

ارائه ساختار هندسی بهینه موج شکن های سکویی شکل پذیر بر مبنای هزینه های اجرایی (مطالعه موردی: موج شکن فراسکو)

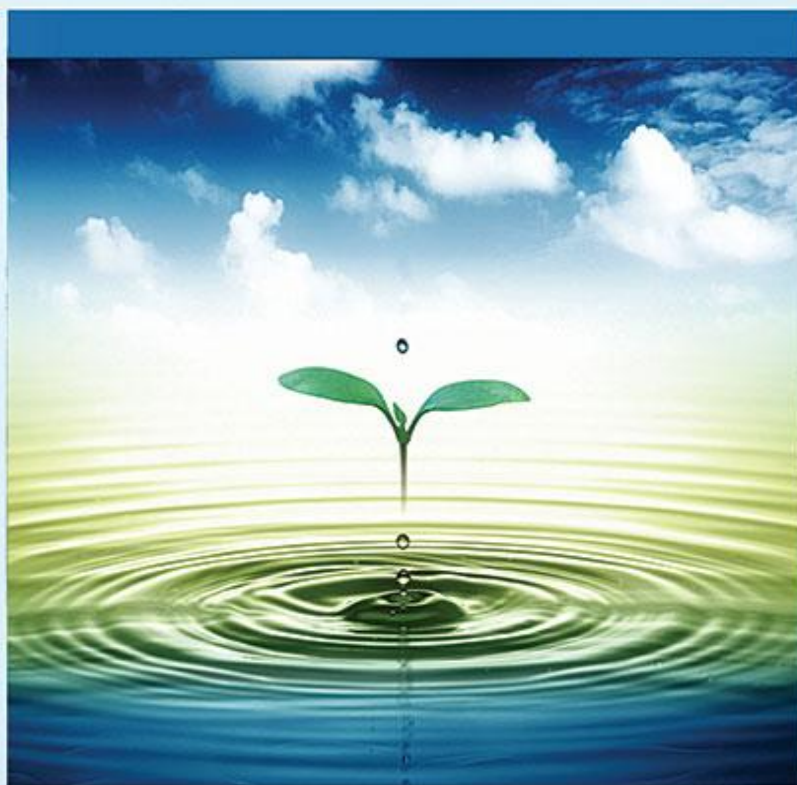
محمود محمد رضاپور طبری و محمد نوید مقیم

دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحات ۱۶۱-۱۴۸

Vol. 2(2), Summer 2016, 148-161

Optimal Geometrical Design of Reshaping Berm Breakwaters Based on Minimizing Administrative Costs (Case Study: Farasakoo Breakwater).

Mohammad Rezapour Tabari M. and  
Moghim M. N.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

نحوه ارجاع به این مقاله: محمد رضاپور طبری م. و مقیم م. ن. (۱۳۹۵). ارائه ساختار هندسی بهینه موج شکن های سکویی شکل پذیر بر مبنای هزینه های اجرایی (مطالعه موردی: موج شکن فراسکو). محیط زیست و مهندسی آب، جلد ۲، شماره ۲، صفحات: ۱۶۱-۱۴۸

**How to cite this paper:** Mohammad Rezapour Tabari M. and Moghim M. N. (2016). Optimal geometrical design of reshaping berm breakwaters based on minimizing administrative costs (case study: Farasakoo breakwater). J. Environ. Water Eng. 2(2), 148-161.

## ارائه ساختار هندسی بهینه موج شکن های سکویی شکل پذیر بر مبنای هزینه های

### اجرایی (مطالعه موردی: موج شکن فراسکو)

محمود محمد رضاپور طبری<sup>۱\*</sup> و محمد نوید مقیم<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

\*نویسنده مسئول: mrtabari@eng.sku.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۰۳/۲۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۱۱/۲۱]

#### چکیده

تحقیقات زیادی جهت طراحی موج شکن های سکویی شکل پذیر صورت گرفته است که در بیش تر موارد اقدام به بررسی اثر تک تک پارامترها بر پایداری سازه نموده اند. بر این اساس ارزیابی برنامه هایی جهت بهینه سازی ساختار هندسی موج شکن سکویی ضروری است. در این تحقیق یک برنامه مدون جهت تعیین ساختار هندسی بهینه موج شکن های سکویی شکل پذیر بر مبنای هزینه های اجرایی ارائه گردید. برای این منظور، ابتدا بر پایه روابط تجربی مطالعات قبلی جهت تعیین عرض فرسایش یافته موج شکن و همچنین هزینه های استخراج سنگ و حمل مصالح از دو معدن جهاد و توسعه، ساختاری جهت تعیین ابعاد بهینه موج شکن تدوین گردید. در این ساختار بر مبنای تحلیل حساسیت صورت گرفته، پارامترهای قطر متوسط بلوک سنگی و ارتفاع تراز سکو تا بستر دریا به عنوان متغیرهای تصمیم انتخاب شدند. نتایج حاصل از اجرای ساختار پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جستجوی تصادفی نشان دهنده از کاهش قابل توجه هزینه های ساخت موج شکن نسبت به مقادیر غیر بهینه متغیرهای تصمیم است. بر پایه مقادیر بهینه حاصله، درصدهای بهینه برداشت از معادن مختلف استخراج مصالح به گونه ای که کمترین هزینه حمل و استخراج را دارا باشند، تعیین گردید. نتایج نشان می دهد در صورتی که قطر مشخصه سنگ دانه ها و ارتفاع تراز سکو تا بستر دریا به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۴/۹ متر باشد، کمترین هزینه حاصل می شود. از این رو عرض بهینه فرسایش یافته موج شکن، معادل ۱۷/۷۷ متر تعیین گردید. همچنین جهت دستیابی به یک طرح اقتصادی بهینه باید مصالح تشکیل دهنده موج شکن در معادن جهاد و توسعه به ترتیب ۶۳/۳۷ درصد دارای دانه بندی ۲/۵-۱ تن و ۶۱/۷۱ درصد دارای دانه بندی ۱/۵-۰/۳ تن داشته باشند.

واژه های کلیدی: جستجوی تصادفی، فرسایش، عرض سکو، موج شکن سکویی، هزینه اجرایی.

## ۱- مقدمه

سواحل دریا همواره در معرض تخریب به وسیله امواج می باشند. این امواج که به وسیله طوفان در دریا ایجاد می شوند، سبب تخریب ابنیه سواحل از جمله اسکله می شوند. از همه مهم تر برخورد امواج با سواحل باعث نابودی محیط زیست سواحل و نهایتاً نابودی زیستگاه آبیان می گردد. یکی از روش های کنترل امواج، احداث موج شکن در سواحل است. موج شکن ها به لحاظ موقعیت قرارگیری، شکل هندسی و نوع مصالح به کار گرفته شده دارای انواع مختلفی هستند که می توان به موج شکن های توده سنگی به عنوان متداول ترین نوع موج شکن ها اشاره نمود. موج شکن های توده سنگی به لحاظ پایداری به دو دسته پایدار ایستا (پایدار استاتیکی، سنتی) و پایدار پویا (پایدار دینامیکی، غیر سنتی) تقسیم می شوند (MarCom، 2003). موج شکن های پایدار ایستا به قطعات سنگی بزرگ برای حفظ پایداری در برابر امواج نیاز دارند و ایجاد تغییر شکل در آنها مجاز نیست، لذا با توجه به پتانسیل پایین معدن سنگ جهت استخراج سنگ های بزرگ، این نوع موج شکن بعضاً صرفه اقتصادی نخواهد داشت. سازه موج شکن توده سنگی شکل پذیر که از مهم ترین انواع آن می توان به موج شکن های سکویی شکل پذیر اشاره نمود به عنوان یک سازه توده سنگی پایدار پویا بوده که با ایجاد یک سکوی بزرگ در تراز بالاتر و یا هم تراز سطح ایستابی (SWL)<sup>۱</sup> در سمت دریا ساخته می شود. این سازه متشکل از محدوده وسیعی از اندازه های سنگ بوده که بر اثر برخورد امواج دچار تغییر شکل شده، به طوری که نیم رخ آن پس از وقوع طوفان به یک نیم رخ تغییر شکل یافته پایدار S شکل تبدیل می شود. ساخت این نوع موج شکن ها می تواند بر اساس خروجی واقعی سنگ معدن به جای تعیین دانه بندی خاص برای سنگ آرمور، فراهم شود (Sigurdarson et al. 1998). به طور کلی موج شکن ها بر اساس عدد پایداری ( $H_o$ ) طبقه بندی می شوند که به صورت رابطه (۱) تعریف می شود:

$$H_o = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} \quad (1)$$

که در آن  $H_s$  ارتفاع موج مشخصه،  $\Delta$  چگالی شناوری نسبی قطعه آرمور ( $\Delta = \frac{\rho_a}{\rho_w} - 1$ )،  $\rho_a$  جرم مخصوص سنگ،  $\rho_w$  جرم مخصوص آب و  $D_{50}$  قطر مشخصه سنگ دانه ها که همان قطر ۵۰ درصد در منحنی دانه بندی سنگ هاست. جهت در نظر گرفتن اثر هم زمان ارتفاع و پرپود موج در پایداری موج شکن های شکل پذیر، ابتدا Van der Meer (1988) پارامتر بی بعد  $H_o T_o$  و سپس Moghim et al. (2009) و Moghim et al. (2011) پارامتر  $H_o \sqrt{T_o}$  را به صورت روابط (۲) و (۳) تعریف نمودند:

$$H_o T_o = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} T_m \left( \frac{g}{D_{50}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$H_o \sqrt{T_o} = \frac{H_s}{\Delta D_{50}} \left( T_m \left( \frac{g}{D_{50}} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

در این روابط  $T_m$  دوره تناوب میانگین موج و  $g$  شتاب ثقل می باشند. لازم به ذکر است عدد پایداری برای موج شکن های سکویی شکل پذیر پایدار استاتیکی در محدوده  $1.5 < H_o < 2.7$ ،  $40 < H_o T_o < 70$  و  $10 < H_o \sqrt{T_o} < 14.5$  قرار دارد. در موج شکن سکویی شکل پذیر از معیار نیم رخ تغییر شکل یافته یا میزان عرض فرسایش یافته سکوی (Rec)<sup>۲</sup> به عنوان مهم ترین پارامتر در بیان پایداری سازه استفاده می شود؛ به طوری که اگر این مقدار بزرگ تر از عرض سکوی موج شکن (B) باشد (Rec > B)، ناپایداری موج شکن و در نهایت آسیب دیدگی سازه موج شکن رخ خواهد داد. جهت محاسبه عرض فرسایش

<sup>۱</sup> - Still Water Level

<sup>۲</sup> - Recession

یافته سکو محققان مختلفی از جمله Lykke- ; (1998) Tørum ; Tørum et al. (2003); (1991) Kao و Hall Andersen (2006); (2011) Moghim et al. (2011) Shafieifar و Moghim و Alizadeh (2014) بر اساس نتایج آزمایشگاهی روابطی را ارائه نمودند. طراحی موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر به منظور حفظ پایداری آن در حین بهره‌برداری بایستی به گونه‌ای باشد که پس از رسیدن نیم‌رخ سازه به نیم‌رخ تغییر شکل یافته، عرض سکوی موج‌شکن به اندازه  $2D_{50}$  تا شیب بالایی سازه فاصله داشته باشد (Tørum, 1998). در این تحقیق رویکردی بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی فرا کاوشی ارائه شده که با توجه به هزینه‌های اجرایی موج‌شکن فراسکو عسلویه، ساختار هندسی بهینه‌ای برای موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر بر حسب شرایط محیطی موجود با توجه به معادن منطقه بر اساس شکل هندسی مقطع موج‌شکن و همچنین هزینه‌های استخراج سنگ و حمل مصالح از معادن، توصیه می‌نماید. لازم به ذکر است که رویکرد پیشنهادی حالت کلی داشته و قابلیت تعمیم به هر مورد مطالعاتی و اجرایی را داراست.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- ساختار مدل پیشنهادی

در این تحقیق برای تعیین ابعاد و مشخصات هندسی موج‌شکن سکویی با توجه به معادن در دسترس برای رسیدن به کم‌ترین هزینه ساخت با حفظ پایداری و عملکرد هیدرولیکی مدل بهینه‌سازی تدوین گردید. تابع هدف مدل مذکور عبارت از حداقل نمودن هزینه‌های تهیه مصالح سنگی (استخراج مصالح) و هزینه حمل آن به محل اجرای پروژه است. در این طرح متغیرهای تصمیم شامل  $D_{50}$  و  $H_T$  هستند. در این ساختار به منظور تعیین دانه‌بندی و میزان درصد وزنی برداشتی از سنگ‌های واقع در هر کلاس و هر معدن، از الگوی لگاریتم خطی پیشنهادی توسط Van der Meer (1988) به صورت رابطه (۴) استفاده شد:

$$W_{ij} = W_{50} \times \left( \frac{W_{85}}{W_{15}} \right)^{\left[ \frac{(y_{ij}-0.5)}{0.7} \right]} \quad (4)$$

تابع هدف مدل مذکور و قیود مربوط به آن و همچنین کلیه پارامترهای موجود در آن‌ها به صورت روابط (۵) تا (۱۰) و محدودیت‌های تابع به صورت روابط (۱۱) تا (۱۳) تعریف شدند:

$$Z = \min \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \left( \frac{B \times H_T}{1+e} \times \gamma_s \times (y_{ij} - y_{(i-1)j}) \right) \right) \quad (5)$$

$$B = Rec + 2D_{50} \quad (6)$$

$$f_g = \frac{D_{85}}{D_{15}} \quad (7)$$

$$W_{50} = \gamma_s \times D_{50}^3 \quad (8)$$

$$y_{ij} = \frac{23.33 \times \log \left( \frac{W_{y_{ij}}}{W_{50}} \right)}{\log(f_g)} + 50 \quad (9)$$

$$D_{y_{ij}} = \left( \frac{W_{y_{ij}}}{\gamma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (10)$$

$$0.128 \left( \frac{H_s^4}{\Delta^4} T_m^2 g \right)^{\frac{1}{5}} \geq D_{50} \geq 0.08 \left( \frac{H_s^4}{\Delta^4} T_m^2 g \right)^{\frac{1}{5}} \quad (11)$$

$$d \leq H_T \quad (12)$$

$$1.2 \leq f_g \leq 1.8 \quad (13)$$

متغیرهای روابط فوق عبارتند از  $C_{ij}$  هزینه حمل و استخراج واحد حجم بلوک سنگی با قطر  $y_{ij}$  درصد در منحنی دانه-بندی (ریال)،  $H_T$  ارتفاع تراز سکو تا بستر دریا (متر)،  $e$  تخلخل،  $y_{ij}$  درصد وزنی برداشت از سنگ‌های واقع در کلاس  $z$  از معدن  $i$ ،  $D_{85}$  قطری که ۸۵ درصد وزنی دانه از آن کوچک‌تر می‌باشند (متر)،  $W_{y_{ij}}$  وزن سنگی که وزن  $y_{ij}$  درصد سنگ‌ها از آن سبک‌ترند (کیلوگرم)،  $m$  تعداد کلاس‌های دانه‌بندی مصالح تشکیل‌دهنده سازه موج‌شکن،  $n$  تعداد معادن برداشت سنگ جهت ساخت سازه موج‌شکن،  $W_{85}$  وزن بلوک سنگی که وزن ۸۵ درصد بلوک‌ها از آن سبک‌ترند (کیلوگرم)،  $W_{15}$  وزن بلوک سنگی که وزن ۱۵ درصد بلوک‌ها از آن سبک‌ترند (کیلوگرم)،  $h_c$  ارتفاع تاج موج‌شکن تا کف بستر دریا (متر).

در رابطه (۵) تابع هدف ساختار پیشنهادی بر پایه هزینه‌های استخراج و حمل واحد حجم بلوک سنگی ارائه شد. مطابق این رابطه با توجه به تعداد کلاس‌های در نظر گرفته‌شده و متغیرهای تصمیم‌موردنظر (ابعاد موج‌شکن)، تابع هدف مسئله موردمحاسبه قرار می‌گیرد. در این تحقیق به‌منظور محاسبه عرض فرسایش یافته سکو از آخرین مطالعات صورت گرفته در این زمینه که توسط Moghim و Alizadeh (2014) انجام‌شده، استفاده گردید. بر مبنای این مطالعه، عرض فرسایش یافته سکو به‌صورت رابطه (۱۴) قابل محاسبه است:

$$Re c / D_{50} = (2.85 N_m - 7.36) \times \{1.61 - \exp[-2.2(N/3000)]\} (h_{br} / H_s)^{-0.2} \quad (14)$$

که در رابطه (۱۴)  $h_{br}$  ارتفاع تراز سکو از سطح ایستایی،  $N$  تعداد موج برخوردی به سازه و  $N_m$  عدد بی‌بعد پایداری برای در نظرگیری تأثیر هم‌زمان ارتفاع موج، پیوند موج و عمق آب پای سازه بر اساس ماکزیمم شار تکانه موج برخوردی به سازه بوده که به‌صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود:

$$N_m = \left( \frac{I M_F / \gamma_w d^2 I_{max}}{\Delta} \right)^{1/2} \frac{d}{D_{50}} \quad (15)$$

در این رابطه  $d$  عمق آب پای سازه و  $M_F$  حداکثر شار تکانه موج انتگرال‌گیری شده در عمق برای یک طول موج به‌صورت روابط (۱۶) تا (۱۸) است:

$$\left( \frac{M_F}{\rho_w g d^2} \right)_{max} = A_o \left( \frac{d}{g T_m^2} \right)^{-A_1} \quad (16)$$

$$A_o = 0.639 \left( \frac{H_s}{d} \right)^{2.026} \quad (17)$$

$$A_1 = 0.180 \left( \frac{H_s}{d} \right)^{-0.391} \quad (18)$$

با توجه به آنکه وزن مصالح موردنیاز جهت ساخت موج‌شکن‌های سکویی شکل‌پذیر نسبت به موج‌شکن‌های توده سنگی ایستا در شرایط یکسان بیش‌تر است. مقادیر پارامترهای محیطی و سازه‌ای مشخص در نظر گرفته‌شده برای طراحی این موج‌شکن در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین هزینه‌های حمل و استخراج مصالح از دو معدن در دسترس به نام‌های جهاد و توسعه که به ترتیب در ۱۵ و ۲۰ کیلومتری موج‌شکن قرار دارند، به‌صورت جدول (۲) در نظر گرفته شدند.

جدول ۱- هزینه حمل و استخراج بلوک های سنگی در معادن مختلف در دسترس (Farasakoo Consulting Engineers, 2013)

شماره معدن	شماره کلاس	$W_{yij}$	هزینه (ریال)
۱	۱	۰/۵-۱ تن	۱۹۱۲۵۹
	۲	۱-۲/۵ تن	۲۹۳۶۷۰
	۱	۰/۳- ۱/۵ تن	۲۵۸۹۰۰
۲	۲	۱/۵-۳ تن	۳۴۱۸۰۰

جدول ۲- مقادیر پارامترهای محیطی و سازه ای مشخص در نظر گرفته شده برای طراحی موج شکن (Farasakoo Consulting Engineers, 2013)

مقدار	نوع پارامتر
۴ متر	عمق آب جلوی سازه ( $d$ )
۳۰۰۰ موج	تعداد موج برخوردی به سازه ( $N$ )
۴	تعداد کلاس های دانه بندی مصالح تشکیل دهنده سازه موج شکن ( $ny$ )
۰/۳	تخلخل مصالح ( $e$ )
۱۲ متر	ارتفاع تاج موج شکن تا کف بستر دریا ( $h_c$ )
۵ متر	ارتفاع مشخصه موج ( $H_s$ )
۱۱ ثانیه	پریود میانگین موج ( $T_m$ )
۲۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب	وزن مخصوص بلوک های سنگی ( $\gamma_s$ )
۱/۶	چگالی شناوری نسبی قطعه آرمور ( $\Delta$ )

## ۲-۲- ساختار الگوریتم بهینه سازی

نحوه تعیین ساختار هندسی بهینه موج شکن بر مبنای ساختار پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مبتنی بر جستجوی تصادفی است. این روش به دلیل سرعت اجرای بالا، دقت قابل توجه در دستیابی به جواب نزدیک به بهینه کلی و جستجوی تقریباً کامل فضای تصمیم موجه<sup>۱</sup> در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. در واقع این روش با شروع از یک نقطه تصادفی در فضای موجه تصمیم (فضایی که در آن محدودیت های مدل بهینه سازی رعایت شده است) آغاز شده و با استفاده از ضرایب انبساط و انقباض به سمت جواب بهینه کلی حرکت می نماید. با توجه به نقطه اولیه و نوع روش جستجو، نقاطی حول جواب اولیه تولید می شود. از روش های جستجوی در این الگوریتم می توان به روش جستجوی الگوی تعمیم یافته (GPS)<sup>۲</sup> و روش جستجوی مستقیم شبکه هیبریدی (MADS)<sup>۳</sup> اشاره نمود که نحوه جستجوی هر یک به تفکیک ارائه می شود. لازم به ذکر است در هر دو روش با توجه به تعداد متغیرهای تصمیم (N) جواب هایی با الگوی مشخص در اطراف جواب اولیه تولید می شود.

<sup>1</sup> - Feasible Decision Space

<sup>2</sup> - Generalized Pattern Search

<sup>3</sup> - Mesh Adaptive Direct Search

### ۲-۲-۱- جستجوی الگوی تعمیم یافته

در این روش به تعداد  $2N$  جواب با توجه به جواب اولیه و با الگوی مشخص تولید می‌شود. به عبارت دیگر چنانچه جواب اولیه  $x_{N \times 1}$  و اندازه شبکه برابر با  $m$  باشد جواب‌هایی با استفاده از رابطه (۱۹) در اطراف جواب اولیه تولید می‌شوند:

$$\begin{aligned} x_{N \times 1}^1 &= m \times [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^2 &= m \times [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^N &= m \times [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 1]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^{N+1} &= m \times [-1 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^{N+2} &= m \times [0 \ -1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^{2N} &= m \times [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ -1]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \end{aligned} \quad (19)$$

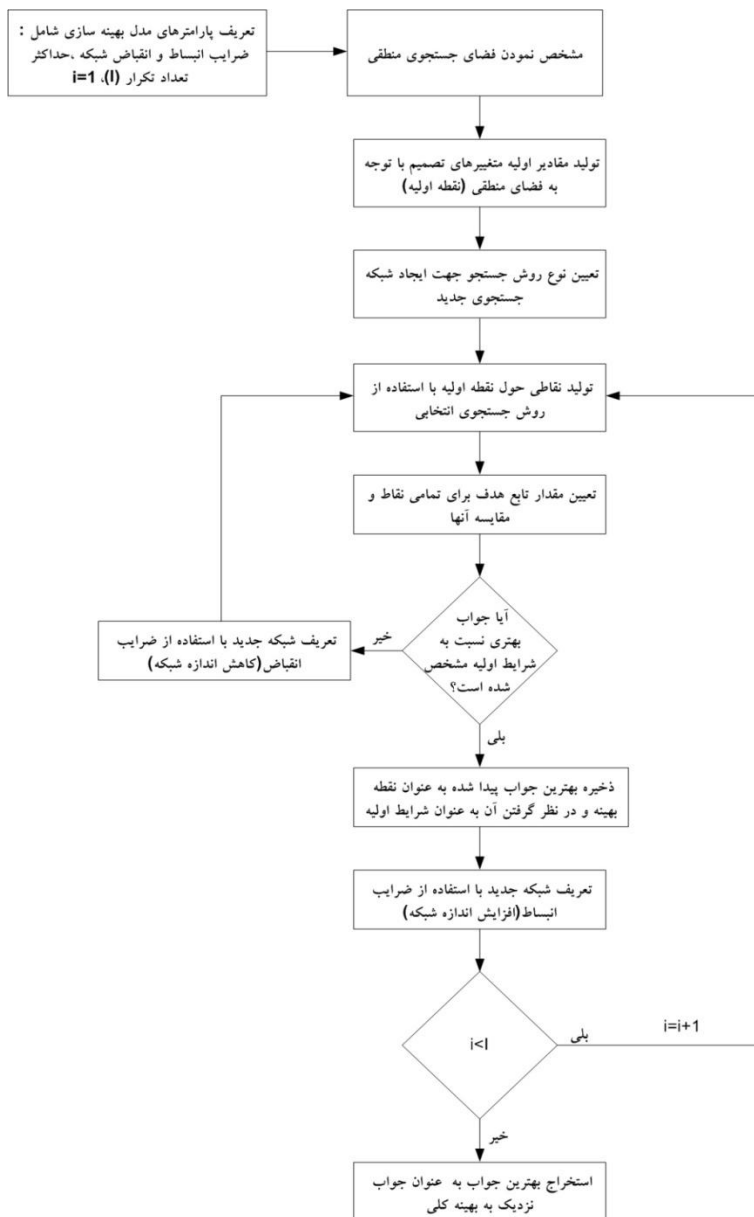
### ۲-۲-۲- روش جستجوی مستقیم شبکه هیبریدی

در این روش به تعداد  $N+1$  جواب با توجه به جواب اولیه و با الگوی مشخص تولید می‌شود. به عبارت دیگر چنانچه جواب اولیه  $x_{N \times 1}$  و اندازه شبکه برابر با  $m$  باشد جواب‌هایی با استفاده از رابطه (۲۰) در اطراف جواب اولیه تولید می‌شوند:

$$\begin{aligned} x_{N \times 1}^1 &= m \times [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^2 &= m \times [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^N &= m \times [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 1]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \\ x_{N \times 1}^{N+1} &= m \times [-1 \ -1 \ -1 \ \dots \ -1]_{N \times 1} + x_{N \times 1} \end{aligned} \quad (20)$$

با توجه به جواب‌های بدست آمده، مقدار تابع هدف برای هر جواب محاسبه و با مقدار تابع هدف مرتبط با جواب اولیه مقایسه می‌شود. چنانچه جوابی بهتر از جواب اولیه در بین مجموعه جواب‌های تولید شده وجود داشت مسیر حرکت مدل بهینه‌سازی از نقطه اولیه به نقطه‌ای خواهد بود که از مطلوبیت بیشتری از نظر تابع هدف برخوردار است. در این حالت اندازه شبکه با استفاده از ضریب انبساط افزایش می‌یابد و مدل فضای بیشتری را مورد جستجو قرار می‌دهد؛ اما اگر جواب بهتری در فضای اولیه مشخص شده، یافت نشد با استفاده از ضریب انقباض و نوع روش جستجوی تعداد نقاط دیگری که نزدیک‌تر به نقطه اولیه می‌باشند، تولید می‌شود. این روند تولید مجموعه جواب‌ها با استفاده از ضرایب انبساط و انقباض تا زمانی ادامه می‌یابد که تغییری در جواب بهینه بدست آمده حاصل نشود. نحوه همگرایی به جواب بهینه با استفاده از این الگوریتم، در شکل (۱) نشان داده شده است. در این مطالعه پارامترهای ورودی الگوریتم بهینه‌سازی، دو پارامتر  $D_{50}$  و  $H_T$  می‌باشند که به عنوان متغیر تصمیم به مدل معرفی می‌گردند. بر مبنای فضای موجه تعریف شده (روابط ۱۶ تا ۱۸) برای این متغیرها، مدل بهینه‌سازی اقدام به یافتن جواب‌های نزدیک به بهینه کلی<sup>۱</sup> (جوابی که بر اساس رابطه (۵) منجر به کمترین میزان هزینه گردد) می‌نماید. در صورت دست یافتن به چنین جوابی، مدل بهینه‌سازی مقادیر بهینه دو پارامتر مورد بررسی را که بر اساس آن می‌توان ابعاد بهینه موج‌شکن و درصدهای بهینه برداشت از کلاس‌های مختلف واقع در دو معدن مورد مطالعه را یافت، ارائه می‌نماید.

<sup>1</sup> -Near to global solution



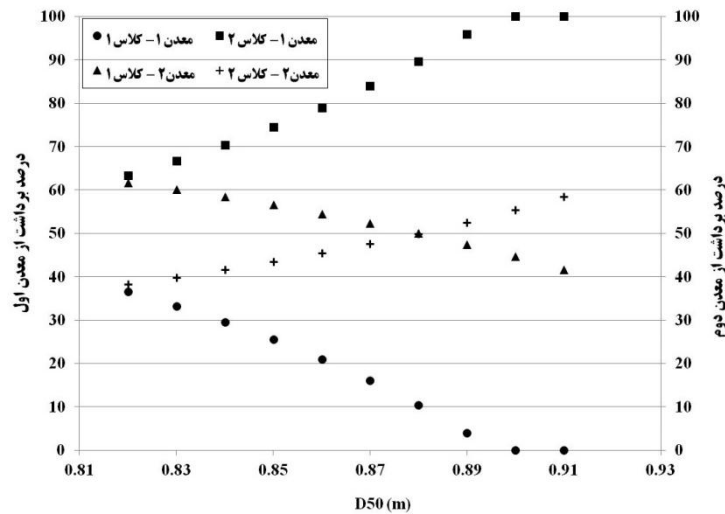
شکل ۱- ساختار مدل بهینه‌سازی مبتنی بر جستجوی مستقیم (Mazak Mari و Mohammad Reazpor Tabari، 2016)

### ۳- یافته‌ها و بحث

با توجه به اینکه تعیین متغیرهای تصمیم در مسائل بهینه‌سازی یکی از پارامترهای مهم در تدوین تابع هدف و رویکرد بهینه‌سازی است، در این مطالعه بر پایه تحلیل حساسیت دو پارامتری که در احداث سازه‌های موج‌شکن سکویی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند، متغیرهای تصمیم ساختار پیشنهادی تعیین گردیدند. برای این منظور برای مقادیر مختلف و مجاز دو پارامتر  $D_{50}$  و  $H_T$ ، درصدی برداشت از کلاس‌های مختلف واقع در دو معدن موردنظر، عرض فرسایش یافته سکو، هزینه‌های حمل و استخراج واحد حجم بلوک سنگی و  $f_g$  مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت و بازه تغییرات آن‌ها

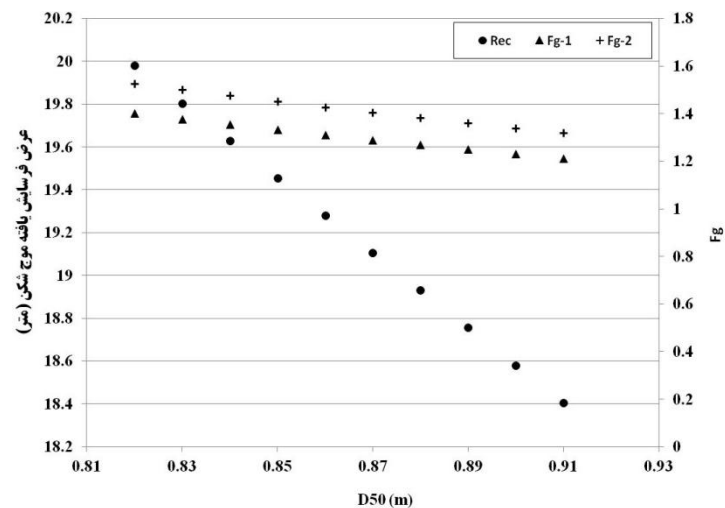


بررسی گردید. شکل (۲) تحلیل حساسیت درصدهای برداشت از معادن و کلاس‌های مختلف نسبت به  $D_{50}$  را نشان می‌دهد.



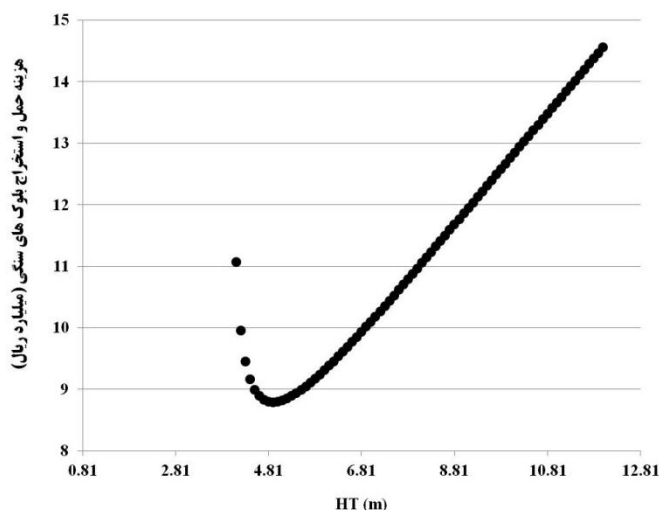
شکل ۲- حساسیت درصدهای برداشت از معادن و کلاس‌های مختلف نسبت به  $D_{50}$

شکل (۲) نشان می‌دهد که برای بازه تغییرات اندک ۱۰ سانتیمتری از قطر متوسط بلوک‌های سنگی، بازه تغییرات درصدهای برداشت سنگ از کلاس‌های واقع در معادن مختلف بسیار متغیر بوده و این تنوع منجر به تأثیرگذاری پارامتر  $D_{50}$  بر هزینه‌های موجود در ساخت سازه موج‌شکن سکویی خواهد شد. تحلیل حساسیت هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی نسبت به  $D_{50}$  به ازای  $H_T$  انجام و نتایج نشان داد که با افزایش مقدار  $D_{50}$  در حدود ۹/۸ درصد، هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی به ازای  $H_T$  ثابت در حدود ۳/۳ درصد افزایش خواهد یافت. شکل (۳) نیز تحلیل حساسیت عرض فرسایش یافته سکوی موج‌شکن و  $f_g$  نسبت به  $D_{50}$  را نشان می‌دهد.



شکل ۳- حساسیت عرض فرسایش یافته سکوی موج‌شکن و  $f_g$  نسبت به  $D_{50}$

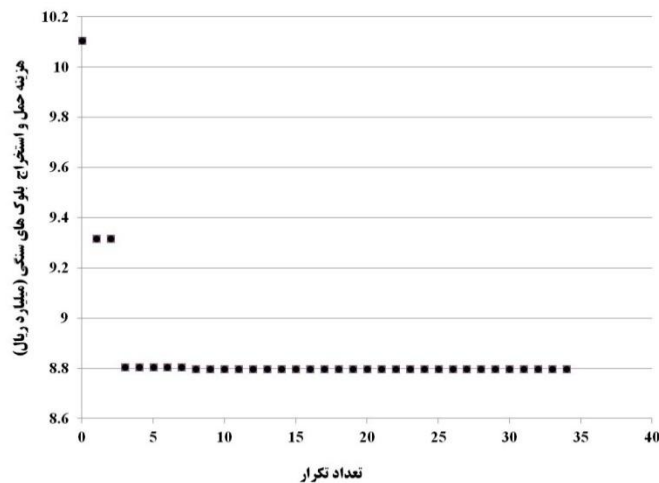
شکل (۳) نیز بیانگر اثرپذیری عرض فرسایش یافته سکوی موج‌شکن سکویی و همچنین عرض منحنی دانه‌بندی ( $f_g$ ) در برابر  $D_{50}$  است. لذا تعیین مقدار بهینه پارامتر  $D_{50}$  می‌تواند تا حد فراوانی در ساخت این سازه صرفه‌جویی نماید. مطابق شکل (۳)، در شرایط محیطی یکسان، با افزایش قطر اسمی سنگ‌دانه‌ها به دلیل آنکه نیروی مقاوم (نیروی وزن سنگ‌دانه) در برابر نیروی محرک (نیروی هیدرودینامیکی ناشی از موج) افزایش می‌یابد عرض فرسایش یافته موج‌شکن کاهش پیدا خواهد نمود. تحلیل حساسیت عرض فرسایش یافته سکوی موج‌شکن نسبت به  $H_T$  نیز انجام شد. نتایج نشان داد که بازه تغییرات پارامتر  $H_T$  از تراز سطح ایستابی تا تراز تاج سازه موج‌شکن است، به طوری که اگر  $H_T$  به تراز تاج سازه برسد یعنی سکوی موج‌شکن از بین رفته و سازه به یک موج‌شکن توده سنگی شکل‌پذیر تبدیل خواهد شد. این نتایج بیانگر اثرپذیری و کاهش عرض فرسایش یافته سکو در برابر افزایش مقدار  $H_T$  است. شکل (۴) نیز تحلیل حساسیت هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی نسبت به  $H_T$  به ازای  $D_{50}$  ثابت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود تغییرات  $H_T$  منجر به تغییر هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی شده است. به طوری که در ابتدا افزایش  $H_T$ ، مقدار هزینه را کاهش می‌دهد. دلیل این امر این است که در ابتدا با افزایش  $H_T$  مقدار عرض فرسایش یافته موج‌شکن کاهش پیدا نموده و در نتیجه عرض اولیه سکوی کم‌تری برای ساخت موج‌شکن نیاز خواهد بود که تأثیر این کاهش عرض اولیه سکو در کاهش مقدار هزینه، بیش‌تر از افزایش هزینه در اثر افزایش  $H_T$  است ولی این روند از  $H_T$  در حدود  $4/9$  برعکس می‌شود که دلیل این روند را می‌توان در کاهش کم‌تر عرض فرسایش یافته موج‌شکن نسبت به افزایش مقدار  $H_T$  دانست. به طوری که میزان کاهش عرض فرسایش یافته برای مقادیر  $H_T$  کم‌تر از  $4/9$  به طور متوسط در حدود پنج درصد است و این در حالی است که در  $H_T$ ‌های بیش از  $4/9$  به طور متوسط میزان کاهش عرض فرسایش یافته برابر با یک درصد خواهد بود.



شکل ۴- حساسیت هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی نسبت به  $H_T$  به ازای  $D_{50}$  ثابت

با بررسی حساسیت پارامترهای دخیل در سازه موج‌شکن نسبت به ارتفاع تراز سکو تا بستر دریا می‌توان دریافت که تغییرات این پارامتر نیز می‌تواند منجر تغییر در هزینه‌های ساخت و عرض فرسایش یافته موج‌شکن سکویی شود (شکل‌های ۳ و ۴). با توجه به نتایج به دست از تحلیل حساسیت صورت گرفته می‌توان بیان نمود که تعیین مقدار بهینه دو پارامتر ( $D_{50}$  و  $H_T$ ) در ساخت سازه موج‌شکن در یک شرایط مشخص محیطی از اهمیت بالایی در کاهش هزینه‌های ساخت و نحوه

برداشت مصالح تشکیل دهنده آن از معادن مختلف برخوردار است. لذا در این مطالعه دو پارامتر قطر متوسط بلوک سنگی و ارتفاع تراز سکو تا بستر دریا به عنوان متغیر تصمیم مسئله بهینه‌سازی تعریف شده، معرفی گردید. با اجرای ساختار پیشنهادی بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جستجوی تصادفی، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم تعیین گردید. شکل (۵)، روند تعیین میزان بهینه تابع هدف (هزینه‌های حمل و استخراج واحد وزن بلوک سنگی) در تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، الگوریتم بهینه‌سازی در طی ۵ تکرار به جواب بهینه کلی<sup>۱</sup> دست یافته است. لازم به ذکر است جهت دستیابی به این مقدار بهینه، ۱۶۰۰ بار تابع هدف مورد ارزیابی قرار گرفت. در واقع هر یک از نقاط ارائه شده در شکل (۵) نشان دهنده یک تکرار از مجموعه تکرارهایی که لازم است مدل بهینه‌سازی در جهت دستیابی به مقادیر بهینه طی نماید. در هر تکرار به تعداد قابل توجهی، تابع هدف مورد محاسبه و بررسی قرار می‌گیرد. در این بررسی مقدار تابع هدف به دست آمده در هر تکرار نسبت به تکرار قبل مقایسه و در صورت بهتر بودن مقدار تابع هدف (در این مطالعه کم‌تر بوده میزان تابع هدف مطلوب است)، مقادیر متغیرهای تصمیم این تکرار به عنوان مقدار بهینه محلی<sup>۲</sup> در نظر گرفته می‌شود. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که در طی چندین تکرار متوالی، مقدار تابع هدف تغییر ننماید. در این صورت متغیرهای تصمیم معادل به آخرین تابع هدف محاسبه شده به عنوان مقادیر بهینه کلی انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرد.



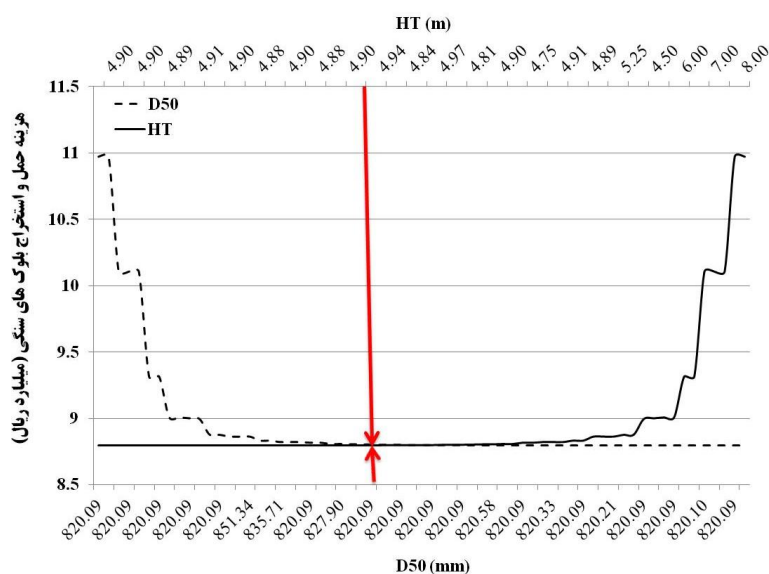
شکل ۵- روند تعیین میزان بهینه تابع هدف در تکرارهای مختلف

جهت تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم، نحوه تغییرات تابع هدف نسبت به مقادیر متغیر تصمیم در شکل (۶) ترسیم شده است. مطابق این شکل، کم‌ترین میزان تابع هدف (هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی) که معادل ۸/۷۹ میلیارد ریال است، در نقطه‌ای قرار دارد که مقادیر  $D_{50}$  و  $H_T$  به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۴/۹ متر می‌باشند. در واقع این شکل بر مبنای مقادیر مختلفی از متغیرهای تصمیم مورد بررسی تولید شده توسط مدل بهینه‌سازی که در فضای موجه (رعایت محدودیت‌های ساختار مدل پیشنهادی) قرار دارند، ترسیم گردید. با توجه به مقادیر هر متغیر تصمیم، مقدار تابع هدف متناظر با آن در فضای تصمیم مشخص می‌شود. بر اساس این شکل، می‌توان جواب بهینه که منجر به کمترین میزان

<sup>1</sup> - Global optimum

<sup>2</sup> - Local optimum

هزینه می گردد را تعیین نمود. بر اساس این مقادیر می توان درصد های بهینه برداشت از هر معدن را تعیین نمود. بر مبنای موج شکن انتخابی، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم به صورت جدول (۳) ارائه شده است. مطابق این جدول میزان برداشت بهینه از معدن شماره یک به ترتیب برای کلاس های اول و دوم برابر با ۳۶/۶۳ و ۶۳/۳۷ درصد وزنی سنگ های تشکیل دهنده این کلاس ها است. همچنین این میزان بهینه برداشت برای معدن دوم و برای کلاس های اول و دوم به ترتیب برابر با ۶۱/۷۱ و ۳۸/۲۹ درصد وزنی به دست آمده است. بر مبنای مصالح موجود در منطقه مورد مطالعه عرض بهینه فرسایش یافته موج شکن معادل ۱۷/۷۷ متر تعیین شده است. همچنین بر مبنای مقادیر  $H_T$  و  $D_{50}$  بهینه به دست آمده از مدل بهینه سازی می توان با استفاده از روابط (۴) و (۱۱) مقادیر  $Rec$  و  $B$  را تعیین نمود. در واقع این دو متغیر وابسته به متغیری های تصمیم می باشند.



شکل ۶- نحوه تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم بر اساس مقدار تابع هدف

جدول ۳- درصد های بهینه برداشت سنگ از هر کلاس به تفکیک معادن تعریف شده

شماره معدن	شماره کلاس	$W_{y_i}$ (تن)	درصد بهینه برداشت	$D_{50}$ (متر)	$H_T$ (متر)	$Rec$ (متر)	$B$ (متر)
۱	۱	۰/۵-۱	۳۶/۶۳	۰/۸۲	۴/۸۹	۱۷/۷۷	۱۹/۴۲
	۲	۱-۲/۵	۶۳/۳۷				
۲	۱	۰/۳-۱/۵	۶۱/۷۱	۳۸/۲۹			
	۲	۱/۵-۳	۳۸/۲۹				

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق رویکردی کلی بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی فرا کاوشی جهت تعیین ابعاد بهینه موج‌شکن‌های سکویی ارائه گردید. در این روش برحسب شرایط محیطی موجود در منطقه ساخت موج‌شکن و با توجه به معادن در دسترس در منطقه بر اساس شکل هندسی مقطع موج‌شکن و همچنین هزینه‌های استخراج سنگ و حمل مصالح از معادن، ساختار هندسی بهینه‌ای برای موج‌شکن سکویی شکل‌پذیر با توجه به هزینه‌های اجرایی توصیه شد. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که کم‌ترین هزینه حمل و استخراج بلوک‌های سنگی در نقطه‌ای قرار دارد که مقادیر  $H_T$  و  $D_{50}$  به ترتیب برابر با  $۰/۸۲$  و  $۴/۹$  متر است. بر این اساس و با توجه به میزان برداشت بهینه از معادن جهاد و توسعه، عرض بهینه فرسایش یافته موج‌شکن معادل  $۱۷/۷۷$  متر تعیین گردید. همچنین جهت دستیابی به یک طرح اقتصادی بهینه در معادن موردبررسی باید مصالح تشکیل‌دهنده موج‌شکن در معادن جهاد و توسعه به ترتیب  $۶۳/۳۷$  درصد دارای دانه‌بندی  $۱-۲/۵$  تن و  $۶۱/۷۱$  درصد دارای دانه‌بندی  $۰/۳-۱/۵$  تن داشته باشند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که چنانچه اقتصاد طرح در ساخت موج‌شکن سکویی نسبت به دیگر عوامل مؤثر بر این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار باشد، رویکرد ارائه‌شده قابلیت تعمیم به هر مورد مطالعاتی و اجرایی در این زمینه را داراست.

#### References

- Farasakoo Consulting Engineers. (2013). Farasakoo breakwater design report, Ministry of Roads and Urban Development, Ports and Maritime Organization. [In Persian].
- Hall K. and Kao S. (1991). A study of the stability of dynamically stable breakwaters. *Can. J. Civil Eng.*, 18, 916-925.
- Lykke- Andersen T. (2006). Hydraulic response of rubble mound breakwaters (scale effects-berm breakwaters). PhD Thesis. University of Aalborg, Denmark.
- Moghim M. N. and Alizadeh F. (2014). Hydraulic stability of reshaping berm breakwaters using the wave momentum flux parameter. *Coast. Eng.*, 83, 56-64.
- Moghim M. N., Shafieifar M., Tørum A. and Chegini V. (2011). A new formula for the sea state and structural parameters influencing the stability of homogeneous reshaping berm breakwaters. *Coast. Eng.*, 58 (8), 706-721.
- Moghim M. N., Shafieifar M., Chegini V. and Aghtouman P. (2009). Effects of irregular wave parameters on berm recession of reshaping berm breakwaters. *Int. J. Marit. Technol.*, 5(9), 35-51 [in Persian].
- Mohammad Rezapour Tabari M. and Mazakmari M. (2016). The integrated approach of simulation and optimization in determining the optimum dimensions of canal for seepage control. *Water Res. Manag.*, 30(3), 1271-1292.

- 
- Mohammad Rezapour Tabari M. and Soltani J. (2013). The stream flow prediction model using fuzzy inference system and particle swarm optimization. *J. Water Wastewater*, 24(1), 112-124 [in Persian].
- Mohammad Rezapour Tabari M., Tavakoli Sh. and Mazakmari M. (2015). Optimal design of concrete canal section for minimizing cost of water loss, lining and earthwork. *Iranian Water Res. J.*, 9(2), 11-22 [in Persian].
- MarCom, (2003) State-of-the-art of designing and constructing berm breakwaters. Technical Report, Working Group, PIANC, Brussels.
- Shekari M. R. and Shafieefar M. (2013). An experimental study on the reshaping of berm breakwaters under irregular wave attacks. *Appl. Ocean Res.*, 42, 16-23.
- Sigurdarson S., Viggosson G., Benediktsson S., Einarsson S. and Smarason O. B. (1998). Berm breakwaters, fifteen years' experience. *Coast. Eng.* 1407-1420. doi: 10.1061/9780784404119.104.
- Tørum A. (1998). On the stability of berm breakwaters in shallow and deep water. *Coast. Eng.*, 1435-1448. doi: 10.1061/9780784404119.106.
- Tørum A., Kuhnen F. and Menze A. (2003). On berm breakwaters. stability, scour, overtopping. *Coast. Eng.*, 49, 209-238.
- Van der Meer J. W. (1988). Rock slopes and gravel beaches under wave attack. PhD Thesis. Delft University of Technology, Delft Hydraulics Library, No. 396.

## Optimal Geometrical Design of Reshaping Berm Breakwaters Based on Minimizing Administrative Costs (Case Study: Farasakoo Breakwater)

Mahmoud Mohammad Rezapour Tabari<sup>1\*</sup> and Mohammad Navid Moghim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assist. Prof., Dept. Of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup>Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

\*Corresponding Author: mrtabari@eng.sku.ac.ir

Received: February 10, 2016

Accepted: June 13, 2016

### Abstract

So far, many studies have been carried out to design reshaping berm breakwaters (RBB) that mostly have provided the effect of individual parameter on the structure stability. Therefore, it is essential to present systematic optimal geometrical design of RBB. In this research, a generic program is presented to determine the optimal geometrical structure of RBB based on the administrative costs. Hence, at first a methodology was proposed to determine the breakwater optimal dimensions based on the calculated berm recession from empirical formulae of previous studies and the cost of extraction and transportation of the materials from Jihad-Touseh mines. The nominal diameter of stone blocks and the berm height from sea bed were selected as a decision variable based on the sensitivity analysis. The results of implementation of the proposed structure using random search algorithm represent a significant reduction in costs of breakwaters construction compared with non-optimal values of decision variables. Based on the resulting optimal values, the optimal percentages of extraction from miscellaneous mines considering lowest extraction and transportation costs were determined. It was found that the minimum cost is obtained if the values of nominal diameter of stone blocks and the berm height from sea are equal to 0.82 and 4.9 meters respectively. Therefore, the optimal width of berm recession was determined equivalent to 17.77 meter. Moreover, in order to achieve an optimal economic plan, the breakwaters constituent materials in Jihad-Touseh mines were suggested to have 63.37 percentage with gradation of 1 to 2.5 tons and 61.71 percentage with gradation of 0.3-1.5 tons respectively.

**Keywords:** Administrative Cost, Berm Breakwater, Berm Width, Random Search, Recession.