Archive of SID

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

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

مدل بهینه سازی سرمایه‌گذاری توسعه بنادر (مطالعه موردی بندر شهید رجایی)

مهدیه الهویرنلو [۱*]

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۲۱ *نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱۴

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

چکیده

در مقاله حاضر، هدف ارائه مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در توسعه بنادر از دیدگاه ملی می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر هزینه‌ها و منافع از دیدگاه سرمایه‌گذار و مصرف‌کننده برآورد می‌گردد. مدل ارائه‌شده مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح می‌باشد که تابع هدف کمینه‌سازی هزینه‌های ساخت و توسعه بندر بوده و محدودیت‌های مدل شامل محدودیت حجم عملیات، بودجه مالی، شبکه حمل‌ونقل کالا و ناوگان حمل و نقل دریایی می‌باشد. به دلیل عدم قطعیت در حجم عملیات برآورد شده در بندر، از اعداد فازی برای مدل کردن حجم عملیات استفاده می‌شود. خروجی مدل شناور طرح بهینه بندر در بازه‌های زمانی ۵ ساله و نیز تعداد اسکله‌های بهینه را که می‌بایست در هر بازه زمانی ۵ ساله در بندر احداث گردد مشخص می‌کند. [۱]

واژه‌های کلیدی: مدل سرمایه‌گذاری، بندر شهید رجایی، مدل‌سازی ریاضی، بهینه‌سازی، شبکه حمل و نقل.

۱. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

در کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود که قریب ۳۰۰۰ کیلومتر از مرز آن با دریا مجاور است، بندرها و مطالعه‌های مربوط به آن‌ها از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. موضوع سرمایه‌گذاری در بندرها ازجمله مقوله‌های مهم هست، ولی چگونگی سرمایه‌گذاری و نیز میزان آن با توجه به بسیاری از پارامترهای اقتصادی و اجتماعی تعیین می‌شود. مواردی از قبیل سهم بودجه اختصاصی توسعه بندرها، موقعیت فیزیکی بندر و فاصله آن از مسیرهای خطوط مهم کشتیرانی، وضعیت بازار جهانی و نیز بازار داخلی، موقعیت بندرهای تجاری منطقه و رقابت تجاری با سایر بندرها و گسترش خطوط جاده‌ای و ریلی پشتیبانی‌کننده بندر، بر سطح توسعه و سرمایه‌گذاری در بندرها اثرگذارند. بسیاری از موردهای تعیین‌کننده سرمایه‌گذاری بندرها، ازجمله موارد غیرقابل‌پیش‌بینی بوده و در اغلب آن‌ها پیش‌بینی وضعیت آینده بندر و عامل‌های مؤثر بر آن امری مشکل و مبهم می‌باشد. تصمیم‌گیری در دنیای مبهم و ناشناخته‌ها با خطرهای فراوانی هم راه بوده و انتخاب تصمیم مناسب را با در نظر گرفتن ریسک مطلوب هم راه می‌سازد. بنابراین در مقاله حاضر از مفاهیم فازی در مدل‌سازی توسعه بندر و ارائه طرح توسعه بهینه استفاده‌شده است و بندر تحت بررسی در مقاله حاضر بندر شهید رجایی است. این بندر با دارا بودن بزرگ‌ترین پایانه کانتینری کشور نقش عمده‌ای در تبادل کالاهای کانتینری با سایر کشورها و شریک‌های تجاری ایران دارد. بندر شهید رجایی در حال حاضر (چه سالی) با ظرفیت جابه‌جایی بیش از ۱۰۰۰۰۰۰ TEU کانتینر در سال بسیاری از نیازهای کانتینری ایران را پاسخ می‌دهد. پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط کارشناسان حاکی از این است که در سال ۲۰۳۰ حدود ۱۲۰۰۰۰۰۰ TEU کانتینر توسط این بندر جابه‌جا خواهد شد [۴] در این مقاله مدل ریاضی سرمایه‌گذاری بندر شهید رجایی تا سال ۲۰۳۰ ارائه می‌شود. به‌منظور حل مدل ریاضی فازی از روش ژولین استفاده می‌شود لذا در ادامه ابتدا مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری و روش حل ژولین توضیح داده‌شده و سپس در قسمت پنجم مقاله مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه می‌شود. قسمت ششم مقاله نتایج حل مدل را دربرمی‌گیرد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری

حالت کلی مدل سرمایه‌گذاری به شرح زیر می‌باشد:

$$f_j(x_j)=\begin{cases}k_j+c_jx_j & x_j>0\\ 0 & x_j=0\end{cases}$$

$$Z=f_1(x_1)+f_2(x_2)+\ldots+f_n(x_n)$$

$$Z=\sum_{j=1}^{n}(c_jx_j+k_jy_j)$$

$$y_j=\begin{cases}1\\0\end{cases}$$

$$x_j\le My_j$$

$$AX\le b$$

Z= تابع هدف

C_j = هزینه‌های مصرفی

K_j = هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای فعالیت j

x_j = متغیر تصمیم‌گیری فعالیت از نوع j انجام پذیرد

y_j = اگر تصمیم i انجام شود ۱، در غیر این صورت.

M = عدد بزرگ

A = ماتریس ضرایب

b= ماتریس مقدار منابع

۲-۱-۱- روش حل ژولین

روش حل مسئله فازی به‌کاررفته در این مقاله روش حل ژولین می‌باشد. این روش بر مبنای α[1] برش می‌باشد به‌این صورت که عدد فازی توسط برش‌هایی با فاصله α، غیرفازی می‌شود. بنابراین مدل ریاضی به شکل زیر خواهد بود:

$$(1)\ Max\ \widetilde{Z}=\sum_i c_ix_i$$

$$s.t:\ \sum_j a_j x_i \mathrel{\widetilde{\le}} b_j$$

$$x_i\ge 0\quad i=\{1,\ldots,m\}$$

$$j=\{1,\ldots,n\}$$

اگر ماتریس‌های $A=\begin{bmatrix}a_1 & a_{1m}\\ a_{1n}\ldots\ldots & a_m\end{bmatrix}$ و $C=[c_1,c_2,\ldots,c_m]$ و $x=[x_1,x_2,\ldots.x_m]$ تعریف شوند، نتیجه حل مدل(۱) با استفاده از روش حل ژولین معادل حل دو مدل (۲) و (۳) می‌باشد:

$$Max\ Z_L^{\alpha}=C_L^{\alpha}x$$

$$(۲)\quad \begin{matrix}s.t & A_u^{\alpha}x\le b_L^{\alpha}\\ & x\ge 0\end{matrix}$$

$$Max\ Z_U^{\alpha}=C_u^{\alpha}x$$

$$(۳)\quad \begin{matrix}s.t & A_L^{\alpha}x\le b_u^{\alpha}\\ & x\ge 0\end{matrix}$$

که در آن C_L^{α} حد پایین تابع هدف در برش α، C_U^{α} حد بالای تابع هدف در برش α، A_L^{α} حد پایین ضرایب در محدودیت‌ها در

1. Alpha-cut

Archive of SID
www.SID.ir

برش α، A_U^{α} حد بالای ضرایب در محدودیت‌ها در برش α، b_L^{α} حد پایین سمت راست محدودیت‌ها در برش α و b_u^{α} حد بالای سمت راست محدودیت‌ها در برش α می‌باشد. [۲]

۲-۱-۲- مدل‌سازی

در این قسمت مدل ریاضی ساخته‌شده برای سرمایه‌گذاری بندر شهید رجایی ارائه می‌شود و شامل دو قسمت فرضیه‌ها و مدل ریاضی می‌باشد.

۲-۱-۲-۱ - فرضیه‌های مدل

فرضیه‌های مدل ریاضی توسعه بندر به ترتیب شامل: (۱) هزینه‌ها و فایده‌ها از دیدگاه دولت برآورد می‌شود، (۲) سال افق طرح، سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است، (۳) حجم عملیات کانتینری در سال افق طرح ۱۲۰۰۰۰۰۰ TEU در نظر گرفته شده است.، (۴) کارآیی گنتری کرین ۲۳ جابه‌جایی در ساعت در نظر گرفته شده است. [۴]، (۵) نرخ بهره سرمایه‌گذاری معادل ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است، (۶) طول عمر مفید برای اسکله‌ها ۵۰ سال و برای گنتری کرین‌ها ۱۵ سال منظور شده است و (۷) نتایج مدل ریاضی در بازه‌های ۵ ساله ارائه می‌شود. پنج تیپ شناور به‌عنوان نمونه انتخابی با ظرفیت‌های ۴۰۰۰، ۶۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ TEU در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۱-۲-۲ - مدل ریاضی

تابع هدف مدل ارائه‌شده به شرح زیر می‌باشد:

$$
\begin{aligned}
G = MIN \sum_n \sum_i \sum_m (c_{imn} x_{imn} - tariff_{in} \times \beta_i \times x_{imn}) \times f(P/F,i,n) \times f(P/A,i,5) \\
+ \sum_i \sum_k ((l' b'_i + l'' b''_i) \times f(P/A,i,31-v(k)) + b'_{ik}) \times f(P/F,i,v(k)) q_{ik} \\
+ \sum_i \left(\sum_{k=1}^{2} b''_{ik} \times (1 + f(P/F,i,15) + \sum_{k=3}^{5} b''_{ik} \right) \times f(P/F,i,v(k)) q_{ik} \\
+ dredge'_n \times f(P/F,i,n) - B_n \times f(P/F,i,n) \times f(P/A,i,5) + dredge_a \times f(P/A,i,30)
\end{aligned}
$$

در این مدل تابع هدف از ۶ جمله به وجود آمده است. جمله اول تابع هدف، بیان‌گر مجموع کل ارزش کنونی هزینه‌های حمل‌ونقل کالا در سال‌های بررسی منهای مجموع کل ارزش اکنونی فایده‌های ناشی از دریافت عوارض شناورهای خارجی در سال‌های بررسی می‌باشد. جمله دوم، مجموع ارزش اکنونی هزینه‌های تعمیر و نگهداری گنتری‌ها و اسکله‌ها و ساخت اسکله در کل دوره به غیر از سال اول، می‌باشد. در جمله سوم ارزش اکنونی هزینه‌های خرید گنتری‌کرین‌ها محاسبه می‌شود، با توجه به اینکه طول عمر مفید گنتری ۱۵ سال فرض شده است و سال بررسی تا ۲۰۳۰ می‌باشد، بنابراین اگر گنتری در ۱۰ سال اول مطالعه بررسی شود می‌بایست ارزش فعلی هزینه خرید گنتری کرین جایگزین در مدل محاسبه گردد. در جمله چهارم ارزش اکنونی هزینه‌های ناشی از لایروبی محاسبه می‌گردد. در جمله پنجم ارزش کنونی منافع ناشی از اخذ عوارض از کالاهای ترانزیتی و در نهایت در جمله آخر ارزش کنونی هزینه سالیانه لایروبی نگهداری محاسبه می‌شود. پارامترهای استفاده‌شده در تابع هدف به شرح زیر می‌باشند :

c_{imn} = هزینه حمل‌ونقل کالا که با شناور نوع i در مسیر m و در سال n جابه‌جا می‌شود. C_i از حاصل‌ضرب هزینه حمل کالا به ازای واحد TEU در تعداد کانتینرهای آن شناور به دست می‌آید،

x_{imn} = تعداد مراجعه شناور نوع i در سال n و از مسیر m به بندر، لازم به ذکر است که مقدار اندیس i با بزرگ شدن شناور بزرگ‌تر می‌شود،

$tariff_{in}$ = تعرفه موجود برای شناور نوع i، در سال n،

β_i = نسبت شناورهای خارجی مراجعه‌کننده به کل شناورهای مراجعه‌کننده به بندر در طول سال،

b'_{ik} = هزینه ساخت اسکله مورد نیاز برای شناور نوع i در آغاز دوره k،

b''_{ik} = کل هزینه خرید گنتری‌کرین‌های لازم برای شناور نوع i در آغاز دوره k،

l'_i = درصدی از هزینه ساخت اسکله که به‌منظور تعمیر و نگهداری اسکله‌ها سالیانه هزینه می‌شود،

l''_i = درصدی از هزینه خرید گنتری کرین‌ها که به‌منظور تعمیر و نگهداری آن‌ها سالیانه هزینه می‌شود،

z_{in} = تعداد اسکله نوع i که در سال n مورد نیاز است، (در اینجا هدف بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در بندر کانتینری است پس یک نوع اسکله بیشتر وجود ندارد.)

$Dredge_n$= بیشترین هزینه لایروبی لازم در سال n،

$Dredge_a$= هزینه مربوط به لایروبی نگهداری سالانه،

$Dredge'_n$= کل هزینه مربوط به لایروبی اضافه در سال n به دلیل تردد شناورهای بزرگ‌تر از قبل و

B_n= منافع ناشی از اخذ تعرفه از بار ترانزیتی در سال n، فرض می‌شود که بار ترانزیت در بازه‌های ۵ سال تغییر یابد. به‌عنوان مثال بار ترانزیت از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴، معادل بار ترانزیت در سال ۲۰۱۰ باشد.

مدل ساخته‌شده از ۱۲ جمله محدودیت تشکیل شده است. محدودیت(۱) بیانگر محدودیت ظرفیت می‌باشد که ظرفیت بندر می‌باید پاسخ‌گوی جابه‌جایی کالا باشد. محدودیت (۲) کل شناورهای مراجعه‌کننده نوع i به بندر را در سال n برآورد می‌کند.

محدودیت(۳) بیانگر این است که لایروبی بندر در سال n با توجه به آبخور بزرگ‌ترین شناور وارده به آن در سال n انجام گیرد. مجموعه محدودیت‌های (۴) روز- اسکله مورد نیاز را در سال n برای شناورهای i محاسبه می‌کند و از برآورد آن تعداد اسکله مورد نیاز از نوع i در سال n به دست می‌آید. مجموعه محدودیت‌های (۵) و (۶) محدودیت‌های معادله عدد صحیح را تشکیل می‌دهند. مجموعه محدودیت‌های (۷) تعداد اسکله‌ای که باید در هر دوره زمانی ساخته شود را برآورد می‌کند. محدودیت (۸) متضمن این است که چه مقدار کالا از کشورهای مختلف تأمین می‌شود. محدودیت‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) نیز حد بالای تعداد شناور نوع ۳و ۴ و ۵ را که می‌توانند در سال n به بندر تردد نمایند را تعیین می‌کند، این محدودیت با توجه به آمار جهانی در خصوص ترکیب احتمالی ناوگان جهانی و نیز بررسی روند تغییر شناورهای ورودی به ایران در سال‌های گذشته به دست آمده است. محدودیت (۱۲) هزینه‌های ناشی از حجم لایروبی مازاد را که در هر دوره می‌باید انجام گیرد به دست می‌آورد.

Archive of SID
www.SID.ir

$$(1)\sum_i \sum_m x_{imn} \times T'_i \geq d_n \qquad \forall m = \{1,\ldots,8\} \quad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(2)\sum_m x_{imn} = x_{in} \qquad \forall m = \{1,\ldots,8\} \quad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(3)\ b'''_i y_{in} \leq dredge_n \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(4)\ r_5 x_{5n} \leq z_{5n} u \times (day) \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$r_4 x_{4n} + r_5 x_{5n} \leq (z_{5n} + z_{4n}) u \times (day) \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$r_3 x_{3n} + r_4 x_{4n} + r_5 x_{5n} \leq (z_{5n} + z_{4n} + z_{3n}) u \times (day)$$

$$r_2 x_{2n} + r_3 x_{3n} + r_4 x_{4n} + r_5 x_{5n} \leq (z_{5n} + z_{4n} + z_{3n} + z_{2n} + z_{02}) u \times (day)$$

$$r_1 x_{1n} + r_2 x_{2n} + r_3 x_{3n} + r_4 x_{4n} + r_5 x_{5n} \leq (z_{5n} + z_{4n} + z_{3n} + z_{2n} + z_{1n} + z_{01}) u \times (day)$$

$$(5)\ y_{in} \leq x_{in} \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(6)\ x_{in} \leq M y_{in} \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(7)\ q_{i1} = z_{i5} - z_{i1} \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\}$$

$$q_{i2} = z_{i10} - z_{i5}$$

$$q_{i3} = z_{i15} - z_{i10}$$

$$q_{i4} = z_{i20} - z_{i15}$$

$$q_{i5} = z_{i25} - z_{i20}$$

$$(8)\sum_i x_{imn} \times T'_i \geq p_m d_n \qquad \forall m = \{1,\ldots,8\} \quad \forall i = \{1,\ldots,5\} \quad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(9)\quad x_{3n} \leq \eta_{3n} \times \sum_i \sum_m x_{imn} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(10)\quad x_{4n} \leq \eta_{4n} \times \sum_i \sum_m x_{imn} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(11)\quad x_{5n} \leq \eta_{5n} \times \sum_i \sum_m x_{imn} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$(12)\ dredge'_n = dredge_n - dredge_{n-1}$$

$$y_{in} = \text{binary}$$

$$x_{inm}, x_{in}, z_{in}, q_{ik} \in \text{integer}$$

$$D_n, dredge'_n \in \text{Real} \geq 0$$

$$\forall i = \{1,2,3,4,5\}$$

$$\forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

$$\forall k = \{1,2,3,4,5\}$$

$$\forall m = \{1,\ldots,8\}$$

پارامترهای به‌کاررفته در محدودیت‌های بالا به شرح زیر می‌باشند:

T'_i = مجموع بار بارگیری و تخلیه‌شده توسط شناور نوع i

d_n = حجم عملیات کانتینری بندر در سال n

x_{in} = تعداد کل مراجعه شناور نوع i به بندر در سال n

b'''_i = هزینه لازم برای لایروبی بندر جهت سهولت تردد شناور نوع i

r_i = مدت زمان لازم برای عملیات تخلیه و بارگیری شناور نوع i

u = ضریب اشغال اسکله که برای کلیه اسکله‌ها مساوی فرض شده است

day = تعداد روزهای کاری اسکله در طول سال

z_0 = تعداد اسکله‌های موجود برای شناور نوع ۱

z_0 = تعداد اسکله‌های موجود برای شناور نوع ۲

k = شماره دوره‌های ۵ ساله

$v(k)$ = معرف زمان شروع دوره k می‌باشد. یعنی برای دوره اول مقدار $v(k)$ برابر ۱، برای دوره دوم مقدار آن برابر ۵ و به‌این‌ترتیب برای دوره ۵ مقدار آن برابر با ۲۰ می‌باشد.

q_{ik} = تعداد اسکله نوع i که در فاصله زمانی k باید احداث شود.

η_{in} = درصد تعداد مراجعه شناورهای نوع i واردشده به بندر به کل شناورهای ورودی به بندر در سال n.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۱): حجم فعالیت سال‌های مختلف در هر α-برش (واحد: ۱۰۰۰TEU)

A	سال ۲۰۱۰		۲۰۱۵		۲۰۲۰		۲۰۲۵		۲۰۳۰	
	D_L^A	D_U^A	D_L^A	D_U^A	D_L^A	D_U^A	D_L^A	D_U^A	D_L^A	D_U^A
A=۰	1445	2100	2200	4150	3000	7300	4000	12500	5000	19000
A=۰/۱	1485/5	2075	2314	4069	3240	7110	4450	12100	5700	18300
A=۰/۲	1526	2050	2428	3988	3480	6920	4900	11700	6400	17600
A=۰/۳	1566/5	2025	2542	3907	3720	6730	5350	11300	7100	16900
A=۰/۴	1607	2000	2656	3826	960*3	6540	5800	10900	7800	16200
A=۰/۵	1647/5	1675	27700	3745	4200	6350	6250	10500	8500	15500
A=۰/۶	1688	1950	2884	3664	4440	6160	6700	10100	9200	14800
A=۰/۷	1728/5	1925	2998	3583	4680	5970	7150	9700	9900	14100
A=۰/۸	1769	1900	3112	3502	4920	5780	7600	9300	10600	13400
A=۰/۹	1809/5	1875	3226	3421	5160	5590	8050	8900	11300	12700
A=۱	1850	1850	3340	3340	5400	5400	8500	8500	12000	12000

الف — α=۰

۳- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و بیان نتایج

همان‌گونه که اشاره شد روش استفاده برای حل مدل ریاضی روش ژولین در نظر گرفته شده است، در روش ژولین از روش الفا برش برای یافتن جواب بهینه در حالت فازی استفاده می‌شود. مقدارهای حجم فعالیت در سال‌های مختلف با روش ذکرشده به شرح جدول(۱) می‌باشد. در ادامه جدول‌ها تعداد اسکله‌های موردنیاز برای الفاهای ۰/۰، ۰/۴، ۰/۸ و ۱ آورده می‌شود.

جدول (۲): بازه تغییر ارزش اکنونی هزینه‌های ملی به ازای α=۰

A	GU^A (میلیارد دلار)	GL^A (میلیارد دلار)
۰	۵/۱۵	۲/۲۹

در α=۰، تابع هدف که همان حداقل هزینه می‌باشد، دربازه [۵/۱۵، ۲/۲۹] میلیارد دلار قرار دارد. هزینه ۵/۱۵ میلیارد دلار در شرایطی است که بندر در راستای پاسخ‌گویی به حداکثر حجم عملیات توسعه یابد تعداد اسکله‌های موردنیاز برای ساخت از هر نوع اسکله (اضافه بر اسکله‌های موجود در بندر شهید رجایی) در این حالت به شرح جدول(۳) است:

جدول (۳): تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال(α=۰ و GU^A)

نوع اسکله	سال ۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۲	۳	۳	۶	۸	۱۶
اسکله نوع ۳	۰	۱	۱	۵	۵
اسکله نوع ۴	۰	۰	۲	۳	۴
اسکله نوع ۵	۰	۱	۲	۳	۵

طول اسکله موردنیاز در این حالت در سال ۲۰۳۰ برای پاسخ‌گویی به حجم فعالیت معادل TEU ۱۹۰۰۰۰۰۰ برابر با ۱۱۵۷۰ متر می‌باشد. تا پایان سال ۲۰۳۰، ۱۶ اسکله نوع ۲، ۵ اسکله نوع۳، ۴ اسکله نوع ۴ و ۵ اسکله نوع ۵ می‌بایست احداث شده باشد. هم‌چنین در صورت تحقق این حجم فعالیت در سال ۲۰۰۵ احداث یک اسکله نوع ۲ الزامی می‌باشد. کل ارزش کنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری ساخت اسکله، لایروبی، گنتری‌کرین و نیز هزینه‌های نگهداری در این حالت ۶۸۷ میلیون دلار است.

در حد پایین α=۰ تعداد اسکله‌های موردنیاز برای ساخت طبق جدول(۴) است:

جدول (۴): تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال α =۰ و(GL^A)

نوع اسکله	سال ۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۵	۰	۰	۳	۵	۵

ه- α = ۰/۴

در α =۰/۴، ارزش اکنونی مقدار حداقل هزینه‌های ملی در بازه [۸۵/۲، ۶۵/۴]میلیارد دلار تغییر می‌کند.

جدول (۵): بازه تغییر ارزش کنونی هزینه‌های ملی به ازای α=۰/۴

A	GU^A (میلیارد دلار)	GL^A (میلیارد دلار)
۰/۴	۴/۶۵	۲/۸۵

توسعه بهینه مدل در حالتی که حجم عملیات معادل با بیش‌ترین مقدار آن در α = ۰/۴، باشد (d_U^{α})، به‌صورت جدول (۶) می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول (۶): تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال(GU^A و α =۰/۴)

نوع اسکله	سال				
	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۳		۱	۱	۳	۶
اسکله نوع ۴			۳	۴	۵
اسکله نوع ۵	۲	۲	۲	۴	۶

توسعه بهینه مدل در حالتی که حجم عملیات معادل با کم‌ترین مقدار آن در α = ۰/۴ باشد به‌صورت جداول (با شماره جدول بیان شود) زیر است. در این حالت ارزش اکنونی هزینه‌های ملی معادل، ۲/۸۵ میلیارد دلار می‌باشد.

جدول (۷) : تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال (GU^A و α =۰/۴)

نوع اسکله	سال				
	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۲	۰	۰	۰	۰	۱
اسکله نوع ۳	۱	۱	۱	۱	۱
اسکله نوع ۴	۰	۱	۲		
اسکله نوع ۵					

طول اسکله موردنیاز برای پاسخ‌گویی به حجم فعالیت ۷۸۰۰۰۰۰ TEU در سال ۲۰۳۰، ۴۱۹۶ متر است.

ج- α=۰/۸

در α =۰/۸، ارزش اکنونی هزینه‌های ملی در بازه [۴/۰۸، ۳/۴۶] میلیارد دلار تغییر می‌کند.

جدول (۸): بازه تغییر ارزش فعلی هزینه‌های ملی به ازای α=۰/۸

A	GU^A (میلیارد دلار)	GL^A (میلیارد دلار)
۰/۴	۴/۰۸	۳/۴۶

به ازای α =۰/۸ و d_U^{α}، ارزش اکنونی هرینه‌های ملی ۴/۰۸ میلیارد دلار به دست می‌آید. توسعه متناسب با این حالت مطابق جداول (۷) و (۸) خواهد بود.

جدول (۹) : تعداد اسکله‌های ملزم به ساخت در هر بازه زمانی (GU^A و α =۰/۸)

نوع اسکله	سال				
	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۳		۱	۱	۵	۶
اسکله نوع ۴			۲	۵	۴
اسکله نوع ۵	۱	۱	۲	۵	۵

طول اسکله موردنیاز در سال ۲۰۳۰، معادل ۸۱۵۰ متر می‌باشد.

سرمایه‌گذار می‌باید که تا پایان سال ۲۰۳۰، ۵ اسکله نوع ۲، ۶ اسکله نوع ۳، ۴ اسکله نوع ۴ و ۵ اسکله نوع ۵ احداث نماید که ارزش اکنونی هزینه‌های احداث و نگهداری معادل ۵۵۲ میلیون دلار می‌باشد.

جدول (۱۰): تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال (GL^A و α = ۰/۸)

نوع اسکله	سال				
	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۴				۱	۵
اسکله نوع ۵		۱	۵	۵	۵

در سال ۲۰۳۰، حدود ۶۴۲۰ متر طول اسکله موردنیاز است که شامل ۵ اسکله نوع ۳، ۵ اسکله نوع ۴ و ۵ اسکله نوع ۵ می‌باشد. ارزش اکنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری در این حالت معادل ۴۵۷ میلیون دلار است.

د- α=۱

در این حالت ارزش فعلی حداقل هزینه‌های ملی به‌صورت جدول(۱۱) است.

جدول (۱۱): بازه تغییر ارزش فعلی هزینه‌های ملی به ازای α=۱

A	GU^A (میلیارد دلار)	GL^A (میلیارد دلار)
۰/۴	۳/۸۴	۳/۸۴

به این دلیل که عددهای فازی از نوع مثلثی می‌باشند، مقدار حداقل هزینه‌ها در کران بالای α-برش و کران پایین آن مساوی می‌باشد. مرحله‌های مختلف ساخت در این حالت مطابق جدول‌های (۷) و (۸) است.

جدول (۱۲): تعداد اسکله‌های موردنیاز در هر سال (α = ۱)

نوع اسکله	سال				
	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰	۲۰۲۵	۲۰۳۰
اسکله نوع ۳		۲	۲	۴	۵
اسکله نوع ۴			۲	۳	۴
اسکله نوع ۵	۲	۲	۳	۳	۷

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله مدل ریاضی عدد صحیح سرمایه‌گذاری در بندر ساخته شد و بندر شهید رجایی به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. به دلیل عدم قطعیت در حجم فعالیت پیش‌بینی‌شده از مفهوم‌های فازی در مدل‌سازی و نیز حل مسئله استفاده گردید، جدول (۱۳) نتیجه‌های اجرای مدل را نشان می‌دهد.

در این جدول P_L^{α} و P_U^{α} به ترتیب معرف کران پایین و بالای ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری ساخت اسکله، خرید گنتری

Archive of SID
www.SID.ir

و لایروبی در هر α-برش می‌باشد. با توجه به این‌که مقدارهای P بیان‌گر ارزش اکنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری است، دوره زمانی سرمایه‌گذاری در ساخت اسکله‌ها به دلیل در نظر گرفتن ارزش زمانی پول بر مقدار عددی P تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین در برخی سطرهای جدول‌ها مشاهده می‌شود که علیرغم افزایش طول اسکله موردنیاز ارزش فعلی هزینه‌های مصرفی تغییر چندانی نداشته و یا حتی کاهش یافته است. هم‌چنین قابل‌ذکر است که طول اسکله به الزام بیان‌گر مقدار حجم عملیات تخلیه و بارگیری نمی‌باشد بلکه این مقدار به نوع اسکله و تجهیزات موجود بر روی آن وابسته است و مدل نوشته‌شده تمامی جواب‌های ممکن را برای حجم فعالیت‌های خاص بررسی نموده و بهترین جواب را با توجه به حجم فعالیت‌ها ارائه می‌دهد.

جدول (۱۳): نتیجه‌های حل مدل (واحدها: میلیارد دلار و متر)

A	G_L^A	G_U^A	P_L^A	P_U^A	طول اسکله در کران پایین	طول اسکله در کران بالا
α=۰	29/2	15/5	299/0	687/0	2600	11570
α=۰/۱	45/2	01/5	320/0	668/0	3640	11390
α=۰/۲	55/2	92/4	336/0	702/0	3430	10580
α=۰/۳	71/2	79/4	369/0	697/0	3990	10650
α=۰/۴	85/2	65/4	361/0	665/0	4196	10900
α=۰/۵	04/3	52/4	461/0	618/0	4680	9530
α=۰/۶	16/3	37/4	428/0	584/0	5640	8690
α=۰/۷	29/3	24/4	433/0	579/0	5590	8476
α=۰/۸	46/3	08/4	457/0	552/0	6420	8150
α=۰/۹	66/3	90/3	432/0	512/0	6728	7420
α=۱	84/3	84/3	558/0	558/0	7260	7260

استفاده از مفاهیم فازی به تصمیم‌گیر کمک می‌کند که جایگاه خود را در تصمیم‌گیری درک کرده و سعی در انتخاب تصمیم‌های صحیح کند. از سویی دیگر نتیجه‌های مدل فازی به مدیران با قدرت ریسک‌پذیری متفاوت کمک شایانی می‌نماید زیرا به ازای هر α، دو نوع توسعه با دو هزینه متفاوت قابل پیش‌بینی است. به‌عنوان مثال اگر فرض شود که α=۰/۸ بوده و مقادیر حجم فعالیت فازی در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵، ۲۰۲۰، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۰ به ترتیب در بازه‌های [۱۹۰۰۰۰۰، ۱۷۶۹۰۰۰]، [۳۵۰۲۰۰۰، ۳۱۱۲۰۰۰]، [۵۷۸۰۰۰۰، ۴۹۲۰۰۰۰]، [۹۳۰۰۰۰۰، ۷۶۰۰۰۰۰] و [۱۳۴۰۰۰۰۰، ۱۰۶۰۰۰۰۰] TEU قرار دارد. نتیجه‌های حاصل از اجرای مدل، بیان‌گر این است که مقدار ارزش اکنونی هزینه‌های ملی در بازه [۴/۰۸، ۳/۴۶] میلیارد دلار قرار دارد. آنچه به ارزش علمی حالت فازی می‌افزاید مفهوم

α-برش می‌باشد. در مدل قطعی، تصمیم‌گیر فقط حالت بهینه توسعه را به هم راه هزینه‌های مربوطه در نظر می‌گیرد. در این مثال تصمیم‌گیر درمی‌یابد که مقدار هزینه‌های به‌دست‌آمده به‌اندازه ۰/۸ عضو مجموعه حداقل هزینه‌های (مجموعه جواب‌های بهینه) می‌باشد. از سویی دیگر نتایج مدل فازی به مدیران با قدرت ریسک‌پذیری متفاوت کمک شایانی می‌نماید. در مثال توضیح داده شده برای α =۰/۸ نیز دو نوع توسعه با دو هزینه متفاوت قابل پیش‌بینی است.

مراجع:

۱. مهدیه الهویرنلو، مدل‌سازی عملیات حمل‌ونقل کالا در ترمینال‌های کانتینری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۴.

2. H.J.Zimmermann, (Fuzzy set theory and its applications), Kluwer academic,1996.

3. United Nations Conference on Trade and Development, (Port development, A handbook for planners in developing countries), United Nations, 1985.

4. Halcrow & Daryasazeh Consultant Co, (Shahid rajaee port complex design review), 2004.

Archive of SID
www.SID.ir