $F/\rho g H d$ ) مدل عددی حاضر با مقادیر مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) برای مدل‌های مختلف

در ابتدا تاثیرات تخلخل بر روی ضریب بازتاب ( $Kr$ ), ضریب بازتاب بالاروی ( $R/H$ ) و ضریب نیرو ( $F/\rho g H d$ ) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر مقادیر تخلخل مساوی ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ بر روی ضرایب مذکور بررسی می‌شود. در شکل‌های شماره ۵ تا ۷ تغییرات مقدار تخلخل در مقابل ضرایب بازتاب، بالاروی و نیرو به تصویر کشیده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار تخلخل، روند تغییرات ضریب بازتاب به صورت نزولی دنبال می‌شود. همچنین، مقدار ضریب بالاروی در ابتدا برای مقادیر تخلخل ۰/۱۵ تا ۰/۵ افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار تخلخل، مقدار پارامتر بالاروی با کاهش همراه است. این در حالی است که مقدار ضریب نیرو با افزایش مقدار تخلخل، افزایش یافته است.

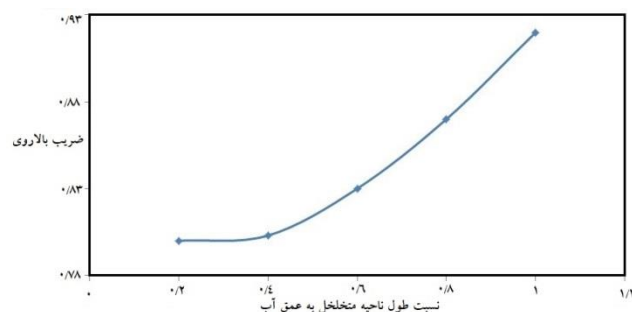


شکل ۲: مقایسه ضریب بازتاب ( $Kr$ ) مدل عددی حاضر با مقادیر مطالعه ایساکسون و همکاران (۲۰۰۰) برای مدل‌های مختلف

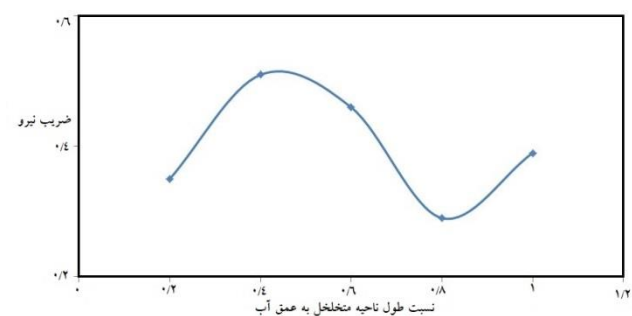
روبه‌رو شد و برای بخش دیگری از نتایج مدل‌سازی با کاهش همراه است.



شکل ۷: تغییرات مقدار ضریب  $b/d$  در مقابل ضریب بازتاب ( $Kr$ )

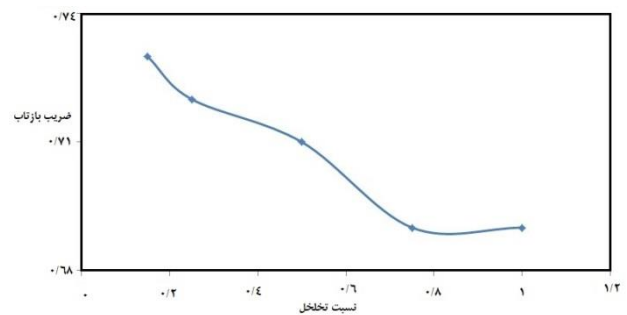


شکل ۸: تغییرات مقدار ضریب  $b/d$  در مقابل ضریب بالاروی ( $R/H$ )

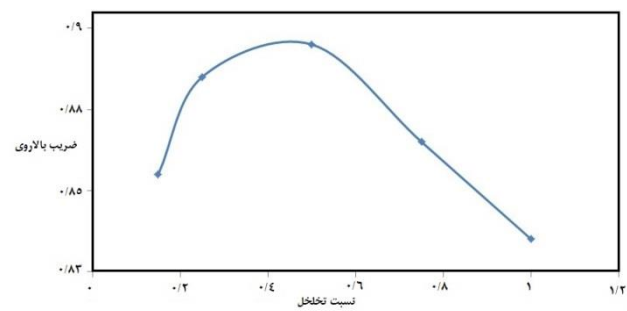


شکل ۹: تغییرات مقدار ضریب  $b/d$  در مقابل ضریب نیرو ( $F/\rho g H d$ )

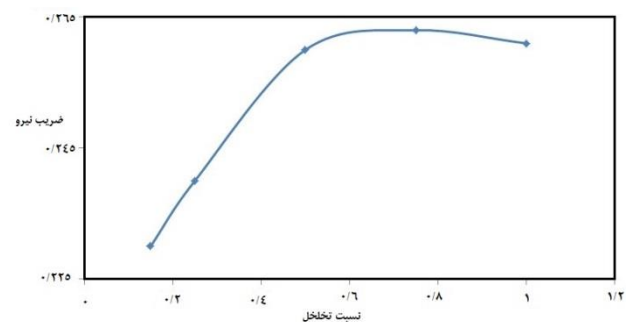
لازم به ذکر است که تغییرات مقدار ضریب  $h/d$  برابر با ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ بر روی تغییرات ضرایب ذکر شده بررسی می‌شود. در شکل‌های شماره ۱۲ تا ۱۳ نیز نحوه تغییرات پارامترهای ذکر شده قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌های عددی برای ضریب بازتاب، مقدار  $Kr$  از  $h/d$  مساوی ۰/۴ تا ۰/۶ با افزایش همراه است، سپس مقدار ضریب مذکور با کاهش رو به رو گردیده است. این در حالی است که مقدار ضریب بالاروی با افزایش مقدار  $h/d$  با یک نوسان همراه



شکل ۵: تغییرات مقدار متخلخل در مقابل ضریب بازتاب ( $Kr$ )



شکل ۶: تغییرات مقدار متخلخل در مقابل ضریب بالاروی ( $R/H$ )



شکل ۷: تغییرات مقدار متخلخل در مقابل ضریب نیرو ( $F/\rho g H d$ )

در ادامه تاثیرات مقدار ضریب  $b/d$  بر روی ضرایب بازتاب، بالاروی و نیرو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به همین منظور، تغییرات ضرایب مذکور برای مقادیر  $b/d$  برابر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در شکل‌های ۸ تا ۱۰ تغییرات این ضرایب برای مقادیر مختلف  $b/d$  نشان داده شده است. با توجه به نتایج مدل‌سازی عددی، با افزایش مقادیر  $b/d$ ، مقدار ضریب بازتاب با یک افزایش تدریجی همراه است. در مقابل با افزایش پارامتر بدون بعد  $b/d$ ، مقدار ضریب بالاروی با یک شیب تند افزایش یافته است. این در حالی است که تغییرات ضریب نیرو در مقابل  $b/d$  برای بخشی از مدل‌ها با افزایش

می‌تواند به این علت باشد که نیروی امواج با افزایش میزان تخلخل بیشتر کاهش می‌یابد یا به عبارت دیگر موج‌شکن به اینکه حالت تدافعی در مقابل امواج داشته باشد بیشتر حالت جاذب خواهد داشت. این در حالی است که مقدار ضریب نیرو از  $0/224$  تا  $0/264$  با افزایش مقدار تخلخل، افزایش یافته است. با افزایش پارامتر بدون بعد  $b/d$ ، مقدار ضریب بالاروی با یک شیب تند افزایش یافته است. مقدار ضریب بالاروی در قبل و بعد از مقدار  $h/d$  مساوی  $0/8$  به ترتیب با کاهش و افزایش همراه است. به این ترتیب که مقدار این ضریب از تخلخل  $0/6$  تا  $0/8$  کاهش و از  $0/8$  تا  $1$  افزایش می‌یابد از مقدار  $h/d$  برابر  $0/2$  به بعد، مقدار ضریب نیرو  $(F/\rho g H d)$  به صورت صعودی افزایش یافته است. به این ترتیب که با تغییر  $h/d$  یعنی نسبت ضخامت قسمت متخلخل به عمق آب از  $0/2$  تا  $1$  مقدار ضریب نیرو از حدود  $0/1$  تا  $0/43$  افزایش می‌یابد.

#### منابع

افسوس بی‌ریا، ح؛ لشته‌نشایی، م؛ غبرایی، ع؛ مهرداد، م،  $1393$ . مطالعه عددی اثر آبشکن‌های مستغرق بر الگوی امواج مطالعه موردی، دهنه سر سفیدرود. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد  $44$ ، شماره  $4$ ، صفحات  $13-24$ .

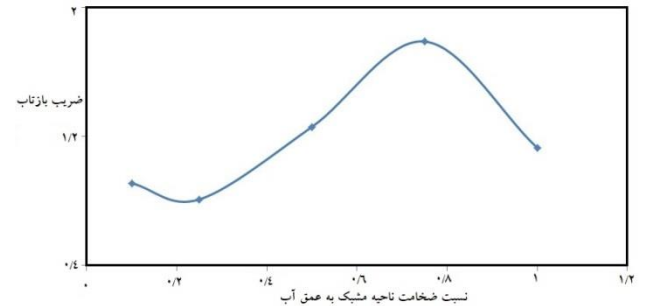
رشیدی نسب، م؛ بهداروندی عسکر، م،  $1395$ . تحلیل تنش‌ها و تغییر مکان‌های اسکوی دریایی تحت اثر برخورد امواج. نشریه علمی پژوهشی اقیانوس‌شناسی، سال هفتم، شماره  $27$ ، صفحات  $79-87$ . قاسمی زاده، م؛ کتابداری، م ج،  $1394$ . بررسی اثر شکل حفرات موج شکن حفره دار بر استهلاک انرژی امواج برخوردی به روش عددی. دو فصل نامه علمی پژوهشی دریا فنون، سال دوم، صفحات  $65-73$ .

قدسی حسن آباد، م؛ شگفت، م؛ عظام، م،  $1394$ . مدل سازی عددی موجشکن نیوماتیکی و تاثیر آن بر میرایی امواج. هفدهمین همایش صنایع دریایی تهران. صفحات  $78-89$ .

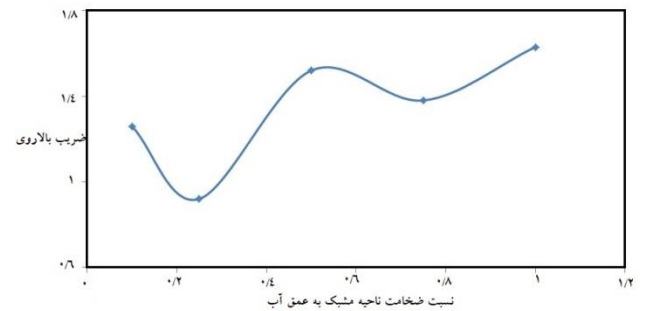
کرمی خانیکی، ع؛ شکرلب، م،  $1384$ . ارزیابی آزمایشگاهی انعکاس امواج از دیواره‌های ساحلی صندوقه ای. نشریه پژوهش و سازندگی، سال نهم، شماره  $67$ ، صفحات  $11-17$ .

کلاهدوزان، م؛ طاهری، ا ر؛ بالی، م؛ قاسمی ورجانی، ه،  $1392$ . مدلسازی عددی تنش‌های ایجاد شده در اثر امواج برخوردی به موج شکن‌های شناور. پنجمین همایش ملی صنایع فراساحل.

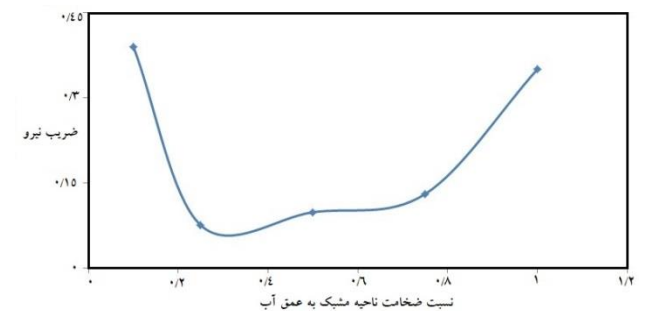
است. به عبارت دیگر مقدار ضریب بالاروی در قبل و بعد از مقدار  $h/d$  مساوی  $0/8$  به ترتیب با کاهش و افزایش همراه است. با توجه به شکل  $13$ ، از مقدار  $h/d$  برابر  $0/2$  به بعد، مقدار ضریب نیرو  $(F/\rho g H d)$  به صورت صعودی افزایش یافته است.



شکل ۱۱: تغییرات مقدار ضریب  $h/d$  در مقابل ضریب بازتاب  $(Kr)$



شکل ۱۲: تغییرات مقدار ضریب  $h/d$  در مقابل ضریب بالاروی  $(R/H)$



شکل ۱۳: تغییرات مقدار ضریب  $h/d$  در مقابل ضریب بالاروی  $(F/\rho g H d)$

#### ۴. نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان بیان داشت، با افزایش مقدار تخلخل از  $0/1$  تا  $1$ ، روند تغییرات ضریب بازتاب از  $0/73$  تا  $0/68$  به صورت نزولی دنبال می‌شود. همچنین با افزایش مقدار تخلخل از  $0/4$  تا  $1$ ، مقدار پارامتر بالاروی از  $0/9$  تا  $0/82$  کاهش می‌یابد که

- of Hydraulic Research, 10:2: 153-169.
- <https://doi.org/10.1080/00221687209500026>
- Meringolo, D.; Aristodemo, F.; Veltri, P., 2015. SPH numerical modeling of wave-perforated breakwater interaction. Coastal Engineering, 10: 48-68.
- <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.04.004>
- Naja-Jilani, A.; Monshizadeh, M., 2010. Laboratory investigations on wave run-up and transmission over breakwaters covered by antifer units. Civil Engineering, Vol. 17, No. 6, pp. 457-470
- Rashidinasab, M.; Behdarvandi Askar, M., 2017. Modeling the Pressure Distribution and the Changes of Water Level around the Offshore Platforms Exposed to Waves, Using the Numerical Model of Flow 3D. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 06:01: 97-106.
- <https://doi.org/10.4236/cweee.2017.61008>
- Sawaragi, T.; Iwata, K.; Pena, J., 1976. Transmission et réflexion de la houle par une digue formée de planches verticales. La Houille Blanche, 8:625-637.
- <https://doi.org/10.1051/lhb/1976041>
- هجدهم خرداد، ۷ صفحه.
- یگانه بختیاری، ع؛ ذبیحی، م؛ کاظمی نژاد، م ح؛ بالی، م، ۱۳۹۳. مطالعه انعکاس امواج از موج‌شکن توده سنگی سنتی و سکویی غیر شکل پذیر. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال پنجم، شماره ۱۷، صفحات ۱۱۳-۱۲۳.
- Acson, M.; Baldwin, J.; Allyn, N.; Cowdell, S., 2000. Wave interactions with perforated breakwater. Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 126:5, 229-235.
- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2000\)126:5\(229\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2000)126:5(229))
- Deilami-Tarifi, M.; et al., 2016. Modeling of the Changes in Flow Velocity on Seawalls under Different Conditions Using FLOW-3D Software. Open Journal of Marine Science, 6: 317-322.
- <https://doi.org/10.4236/ojms.2016.62026>
- Ebrahimi, A.; et al., 2015. Investigation of Various Random Wave Run-up Amounts under the Influence of Different Slopes and Roughnesses. Environment Conservation Journal 16 Special Issue, 301-308.
- Le Mehaute, B., 1972. Progressive wave absorber. Journal