

باسمه تعالی

کاربرد نظریه بازی‌ها برای برآورد نیاز مالی دفاع هوایی

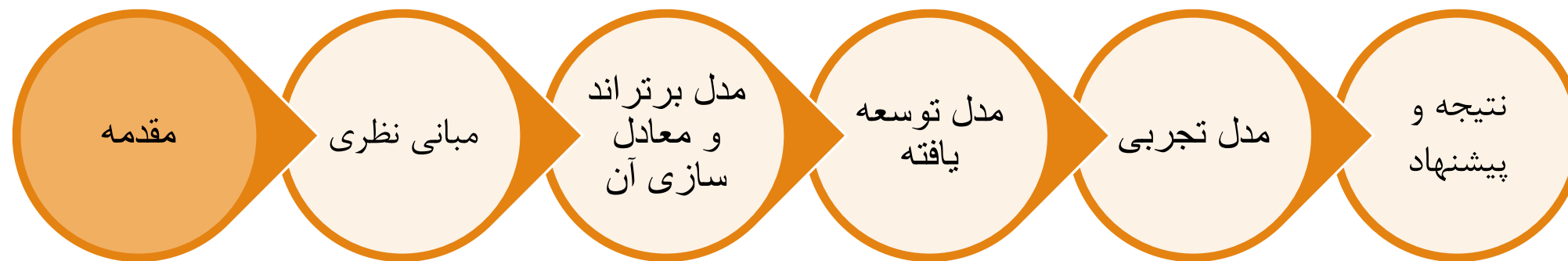


دکتر سید شمس‌الدین حسینی
دکتر تیمور محمدی
دکتر داوود دانش‌جعفری
دکتر علی مزیکی
دکتر حبیب مروت
دکتر محمد حسین رحمتی
کامیار حسین‌خانزاده

استاد راهنما:
استاد مشاور اول:
استاد مشاور دوم:
نماینده تحصیلات تکمیلی (داور اول):
نماینده تحصیلات تکمیلی (داور دوم):
استاد ممتحن خارجی:
ارائه دهنده:

دفاع دکتری - رشته اقتصاد مالی

۲۴ اسفند ۱۴۰۰



مقدمه

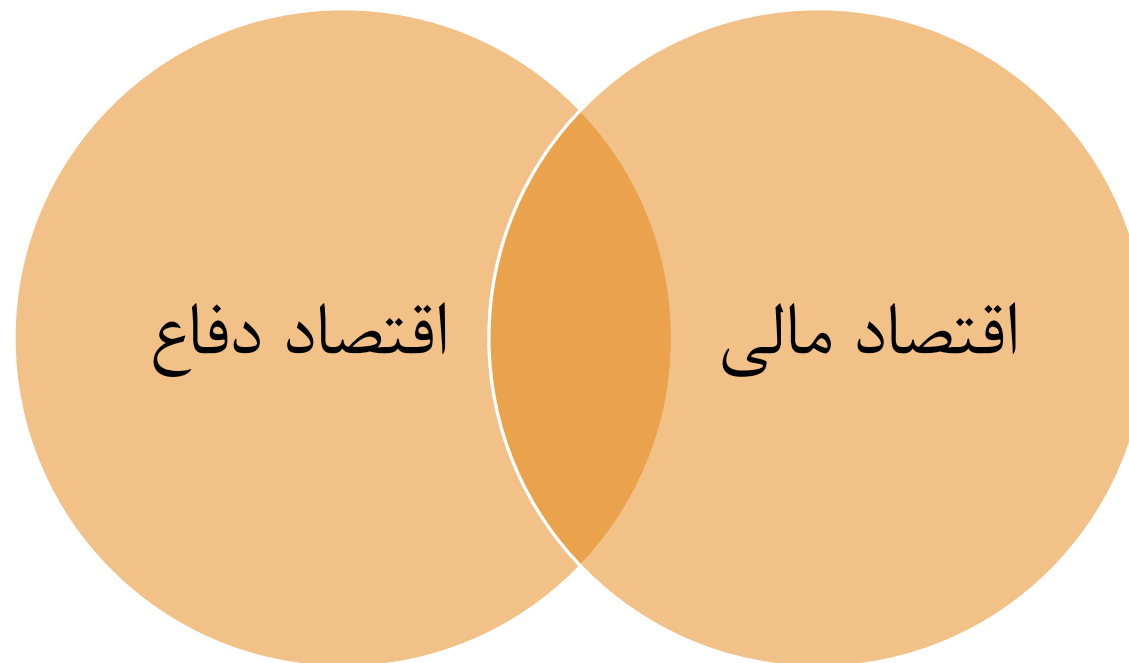
۱- علم اقتصاد تخصیص کارآمد منابع کمیاب در میان کاربردها و اهداف جایگزین

۲- اقتصاد پول، اقتصاد رشد، تجارت بین الملل، اقتصاد بهداشت و ...

۳- اقتصاد دفاع: کاربرد ابزارهای تحلیلی، قاعده ها، نظریه ها، داده ها و روشهای تحلیلی و استدلالی اقتصادی برای تحلیل عالمانه مسائل دفاعی

۴- امنیت ملی، تامین مالی دفاعی، حل و فصل منازعه، جنگ داخلی و بین المللی، صلح، انقلاب، شورش، تروریسم

۵- اقتصاد مالی: تخصیص و بکارگیری منابع اقتصادی در محیط و فضایی نامطمئن در طول زمان است.



تخصیص و بکارگیری منابع اقتصادی در محیط و فضایی نامطمئن در طول زمان، در مسائل دفاعی

مقدمه

۱- امنیت: حالت فراغت نسبی از تهدید یا حمله یا آمادگی برای رویارویی با هر تهدید و حمله

۲- امنیت ملی: حالتی است که ملتی فارغ از تهدید از دست دادن تمام یا بخشی از جمعیت، دارایی، یا خاک خود به سر برد

۳- تهدیدات نظامی: یک کشور با استفاده از تسلیحات و نیروی نظامی خود به کشور دیگر و یا منافع اقتصادی و انسانی آن حمله‌ور شده و باعث تخریب، خسارت و ناامنی گردد.

۴- بازدارندگی: تأمین توانمندی‌های لازم در کشور بازدارنده باهدف متقاعد کردن طرف مقابل یا مجبور ساختن او به چشم‌پوشی از رفتاری معین یا وادار ساختن دشمن به صرف نظر از اهدافی که تعقیب می‌کند.

مقدمه

۱- آغاز جنگ سرد و ظهور عصر هسته‌ای بود که باعث شد بازدارندگی به نقطه کانونی تفکر استراتژیک تبدیل شود

۲- تغییرات پس از جنگ سرد

- ظهور بازیگران جدید در سطح جهان
- بازیگری گروه‌های غیر دولتی
- افزایش دامنه بازدارندگی به مدیریت عدم اشاعه تسلیحات

۳- استراتژیهای بازدارندگی

- تهاجمی
- تدافعی
- اطمینان سازی
- سازش

مقدمه

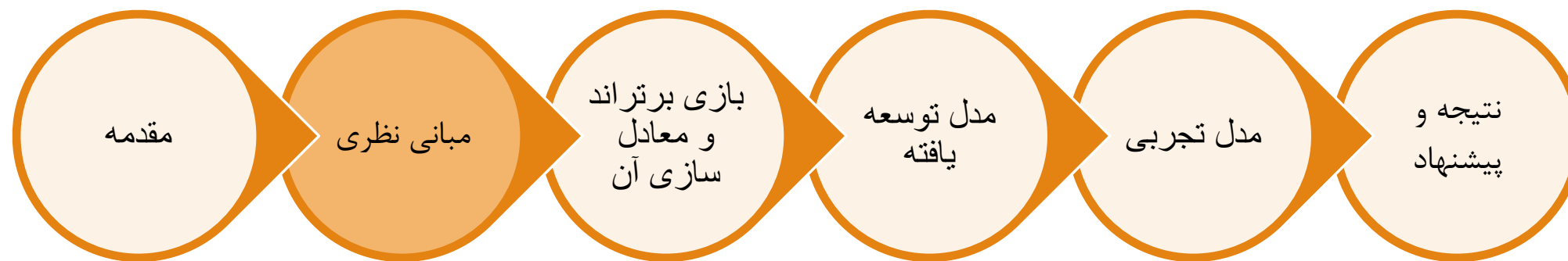
سؤال اصلی

۱. مدل مبتنی بر نظریه بازی‌ها برای برآورد نیاز مالی دفاع هوایی چیست؟

سوالات فرعی

۱. بازدارندگی هوایی ایران نسبت به کشورهای منتخب در چه جایگاهی قرار دارد؟

۲. نیاز مالی دفاع هوایی ایران چه میزان برآورد می‌گردد؟



نظریه بازی‌ها

۱- تحلیل روش‌های همکاری یا رقابت موجودات منطقی و هوشمند

۲- تاثیر متقابل رفتار بازیکنان بر نتیجه نهایی و مطلوبیت بازیکنان

۳- اجزاء بازی: بازیکنان، تصمیم‌ها، استراتژی، مطلوبیت‌ها، اطلاعات و باورها

۴- تابع واکنش: به تابعی که برای یک بازیکن در ازای ورودی انتخاب بازیکن مقابل، بهترین پاسخ را بازگرداند تابع واکنش گویند.

۵- تعادل نش در بازی: یک حالت نهایی در بازی که در آن هر بازیکن با عدول از استراتژی خود به مطلوبیت پایین تری دست پیدا کند و هیچکدام از بازیکنان انگیزه‌ای برای تغییر استراتژی خود نداشته باشند. تعادل نش از برخورد توابع واکنش بازیکنان نیز حاصل می‌گردد.

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- توضیح مدل جنگ بر پایه ریاضیات

$$\frac{dx}{dt} = ay - mx + r$$

$$\frac{dy}{dt} = bx - ny + s$$

۲- انتشار ۱۹۶۰ با پیشینه کوششی ۲۰ ساله

۳- معرفی سیستم معادلات تفاضلی

- پارامترهای ترس یا عکس العمل
- محدودیت یا استهلاک
- باقیمانده

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} = 0$$

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- توابع خطی شده معادله اولیه

$$y = \frac{mx-r}{a}$$

$$x^* = \frac{rn + as}{mn - ab}$$

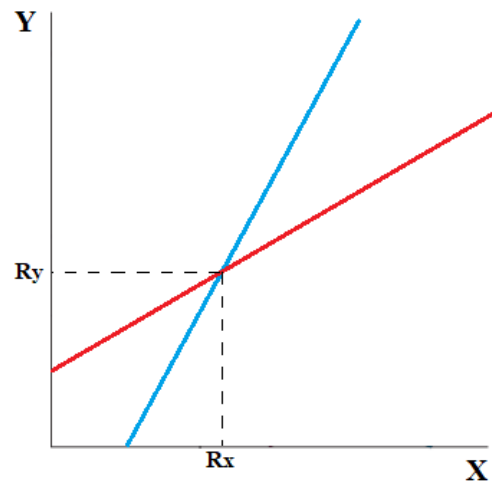
$$mn > ab$$

$$y = \frac{bx+s}{n}$$

$$y^* = \frac{sm + br}{mn - ab}$$

۲- تعادل در مدل ریچاردسون

۳- نمودار توابع واکنش



مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- باز تعریف اینتریلیگیتور از مدل ریچاردسون

$$\dot{M}_A = a_1 M_B - a_2 M_A + a_3$$

$$\dot{M}_B = b_1 M_A - b_2 M_B + b_3$$

$$M_A = a'_1 M_B + a'_3 \quad \text{به طوری که: } a'_3 = \frac{a_3}{a_2} \quad a'_1 = \frac{a_1}{a_2}$$

$$M_B = b'_1 M_A + b'_3 \quad \text{به طوری که: } b'_3 = \frac{b_3}{b_2} \quad b'_1 = \frac{b_1}{b_2}$$

$$M_A^E = \frac{a'_1 b'_3 + a'_3}{1 - a'_1 b'_1} \quad M_B^E = \frac{a'_3 b'_1 + b'_3}{1 - a'_1 b'_1}$$

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- جنگ موشکی اینتریلیگیتور

$$\dot{M}_A = -\alpha M_A - \beta' \beta M_B f_B$$

$$M_A(0) = M_A^0$$

$$\dot{M}_B = -\beta M_B - \alpha \alpha' M_A f_A$$

$$M_B(0) = M_B^0$$

$$\dot{C}_A = (1 - \beta') \beta M_B v_B$$

$$C_A(0) = 0$$

$$\dot{C}_B = (1 - \alpha') \alpha M_A v_A$$

$$C_B(0) = 0$$

۲- ضرائب تخلیه انباره موشکی

۳- پارامتر اثرگذاری

- قدرت موشک
- آسیب پذیری رقیب
- بی دقتی در نقطه زنی
- ضریب ثابت

$$f_A = \gamma_A \frac{W_A^{2/3} K_B^2}{I_A^2}$$

$$f_B = \gamma_B \frac{W_B^{2/3} K_A^2}{I_B^2}$$

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

$$\alpha = \bar{\alpha} \quad \alpha' = 1 \quad \beta = \bar{\beta} \quad \beta' = 0$$

$$M_A(\theta_A) = M_A^0 \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)$$

$$M_B(\theta_A) = M_B^0 - f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)] M_A^0$$

$$C_A(\theta_A + \varphi_B) = v_B(M_B^0 - f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]M_A^0)(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))$$

$$M_B = f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]M_A + \left\{ \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} \right\}$$

$$M_A = f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]M_B + \left\{ \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} \right\}$$

۱- مدل پویای اینتریلیگیتور (هر دو کشور صلح طلب)

- حمله کشور اول جهت خلع سلاح و پاسخ کشور دوم جهت آسیب رسانی
- مدت حمله اول θ و پاسخ دوم φ
- تخلیه پیوسته موشک با نرخ مشخص
- تعداد موشک های باقیمانده دو طرف پس از حمله کشور اول A

۲- تلافی کشور دوم و خسارت کشور اول

- خسارت قابل تحمل از دید کشور مقابل \bar{C}_A
- حصول توابع واکنش اینتریلیگیتور

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- معادلسازی با پارامترهای ریچاردسون

$$b'_1 = f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]M_A \quad \alpha'_1 = f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]M_B$$

$$b'_3 = \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} \quad \alpha'_3 = \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))}$$

$$M_A^E = \frac{\left\{ \frac{f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} \right\} + \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)][1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}$$

$$M_B^E = \frac{\left\{ \frac{f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} \right\} + \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)][1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}$$

۲- تعادل در مدل اینتریلیگیتور

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

۱- مدل پویای اینتریلیگیتور (هر دو کشور جنگ طلب)

◦ جایگزینی \hat{C}_A به جای \bar{C}_A

$$C_A(\theta_A + \varphi_B) = v_B(M_B^0 - f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]M_A^0)(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))$$

$$M_A = \left\{ \frac{1}{f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]} \right\} M_B - \left\{ \frac{\hat{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]} \right\}$$

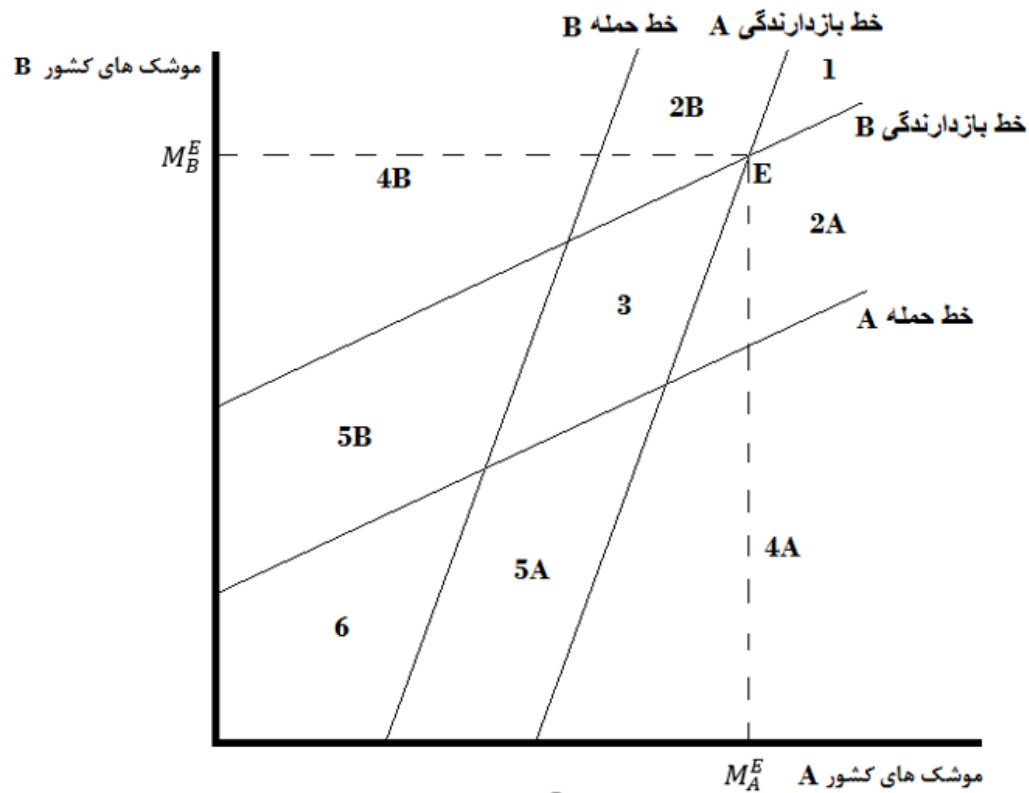
$$\bar{C}_A > \hat{C}_A \text{ و } \bar{C}_B > \hat{C}_B$$

$$M_B = \left\{ \frac{1}{f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]} \right\} M_A - \left\{ \frac{\hat{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]} \right\}$$

۲- فرق دو تابع واکنش

- کشور B چه مقدار موشک داشته باشد تا وقتی کشور A حمله کرد به اندازه ای موشک سالم برایش باقی بماند تا پاسخی دردناک بدهد و کشور A را از ابتدا از کار خود منصرف کند.
- کشور A چه مقدار موشک داشته باشد تا پس از حمله به کشور B به اندازه ای انبار موشکی آن را کاهش دهد که توان پاسخ دردناک کشور B را از آن سلب کند.

مدل ریچاردسون و اینتریلیگیتور

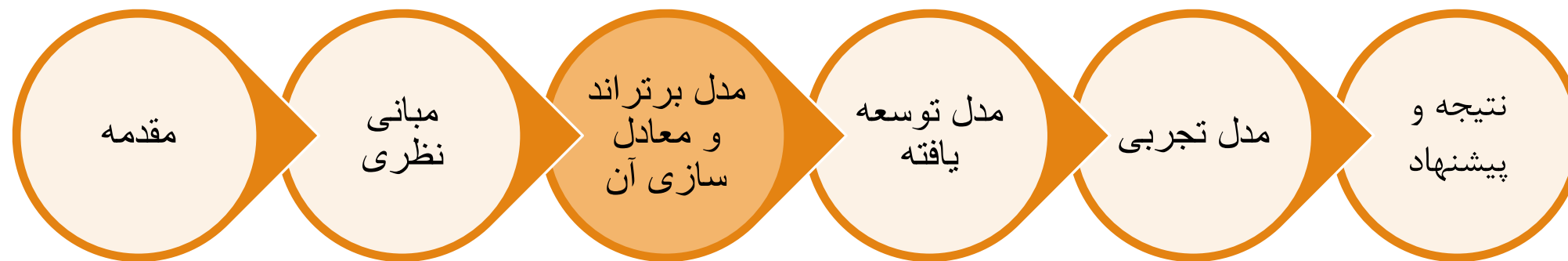


۱- رسم توابع واکنش دفاع و حمله دو کشور در یک صفحه

- 1: ناحیه بازدارندگی است و هر دو کشور قدرت پاسخ دارند. جنگی رخ نخواهد داد.
- 2A: کشور A بازدارندگی دفاعی دارد ولی توان حمله ندارد. در این حالت احتمال جنگ کم است و شروع کننده تنها میتواند کشور A باشد.
- 2B: کشور B بازدارندگی دفاعی دارد ولی توان حمله ندارد. در این حالت احتمال جنگ کم است و شروع کننده تنها میتواند کشور B باشد.
- 3: هر دو کشور فاقد بازدارندگی هستند ولی هر دو تصور میکنند در صورت حمله طرف مقابل توانایی پاسخ دردناک ندارد. در این حالت جنگی رخ نخواهد داد.
- 4A: کشور A بازدارندگی دفاعی و توان حمله دارد. جنگ را آغاز میکند.
- 4B: کشور B بازدارندگی دفاعی و توان حمله دارد. جنگ را آغاز میکند.
- 5A: کشور A بازدارندگی ندارد ولی متصور است با حمله پیشدستانه میتواند کشور B را خلع سلاح کند. A احتمالاً جنگ را آغاز میکند.
- 5B: کشور B بازدارندگی ندارد ولی متصور است با حمله پیشدستانه میتواند کشور A را خلع سلاح کند. B احتمالاً جنگ را آغاز میکند.
- 6: هر دو کشور فاقد بازدارندگی هستند و هر دو توانایی خلع سلاح رقیب را دارند. وضعیت بشدت شکننده و خطرناک است و هر کشوری اول حمله کند پیروز رقابت خواهد بود.

پیشینه پژوهش

سال	نام بازی	نوع رویکرد بازی	ساختار اطلاعات بازی	ریسک پذیری	رقابت تسلیحاتی	نتیجه بازی
۱۹۶۰	ریچاردسون	معادلات تفاضلی و افق نامحدود	اطلاعات کامل پویا	ریسک خنثی	بله	جنگ
۱۹۷۵	اینتر بلیگیتور	معادلات تفاضلی و افق نامحدود	اطلاعات کامل پویا	متغیر	بله	جنگ-صلح
۱۹۹۳	پاول	افق محدود	اطلاعات کامل	متغیر	بله	صلح
۱۹۹۷	کید	افق محدود	اطلاعات کامل	ریسک خنثی	بله	جنگ
۲۰۰۰	کید	افق محدود	اطلاعات کامل	ریسک گریز	خیر	صلح
۲۰۰۰	کید	افق محدود	اطلاعات ناقص	ریسک گریز	بله	صلح
۲۰۰۵	سلاتشف	افق محدود	اطلاعات ناقص	ریسک خنثی	امکان دارد	جنگ-صلح
۲۰۰۹	جکسون مورلی	افق نامحدود	اطلاعات کامل و تصمیمات هم‌زمان (اطلاعات ناتمام)	ریسک خنثی	بله	جنگ-صلح
۲۰۱۱	فارون	افق نامحدود	اطلاعات کامل و تصمیمات هم‌زمان (اطلاعات ناتمام)	ریسک خنثی	بله	جنگ-صلح



مدل برتراند و معادلسازی آن

۱- عرضه بنگاه ها در بازار دو جانبه متأثر از قیمت خود و رقیب

۲- تابع مطلوبیت برابر با تابع سود

$$q_1(p_1, p_2) = a - p_1 + bp_2$$

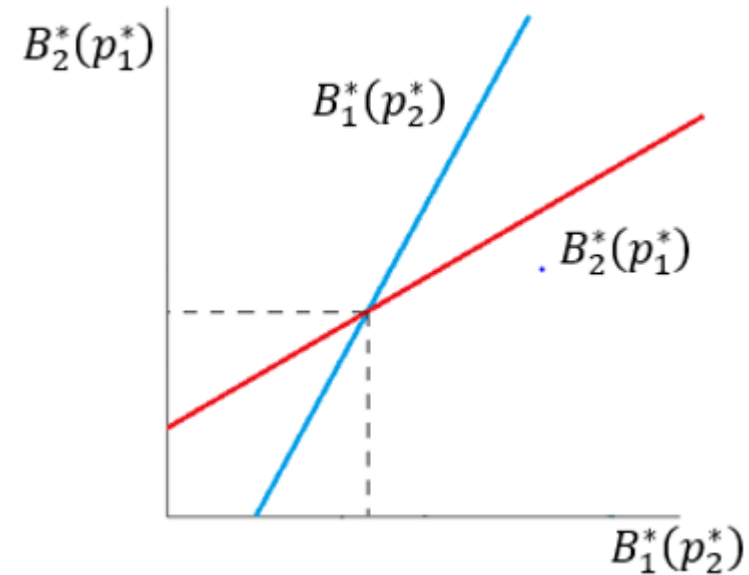
$$q_2(p_1, p_2) = a - p_2 + bp_1$$

$$u_i(p_i, p_j) = p_i q_i - c q_i = [a - p_i + bp_j](p_i - c)$$

$$\frac{du_i(p_i, p_j)}{dp_i} = -2p_i^* + (a + c) + bp_j^* = 0$$

$$\rightarrow B_i(p_j) = p_i^* = \frac{(a+c+bp_j^*)}{2}$$

$$N(G) = \{(p_i^*, p_j^*): (\frac{a+c}{2-b}, \frac{a+c}{2-b})\}$$



مدل برتراند و معادلسازی آن

۱- مطلوبیت قدرتمند بودن در برابر کشور رقیب

۲- مطلوبیت عدم تخصیص منابع به بخش های دیگری

همچون مصرف یا سرمایه گذاری

$$U_1 = (Ax - By)(C - Dx)$$

$$p_1 = Ax - By \quad p_2 = (C - Dx)$$

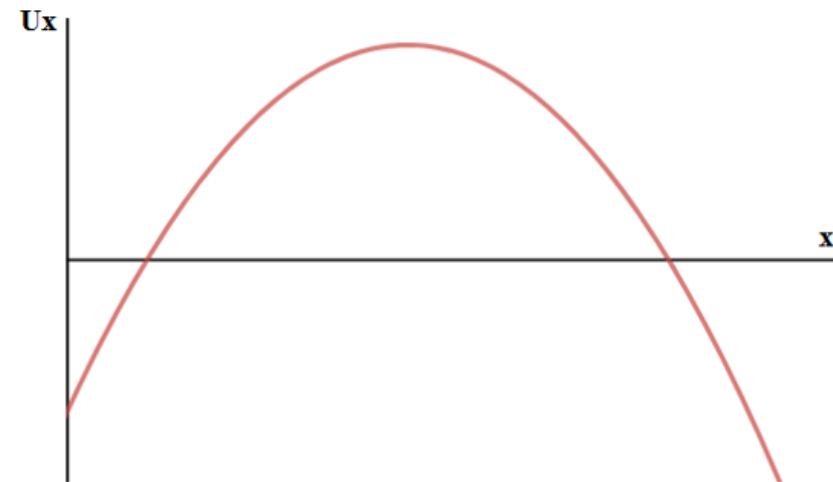
$$U_1 = p_1 \cdot p_2 = -ADx^2 + (AC + BDy)x - BCy$$

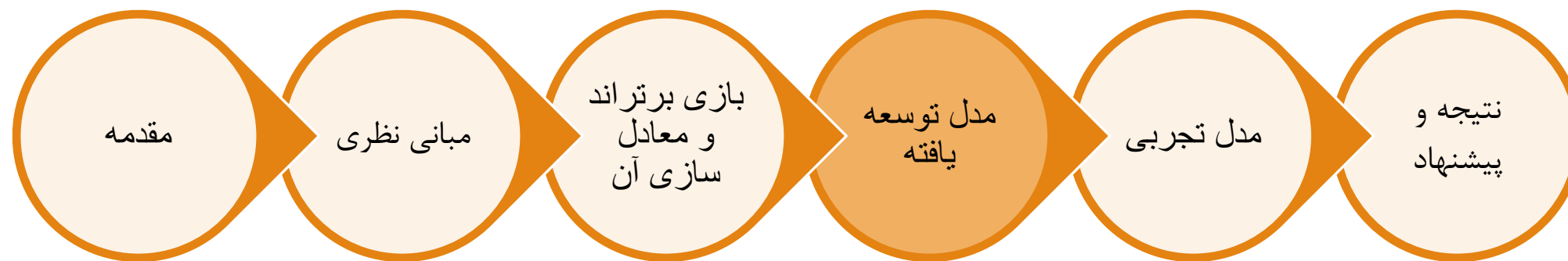
$$\frac{dU_1}{dx} = -2ADx + BDy + AC = 0$$

$$\text{برابری ضرایب: } \begin{cases} m = 2AD \\ a = BD \\ r = AC \end{cases}$$

$$\frac{dU_2}{dy} = -2A'D'y + B'D'y + A'C' = 0$$

$$\text{برابری ضرایب: } \begin{cases} n = 2A'D' \\ b = B'D' \\ s = A'C' \end{cases}$$





مدل توسعه یافته

۱- مدل رقابت تسلیحاتی اینتریلیگیتور

- دو کشور در یک منازعه موشکی و هر دو دارای موشکی همگن و خاص خودشان
- کشور اول به جهت خلع سلاح تنها پایگاه های موشکی کشور دوم را هدف قرار میدهد.
- کشور دوم در پاسخ به اقدام کشور اول، شهر ها یا پایگاه های صنعتی کشور اول را موشکباران میکند

۲- مدل توسعه یافته

- دو کشور در یک منازعه موشکی و هر دو دارای موشکها و هواپیماهای مختلف و همچنین مسلح به سامانه های دفاع هوایی
- کشور اول به جهت خلع سلاح تنها پایگاه های موشکی (غیر سامانه های موشکی دفاعی) کشور دوم را هدف قرار میدهد.
- کشور دوم در پاسخ به اقدام کشور اول، شهر ها یا پایگاه های صنعتی کشور اول را موشکباران میکند.
- در منازعه مذکور سامانه های دفاع هوایی هر دو کشور فعال بوده و برخی از موشکهای شلیک شده در میانه راه ساقط میشوند.

مدل توسعه یافته

۱- توسعه مدل اینتریلیگیتور بر اساس فروض دوران جنگ سرد با موشکهای با دقت کم و کلاهکهای هسته ای بنا شده است.

$$f_A = \gamma_A \frac{W_A^{2/3} K_B^2}{I_A^2}$$

۲- فرض ۱: نقطه زنی باعث تغییر در معادله آسیب رسانی موشک میگردد.

- مولفه عدم دقت در نقطه زنی و آسیبپذیری هدف در کشور مقابل حذف میگردد.
- توزیع مواد انفجاری در فضای سه بعدی و اثرگذاری بر محیط دو بعدی کره انفجاری حذف میگردد
- با فرض کنونی امکان همگن سازی موشکهای کشورها فراهم میگردد

$$f_B = \gamma_B \frac{W_B^{2/3} K_A^2}{I_B^2}$$

۳- فرض ۲: نرخ پرتاب موشکها با یکدیگر مساوی است.

$$f_A = \gamma_A W_A$$

۴- فرض ۳: خسارت وارده توسط هر موشک از حاصل ضرب اثرگذاری موشک در میزان خسارت پذیری رقیب

توسط موشک مرجع حاصل میشود. به عبارت دیگر موشکی که ۲ برابر موشک مرجع است، ۲ برابر اثرگذاری دارد

$$f_B = \gamma_B W_B$$

و همچنین ۲ برابر موشک مرجع خسارت میزند.

$$v_A = f_A n_B$$

۵- فرض ۴: سطح مقطع موشکها یا هواپیماها ارتباط مستقیمی با وزن مواد منفجره در حال انتقالشان دارند.

۶- فرض ۵: هر موشک شلیک شده توسط یک لانچر سامانه دفاع هوایی (در صورت موجود بودن) رهگیری میشود.

مدل توسعه یافته

۱- میزان اثرگذاری موشکهای سامانه دفاع هوایی همانند مدل اولیه
◦ K_B^2 به نوعی سطح مقطع راداری موشک مرجع را نشان میدهد.

$$p_A = \mu'_A \frac{W'_A \frac{2}{3} K_B^2}{I'_A}$$

$$g_A = P_A S_B$$

۲- ضریب اجتماع موشکها و هواپیماها در نرخ موفقیت سامانه های دفاع هوایی ضرب میگردد.
◦ با فرض اینکه سطح مقطع راداری ارتباطی خطی با وزن موشک یا هواپیما دارد برای همگن سازی کل موجودی موشک و هواپیما میبایست میانگین وزنی همه تجهیزات دفاعی را در ضریب اثرگذاری لحاظ کرد.

مدل توسعه یافته

۱- مدل جنگ موشکی توسعه یافته

$$\begin{aligned}\dot{M}_A &= -\alpha M_A - \beta_1 \cdot \text{Max}[(1 - g_A)\beta M_B, (1 - g_A)L_A + \beta M_B - L_A] f_B, \\ M_A(0) &= M_A^0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{M}_B &= -\beta M_B - \alpha_1 \cdot \text{Max}[(1 - g_B)\alpha M_A, (1 - g_B)L_B + \alpha M_A - L_B] f_A, \\ M_B(0) &= M_B^0\end{aligned}$$

$$\dot{C}_A = \beta_3 \cdot \text{Max}[(1 - g_A)\beta M_B, (1 - g_A)L_A + \beta M_B - L_A] v_B, \quad C_A(0) = 0$$

$$\dot{C}_B = \alpha_3 \cdot \text{Max}[(1 - g_B)\alpha M_A, (1 - g_B)L_B + \alpha M_A - L_B] v_A, \quad C_B(0) = 0$$

مدل توسعه یافته

۱- در مدل جنگ تغییرات انباره موشکهای دو کشور متأثر از لانچرهای طرف مقابل نمیشد

۲- تغییرات تعادل نهایی بدون احتساب اثر متقابل لانچرهای طرف مقابل میباشد

۳- هر تغییر افزایشی در تعادل نهایی متأثر از وجود لانچرهای خود کشور میباشد

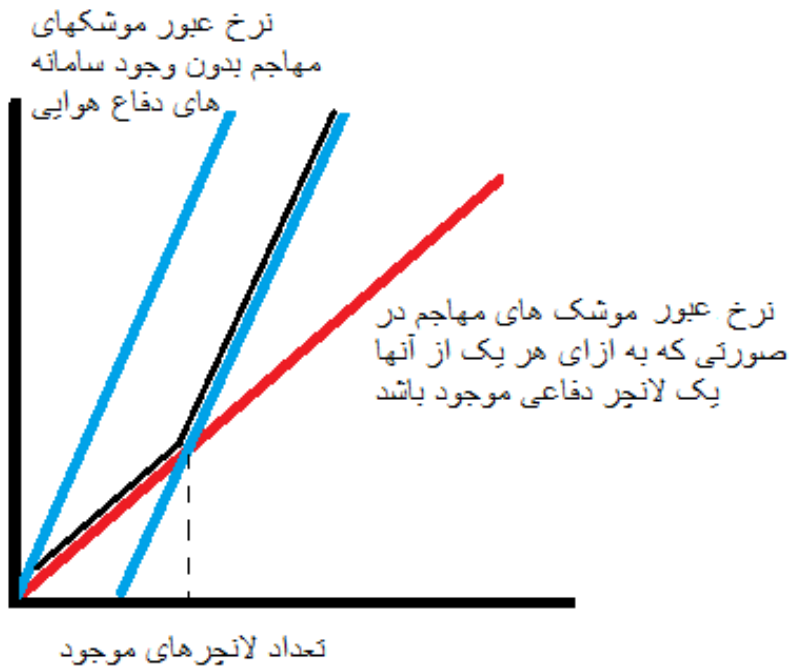
مدل توسعه یافته

۱- حجم حمله کشورها به یکدیگر میتواند از اندازه تور سامانه دفاعی رقیب خود بیشتر یا کمتر باشد.

۲- خط آبی شروع از مبدا: نرخ عبور موشکها بدون وجود سامانه های دفاع هوایی (شیب ۱)

۳- خط قرمز: نرخ عبور موشکها به طوری که هر موشک توسط یک لانچر رهگیری شود (شیب کمتر ۱)

۴- خط شکسته مشکی: نرخ عبور موشکها با وجود تعداد محدودی از لانچرهای دفاع هوایی (تابع پیشینه)



مدل توسعه یافته

۱- سناریو جنگ:

$$\alpha = \bar{\alpha} \quad \alpha_2 = 0 \text{ و } \alpha_1 = 1$$

$$\beta = \bar{\beta} \quad \beta_1 = \beta_2 = 0$$

- کشور اول به پایگاه های موشکی کشور دوم به جهت خلع سلاح وی حمله میکند
- کشور دوم در جهت تلافی تنها به شهر ها و پایگاه های صنعتی کشور اول حمله میکند.

$$M_A(\theta_A) = M_A^0 \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)$$

۲- فاز حمله کشور A به میزان θ_A زمان میبرد

$$Z_A = [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]$$

$$M_B(\theta_A) = M_B^0 - f_A \cdot \text{Max}[(1 - g_B)Z_A M_A^0, (1 - g_B)L_B + Z_A M_A^0 - L_B]$$

۳- انباره موشکی کشور ها بدین شکل تغییر میکند.

$$C_A(\theta_A + \varphi_B) = v_B \text{Max}[(1 - g_A)M_B(\theta_A)Z_B, M_B(\theta_A)Z_B - L_A + (1 - g_A)L_A]$$

۴- خسارت حمله تلافی کننده کشور دوم:

مدل توسعه یافته

$$M_B = f_A \cdot \text{Max}[(1 - g_B)Z_A M_A, (1 - g_B)L_B + Z_A M_A - L_B]$$

$$+ \text{Max}\left[\frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - g_A)Z_B}, \frac{\bar{C}_A}{v_B Z_B} + \frac{g_A L_A}{Z_B}\right]$$

$$M_B = f_A Z_A M_A + \frac{\bar{C}_A}{v_B Z_B} + \frac{g_A L_A}{Z_B} - f_A g_B L_B$$

$$M_A = f_B Z_B M_B + \frac{\bar{C}_B}{v_A Z_A} + \frac{g_B L_B}{Z_A} - f_B g_A L_A$$

۱- بدست آوردن توابع واکنش در مدل توسعه یافته

۲- تابع بیشینه ۴ حالت مختلف قابل بررسی ایجاد میکند.

- فرض میشود حجم حمله هر دو کشور بالاتر از لانچرهای رقیب باشد.
- از بین ۴ حالت، تنها مهمترین حالت باقی میماند.

۳- ساده شده توابع واکنش در حالت حمله گسترده.

مدل توسعه یافته

۱- پارامترهای مدل ریچاردسون

در تطابق با مدل توسعه یافته

$$b'_1 = f_A [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]$$

$$b'_3 = \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} + \frac{g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} - f_A g_B L_B$$

$$a'_1 = f_B [1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]$$

$$a'_3 = \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} + \frac{g_B L_B}{1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)} - f_B g_A L_A$$

$$M_A^E = \frac{\left\{ (f_B [1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]) \left(\frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} + \frac{g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} - f_A g_B L_B \right) + \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} + \frac{g_B L_B}{1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)} - f_B g_A L_A \right\}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)] [1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}$$

۲- تعادل جدید در مدل توسعه یافته

$$M_B^E = \frac{\left\{ (f_A [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]) \left(\frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} + \frac{g_B L_B}{1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)} - f_B g_A L_A \right) + \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} + \frac{g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} - f_A g_B L_B \right\}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)] [1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}$$

مدل توسعه یافته

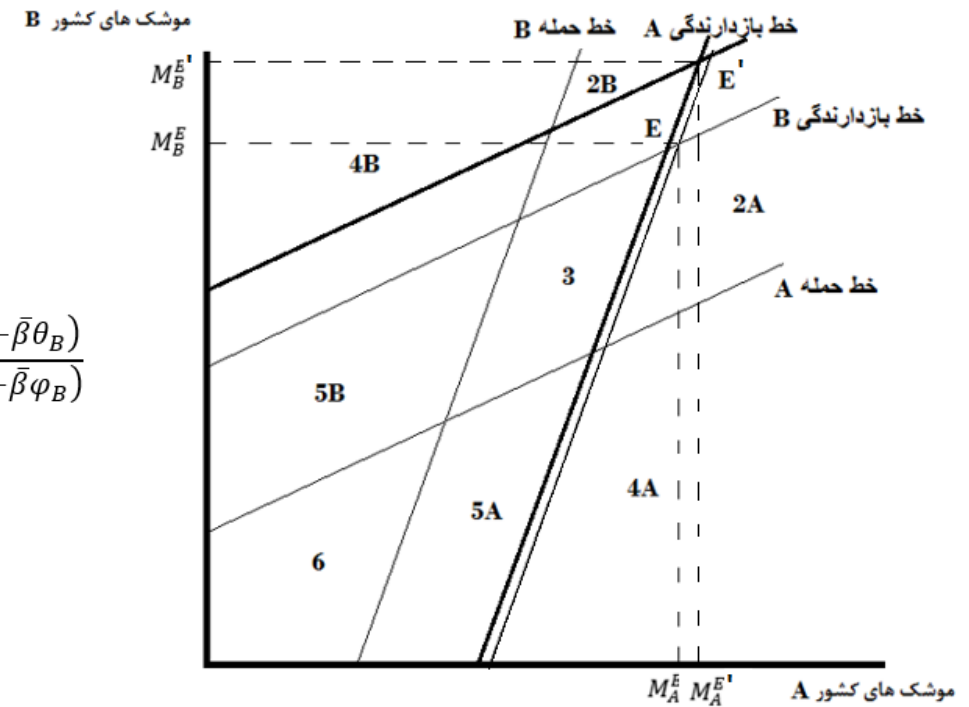
۱- بررسی اثر وجود سامانه های دفاع هوایی تنها در یک کشور

$$M_B = f_A Z_A M_A + \frac{\bar{C}_A}{v_B Z_B} + \frac{g_A L_A}{Z_B}$$

$$M_A = f_B Z_B M_B + \frac{\bar{C}_B}{v_A Z_A} - f_B g_A L_A$$

$$\dot{M}_A^E = \frac{\left\{ (1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)) \left(\frac{f_B g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} \right) - f_B g_A L_A \right\}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)][1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]} \rightarrow \frac{1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)}$$

$$\dot{M}_B^E = \frac{\left\{ \frac{g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} - (1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)) f_A f_B g_A L_A \right\}}{1 - f_A f_B [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)][1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}$$



مدل توسعه یافته

۱- نیاز موشکی دفاع هوایی در مدل جنگ حمله اول و پاسخ دوم (فاصله افقی تعداد موشک‌ها تا حصول بازدارندگی)

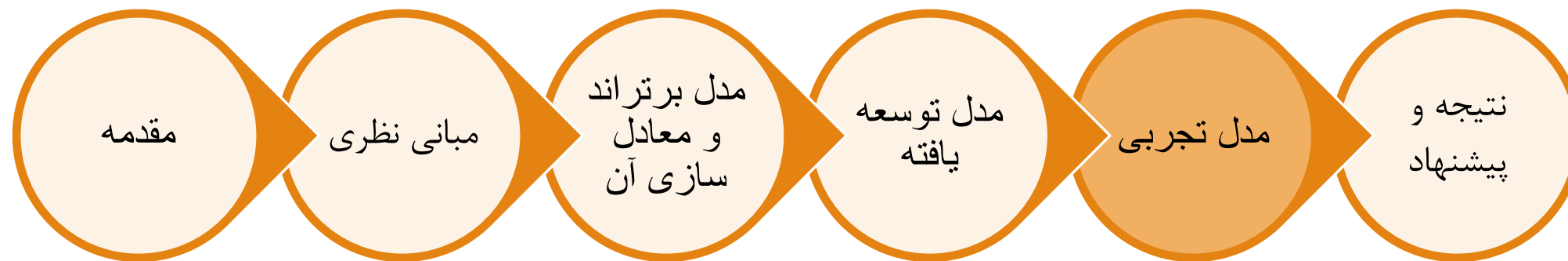
$$FA = f_B [1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)] M_B + \left\{ \frac{\bar{C}_B}{v_A (1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} \right\} - f_B g_A L_A - X$$

$$f_B g_A L_A = FA \xRightarrow{\text{نتیجه}} L_A = \frac{FA}{f_B g_A}$$

۲- نیاز سامانه های دفاع هوایی در مدل مذکور

۳- نیاز مالی جهت حصول بازدارندگی هوایی از ضرب مقادیر بالا در قیمت نهایی محصول حاصل میگردد.

۴- بازدارندگی با ساخت موشک از بازدارندگی با لانچرهای دفاع هوایی ارزانتر میباشد ولی تملیک سامانه های دفاع هوایی توانایی گرفتن بازدارندگی از کشور مقابل را دارد.



مدل تجربی

ردیف	کشور	وضعیت کنونی در ناتوی عربی
۱	عربستان سعودی	رهبر
۲	امارات متحده عربی	عضو
۳	عمان	عضو
۴	بحرین	عضو
۵	قطر	عضو
۶	کویت	عضو
۸	مصر	انصراف
۹	اردن	انصراف

مدل تجربی

ردیف	کشور	ثروت کلی کشور (میلیارد دلار)	توانایی ضربه اول کنونی	توانایی ضربه اول با سفارشات نظامی در حال ساخت	لانچرهای دفاع ضد موشکی
۱	عربستان سعودی	۱۶۶۴	۱۱۳۹	۱۱۹۰	۱۰۸
۲	امارات متحده عربی	۹۳۰	۲۰۴	۲۰۴	۱۸
۳	عمان	۱۴۸	۷۵	۷۵	۰
۴	بحرین	۱۱۵	۳۰	۵۸	۰
۵	قطر	۳۵۲	۱۱۴	۳۵۰	۴۴
۶	کویت	۴۰۹	۶۷	۲۰۷	۴۰
۷	ناتوی عربی	۳۶۱۸	۱۶۲۹	۲۰۸۴	۲۱۰
۸	جمهوری اسلامی ایران	۱۲۹۰	۴۷۵	۴۷۵	۲۵۴

منبع اطلاعات مربوط به ثروت کشورها در سال ۲۰۲۰: سالنامه ثروت جهانی ۲۰۲۱ موسسه Credit Suisse

مدل تجربی

نوع داده	نوع متغیر	واحد	مقدار
\bar{C}_A	آستانه تحمل ۵% ایران	میلیون دلار	۶۴۵۰۰
\bar{C}_B	آستانه تحمل ۵% عربستان	میلیون دلار	۸۳۲۰۰
\bar{C}_B	آستانه تحمل ۵% ناتوی عربی	میلیون دلار	۱۸۰۹۰۰
\bar{C}_A	آستانه تحمل ۱۰% ایران	میلیون دلار	۱۲۹۰۰۰
\bar{C}_B	آستانه تحمل ۱۰% عربستان	میلیون دلار	۱۶۶۴۰۰
\bar{C}_B	آستانه تحمل ۱۰% ناتوی عربی	میلیون دلار	۳۶۱۸۰۰
v_A	اثر اقتصادی متوسط هر واحد تخریب	میلیون دلار	۲۵۰
v_B	اثر اقتصادی متوسط هر واحد تخریب	میلیون دلار	۲۵۰
f_A	ضریب موفقیت عملیات هر موشک-هواپیما	درصد	۸۵
f_B	ضریب موفقیت عملیات هر موشک-هواپیما	درصد	۸۵
$\bar{\alpha}$	نرخ عملیاتی شدن موشک‌ها در هر ساعت	درصد	۱۰
$\bar{\beta}$	نرخ عملیاتی شدن موشک‌ها در هر ساعت	درصد	۱۰

مدل تجربی

نوع داده	نوع متغیر	واحد	مقدار
θ_A	مدتزمان حملات کشور متجاوز	دقیقه	۱۵
θ_B	مدتزمان حملات کشور متجاوز	دقیقه	۱۵
φ_A	مدتزمان پاسخ کشور موردحمله	دقیقه	۱۰
φ_B	مدتزمان پاسخ کشور موردحمله	دقیقه	۱۰
P_A	موفقیت سامانه دفاع ضد هوایی	درصد	۹۰
P_B	موفقیت سامانه دفاع ضد هوایی	درصد	۹۰
S_A	اندازه واحد حمله ایران	واحد	۱/۰۶
S_B	اندازه واحد حمله عربستان	واحد	۲/۵
S_B	اندازه واحد حمله ناتوی عربی	واحد	۲/۳
L_A	لانچرهای سامانه‌های دفاع ضد هوایی عربستان	تعداد	۴۳۲
L_A	لانچرهای سامانه‌های دفاع ضد هوایی ناتوی عربی	تعداد	۸۵۶
L_B	لانچرهای سامانه‌های دفاع ضد هوایی ایران	تعداد	۱۰۱۶

منبع اطلاعات نظامی کشورها: پایگاه داده Flight international 2019 و Military balance 2019

مدل تجربی

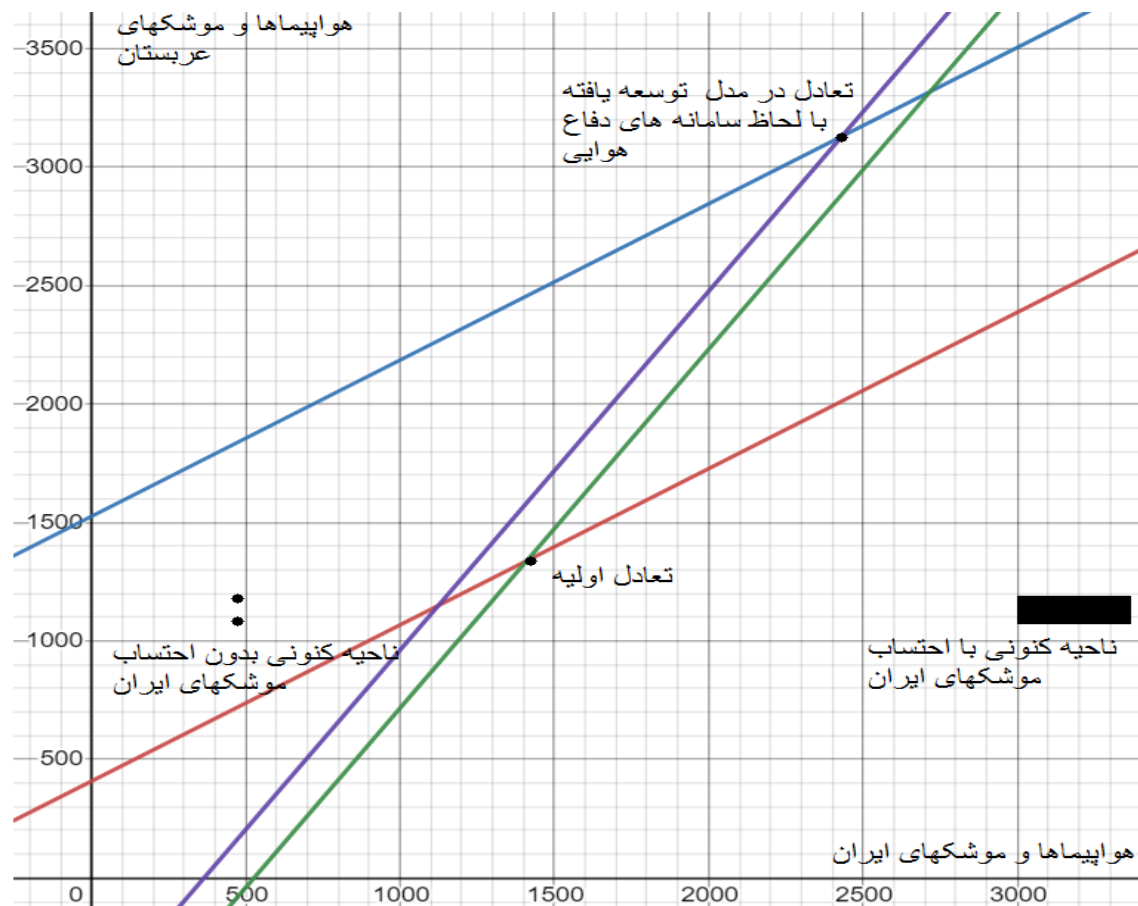
نیاز مالی دفاع هوایی ایران (محقق نشده)	نیاز مالی دفاع هوایی ایران (محقق شده و نشده)	نیاز موشکی ایران برای بازدارندگی	تعداد موشک تعادلی کشور(های) مقابل	تعداد موشک تعادلی ایران	سطح آستانه تحمل ۵%
-	۱۵۰	۹۳۶	۱۳۴۰	۱۴۱۱	ایران- عربستان مدل سنتی
-	۳۱۲	۱۹۵۶	۳۱۳۰	۲۴۳۱	ایران- عربستان مدل توسعه‌یافته
-	۳۲۵	۲۰۳۲	۲۰۶۳	۲۵۰۷	ایران- ناتوی عربی مدل اولیه
۱۹۴	۵۹۴	۳۷۱۷	۳۹۸۰	۴۱۹۲	ایران- ناتوی عربی مدل توسعه‌یافته

مدل تجربی

نیاز مالی دفاع هوایی ایران (محقق نشده)	نیاز مالی دفاع هوایی ایران (محقق شده و نشده)	نیاز موشکی ایران برای بازدارندگی	تعداد موشک تعادلی طرف مقابل	تعداد موشک تعادلی ایران	سطح آستانه تحمل ۱۰٪
-	۳۷۵	۲۳۴۷	۲۶۷۹	۲۸۲۲	ایران-عربستان مدل اولیه
۱۳۸	۵۳۸	۳۳۶۷	۴۴۷۲	۳۸۴۲	ایران-عربستان مدل توسعه‌یافته
۳۲۶	۷۲۶	۴۵۳۹	۴۱۲۶	۵۰۱۴	ایران-ناتوی عربی مدل اولیه
۵۹۵	۹۹۵	۶۲۲۴	۶۰۴۳	۶۶۹۹	ایران-ناتوی عربی مدل توسعه‌یافته

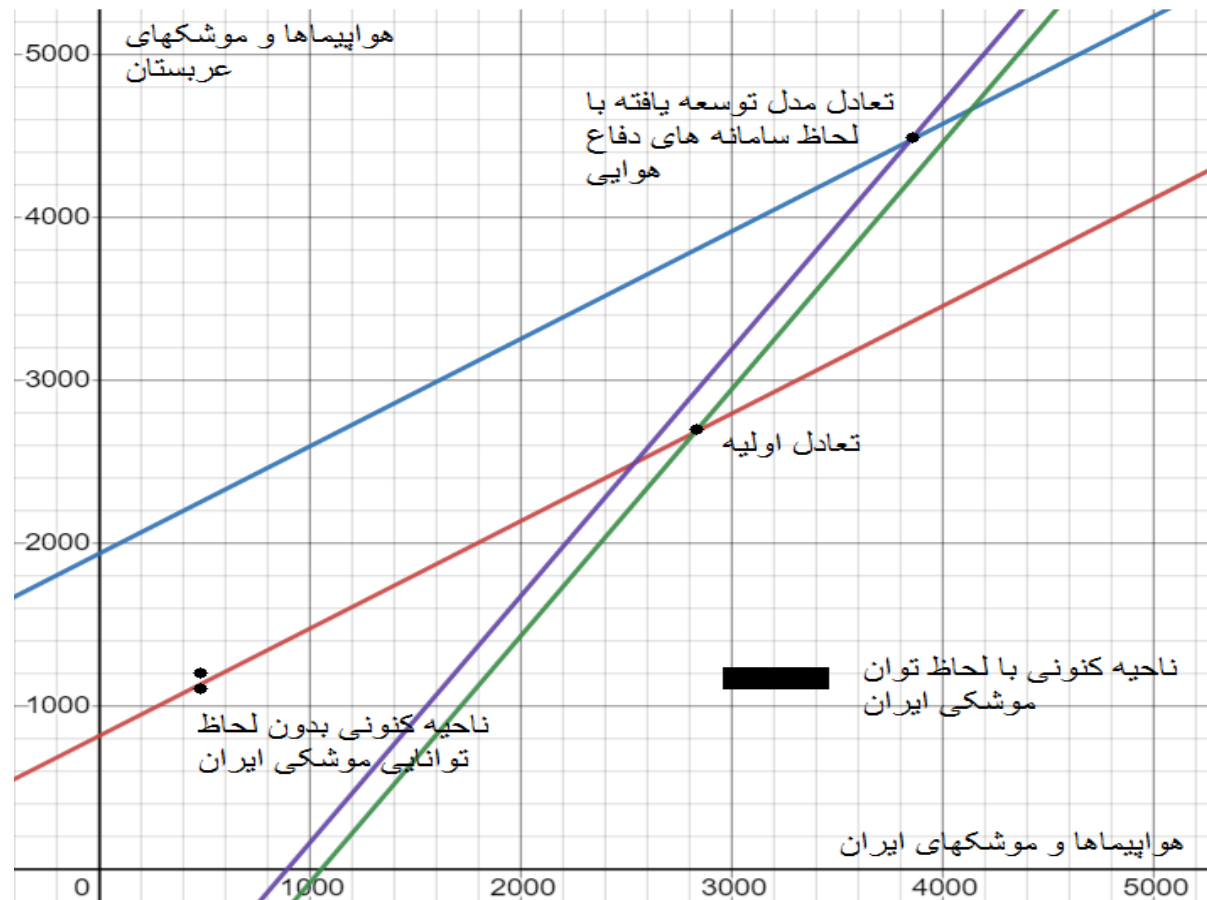
تعادل مدل اولیه و توسعه‌یافته با آستانه تحمل ۱۰٪

مدل تجربی



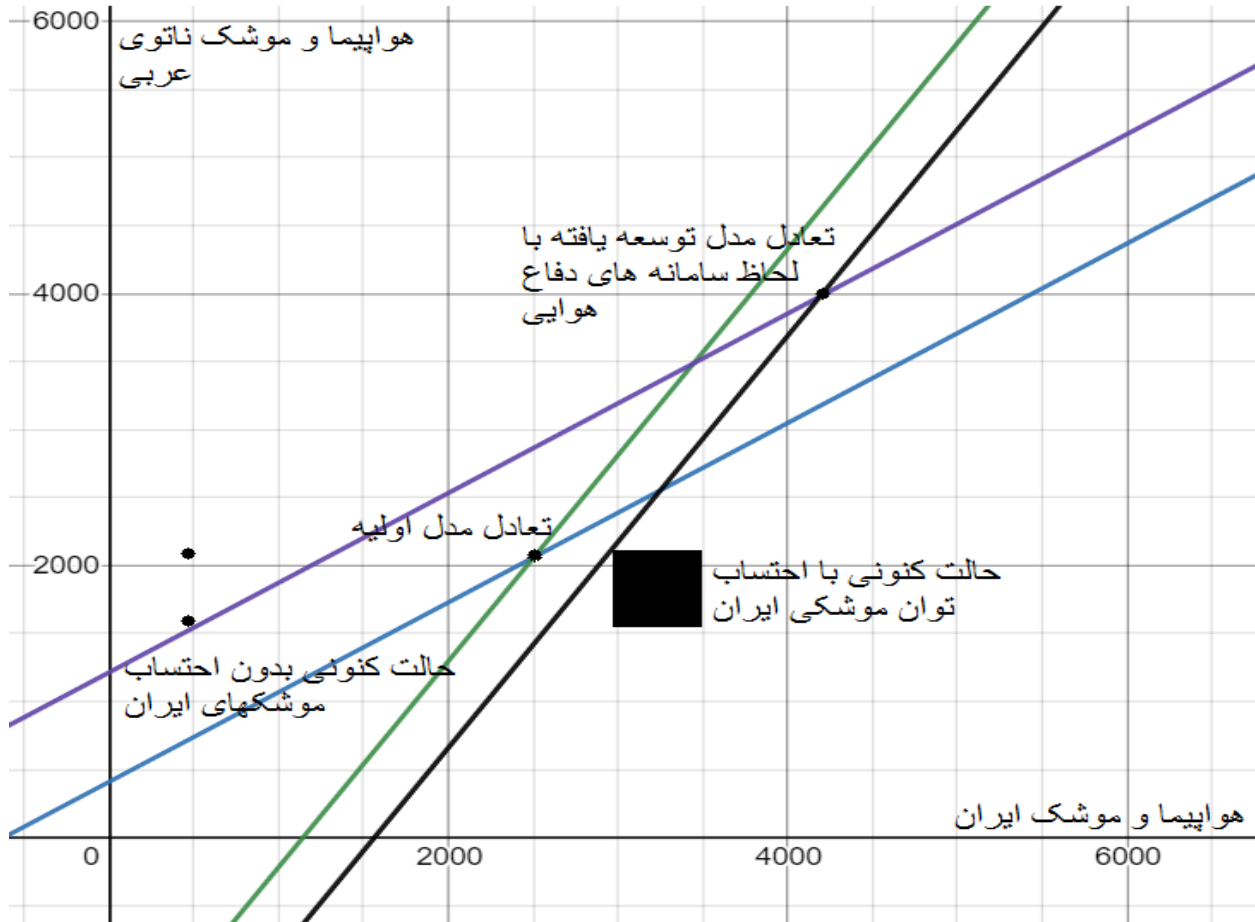
تعادل تقابل ایران و عربستان
سعودی در سطح آستانه تحمل
۵٪

مدل تجربی



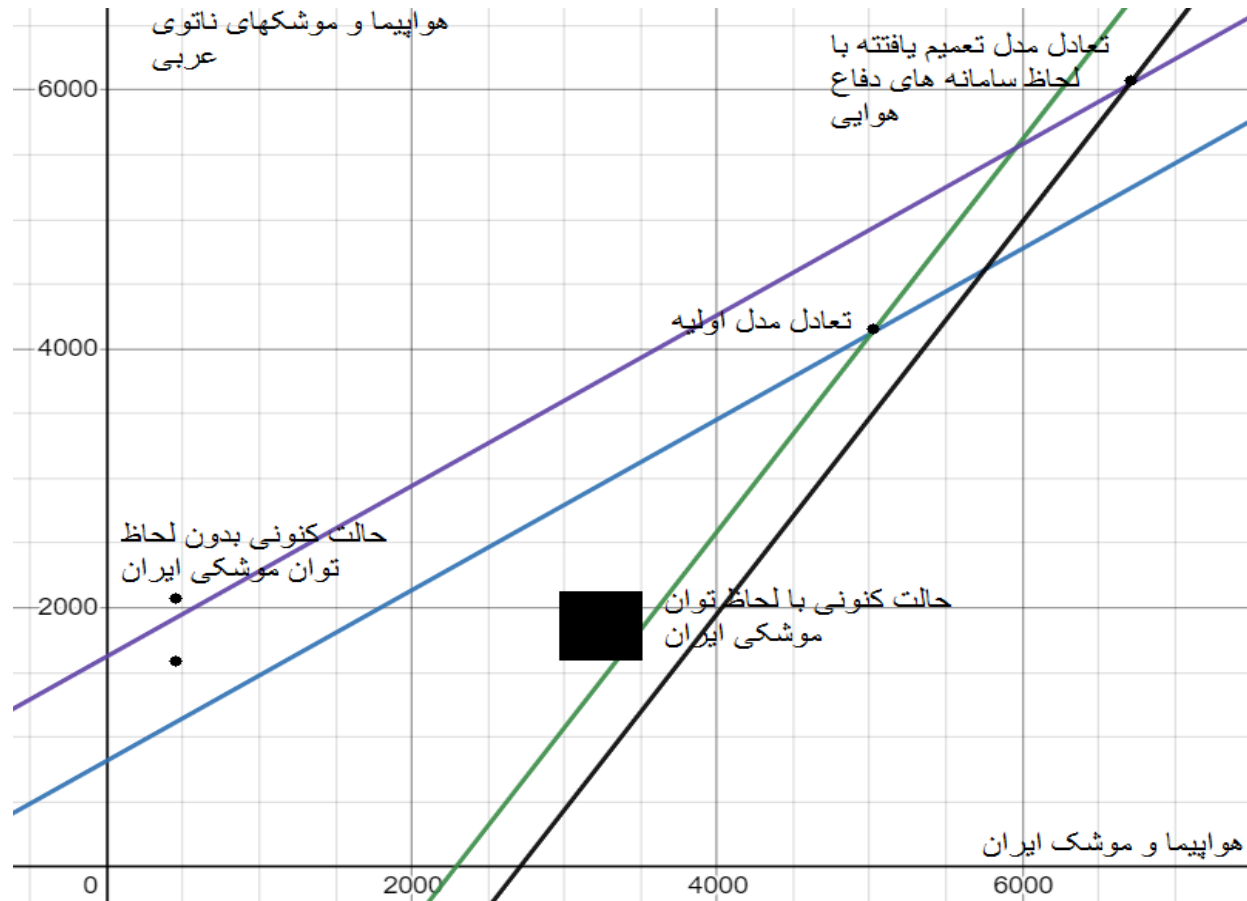
تبادل تقابل ایران و عربستان
سعودی در سطح آستانه تحمل
۱۰٪

مدل تجربی



تعدادل تقابل ایران و ناتوی عربی
در سطح آستانه تحمل ۵%

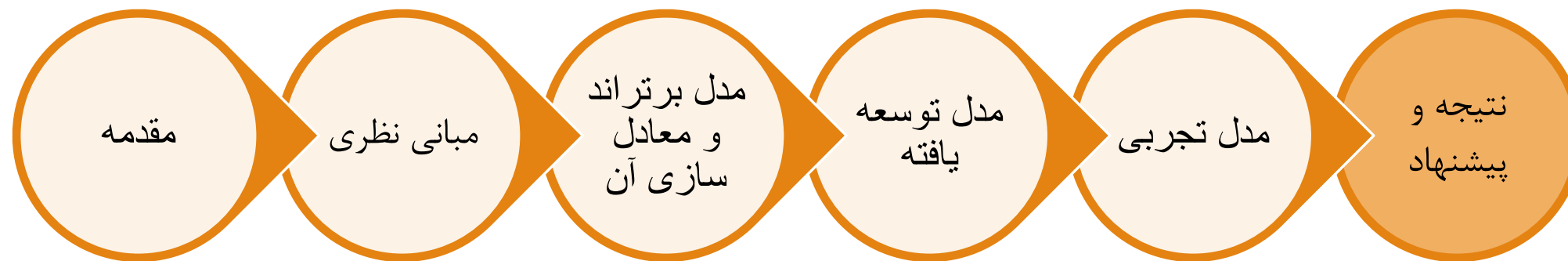
مدل تجربی



تعداد تقابل ایران و ناتوی عربی
در سطح آستانه تحمل ۱۰٪

مدل تجربی

نوع داده	نوع متغیر	مقدار قبل	مقدار جدید با لحاظ ۱۰٪ افزایش	تبادل موشکی ایران	درصد تغییر در تبادل موشکی ایران	تبادل موشکی عربستان	درصد تغییر در تبادل موشکی عربستان
نتیجه مدل بدون تغییر پارامترها	-		-	۲۴۳۱	-	۳۱۳۰	-
\bar{C}_A	آستانه تحمل ۵٪ ایران	۵٪	۵٫۵٪	۲۴۷۹	۲٫۰٪	۳۲۰۲	۳٪
\bar{C}_B	آستانه تحمل ۵٪ عربستان	۵٪	۵٫۵٪	۲۵۲۴	۳٫۸٪	۳۱۹۱	۲٫۰٪
v_A	اثر اقتصادی متوسط هر واحد تخریب عربستان	۲۵۰	۲۷۵	۲۳۸۷	-۱٫۸٪	۳۰۶۴	-۲٫۱٪
v_B	اثر اقتصادی متوسط هر واحد تخریب ایران	۲۵۰	۲۷۵	۲۳۴۶	-۳٫۵٪	۳۰۷۴	-۱٫۸٪
f_A	ضریب موفقیت عملیات هر موشک عربستان	۸۵	۹۳٫۵	۲۶۷۸	۱۰٫۲٪	۳۲۹۳	۵٫۲٪
f_B	ضریب موفقیت عملیات هر موشک ایران	۸۵	۹۳٫۵	۲۵۹۲	۶٫۶٪	۳۳۷۴	۷٫۸٪
$\bar{\alpha}$	درصد عملیاتی شدن موشک‌ها در هر ساعت عربستان	۱۰	۱۱	۲۴۶۰	۱٫۲٪	۳۰۵۲	-۲٫۵٪
$\bar{\beta}$	درصد عملیاتی شدن موشک‌ها در هر ساعت ایران	۱۰	۱۱	۲۳۹۹	-۱٫۳٪	۳۱۷۲	۱٫۳٪
θ_A	مدت‌زمان حملات کشور متجاوز (دقیقه) عربستان	۱۵	۱۶٫۵	۲۵۸۲	۶٫۲٪	۳۲۳۰	۳٫۲٪
θ_B	مدت‌زمان حملات کشور متجاوز (دقیقه) ایران	۱۵	۱۶٫۵	۲۵۰۸	۳٫۲٪	۳۲۴۷	۳٫۷٪
φ_A	مدت‌زمان پاسخ کشور مورد حمله (دقیقه) عربستان	۱۰	۱۱	۲۳۱۷	-۴٫۷٪	۲۹۵۷	-۵٫۵٪
φ_B	مدت‌زمان پاسخ کشور مورد حمله (دقیقه) ایران	۱۰	۱۱	۲۳۲۵	-۴٫۴٪	۳۰۶۰	-۲٫۲٪
P_A	نرخ موفقیت سامانه دفاع ضد هوایی عربستان	۹۰	۹۹	۲۵۰۱	۲٫۹٪	۳۱۴۳	۰٫۴٪
P_B	موفقیت سامانه دفاع ضد هوایی ایران	۹۰	۹۹	۲۴۶۲	۱٫۳٪	۳۲۹۵	۵٫۳٪



نتیجه و پیشنهاد

۱- مدلسازی انجام شده تلاشی برای بالا بردن قدرت توصیف کنندگی مدل اینتریلیگیتور در رقابت تسلیحات موشکی دو طرف مناقشه میباشد.

۲- مدل کنونی توانایی تعیین جایگاه بازدارندگی هوایی کشورهای موشکی و یا کشورهای همسایه با نیروی هوایی متشکل از هواپیماهای بمب افکن را دارد. بدین جهت میتواند توصیفی مناسبی از ریسک تهدید نظامی کشور با توجه به ناحیه ای که در نمودار قرار دارد ارائه دهد.

۳- مدل کنونی میتواند به کشورها جهت هدف گذاری برای تسلیح موشکی و هوایی خود کمک کند. نظر به هزینه های سنگین تسلیحات موشکی و هواپیماهایی حرکت به یک نقطه از تسلیحات شاید سالها زمان ببرد. مدل کنونی میتواند میتواند به برنامه ریزی برای گذر از مسیر مناسب کمک کند.

۴- مدل کنونی دو راه برای نیل به بازدارندگی در اختیار سیاستگذار قرار میدهد. موشک و سامانه های دفاع هوایی. سیاست گذار میتواند با استفاده از این مدل با توجه به بنیه اقتصادی و اولویتهای نظامی و اثری که بر بازدارندگی کشور مقابل میگذارد راه های مختلفی را انتخاب کند. بازدارندگی با ساخت موشک از بازدارندگی با لانچرهای دفاع هوایی ارزانتر میباشد ولی تملیک سامانه های دفاع هوایی توانایی گرفتن بازدارندگی از کشور مقابل را دارد.

نتیجه و پیشنهاد

۶- مدل توسعه یافته برای کشور ایران نشان میدهد نیروی هوایی ایران هم اکنون توان بازدارندگی در برابر برخی کشورهای منطقه را ندارد ولی سیاست توسعه موشکی توانسته کشور را تا کنون در محدوده بازدارندگی نگاه دارد ولی در آینده در صورت تشکیل ائتلافهای منطقه ای، به جهت حفظ بازدارندگی شاید نیاز به توسعه ناوگان موشکی و یا هواپیمایی کشور باشد.

۷- پس از جنگ سرد تا سالها گفتمان رقابت تسلیحاتی به حاشیه رفته بود که دلیل آن نیز نبود رقیب جدی برای ایالات متحده امریکا بود. اینک با تغییر ساختار اقتصاد جهانی و در نتیجه بازیگران نظامی جهان، با ظهور پدیده موشک های فراصوت، به نظر میرسد رقابت تسلیحات موشکی جدیدی در ابعاد جهانی در حال شکلگیری میباشد. مدل کنونی قدرت توصیف کنندگی خوبی برای چنین پدیده ای دارد و میتواند مبنای پژوهش های جدید باشد.

۸- فنآوریهای نظیر موشکهای پنهان شونده در خاک، موشکها و هواپیمای رادار گریز، سامانه های دفاعی با نرخ پرتاب مجدد بالا و ... میتواند خود موجب توسعه مدل گردد و میتواند مبنای پژوهشی جدید باشد.

با تشکر

ممنون از وقتی که به ارائه اختصاص دادید
با کمال میل آماده پاسخگویی به سوالات شما هستیم.