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

«بنام خدا»

مدل بهینه سازی سرمایه‌گذاری توسعه بنادر

(مطالعه موردی بندر شهید رجایی)

مهدیه الهویرنلو، کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل

چکیده

در مقاله حاضر، هدف ارایه مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در توسعه بنادر از دیدگاه ملی می‌باشد. به عبارت دیگر هزینه‌ها و منافع از دیدگاه سرمایه‌گذار و مصرف کننده برآورد می‌گردد. مدل ارایه شده 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 حمل و نقل 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، مدل سازی ریاضی.

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 از جمله مقوله‌های مهم می‌باشد، ولی چگونگی سرمایه‌گذاری و

Archive of SID

www.SID.ir

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 پشتیبانی کننده بندر، بر سطح توسعه و سرمایه‌گذاری در بندرها اثرگذارند. بسیاری از موردهای تعیین کننده سرمایه‌گذاری بندرها، از جمله موارد غیر قابل پیش‌بینی بوده و در اغلب آن‌ها پیش بینی وضعیت آینده بندر و عامل‌های موثر 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 نظرگرفتن ریسک مطلوب هم راه می‌سازد. بنابراین در مقاله حاضر از مفاهیم فازی در مدل سازی توسعه بندر و ارایه طرح توسعه بهینه استفاده شده است و بندر تحت بررسی در مقاله حاضر بندر شهیدرجایی 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 با ظرفیت جا به جایی بیش از TEU۱۰۰۰۰۰۰ کانتینر در سال بسیاری از نیازهای کانتینری ایران را پاسخ می‌دهد. پیش‌بینی‌های انجام شده توسط کارشناسان حاکی از این است که در سال ۲۰۳۰ حدود TEU۱۲۰۰۰۰۰۰ کانتینر توسط این بندر جا به جا خواهد شد[۱] [۴] در این مقاله مدل ریاضی سرمایه‌گذاری بندر شهیدرجایی تا سال ۲۰۳۰ ارایه می‌شود. به منظورحل مدل ریاضی فازی از روش ژولین استفاده می‌شود لذا در ادامه ابتدا مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری و روش حل ژولین توضیح داده شده و سپس در قسمت پنجم مقاله مدل سازی ریاضی مساله ارایه می‌شود. قسمت ششم مقاله نتایج حل مدل را دربرمی‌گیرد.

۱- مقاله حاضر نتیجه مطالعات انجام شده در سال ۲۰۰۵ می‌باشد که در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارایه گردیده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مدل بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری

حالت کلی مدل سرمایه‌گذاری به شرح زیر می‌باشد:

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

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

$$Z=\sum_{j=1}^{n}(c_j x_j+k_j y_j)$$

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

$$x_j \le M y_j$$

$$AX \le b \qquad (۱)$$

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- روش حل ژولین

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

Archive of SID

www.SID.ir

$$Max\ \widetilde{Z} = \sum_i c_i x_i$$

$$s.t: \sum_j a_{ij} x_i \lesssim b_j$$

$$x_i \geq 0 \quad i = \{1,...,m\} \qquad (۱)$$

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

اگر ماتریس‌های $C = [c_1, c_2, ..., c_m]$ و $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{1m} \\ a_{1n.} & ..... a_{mn} \end{bmatrix}$ و $x = [x_1, x_2, ...x_m]$ تعریف شوند، نتیجه حل مدل(۱) با استفاده از روش حل ژولین معادل حل دو مدل (۲) و (۳) می‌باشد:

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

$$s.t \quad A_u^{\alpha} x \leq b_L^{\alpha} \qquad (۲)$$

$$x \geq 0$$

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

$$s.t \quad A_L^{\alpha} x \leq b_u^{\alpha} \qquad (۳)$$

$$x \geq 0$$

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 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]

۳- مدل سازی

در این قسمت مدل ریاضی ساخته شده برای توسعه بندر شهیدرجایی ارایه می‌شود و شامل دو قسمت فرضیه‌ها و مدل ریاضی می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱ فرضیه‌های مدل

فرضیه‌های مدل ریاضی توسعه بندر به شرح زیر می‌باشد:

هزینه‌ها و فایده‌ها از دیدگاه دولت برآورد می‌شود.

سال افق طرح، سال ۲۰۳۰ در نظر گرفته شده است.

حجم عملیات کانتینری در سال افق طرح ۱۲۰۰۰۰۰۰TEU در نظر گرفته شده است.

کارآیی گنتری کرین ۲۳ جا به جایی در ساعت در نظر گرفته شده است. [۴]

نرخ بهره سرمایه‌گذاری معادل ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است.

طول عمر مفید برای اسکله‌ها ۵۰ سال و برای گنتری کرین‌ها ۱۵ سال منظور شده است.

نتایج مدل ریاضی در بازه‌های ۵ ساله ارایه می‌شود.

پنج تیپ شناور به عنوان نمونه انتخابی با ظرفیت‌های ۴۰۰۰، ۶۰۰۰، ۸۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ TEU در نظر گرفته شده‌اند.

۳-۲ مدل ریاضی

تابع هدف مدل ارایه شده به شرح زیر می‌باشد:

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

در این مدل تابع هدف از ۶ جمله به وجود آمده است. جمله اول تابع هدف، بیان‌گر مجموع کل ارزش کنونی هزینه‌های حمل و نقل 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

Archive of SID

www.SID.ir

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 جایگزین در مدل محاسبه گردد. در جمله چهارم ارزش اکنونی هزینه‌های ناشی از لایروبی محاسبه می‌گردد. در جمله پنجم ارزش اکنونی منافع ناشی از اخذ عوارض از کالاهای ترانزیتی و در نهایت در جمله آخر ارزش اکنونی هزینه سالیانه لایروبی نگهداری محاسبه می‌شود. پارامترهای استفاده شده در تابع هدف به شرح زیر می‌باشند :

c_{imn} = هزینه حمل و نقل کالا که با شناور نوع i در مسیر m و در سال n جا به جا می‌شود. C_i از حاصل ضرب 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.

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

β_i = نسبت شناورهای خارجی مراجعه کننده به کل شناورهای مراجعه کننده بندر در طول سال

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

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

l'_i = درصدی از هزینه ساخت اسکله که به منظور تعمیر و نگهداری اسکله‌ها سالیانه هزینه می‌شود.

l''_i = درصدی از هزینه خرید گنتری‌ها که به منظور تعمیر و نگهداری آن‌ها سالیانه هزینه می‌شود.

z_{in} = تعداد اسکله نوع i که در سال n مورد نیاز است.

$Dredge_n$ = بیشترین هزینه لایروبی لازم در سال n

Archive of SID

www.SID.ir

$Dredge_a$= هزینه مربوط به لایروبی نگهداری سالانه

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

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

مدل ساخته شده از ۱۲ جمله محدودیت شکیل شده است. محدودیت(۱) بیانگر محدودیت ظرفیت می‌باشد که ظرفیت بندر می‌باید پاسخ‌گوی جا به جایی کالا باشد.

محدودیت (۲) کل تعداد شناور مراجعه کننده i به بندر را در سال n برآورد می‌کند.

محدودیت(۳) بیانگر این است که لایروبی بندر در سال n با توجه به عمق 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 تامین 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

$$(1)\sum_i \sum_m x_{imn} \times T_i' \geq d_n \qquad \forall m = \{1,\ldots,8\} \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

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

$$(3)\ b_i''' y_{in} \leq \text{dredge}_n \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$(8)\sum_i x_{imn} \times T_i' \geq p_m d_n \qquad \forall m = \{1,\ldots,8\} \qquad \forall i = \{1,\ldots,5\} \qquad \forall n = \{1,5,10,15,20,25\}$$

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

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

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

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

y_{in} = binary

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

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

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

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

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

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

پارامترهای به کار رفته در محدودیت‌های بالا به شرح زیر می‌باشند:

T_i' = مجموع بار بارگیری و تخلیه شده توسط شناور نوع i

Archive of SID

www.SID.ir

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_{01} = تعداد اسکله‌های وضع موجود برای شناور نوع ۱

z_{02} = تعداد اسکله‌های وضع 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 به این ترتیب 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 وارد شده به بندر به کل شناورهای ورودی به بندر در سال n.

۴- نتیجه‌ها

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

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ : حجم فعالیت سال‌های مختلف در هر α-برش (واحد: TEU۱۰۰۰)

a	سال ۲۰۱۰		سال ۲۰۱۵		سال ۲۰۲۰		سال ۲۰۲۵		سال 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	۱۴۴۵	۲۱۰	۲۲۰۰	۴۱۵	۳۰۰۰	۷۳۰	۴۰۰	۱۲۵۰	۵۰۰۰	۱۹۰۰
=۰/۱	/۵	۲۰۷	۲۳۱۴	۴۰۶	۳۲۴۰	۷۱۱	۴۴۵	۱۲۱۰	۵۷۰۰	۱۸۳۰
=۰/۲	۱۵۲۶	۲۰۵	۲۴۲۸	۳۹۸	۳۴۸۰	۶۹۲	۴۹۰	۱۱۷۰	۶۴۰۰	۱۷۶۰
=۰/۳	/۵	۲۰۲	۲۵۴۲	۳۹۰	۳۷۲۰	۶۷۳	۵۳۵	۱۱۳۰	۷۱۰۰	۱۶۹۰
=۰/۴	۱۶۰۷	۲۰۰	۲۶۵۶	۳۸۲	❋۳	۶۵۴	۵۸۰	۱۰۹۰	۷۸۰۰	۱۶۲۰
=۰/۵	/۵	۱۶۷	۲۷۷۰	۳۷۴	۴۲۰۰	۶۳۵	۶۲۵	۱۰۵۰	۸۵۰۰	۱۵۵۰
=۰/۶	۱۶۸۸	۱۹۵	۲۸۸۴	۳۶۶	۴۴۴۰	۶۱۶	۶۷۰	۱۰۱۰	۹۲۰۰	۱۴۸۰
=۰/۷	/۵	۱۹۲	۲۹۹۸	۳۵۸	۴۶۸۰	۵۹۷	۷۱۵	۹۷۰۰	۹۹۰۰	۱۴۱۰
=۰/۸	۱۷۶۹	۱۹۰	۳۱۱۲	۳۵۰	۴۹۲۰	۵۷۸	۷۶۰	۹۳۰۰	۱۰۶۰	۱۳۴۰
=۰/۹	/۵	۱۸۷	۳۲۲۶	۳۴۲	۵۱۶۰	۵۵۹	۸۰۵	۸۹۰۰	۱۱۳۰	۱۲۷۰
a=۱	۱۸۵۰	۱۸۵	۳۳۴۰	۳۳۴	۵۴۰۰	۵۴۰	۸۵۰	۸۵۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰

الف – α=۰

جدول ۲: بازه تغییرارزش اکنونی هزینه‌های ملی به ازای α=۰

a	G_U^a (میلیارد دلار)	G_L^a (میلیارد دلار)
۰	۵/۱۵	۲/۲۹

در α=۰ ، تابع هدف که همان حداقل هزینه می‌باشد، در بازه [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 یابدتعداد اسکله‌های مورد نیاز برای ساخت از هر نوع اسکله (اضافه بر اسکله‌های موجود در بندر شهید رجایی) در این حالت به شرح جدول(۳) است:

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳: تعداد اسکله‌های مورد نیاز در هر سال [۲] (G_U^{α} و α =۰)

نوع اسکله	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۱۵	سال ۲۰۲۰	سال ۲۰۲۵	سال 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 مورد نیاز در این حالت در سال ۲۰۳۰ برای پاسخ گویی به حجم فعالیت معادل TEU۱۹۰۰۰۰۰۰ 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.

هم چنین در صورت تحقق این حجم فعالیت در سال ۲۰۰۵ احداث یک اسکله نوع ۲ الزامی می‌باشد. کل ارزش اکنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری ساخت اسکله، لایروبی، گنتری‌کرین و نیز هزینه‌های نگهداری در این حالت ۶۸۷ میلیون دلار است.

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

جدول ۴: تعداد اسکله‌های مورد نیاز در هر سال (G_L^{α} و α =۰)

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

α = ۰/۴ -ه

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

۱- تعداد اسکله‌های مورد نیاز علاوه بر ۱۰۰۰متر اسکله موجود در بندر در حال حاضر است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵ : بازه تغییرارزش اکنونی هزینه‌های ملی به ازای α=۰/۴

a	G_U^a (میلیارد دلار)	G_L^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})، به صورت جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶ : تعداد اسکله‌های مورد نیاز در هر سال (α =۰/۴ و G_U^{α})

نوع اسکله	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۱۵	سال ۲۰۲۰	سال ۲۰۲۵	سال ۲۰۳۰
اسکله نوع ۲	۱	۱	۴	۵	۸
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 ۰/۴ = α باشد به صورت جداول زیر است. در این حالت ارزش اکنونی هزینه‌های ملی معادل، ۲/۸۵ میلیارد دلار می‌باشد.

جدول ۷ : تعداد اسکله‌های مورد نیاز در هر سال (α =۰/۴ و G_L^{α})

نوع اسکله	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۱۵	سال ۲۰۲۰	سال ۲۰۲۵	سال ۲۰۳۰
اسکله نوع ۱	۰	۰	۰	۰	۱
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					

Archive of SID

www.SID.ir

طول اسکله مورد نیاز برای پاسخ گویی به حجم فعالیت TEU۷۸۰۰۰۰۰ در سال ۲۰۳۰، ۴۱۹۶ متر است.

α=۰/۸ -ط

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

جدول ۸ : بازه تغییرارزش فعلی هزینه‌های ملی به ازای α=۰/۸

a	G_U^a (میلیارد دلار)	G_L^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 (۴۵-۷) و (۴۶-۷) خواهد بود.

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

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

طول اسکله مورد نیاز 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 احدث و نگهداری معادل ۵۵۲ میلیون دلار می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۰: تعداد اسکله‌های مورد نیاز در هر سال (α = ۰/۸ و G_L^{α})

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

در سال ۲۰۳۰، حدود ۶۴۲۰ متر طول اسکله مورد نیاز 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.

α=۱-ک

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

جدول ۱۱: بازه تغییرارزش فعلی هزینه‌های ملی به ازای α=۱

a	G_U^a (میلیارد دلار)	G_L^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 (۵۵-۷) و (۵۶-۷) است.

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

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

Archive of SID

www.SID.ir

اسکله نوع ۵	۲	۲	۳	۳	۷

۵- جمع‌بندی

در این مقاله مدل ریاضی عددصحیح توسعه بندر ساخته شد و بندر شهیدرجایی به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید. به دلیل عدم قطعیت در حجم فعالیت پیش‌بینی شده از مفهوم‌های فازی در مدل سازی و نیز حل مساله 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 و لایروبی در هر α-برش می‌باشد. با توجه به این که مقدارهای P بیان گر ارزش اکنونی هزینه‌های سرمایه‌گذاری است، دوره زمانی سرمایه‌گذاری در ساخت اسکله‌ها به دلیل در نظرگرفتن ارزش زمانی پول بر مقدار عددی P تاثیر گذار می‌باشد. بنابراین در برخی سطرهای جدول‌ها مشاهده می‌شود که علیرغم افزایش طول اسکله مورد نیاز ارزش فعلی هزینه‌های مصرفی تغییر چندانی نداشته و یا حتی کاهش یافته است. هم چنین قابل ذکر است که طول اسکله به الزام بیان گر مقدار حجم عملیات تخلیه و بارگیری نمی‌باشد بلکه این مقدار به نوع اسکله و تجهیزات موجود بر روی آن وابسته است و مدل نوشته شده تمامی جواب‌های ممکن را برای حجم فعالیت‌های خاص بررسی نموده و بهترین جواب را با توجه به حجم فعالیت‌ها ارایه می‌دهد.

جدول ۷ : نتیجه‌های حل مدل (واحدها: میلیارد دلار و متر)

α	G_L^{α}	G_U^{α}	P_L^{α}	P_U^{α}	طول اسکله در کران پایین	طول اسکله در کران بالا
α=۰	۲/۲۹	۵/۱۵	۰/۲۹۹	۰/۶۸۷	۲۶۰۰	۱۱۵۷۰
α=۰/۱	۲/۴۵	۵/۰۱	۰/۳۲۰	۰/۶۶۸	۳۶۴۰	۱۱۳۹۰
α=۰/۲	۲/۵۵	۴/۹۲	۰/۳۳۶	۰/۷۰۲	۳۴۳۰	۱۰۵۸۰
α=۰/۳	۲/۷۱	۴/۷۹	۰/۳۶۹	۰/۶۹۷	۳۹۹۰	۱۰۶۵۰

Archive of SID

www.SID.ir

α=۰/۴	۲/۸۵	۴/۶۵	۰/۳۶۱	۰/۶۶۵	۴۱۹۶	۱۰۹۰۰
α=۰/۵	۳/۰۴	۴/۵۲	۰/۴۶۱	۰/۶۱۸	۴۶۸۰	۹۵۳۰
α=۰/۶	۳/۱۶	۴/۳۷	۰/۴۲۸	۰/۵۸۴	۵۶۴۰	۸۶۹۰
α=۰/۷	۳/۲۹	۴/۲۴	۰/۴۳۳	۰/۵۷۹	۵۵۹۰	۸۴۷۶
α=۰/۸	۳/۴۶	۴/۰۸	۰/۴۵۷	۰/۵۵۲	۶۴۲۰	۸۱۵۰
α=۰/۹	۳/۶۶	۳/۹۰	۰/۴۳۲	۰/۵۱۲	۶۷۲۸	۷۴۲۰
α=۱	۳/۸۴	۳/۸۴	۰/۵۵۸	۰/۵۵۸	۷۲۶۰	۷۲۶۰

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. به عنوان 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، بیان گر این است که مقدار ارزش اکنونی هزینه‌های ملی در بازه [۴/۰۸، ۳/۴۶] میلیارد دلار قرار دارد. آن چه که 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 به دست آمده به اندازه ۰/۸ عضو مجموعه حداقل هزینه‌های ملی (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. بدیهی است مدیران با قدرت ریسک‌پذیری کم (محافظه‌کار) سراغ گزینه با توسعه کم‌تر و هزینه پایین‌تر خواهند رفت در حالی که مدیران ریسک‌پذیر با قدرت خلاقیت زیاد، که خواستار تحول

Archive of SID

www.SID.ir

در وضعیت کاری خود هستند، سراغ گزینه توسعه بیش‌تر و در نتیجه هزینه بالاتر خواهند رفت.

مراجع:

۱) مهدیه الهویرنلو، مدلسازی عملیات حمل و نقل 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