آینده‌پژوهی دفاعی، سال دوم، شماره ۷، زمستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۷

از صفحه ۷۷ تا صفحه ۱۰۲

پیش‌بینی تجربی وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان در افق ۲۰۴۰

ابوالقاسم گل‌خندان[۱]

سمیه صحرائی*[۲]

چکیده

تشدید تنش و رقابت منطقه‌ای بین ایران و عربستان، پیش‌بینی وضعیت رقابت تسلیحاتی آتی بین این دو کشور را مهم جلوه می‌کند. بر این اساس هدف اصلی این مقاله پیش‌بینی تجربی وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ می‌باشد. به این منظور، نخست یک تابع تقاضای مخارج نظامی برای دو کشور ایران و عربستان شبیه‌سازی و با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۶۳ و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) میزان مخارج نظامی کشورهای ایران و عربستان برای دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ پیش‌بینی شده است. سپس با استفاده از این داده‌ها و به‌کارگیری یک مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون و روش رگرسیون هم‌جمعی کانونی (CCR) وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان در افق ۲۰۴۰ پیش‌بینی شده است. طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده مخارج نظامی در ایران و عربستان با شیب تقریباً صعودی (مثبت)، طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ افزایش می‌یابد که میزان این افزایش برای کشور عربستان قابل‌توجه‌تر خواهد بود. برآورد سیستم معادلات مدل ریچاردسون گویای وجود یک رقابت تسلیحاتی بین دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که در قبال افزایش هزینه‌های نظامی طرفین، میزان واکنش عربستان در افزایش هزینه‌های نظامی بسیار بیشتر از ایران خواهد بود. بررسی وضعیت رقابت تسلیحاتی نیز بیان‌گر وجود یک رقابت تسلیحاتی ناپایدار (بی‌ثبات) بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ است.

واژه‌های کلیدی:

مخارج نظامی، رقابت تسلیحاتی، ایران، عربستان، مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون، پایداری، الگوریتم PSO، رگرسیون هم‌جمعی کانونی (CCR).

---

[۱]. دکتری اقتصاد بخش عمومی دانشگاه لرستان

[۲]. کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان

* نویسنده مسئول: Email: s.somayam@yahoo.com

مقدمه

رقابت تسلیحاتی در کاربرد کلاسیک به‌معنای رقابت بین دو یا چند گروه بر سر مالکیت بهترین نیروهای رزمی است. در این فرآیند هر طرف تلاش می‌کند تا تعداد بیش‌تری سلاح، اندازه بزرگ‌تری ارتش یا سطح بالاتری از تکنولوژی نظامی را کسب کند. در حال حاضر این عبارت در جایی به‌کار می‌رود که دو یا چند گروه بدون داشتن هدف نهایی تلاش کنند تا فقط از هم‌دیگر پیشی بگیرند. از معروف‌ترین رقابت‌های تسلیحاتی در عصر جدید، می‌توان آمریکا و شوروی را در جنگ سرد نام برد. امروزه می‌توان مسابقه‌ی تسلیحاتی را در بعد کوچک‌تر در برخی کشورهای جهان نظیر، هند و پاکستان و هم چنین چین و تایوان مشاهده کرد (گل‌خندان، ۱۳۹۶الف).

این رقابت تسلیحاتی در طی سال‌های اخیر با عینیت بیشتری در حوزه خلیج فارس، به‌خصوص کشورهای عرب این منطقه دیده شده است. ایران و عربستان با توجه به موقعیت ژئوپلیتیکی که دارند، مهم‌ترین بازیگران منطقه‌ای در حوزه خلیج فارس و خاورمیانه می‌باشند که به نوعی رقیب منطقه‌ای یکدیگر هم به حساب می‌آیند. این دو کشور با بهره‌مندی از موقعیت استراتژیک در منطقه از اهمیت فراوانی برخوردارند. به باور بیشتر پژوهشگران، روابط ایران و عربستان به‌دلیل اهمیت این دو کشور در منطقه و تأثیری که بر روی سایر بازیگران منطقه‌ای دارند، اهمیت زیادی دارد. روابط این دو کشور در طول تاریخ همواره روند سینوسی و متغیر داشته است و با توجه به تحولات سال‌های اخیر در منطقه شاهد رقابت جدی بین ایران و عربستان بوده‌ایم. اکنون با توجه به توافق هسته‌ای بین ایران و کشورهای غربی از یک‌طرف و نقش تأثیرگذار ایران در بحران‌های منطقه‌ای مانند سوریه، عراق و یمن در طرف دیگر، زمینه‌های افزایش قدرت منطقه‌ای ایران و شیعیان در منطقه فراهم شده است که این موضوع باعث تشدید رقابت منطقه‌ای بین ایران و عربستان و صرف هزینه‌های نظامی چشمگیر، بالاخص توسط عربستان شده است (آرم، ۱۳۹۵: ۷۳). جنگ سرد میان ایران و عربستان روز به روز شدت بیشتری می‌گیرد، تا جایی که این روزها نگرانی از برخورد نظامی میان دو کشور بالا گرفته و خاورمیانه را با چالش بزرگ جنگ مستقیم احتمالی میان دو قدرت منطقه‌ای روبرو کرده است؛ جنگی که قطعاً نتایج غیرقابل پیش‌بینی نه فقط برای منطقه، بلکه سراسر جهان در پی خواهد داشت.

بر این اساس آنچه به‌عنوان سؤال اساسی این تحقیق مطرح می‌شود آنست که آینده وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان چگونه است؟ به این منظور، این تحقیق سعی

دارد با استفاده از مبانی نظری در زمینه رقابت تسلیحاتی و به‌کارگیری آن با استفاده از ابزارهای پیشرفته اقتصادسنجی، به پیش‌بینی تجربی وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ بپردازد. با توجه به توضیحات ارائه‌شده، فرضیه این تحقیق به‌صورت زیر تدوین شده است:

"بین ایران و عربستان یک رقابت تسلیحاتی بی‌ثبات (ناپایدار) طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ وجود خواهد داشت".

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری پژوهش

مدل‌های تقاضای مختلفی در خصوص مخارج دفاعی وجود دارد: مدل‌های انتخاب عمومی، رفتار اداری، پیمان‌ها، رقابت‌های تسلیحاتی و یا مدل‌های عمومی مربوط به مخارج عمومی دفاع که می‌توان تمامی موارد بالا را در آن گنجاند (Dunne, 1995). اغلب مطالعات تجربی، روی مدل‌های رقابت تسلیحاتی و مدل‌های کلی مخارج عمومی دفاع متمرکز شده‌اند. در مدل‌های رقابت تسلیحاتی، هدف اصلی، بررسی این نوع رقابت، پایداری و ناپایداری آن و تحلیل عواقب آن (احتمال بروز و یا عدم بروز جنگ) است؛ اما در مدل‌های کلی مخارج عمومی دفاع، بررسی موضوع رقابت تسلیحاتی در کنار سایر عوامل مؤثر بر مخارج دفاعی مدنظر است (گل‌خندان، ۱۳۹۶الف: ۷).

اولین مدل رقابت تسلیحاتی توسط ریچاردسون (Richardson, 1960) معرفی و تکمیل شده است و سپس سایر محققان، عوامل دیگری را به آن افزوده‌اند. لوئیس ریچاردسون (Richardson, 1960) یک مدل ریاضی از رقابت تسلیحاتی در مطالعه خود در سال ۱۹۶۰ ارائه کرد که به یکی از مؤثرترین و قدرتمندترین مدل‌های رقابت تسلیحاتی تبدیل شد. در مدل کلاسیک ریچاردسون (Richardson, 1960)، فرض می‌شود که دو کشور دشمن (رقیب)، به‌نام‌های ۱ و ۲، در یک فرآیند پویای کنش و واکنش با یکدیگر، در دست‌یابی به سلاح درگیر شده‌اند. هم‌چنین، هر کشور به‌عنوان یک بازیگر واحد و تنها تلقی می‌شود و یک سلاح همگن وجود دارد.

این مدل می‌تواند به‌وسیله دو مدل دیفرانسیل زیر خلاصه شود:

$$\begin{cases} \frac{dM_1}{dt} = kM_2 - \alpha M_1 + g \quad , \quad (k, \alpha > 0) \\ \frac{dM_2}{dt} = lM_1 - \beta M_2 + h \quad , \quad (l, \beta > 0) \end{cases} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق، $M_i, i = 1,2$ نشان‌دهنده موجودی (ذخایر) سلاح و یا مخارج نظامی کشور i در زمان t است. هم‌چنین، k و l ضرایب واکنش، α و β «ضرایب رنج و فرسودگی»[1] و h و g «جملات نارضایتی»[2] می‌باشند (Hou, 2010).

بر اساس رابطه (۱) تغییر در موجودی سلاح یا مخارج نظامی یک کشور، به‌صورت خطی، به ذخیره یا مخارج نظامی رقیب، تسلیحات جمع‌آوری شده خود آن کشور و جمله نارضایتی وابسته است. k و l پارامترهایی مثبت می‌باشند که نشان می‌دهند، تسلیحات جمع‌آوری‌شده و یا مخارج نظامی به‌طور مثبت از ذخایر یا مخارج نظامی کشور رقیب تأثیر می‌پذیرد. به‌عبارتی، این پارامترها تمایل یک کشور به افزایش سطح تسلیحات خود، به میزان متناسب با مقدار تسلیحاتی است که طرف مقابلش دارد. α و β پارامترهای مثبت هستند که بر اساس آن‌ها، تجمع سلاح و یا مخارج نظامی به‌طور منفی از ذخایر یا مخارج نظامی خود آن کشور تأثیر می‌پذیرد. این اثرات خستگی توسط بار اقتصادی و اجرایی رقابت تسلیحاتی ایجاد می‌شود و هزینه فرسودگی یا نگهداری تأسیسات دفاعی را نشان می‌دهند. ضرایب h و g نیز می‌توانند از نظر علامت، منفی و یا مثبت باشند که منعکس‌کننده روابط دوستانه (صلح) و یا خصومت بین دو کشور است (Ibid).

اگر $g < 0$ باشد، نشانگر این مطلب است که کشور ۱، هدف مسالمت‌آمیز نسبت به کشور ۲ دارد. به‌طور مثال، اگر کشور ۱ سطح تسلیحات خود را کاهش دهد، در صورتی که سایر شرایط در معادله اول رابطه (۱)، صفر باشد، چنین امری منجر به ایجاد صلح میان این دو می‌شود. اگر $g > 0$ باشد، بیان‌گر این موضوع است که کشور ۱، هدف خصومت‌آمیز نسبت به کشور ۲ دارد. به‌طور مثال، اگر کشور ۱ سطح تسلیحات خود را افزایش دهد، در صورتی که سایر شرایط در معادله اول رابطه (۱)، صفر باشد، این شرایط منجر به تشدید خصومت میان دو کشور می‌شود (قاسمی و پورجم، ۱۳۹۲).

در نقطه تعادل سیستم معادلات رابطه (۱)، با گذشت زمان تغییری در موجودی سلاح دو کشور به‌وجود نمی‌آید؛ یعنی: $\frac{dM_1}{dt} = \frac{dM_2}{dt} = 0$. در این وضعیت، توابع واکنش دو کشور به‌صورت زیر در می‌آیند:

$$M_1 = \acute{k}M_2 + \acute{g} \qquad \text{where } \acute{k} = \frac{k}{\alpha},\ \acute{g} = \frac{g}{\alpha} \qquad (۲)$$

$$M_2 = \acute{l}M_1 + \acute{h} \qquad \text{where } \acute{l} = \frac{l}{\beta},\ \acute{h} = \frac{h}{\beta} \qquad (۳)$$

---

1. Fatigue Coefficients
2. Grievance Terms

این توابع واکنش، ذخیره نظامی هر کشور را به‌صورت خطی وابسته به ذخیره نظامی کشور رقیب می‌کند. بر این اساس ذخیره نظامی دو کشور در حالت تعادل (E) با حل هم‌زمان معادلات (۲) و (۳) و از طریق معادلات رابطه زیر به‌دست می‌آیند (Chalikias & Skordoulis, 2014):

$$M_1{}^E = \frac{\acute{k}\acute{h} + \acute{g}}{1 - k\acute{\acute{l}}} = \frac{\beta g + kh}{\alpha\beta - kl}$$
$$M_2{}^E = \frac{g\acute{\acute{l}} + \acute{h}}{1 - k\acute{\acute{l}}} = \frac{lg + \alpha h}{\alpha\beta - kl} \qquad (۴)$$

شایان ذکر است که قاعده اصلی در یک مسابقه تسلیحاتی می‌تواند گسترش یابد و تعداد معادلات بیشتری را در بر گیرد که هر معادله، بیانگر میزان ساخت تسلیحات برای یک کشور خاص است (قاسمی و پورجم، ۱۳۹۲). حال به بررسی پایداری (ثبات) تعادل در سیستم معادلات مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) می‌پردازیم. در واقع به این سؤال پاسخ می‌دهیم که نقطه تعادل به‌دست‌آمده از این مدل در رابطه (۴) تحت چه شرایطی پایدار و تحت چه شرایطی ناپایدار می‌باشد؟

با درنظر گرفتن معادلات مدل ریچاردسون (Richardson, 1960)، با یک سیستم معادلات دیفرانسیل مواجه هستیم که بایستی به‌طور همزمان حل و تأمین گردند. اگر بردار ضرایب دیفرانسیلی را به‌صورت $L = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$، بردار توابع مجهول M_i را به‌صورت $V = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix}$، ثابت‌های معادله دیفرانسیل را به‌صورت $B = \begin{bmatrix} g \\ h \end{bmatrix}$ و بردار ضرایب توابع مجهول را به‌صورت $C = \begin{bmatrix} -\alpha & k \\ l & -\beta \end{bmatrix}$ در نظر بگیریم، می‌توان معادلات مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) را به‌طور خلاصه به‌صورت زیر نوشت:

$$L\acute{V} = CV + B \qquad (۵)$$

جواب سیستم فوق از دو قسمت جواب خصوصی V_p و جواب مکمل $V_{c_i}, i = 1,2$ و به‌صورت زیر تشکیل شده است:

$$V = V_p + V_{c_1} + V_{c_2} \qquad (۶)$$

جواب خصوصی V_p یک جواب ثابت است که معادله دیفرانسیل زیر را حل می‌کند:

$$L\acute{V} = CV + B = 0 \Leftrightarrow CV = -B \Leftrightarrow V_p = C^{-1}(-B) \qquad (۷)$$

با حل معادله فوق برای مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) می‌توان به جواب ثابت سیستم معادلات دیفرانسیل این مدل که همان جواب تعادلی رابطه (۴) است و به‌صورت زیر می‌باشد، رسید:

$$V_p = \left(\begin{bmatrix}-\alpha & k\\ l & -\beta\end{bmatrix}\right)^{-1}\left(-\begin{bmatrix}g\\ h\end{bmatrix}\right) = \frac{1}{\alpha\beta-kl}\begin{bmatrix}-\beta & -k\\ -l & -\alpha\end{bmatrix}\begin{bmatrix}-g\\ -h\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\beta g+kh}{\alpha\beta-kl}\\ \frac{lg+\alpha h}{\alpha\beta-kl}\end{bmatrix} \quad (۸)$$

جواب مکمل معادلات دیفرانسیل مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) نیز از رابطه زیر به‌دست می‌آیند:[۱]

$$V_{c_i} = e^{r_i t}WC_i \quad i = 1,2 \quad (۹)$$

در رابطه فوق، r_i ریشه چندجمله‌ای معادله مفسر زیر است:

$$X(r) = |C - rL| \quad (۱۰)$$

بردار ثابت WC_i با جست و جوی یک جواب غیرصفر در معادله $(C - r_iL)WC_i = 0$ به‌دست می‌آید. با نگاه کردن به علامت ریشه‌های r_i می‌توان دید که آیا جواب خصوصی به‌طور دینامیک، پایدار است یا نه؟ اگر علامت تمام ریشه‌های r_i منفی باشند، در این‌صورت تعادل پایدار می‌باشد؛ چراکه قسمت نمایی تمام جواب‌های مکمل و به‌طور کلی جواب مکمل سیستم معادلات دیفرانسیل مدل ریچاردسون (Richardson, 1960)، در بی‌نهایت به سمت صفر میل می‌کند. در غیر این‌صورت، تعادل ناپایدار می‌باشد. بر این اساس ریشه‌های چندجمله‌ای معادله مفسر رابطه (۱۰) را محاسبه می‌کنیم:

$$X(r) = |C - rL| = 0 \Leftrightarrow \left|\begin{bmatrix}-\alpha & k\\ l & -\beta\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}r & 0\\ 0 & r\end{bmatrix}\right| = 0 \Leftrightarrow \begin{vmatrix}-\alpha - r & k\\ l & -\beta - r\end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow$$
$$(-\alpha - r)(-\beta - r) - kl = 0 \Leftrightarrow r^2 + (\alpha + \beta)r + \alpha\beta - kl = 0 \quad (۱۱)$$

از آنجا که معادله رابطه (۱۱) یک معادله درجه دوم می‌باشد، بر اساس روش Δ ریشه‌های آن به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r_1 = \frac{-(\alpha+\beta) - \sqrt{(\alpha-\beta)^2 + 4kl}}{2}, r_2 = \frac{-(\alpha+\beta) + \sqrt{(\alpha-\beta)^2 + 4kl}}{2} \quad (۱۲)$$

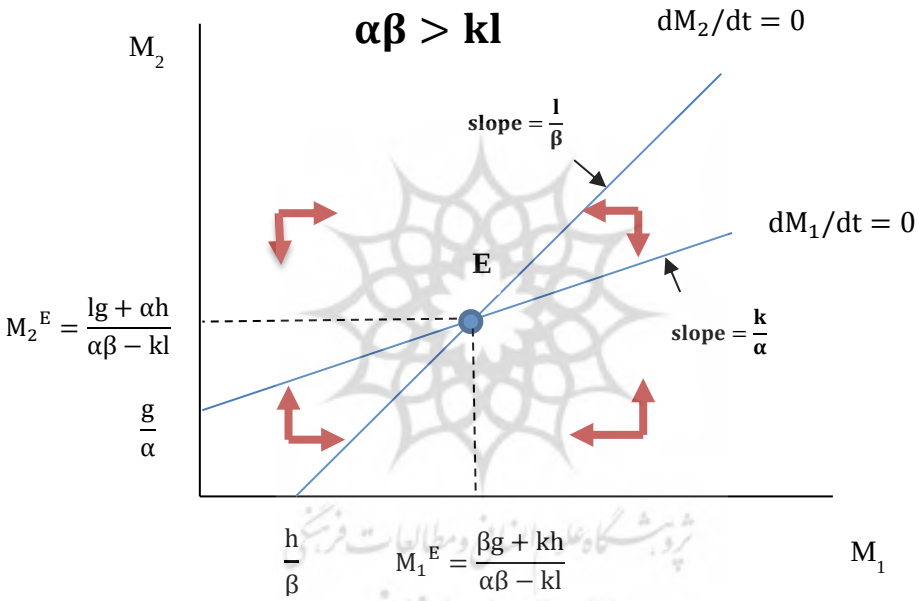
از آنجاکه طبق مفروضات مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) $\alpha, \beta, k, l > 0$، بنابراین همواره $r_1 < 0$ می‌باشد. بر این اساس برای پایداری تعادل مدل ریچارسون (Richardson, 1960) تنها کافی است که $r_2 < 0$ باشد؛ یعنی:

---

[۱]. برای آشنایی بیشتر با نحوه حل سیستم معادلات دیفرانسیل هم‌زمان به پورکاظمی (۱۳۸۶) مراجعه کنید.

$$-(\alpha+\beta)+\sqrt{(\alpha-\beta)^2+4kl}<0 \Rightarrow \sqrt{(\alpha-\beta)^2+4kl}<(\alpha+\beta) \Rightarrow 4(\alpha\beta-kl)>0 \Rightarrow \alpha\beta>kl \quad (۱۳)$$

بر این اساس می‌توان گفت در صورتی‌که حاصل‌ضرب ضرایب فرسودگی و رنج بزرگ‌تر از حاصل‌ضرب ضرایب واکنش در مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) باشد، تعادل در این مدل پایدار است و هرگونه انحراف جزئی از تعادل، دوباره سیستم را به این تعادل باز می‌گرداند. در شکل (۱) وضعیت تعادل پایدار در مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) با فرض مثبت بودن جملات نارضایتی (خصومت بین دو کشور) به نمایش در آمده است:



شکل (۱) وضعیت پایداری تعادل در مدل ریچاردسون (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

در یک رقابت تسلیحاتی پایدار (باثبات) محدودیت منابع اختصاص‌یافته به بخش نظامی، در هر دو کشور وجود دارد؛ به‌گونه‌ای که نقطه تعادل، پیش از پایان یافتن منابع اقتصادی اختصاص‌یافته، حاصل می‌شود. اگر $\alpha\beta < kl$ باشد، تعادل مدل ریچاردسون (Richardson, 1960) ناپایدار است. در این حالت یک حرکت مارپیچی روبه پائین از سلاح (به‌سمت سطح صفر) برای یک انحراف جزئی زیر نقطه تعادل و یک حرکت مارپیچی رو به بالا از سلاح برای یک انحراف جزئی بالای نقطه تعادل، می‌تواند وجود داشته باشد (Hackworth, 2003). در یک رقابت تسلیحاتی ناپایدار (بی‌ثبات) محدودیت منابع اختصاص‌یافته به بخش نظامی، در هر دو

کشور وجود ندارد. به این ترتیب، روند ساخت و مجهزشدن به تسلیحات ادامه می‌یابد که این امر، بستگی به ظرفیت اقتصادی دوکشور رقیب دارد. در این میان، حداکثر منابع اقتصادی اختصاص‌یافته یکی از طرفین در رقابت تسلیحاتی، زودتر به پایان خواهد رسید که موجب برتری قدرت یکی از واحدها بر دیگری می‌شود. به این ترتیب با از بین رفتن توازن و تقارن قدرت میان دو واحد رقیب و هم‌چنین از بین رفتن محیط بازدارندگی پیشین، ممکن است جنگی بین طرفین رخ دهد (قاسمی و پورجم، ۱۳۹۲).

شایان ذکر است که مدل کلاسیک ریچاردسون (Richardson, 1960) دارای چندین مشکل اساسی می‌باشد: در این مدل، هدف صریح و روشن، فرآیند تصمیم‌گیری، محدودیت اقتصادی و ملاحظه استراتژیکی خاصی وجود ندارد. مدل ریچاردسون، سایر متغیرهای مهم دیگر نظیر: کمک‌های خارجی و عوامل اجتماعی را شامل نمی‌شود و این مدل ایستاست و اجازه نمی‌دهد که ضرایب با گذشت زمان تغییر کنند (Sandler & Hartley, 1995). علاوه بر این، فرض ضرایب واکنش مثبت، نامعتبر است و در واقع این ضرایب می‌توانند منفی نیز باشند. چراکه، وقتی‌که فرآیند کنش و واکنش بین دو کشور وجود ندارد، یک کشور ممکن است مخارج نظامی خود را بدون در نظر گرفتن افزایش تسلیحات رقیب خود، کاهش دهد. بر این اساس و با توجه به محدودیت‌های یادشده، مدل‌های دیگری با گذشت زمان ارائه شده‌اند که تلاش کرده‌اند تا با توسعه و اصلاح مدل ریچاردسون (Richardson, 1960)، به‌وسیله اضافه کردن فاکتورهای مرتبط، با استفاده از متغیرهای تجمع و استفاده از محدودیت‌های منابع و رفتار بیشینه‌سازی، این محدودیت‌ها را تا حدودی رفع کنند. در جدول (۱)، مهم‌ترین این مدل‌ها آمده است.[۱] با این حال، بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده در این زمینه، هنوز یک چارچوب واضح و روشن ندارند و نمی‌توانند بر محدودیت‌های مدل کلاسیکی ریچاردسون (Richardson, 1960) غلبه کنند و هنوز هم این مدل رقابت تسلیحاتی در بسیاری از مطالعات تجربی به‌کار گرفته می‌شود (Hou, 2010).

جدول (۱) مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون و انواع آن

نویسنده	مدل
Richardson (1960)	مدل کلاسیک
McGuire (1965)	مدل بیشینه‌کننده رفاه اجتماعی[۲]
Wolfson (1968)	مدل رقابت‌آمیز[۱]

[۱]. برای آشنایی بیش‌تر با این مدل‌ها به مطالعه Hou (2010) مراجعه کنید.

[2]. Social Welfare Maximization Model

Wolfson (1968, 1990)	مدل رقابت[۲]
Rattinger (1975)	مدل بروکراتیک[۳]
Isard & Anderton (1988)	مدل تسلیم[۴]
Hartley & Russett (1992)	مدل افکار عمومی[۵]

مأخذ: Hou (2010)

پیشینه‌های پژوهش

دگر و سن (Deger & Sen, 1990) به‌طور تجربی روند مخارج نظامی و رقابت تسلیحاتی بین دو کشور هند و پاکستان را طی دوره‌ی زمانی ۱۹۸۵-۱۹۶۰ مورد بررسی قرار داده‌اند. به این منظور از مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون استفاده شده است. بر اساس نتایج، در مورد کشور هند، مخارج نظامی دوره (سال) گذشته کشور پاکستان اثر معناداری را روی رشد مخارج نظامی این کشور نداشته است. تأثیر واردات و تولید سلاح نیز بر رشد مخارج نظامی این کشور بی‌معناست. اما میزان GDP کشور هند، عامل مهم و تعیین‌کننده‌ای در مخارج نظامی این کشور است. برای کشور پاکستان، تهدید هند و واردات سلاح، نقش مهمی را در روند مخارج نظامی این کشور بازی می‌کند. تأثیر نسبت مخارج دولت مرکزی به GDP، نقش دولت را در ساختار سیاسی اقتصادی کشور پاکستان منعکس می‌کند. این تأثیر از لحاظ آماری معنادار است و نشان‌دهنده تأثیر مثبت روی تخصیص مخارج عمومی به بخش دفاعی است. از سوی دیگر متغیرهای اقتصادی مانند GDP، نقش اندکی در افزایش هزینه‌های نظامی کشور پاکستان داشته‌اند.

دون و همکاران (Dunne et al., 2000) با استفاده از مدل کنش و واکنش ریچاردسون و به‌کارگیری روش اقتصادسنجی الگوی تصحیح خطای برداری[۶] (VECM) به بررسی رقابت تسلیحاتی بین کشورهای یونان و ترکیه و هم‌چنین، هند و پاکستان پرداخته‌اند. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که شواهد اندکی برای برقراری یک رقابت تسلیحاتی بین کشورهای یاد شده است.

---

1. Emulative Model
2. Rivalry Model
3. Bureaucratic Model
4. Submissiveness Model
5. Public Opinion Model
6. Vector Error Correction Model

هو (Hou, 2010) با استفاده از مدل کنش و واکنش ریچاردسون و با به‌کارگیری تکنیک اقتصادسنجی هم‌انباشتگی[1] به بررسی رقابت تسلیحاتی بین کشورهای هند و پاکستان پرداخته است. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که شواهدی قوی برای برقراری یک رقابت تسلیحاتی پایدار بین کشورهای مورد مطالعه، حتی با درنظر گرفتن مسأله شکست ساختاری وجود دارد.

آندو (Ando, 2015) در مطالعه‌ای به بررسی و تحلیل وابستگی دفاعی بین کشورهای ژاپن و ایالات متحده آمریکا طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۹-۱۹۷۵ پرداخته است. نتایج این تحقیق با استفاده از روش ARDL نشان می دهد که در بلندمدت، مخارج دفاعی کشور ایالات متحده آمریکا تأثیر مثبت و معناداری را بر مخارج دفاعی کشور ژاپن طی دوره‌ی مورد مطالعه داشته است.

شیخ و اسلم (Sheikh & Aslam, 2015) در مطالعه‌ای به‌دنبال یافتن پاسخی برای این پرسش هستند که آیا بین پاکستان و هند یک رقابت تسلیحانی وجود دارد؟ به این منظور از یک مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون، داده‌های آماری سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۲ و روش برآورد گشتاورهای تعمیم‌یافته[2] (GMM) استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که جمله نارضایتی برای پاکستان مثبت و برای هند منفی می‌باشد. هزینه‌های دفاعی هر دو کشور در دوره گذشته اثر منفی بر تغییرات هزینه‌های دفاعی داشته است که نشان‌دهنده بار اقتصادی و اجرایی رقابت تسلیحاتی است. هم‌چنین، مثبت بودن ضرایب واکنش در مدل، وجود رقابت تسلیحاتی بین دو کشور را تأیید می‌کند.

اسکاستاد (Skogstad, 2016) با استفاده از داده‌های ۱۲۴ کشور جهان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۸-۱۹۹۳ و با بهره‌گیری از ابزارهای اقتصادسنجی فضایی نشان داده است که بار دفاعی کشورهای همسایه، همبستگی مثبتی با یکدیگر دارد. هم‌چنین، وی نشان داده است که موقعیت منطقه‌ای هر کشور ممکن است بر روی مخارج دفاعی آن کشور تأثیر معناداری داشته باشد. یسیلیورت و الهورست (Yesilyurt & Elhorest., 2017) نیز با استفاده از داده‌های ۱۴۴ کشور جهان و بهره‌گیری از رویکرد پانل فضایی پویا[3] به نتیجه‌ای مشابه با مطالعه اسکاستاد دست یافتند.

---

1. Co-Integration
2. Generalized Method of Moment
3. Dynamic Spatial Panel

گئورگ و همکاران (George et al., 2018) با استفاده از یک مدل عمومی هزینه‌های دفاعی، تقاضا برای مخارج نظامی کشورهای منطقه آسیا-پاسیفیک[1] را طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه محققان به‌دنبال یافتن پاسخی برای این پرسش می‌باشند که چگونه کشورهای منطقه آسیا-پاسیفیک به هزینه‌های دفاعی کشورهای دیگر پاسخ می‌دهند. یافته‌های این مطالعه با استفاده از تحلیل‌های اقتصادسنجی پانل فضایی و برآوردگر رگرسیون‌های به ظاهر نامرتبط[2] (SUR) نشان می‌دهد که واکنش غیرمتحدان آمریکا به هزینه‌های دفاعی متحدان این کشور طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۱ و مخارج دفاعی کشور چین پس از سال ۲۰۰۲، مهم‌ترین علت افزایش هزینه‌های دفاعی کشورهای منطقه آسیا-پاسیفیک می‌باشد.

گل‌خندان (۱۳۹۵الف) در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضای مخارج دفاعی ایران طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۳۸ پرداخته است. نتایج برآورد مدل با استفاده از روش از روش اقتصادسنجی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی نشان می‌دهد که متوسط بار دفاعی کشورهای خاورمیانه بر بار دفاعی ایران اثر مثبت داشته است که حاکی از وجود یک رقابت تسلیحاتی بین ایران و این کشورها می‌باشد. هم‌چنین، عوامل اصلی افزایش مخارج دفاعی در ایران، راهبردی هستند. گل‌خندان (۱۳۹۵ب) در مطالعه‌ای دیگر نیز با استفاده از رویکرد میانگین‌گیری بیزی نشان داده است که متوسط بار دفاعی کشورهای خاورمیانه، اثر مثبت و قوی بر بار دفاعی ایران داشته است.

گل‌خندان (۱۳۹۶الف) رقابت تسلیحاتی بین کشورهای حوزه خلیج فارس را طی دوره زمانی ۲۰۱۴- ۱۹۹۵ و با استفاده از اقتصادسنجی فضایی مورد آزمون قرار داده است. نتایج نشان می‌دهد که ضریب برآوردی وقفه فضایی متغیر وابسته مثبت و معنادار است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش یک‌درصدی در میانگین وزنی بار نظامی کشورهای حوزه خلیج فارس، به‌طور متوسط بار نظامی یک کشور این حوزه، ۰/۸۹ درصد (نزدیک به یک درصد) افزایش می یابد. بر اساس این نتایج می توان گفت که یک نوع رقابت تسلیحاتی قوی در بین کشورهای حوزه خلیج فارس طی دوره مورد بررسی وجود داشته است.

گل‌خندان (۱۳۹۶ب) در مطالعه‌ای به سنجش و تحلیل تجربی وابستگی متقابل دفاع بین کشورهای منطقه خاورمیانه و تعیین نوع این وابستگی طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۵

---

1. Asia-Pacific
2. Seemingly Unrelated Regressions

پرداخته است. نتایج برآورد مدل به روش GMM سیستمی نشان می‌دهد که در بلندمدت، متوسط بار دفاعی کشورهای خاورمیانه بر بار دفاعی هر یک از کشورهای این منطقه، اثر مثبت و معناداری داشته است که حاکی از وجود یک رقابت تسلیحاتی بین کشورهای منطقه خاورمیانه می‌باشد. بر این اساس، با افزایش یک درصدی در متوسط بار دفاعی کشورهای خاورمیانه، در بلندمدت بار دفاعی هر یک از کشورهای این منطقه حدود ۰/۳۵ درصد افزایش یافته است.

تشدید تنش و رقابت منطقه ای بین ایران و عربستان، پیش بینی وضعیت رقابت تسلیحاتی آتی بین این دو کشور را مهم جلوه می‌کند. بر این اساس، تاکنون هیچ مطالعه‌ای به‌طور مشخص وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان را در بوته آزمون تجربی قرار نداده است. نکته مهم و نوآوری خاص این تحقیق آنست که این مطالعه رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان را طی بیست سال آتی با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی و برآوردهای اقتصادسنجی بررسی می‌کند؛ یعنی متکی بر آینده‌پژوهی است. تمام مطالعات تجربی که به بررسی رقابت تسلیحاتی پرداخته‌اند، متکی بر داده‌های اعلام‌شده قبلی بوده و در واقع رقابت تسلیحاتی را در دوره گذشته بررسی کرده‌اند؛ نه در دوره پیش رو. علاوه بر این، این مطالعه در بررسی وضعیت تعادلی در رقابت تسلیحاتی آتی نیز نسبت به تمام مطالعات تجربی انجام شده دارای نوآوری است. بر این اساس می‌توان گفت که پیش‌بینی آینده وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان می‌تواند دستاوردهای مهمی برای سیاست‌گذاران کشور داشته باشد. به‌طور کلی مدل‌های تقاضای مختلفی در خصوص مخارج دفاعی وجود دارد که اغلب مطالعات تجربی، روی مدل های رقابت تسلیحاتی و مدل های کلی مخارج عمومی دفاع متمرکز شده‌اند. در مدل‌های رقابت تسلیحاتی، هدف اصلی، بررسی این نوع رقابت، پایداری و ناپایداری آن و تحلیل عواقب آن (احتمال بروز و یا عدم بروز جنگ) است؛ اما در مدل‌های کلی مخارج عمومی دفاع، بررسی موضوع رقابت تسلیحاتی در کنار سایر عوامل مؤثر بر مخارج دفاعی مدنظر است.

تمام مطالعات داخلی گذشته با استفاده از مدل‌های عمومی مخارج دفاعی انجام شده است (یعنی فقط بررسی وجود و یا عدم وجود رقابت تسلیحاتی در کنار سایر عوامل مؤثر بر مخارج دفاعی)؛ در حالی‌که این مطالعه بر روی مدل‌های رقابت تسلیحاتی (مدل ریچاردسون) متمرکز شده است (بررسی رقابت تسلیحاتی، پایداری و ناپایداری آن و تحلیل عواقب آن (احتمال بروز و یا عدم بروز جنگ)). وجه تمایز دوم این مطالعه (و در واقع وجه تمایز آن با تمام مطالعات

داخلی و خارجی)، در پیش‌بینی رقابت تسلیحاتی با استفاده از پیش‌بینی داده‌ها برای دوره آتی است؛ نه بررسی رقابت تسلیحاتی با استفاده از داده‌های اعلام‌شده قبلی.

روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نظر نوع تحقیق، کاربردی است. روش تحقیق هم توصیفی-تحلیلی است که در قسمت توصیف از روش اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده شده است و بخش تحلیل متکی بر الگوریتم‌های پیش‌بینی و اقتصادسنجی است. به‌طور کلی روش انجام این تحقیق از سه گام تشکیل شده است:

- گام اول

در این گام با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۶۳، میزان مخارج نظامی کشورهای ایران و عربستان برای دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ پیش‌بینی می‌شود. به این منظور، بایستی نخست یک تابع تقاضای مخارج نظامی برای دو کشور ایران و عربستان طراحی و شبیه‌سازی کرد. بر اساس مبانی نظری مطروحه در این زمینه، می‌توان میزان تقاضا برای مخارج نظامی را در حد بهینه از رابطه زیر به‌دست آورد:[1]

$$M = M(\frac{P_m}{P_c}, Y, N, M_1, \dots, M_n, ZW, ZS) \qquad (۱۴)$$

بر اساس تابع تقاضای رابطه (۱۴)، سطح مخارج نظامی به عواملی هم‌چون، Pm/Pc: نسبت قیمت مصارف واقعی نظامی به قیمت مصارف واقعی خصوصی و Y: درآمد (به‌عنوان متغیرهای اقتصادی)، N: جمعیت کل (به‌عنوان یک متغیر اجتماعی)، میزان مخارج نظامی سایر کشورها (M_1,...,Mn) و عوامل استراتژیک و سیاسی (ZW,ZS) وابسته است (Abdelfattah et al., 2013).

با توجه به تابع مخارج نظامی رابطه (۱۴)، در دسترس بودن داده‌ها و ساختار اقتصادی-سیاسی دو کشور ایران و عربستان، تابع تقاضای شبیه‌سازی‌شده دو کشور به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$M_i = M_i\left(gdp, pop, oil_{rev}, \overline{mil_{me}}\right) \quad i = IRI, KSA \qquad (۱۵)$$

که در رابطه فوق، M: میزان مخارج نظامی (بر حسب میلیون دلار)؛ gdp: میزان تولید ناخالص داخلی بدون نفت (شاخص درآمد)؛ pop: جمعیت کل کشور (بر حسب نفر)؛ oil_{rev}: میزان درآمدهای نفتی (بر حسب میلیون دلار)؛ $\overline{mil_{me}}$: متوسط مخارج نظامی کشورهای

[1]. به‌منظور آشنایی بیشتر با تابع تقاضای مخارج نظامی به مطالعات گل‌خندان (۱۳۹۵الف و ۱۳۹۶ج) مراجعه کنید.

منطقـه خاورمیانـه (بـر حسـب میلیـون دلار) و i: کشـورهای ایـران (IRI) و عربسـتان (KSA) می‌باشند. اطلاعات مربوط به داده‌های آماری متغیرهـا از وب‌سـایت‌هـای شـاخص‌هـای توسـعه جهانی[۱] (WDI) متعلق به بانک جهانی و مؤسسه بین‌المللی تحقیقات صلح اسـتکهلم[۲] (SIPRI) جمع‌آوری شده است.

سپس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات[۳] (PSO) رونـد آتـی مخـارج نظـامی دو کشور ایران و عربستان پیش‌بینی می‌شود. از نظر کاربردی، الگوریتم PSO از بهترین روش‌هـای بهینه‌سازی مسائل می‌باشد و به‌همین جهت می‌توان از این الگوریتم در شبیه‌سـازی مـدل‌هـای مختلف توابع و پیش بینی روند آتی متغیرهای موردنظر استفاده و بهـره گیـری نمـود. الگـوریتم PSO اولین بار در سـال ۱۹۹۵ توسـط کنـدی و ابرهـارت (Kennedy & Eberhart, 1995) بـر اساس رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان و ماهی‌ها طراحـی و مـدل شـد. ایـن الگـوریتم، یـک تکنیک بهینه‌سازی است که بر پایه‌ی جمعیتی از پاسخ‌های اولیه عمل می‌کنـد. الگـوریتم PSO یکی از مهم‌ترین و بهترین الگوریتم‌هایی است که در حوزه‌ی هوش مصنوعی معرفی شده است. این روش در بسیاری موارد شبیه به تکنیک‌های محاسباتی تکاملی مانند الگوریتم‌هـای ژنتیـک عمل می‌کند. در این الگوریتم، هر ذره نماینده‌ی یک جواب مسأله است که به‌طـور تصـادفی در فضای مسأله در حرکت می‌باشد. تغییر مکان هر ذره در فضای جست‌وجـو تحـت تـأثیر خـود و همسایگانش است. بنابراین موقعیت ذرات دیگر روی چگونگی حرکـت و جسـت‌وجـوی ذره اثـر می‌گذارد. اساس کار الگوریتم بر این اصل اسـتوار اسـت کـه هـر ذره مکـان خـود را در فضـای جست‌وجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکـانی کـه در کـل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. موقعیت اولیه‌ی هر ذره به‌صـورت تصـادفی در فضـای جست‌وجو با یک توزیع یکنواخت در محدوده تعریف مسأله تعیین می‌شود (بهمنی و همکـاران، ۱۳۹۳: ۵).[۴] در این قسمت، با اسـتفاده از نـرم‌افـزار MATLAB اقـدام بـه بهینـه‌سـازی ارزش پارامترهای مدل شده است.

- گام دوم

در گام دوم با استفاده از داده‌های مخارج نظامی پیش‌بینی‌شده برای دو کشور ایران و عربسـتان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸، سیستم معادلات مدل ریچاردسون برای هر دو کشور طی این

---

1. World Development Indicators
2. Stockholm International Peace Research Institute
3. Particle Swarm Optimization Algorithm
4. به‌منظور آشنایی بیشتر با الگوریتم PSO به مطالعه گل‌خندان و آغ اسمعیلی (۱۳۹۵) مراجعه کنید.

بازه‌ی زمانی برآورد می‌شود. شکل ساختاری معادلات این مدل به‌منظور امکان برآورد آن از لحاظ اقتصادسنجی، بر اساس مطالعاتی نظیر دون و همکاران (Dunne et al., 2000) و شیخ و اسلم (Sheikh & Aslam, 2015) با اضافه‌کردن جزء خطای استوکاستیک (ε) به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{cases} \dfrac{dM_t^{IRI}}{dt} = \Delta M_t^{IRI} = \alpha_{IRI} + \beta_{IRI} M_t^{KSA} + \gamma_{IRI} M_{t-1}^{IRI} + \varepsilon_t^{IRI} \\ \dfrac{dM_t^{KSA}}{dt} = \Delta M_t^{KSA} = \alpha_{KSA} + \beta_{KSA} M_t^{IRI} + \gamma_{KSA} M_{t-1}^{KSA} + \varepsilon_t^{KSA} \end{cases} \quad (۱۶)$$

برای برآورد هر یک از معادلات فوق از روش اقتصادسنجی رگرسیون هم‌جمعی کانونی[۱] (CCR) استفاده شده است. دلیل اصلی استفاده از این برآوردگر وجود هم‌خطی بالا بین متغیرهای هر دو مدل و کارآیی بالای این روش در این حالت می‌باشد.[۲] انگل و گرنجر (Engle & Granger, 1987) به‌منظور بررسی رابطه متغیرهای هم سطح I(1)، روشی موسوم به هم‌جمعی یا هم‌انباشتگی[۳] را پیشنهاد کرده‌اند. در وضعیت هم‌جمعی، رابطه خطی دو یا چند سری زمانی I(1) منجر به پسماند I(0) می‌شود. این وضعیت بیان‌گر وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهاست. انگل و گرنجر، آزمونی را جهت تعیین وجود هم‌جمعی طراحی کرده‌اند که بر پایه روش حداقل مربعات معمولی (OLS) اجرا می‌شود. اما مطالعات متعددی نظیر همیلتون (Hamilton, 1994) نشان داده‌اندکه روش OLS کارایی لازم را در برآورد اندازه بردار هم‌جمعی ندارد. نکته مهم دیگری که در مقاله مونتالفو (Montalvo, 1995) به آن اشاره شده، ضعف روش OLS در نمونه‌های کوچک است. به‌منظور رفع این اشکالات، برآوردگرهای جدیدی معرفی شده‌اند که از آن جمله، روش موسوم به CCR می‌باشد که توسط پارک (Park, 1992)

---

[1]. Canonical Co-integration Regression

[۲]. در علم اقتصادسنجی، هم‌خطی بین متغیرهای یک مدل با استفاده از ماتریس ضریب همبستگی بررسی می‌شود. چنانچه مقدار ضریب همبستگی دو متغیر بالا و نزدیک به عدد یک باشد، هم خطی شدید بین متغیرهای مدل وجود دارد و امکان برآورد مدل با استفاده از روش‌های معمول اقتصادسنجی مانند روش‌های ARDL و یوهانسن، ممکن نیست و نرم‌افزار پیام Near Singular Matrix را می‌دهد. در این مطالعه میزان ضریب همبستگی بین متغیرهای سیستم مدل ریچارسون بالا بوده و امکان برآورد آن با شیوه‌های معمول اقتصادسنجی ممکن نیست. به همین دلیل از روش CCR استفاده شده است. البته پیش از به‌دست‌آوردن ضرایب همبستگی، وجود هم‌خطی شدید بین متغیرهای هر مدل را می‌توان به راحتی حدس زد. چرا که در هر مدل متغیرهای مخارج نظامی کشور، تغییر در مخارج نظامی کشور و مخارج نظامی کشور رقیب وجود دارد که همبستگی بین متغیرها را زیاد می‌کند.

[3]. Co-integration

معرفی شده است. این روش ارتباط نزدیکی با روش حداقل مربعات معمولی کاملا اصلاح‌شده[1] (FMOLS) دارد؛ اما بر خلاف روش FMOLS که از تبدیلات ایستایی برای به‌دست‌آوردن رابطه بلندمدت استفاده می‌کند، با حذف‌کردن وابستگی بلندمدت بین رابطه هم انباشتگی و متغیرها، این عمل را انجام می‌دهد. برآوردهای روش CCR نیز مشابه روش FMOLS، از توزیع نرمال مرکب پیروی می‌کنند. پارک نشان داد که برآوردهای CCR به‌صورت مجانبی مشکل درون‌زایی متغیرهای توضیحی را از بین می‌برند و حداقل به اندازه برآوردهای FMOLS سازگار می‌باشند.[2] در این قسمت به‌منظور برآورد مدل رابطه (۱۶) از نرم‌افزار Eviews استفاده شده است.

- گام سوم

در گام آخر ضرایب برآوردی مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون و وضعیت پایداری و ناپایداری تعادل آن برای دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

توجه به این‌که اولین گام این پژوهش پیش‌بینی مقادیر آتی مخارج نظامی در دو کشور ایران و عربستان تا افق ۲۰۴۰ می‌باشد، به‌منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی در بین توابع و مدل‌های شبیه‌سازی‌شده (خطی، درجه دوم و نمایی) برای رابطه (۱۷)، از معیارهای مختلفی از جمله چهار معیار میانگین مربع خطای استاندارد (MSE)، مجذور میانگین مربع خطای استاندارد (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین درصد قدرمطلق خطا (MAPE) استفاده می‌شود.[3] با توجه به این‌که هرکدام از این معیارها به اختلاف مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده (میزان خطای آماری) می‌پردازند و تأییدکننده یکدیگر نیز می‌باشند، لذا مدل و تابعی با استفاده از این معیارها انتخاب می‌شود که دارای کم‌ترین میزان خطای آماری و بالاترین قدرت پیش‌بینی باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مدل نمایی برای هر دو کشور نسبت به دو مدل خطی و درجه دوم دارای کم‌ترین معیارهای اندازه‌گیری در الگوریتم PSO

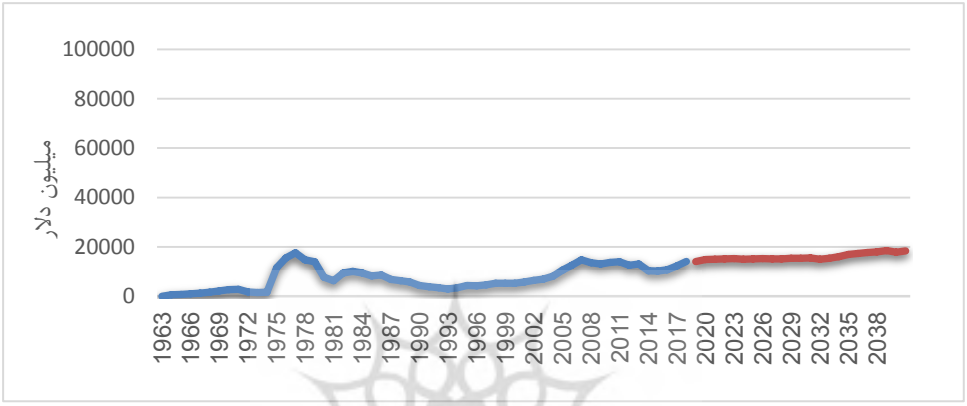
---

[1]. Fully Method Ordinary Last Square

[2]. به‌منظور آشنایی بیشتر با روش CCR به مطالعه گل‌خندان (۱۳۹۷) مراجعه کنید.

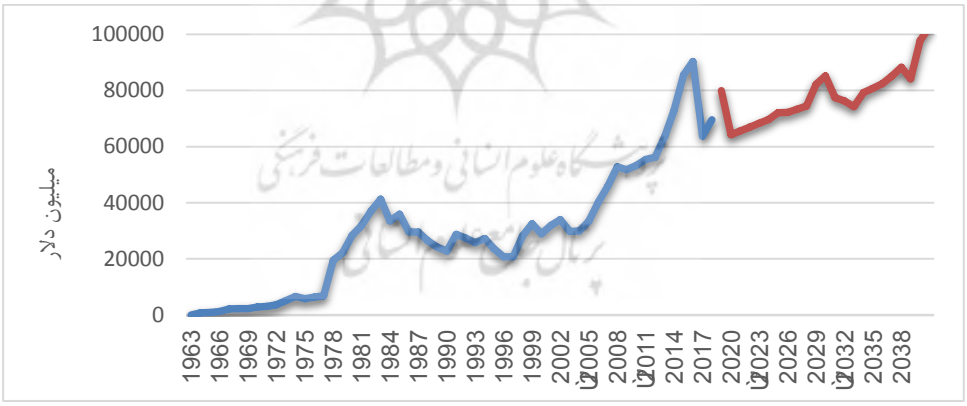
[3]. به منظور بررسی اعتبار نتایج الگوریتم PSO، این الگوریتم با الگوریتم ژنتیک نیز مقایسه شده است. بر این اساس الگوریتمی انتخاب می‌شود که دارای کم‌ترین میزان خطای آماری و بالاترین قدرت پیش‌بینی باشد. از آنجا که مقدار عددی خطای پیش‌بینی در هر چهار معیار همواره در الگوریتم PSO، کم‌تر از الگوریتم ژنتیک بوده، این الگوریتم انتخاب شده است. نتایج مربوط به این معیارها در جدول (۱) قسمت پیوست‌ها آمده است.

می‌باشد. در نتیجه این مدل از نتایج بهتر و دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار می‌باشد و برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس و با سناریوسازی راجع‌به مقادیر متغیرها، نتایج پیش‌بینی مخارج نظامی برای دو کشور ایران و عربستان تا افق ۲۰۴۰ با استفاده از الگوریتم PSO، به‌همراه مقادیر واقعی این متغیر طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۶۳، در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.



شکل (۲) روند مخارج نظامی در ایران (۲۰۱۷-۱۹۶۳) و روند پیش‌بینی‌شده آن (۲۰۴۰-۲۰۱۸)

(مأخذ: یافته‌های تحقیق با استفاده از داده‌های SIPRI و بر اساس پیش‌بینی انجام‌شده)



شکل (۳) روند مخارج نظامی در عربستان (۲۰۱۷-۱۹۶۳) و روند پیش‌بینی‌شده آن (۲۰۴۰-۲۰۱۸)

(مأخذ: یافته‌های تحقیق با استفاده از داده‌های SIPRI و بر اساس پیش‌بینی انجام‌شده)

بر اساس شکل (۲)، طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده می‌توان گفت که مخارج نظامی در ایران با شیب تقریباً صعودی (مثبت)، اما اندک از مقداری حدود ۱۲ هزار میلیون (۱۲ میلیارد) دلار در سال ۲۰۱۷، به مقداری در حدود ۲۰ هزار میلیون دلار در سال ۲۰۴۰ خواهد رسید. این

درحالیست که بر اساس شکل (۳) می‌توان گفت که مخارج نظامی کشور عربستان با شیب تقریبا صعودی و قابل توجه از مقداری حدود ۶۴ هزار میلیون دلار (۶۴ میلیارد) در سال ۲۰۱۷، به مقداری در حدود ۱۰۰ هزار میلیون دلار در سال ۲۰۴۰ می‌رسد (چیزی حدود ۵ برابر کشور ایران).

پیش از برآورد مدل به‌روش CCR، به‌منظور جلوگیری از رگرسیون کاذب، بایستی درجه مانایی متغیرها تعیین و وجود هم‌انباشتگی (رابطه بلندمدت) بین آنها اثبات شود. در این مقاله به‌منظور تعیین درجه مانایی متغیرها، از آزمون‌های دیکی‌فولر تعمیم‌یافته (ADF)[1] و فیلیس‌پرون[2] (PP) و در حالتی‌که در آن مدل دارای عرض از مبدأ می‌باشد، استفاده شده است. در این آزمون‌ها، فرضیه صفر نشان‌دهنده نامانایی متغیر (وجود ریشه واحد) و فرضیه مقابل آن نشان‌دهنده مانایی متغیر (عدم وجود ریشه واحد) است. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۲) آمده است. بر اساس این نتایج (مقدار آماره و میزان سطوح احتمال محاسبه‌شده در آزمون‌های ADF و PP)، متغیرهای مخارج نظامی دو کشور ایران و عربستان در سطح ۵ درصد نامانا بوده؛ اما پس از یک‌بار تفاضل‌گیری به‌صورت مانا درآمده‌اند. لذا این دو متغیر، مانا از مرتبه I(1) می‌باشند.

جدول (۲) نتایج آزمون‌های ریشه واحد

متغیر	نام آزمون		متغیر	نام آزمون		درجه مانایی
	ADF(Prob)	PP(Prob)		ADF(Prob)	PP(Prob)	
M^{IRI}	-۰/۸۹ (۰/۷۷)	-۱/۵۱ (۰/۵۱)	ΔM^{IRI}	-۳/۴۱ (۰/۰۲)	-۳/۶۷ (۰/۰۱)	I(1)
M^{KSA}	۳/۰۶ (۱/۰۰)	-۰/۲۶ (۰/۹۶)	ΔM^{KSA}	-۵۲/۸۱ (۰/۰۰)	-۳۰/۷۵ (۰/۰۰)	I(1)

* وقفه انتخابی برای آماره آزمون‌ها توسط معیار شوارتز انتخاب شده است و علامت ، به تفاضل اشاره دارد.
(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

با توجه به نامانایی متغیرها طبق آزمون‌های ریشه واحد، گام بعدی، بررسی هم‌جمعی و وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل‌های برآوردی است. به این منظور از آزمون هم‌جمعی پارک استفاده شده است. در آزمون پارک، بررسی هم‌جمعی با توجه به پسماندهای به‌دست‌آمده از برآورد مدل‌های تحقیق به‌روش CCR اجرا می‌شود. یکی از ویژگی‌های مثبت این آزمون، استفاده از توزیع کای‌دو است که مطابق با نتایج مطالعه مونتالفو (Montalvo, 1995) نسبت به سایر آزمون‌ها توان بیش‌تری دارد. فرضیه صفر در آزمون هم‌جمعی پارک،

1. Augmented Dicky Fuller
2. Philips & Peron

وجود هم‌جمعی است. نتایج این آزمون با توجه به نوع معادله مدل ریچارسون، در جدول (۳) آمده است. بر اساس نتایج این جدول، فرضیه صفر مبنی‌بر وجود هم‌جمعی، در هر دو معادله مدل ریچاردسون رد نشده است. لذا بدون نگرانی از بروز رگرسیون کاذب، می‌توان هر دو معادله را برآورد کرد.

جدول (۳) نتایج آزمون هم‌جمعی پارک

	معادله اول مدل ریچاردسون رابطه (۱۶) (معادله کشور ایران)	معادله دوم مدل ریچاردسون رابطه (۱۶) (معادله کشور عربستان)
آماره کای‌دو	۰/۱۲۴۱	۰/۷۵۴۸
P-value	۰/۷۲۴۷	۰/۳۸۴۹

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

بعد از اثبات هم‌جمعی بین متغیرهای هر دو مدل بدون نگرانی از بروز رگرسیون کاذب، می‌توان معادلات مدل ریچارسون را بر دو کشور ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ به‌روش CCR برآورد کرد. نتایج این برآوردها در ادامه آمده است (اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده سطح احتمال می‌باشند). بر اساس این نتایج، علامت ضرایب برآوردی با توجه به مبانی نظری مدل ریچاردسون، انتظار ما را در تخمین رابطه‌های بلندمدت برآورده می‌کنند. ارزش احتمال ضرایب برآوردی نیز نشان می‌دهد که کلیه این ضرایب در بلندمدت در هر دو مدل و در سطح اطمینان ۵ درصد معنادارند. لذا ضرایب برآوردی قابلیت لازم برای تحلیل و تفسیر را دارند. بر اساس مقدار ضرایب تعیین برآوردشده نیز می‌توان گفت که قدرت توضیح‌دهندگی متغیرهای هر دو مدل بالنسبه قابل قبول است.

$$\begin{cases} \dfrac{dM_t^{IRI}}{dt} = \Delta M_t^{IRI} = \underset{(0.048)}{643.875} + \underset{(0.001)}{0.145} M_t^{KSA} - \underset{(0.008)}{0.122} M_{t-1}^{IRI} \;\; R^2 = 0.652 \\ \dfrac{dM_t^{KSA}}{dt} = \Delta M_t^{KSA} = \underset{(0.015)}{1485.715} + \underset{(0.000)}{0.851} M_t^{IRI} - \underset{(0.022)}{0.218} M_{t-1}^{KSA} \;\; R^2 = 0.588 \end{cases} \quad (۱۷)$$

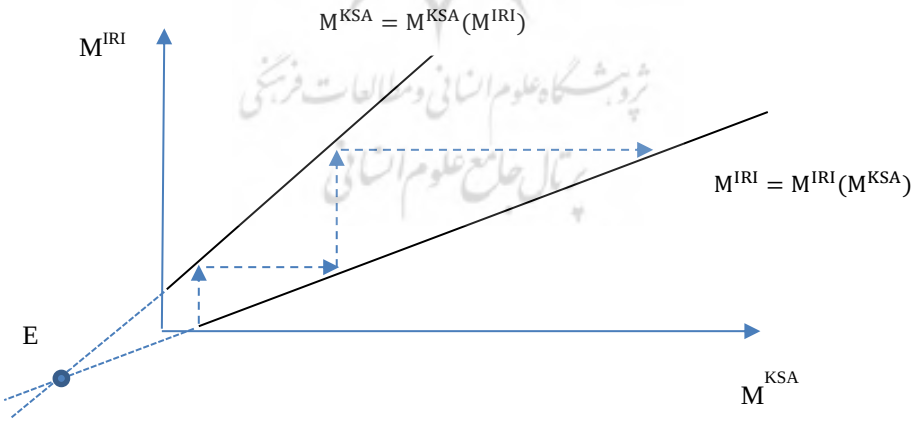
بر اساس رابطه (۱۷) مقادیر ثابت هر دو معادله ریچاردسون که نشان‌دهنده جملات نارضایتی می‌باشند، مثبت و برابر با مقادیر ۶۴۳/۸۷۵ و ۱۴۸۵/۷۱۵ می‌باشند. این نتیجه گویای وجود رابطه خصومت و دشمنی بین دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۸-۲۴۴۰ می‌باشد.

ضرایب واکنش نیز مطابق انتظار برای هر دو کشور ایران و عربستان مثبت و به‌ترتیب برابر با ۰/۱۴۵ و ۰/۸۵۱ می‌باشد. این نتیجه گویای وجود یک رقابت تسلیحاتی بین دو کشور ایران و

عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ می‌باشد؛ اما در قبال افزایش هزینه‌های نظامی طرفین، میزان واکنش کشور عربستان در افزایش هزینه‌های نظامی بسیار بیشتر از کشور ایران خواهد بود.

برآورد ضرایب رنج و فرسودگی (ضریب متغیر وقفه مخارج نظامی کشور ایران در معادله اول و کشور عربستان در معادله دوم) نیز نشان می‌دهد که تجمع سلاح و یا مخارج نظامی به‌طور منفی از ذخایر یا مخارج نظامی خود آن کشور تأثیر می‌پذیرد. این اثرات خستگی توسط بار اقتصادی و اجرایی رقابت تسلیحاتی ایجاد می‌شود و هزینه فرسودگی یا نگهداری تأسیسات دفاعی را نشان می‌دهند.

حال به بررسی تعادل و نوع رقابت تسلیحاتی (از لحاظ پایداری و ناپایداری) بین ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ می‌پردازیم. همان‌طور که پیش از این نیز گفته شد در وضعیت تعادل $\frac{dM_t^{IRI}}{dt} = \frac{dM_t^{KSA}}{dt} = 0$ و چون تعادل ایستا می‌باشد، $M_{t-1}^{IRI} = M_t^{IRI} = M^{IRI}$ و $M_{t-1}^{KSA} = M_t^{KSA} = M^{KSAI}$. بر این اساس مقادیر مخارج نظامی تعادلی دو کشور ایران و عربستان با حل دستگاه دو معادله و دومجهولی رابطه (۱۷)، به‌ترتیب معادل با ۳۷۰۶- و ۷۵۹۶- میلیون دلار به‌دست می‌آید که از لحاظ حقیقی امکان‌پذیر نیست. به‌منظور تفهیم نتیجه به‌دست‌آمده و تشریح آن بایستی توابع عکس‌العمل دو کشور ایران و عربستان را در فضای مخارج نظامی ترسیم کرد:



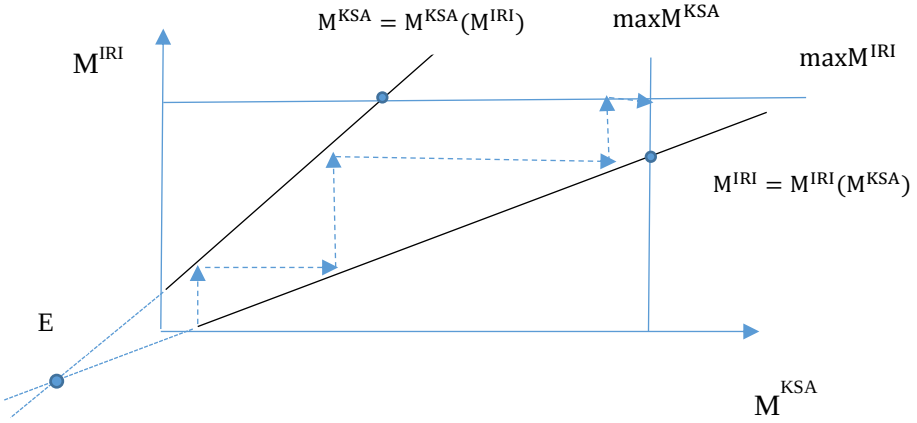
شکل (۴) رقابت تسلیحاتی بی‌ثبات بین ایران و عربستان (۲۰۴۰-۲۰۱۸)

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

در شکل (۴)، وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ نشان داده شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد نقطه تعادل در قسمت منفی، ایجاد می‌شود که از لحاظ حقیقی ممکن نیست. بنابراین به‌منظور بررسی وضعیت رقابت تسلیحاتی بین این دو کشور بایستی قسمت‌های منفی را حذف و بر روی قسمت مثبت و بالای نقطه تعادل متمرکز شد. بر این اساس افزایش در مخارج نظامی یکی از کشورها، سبب افزایش مخارج نظامی کشور مقابل و حرکت مارپیچی به‌سمت بالا برای افزایش مخارج نظامی هر دو کشور خواهد شد (که به‌وسیله پیکان نشان داده شده است). این نتیجه بیان‌گر وجود یک رقابت تسلیحاتی ناپایدار (بی‌ثبات) بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ خواهد بود. همان‌طور که در قسمت مبانی نظری نیز توضیح داده شد می‌توان گفت در صورتی‌که حاصل‌ضرب ضرایب فرسودگی و رنج کوچک‌تر از حاصل‌ضرب ضرایب واکنش در مدل ریچاردسون باشد، تعادل در این مدل ناپایدار است و هرگونه انحراف جزئی از تعادل، سیستم را دیگر به این تعادل باز نمی‌گرداند. طبق برآوردهای صورت‌گرفته در رابطه (۱۷)، حاصل‌ضرب ضرایب فرسودگی و رنج برابر با مقدار ۰/۰۲۶ است، که کوچک‌تر از حاصل‌ضرب ضرایب واکنش که برابر با مقدار ۰/۱۲۳ است، می‌باشد. بر این اساس نیز می‌توان گفت که رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ یک رقابت تسلیحاتی بی‌ثبات و ناپایدار خواهد بود.

در مورد این وضعیت ریچاردسون (Richardson, 1960) استدلال می‌کند که در یک رقابت تسلیحاتی ناپایدار (بی‌ثبات) محدودیت منابع اختصاص‌یافته به بخش نظامی، در هر دو کشور وجود ندارد. به این ترتیب، روند ساخت و مجهزشدن به تسلیحات ادامه می‌یابد که این امر، بستگی به ظرفیت اقتصادی دوکشور رقیب دارد. در این میان، حداکثر منابع اقتصادی اختصاص‌یافته یکی از طرفین در رقابت تسلیحاتی، زودتر به پایان خواهد رسید که موجب برتری قدرت یکی از واحدها بر دیگری می‌شود.

به این ترتیب با از بین رفتن توازن و تقارن قدرت میان دو واحد رقیب و هم‌چنین از بین رفتن محیط بازدارندگی پیشین، ممکن است جنگی بین طرفین رخ دهد. در شکل (۵) با فرض محدودیت منابع اختصاص‌یافته به بخش نظامی، پیش‌بینی رقابت تسلیحاتی بی‌ثبات بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ نشان داده شده است. در این شکل $\mathrm{maxM^{IRI}}$ حداکثر ظرفیت نظامی کشور ایران و $\mathrm{maxM^{KSA}}$ حداکثر ظرفیت نظامی کشور عربستان را نشان می‌دهد.



شکل (۵) رقابت تسلیحاتی بی‌ثبات بین ایران و عربستان (۲۰۴۰-۲۰۱۸) با فرض محدودیت منابع اختصاص‌یافته به بخش نظامی (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله آزمون و پیش‌بینی تجربی وضعیت رقابت تسلیحاتی بین ایران و عربستان و بررسی پایداری و ناپایداری این رقابت طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ بوده است. به این منظور، نخست یک تابع تقاضای مخارج نظامی برای دو کشور ایران و عربستان شبیه‌سازی و با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۶۳ و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) میزان مخارج نظامی کشورهای ایران و عربستان برای دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ پیش‌بینی شده است. سپس با استفاده از داده‌های مخارج نظامی پیش‌بینی‌شده برای دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸، سیستم معادلات مدل ریچاردسون برای هر دو کشور طی این بازه‌ی زمانی و با استفاده از روش رگرسیون هم‌جمعی کانونی (CCR) مورد برآورد قرار گرفته است. در نهایت، ضرایب برآوردی مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون و وضعیت پایداری و ناپایداری تعادل آن برای دو کشور ایران و عربستان طی دوره ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ تحلیل و بررسی شده است.

طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده مخارج نظامی در ایران و عربستان با شیب تقریباً صعودی (مثبت)، طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ افزایش می‌یابد که میزان این افزایش برای کشور عربستان قابل‌توجه‌تر خواهد بود. برآورد سیستم معادلات مدل ریچاردسون گویای وجود یک رقابت تسلیحاتی بین دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ می‌باشد؛

به‌گونه‌ای که در قبال افزایش هزینه‌های نظامی طرفین، میزان واکنش کشور عربستان در افزایش هزینه‌های نظامی بسیار بیشتر از کشور ایران خواهد بود. هم‌چنین وجود رابطه خصومت بین دو کشور ایران و عربستان طی دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۸ تأیید می‌شود. بررسی وضعیت رقابت تسلیحاتی نیز بیان‌گر وجود یک رقابت تسلیحاتی ناپایدار (بی‌ثبات) بین ایران و عربستان طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۸ خواهد بود. به این معنا که افزایش در مخارج نظامی یکی از کشورها، سبب افزایش مخارج نظامی کشور مقابل و حرکت مارپیچی به‌سمت مخارج نظامی بالاتر برای دو کشور خواهد شد. به این ترتیب، روند ساخت و مجهزشدن به تسلیحات ادامه می‌یابد که این امر، بستگی به ظرفیت اقتصادی دوکشور دارد و حتی ممکن است با از بین رفتن توازن و تقارن قدرت میان دو کشور و هم‌چنین از بین رفتن محیط بازدارندگی پیشین، جنگی بین طرفین رخ دهد.

منابع

- آرم، آرمینا. (۱۳۹۵). ایران و عربستان، رقابت بر سر نفوذ در خاورمیانه، *فصلنامه سیاست*، شماره ۹: ۸۱-۷۳.
- بهمنی، مجتبی. قاسمی‌نژاد، امین. کریمیان، علی اکبر. و آرامش، حکیمه. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی تابع تقاضای برق بخش کشاورزی با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات (PSO)، *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۶ (۲): ۱۱-۱.
- پورکاظمی، محمدحسین. (۱۳۸۶). *ریاضیات عمومی و کاربردهای آن (جلد ۱)*، تهران: نشر نی.
- قاسمی، فرهاد. و پورجم، بهاره. (۱۳۹۲). بنیان‌های نظری و مفهومی در الگوسازی مسابقه تسلیحاتی و نظم‌های منطقه‌ای، *فصلنامه راهبرد دفاعی*، شماره ۴۲: ۱۷۲-۱۳۵.
- گل‌خندان ابوالقاسم. (۱۳۹۷). تأثیر تمرکززدایی مالی بر شاخص‌های سلامت در ایران، *مجله پژوهش سلامت*، شماره۱: ۷۱-۶۳.
- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۳۹۵الف). برآورد تابع تقاضای مخارج دفاعی در ایران، *فصلنامه علوم و فنون نظامی*، شماره ۳۶: ۵۵-۲۹.
- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۳۹۵ب). تعیین‌کننده‌های قوی بار دفاعی در ایران، *دوماهنامه اطلاعات راهبردی*، شماره ۱۳۶: ۶۷-۴۹.
- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۳۹۶الف). تحلیل اقتصادسنجی فضایی از رقابت تسلیحاتی در کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس، *فصلنامه علوم و فنون نظامی*، شماره ۳۹: ۲۷-۵.

- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۳۹۶ب). سنجش وابستگی متقابل دفاع بین کشورهای منطقه خاورمیانه، *فصلنامه مطالعات خاورمیانه*، شماره ۱: ۱۱۴-۸۵.
- گل‌خندان، ابوالقاسم. (۱۳۹۶ج). تحلیل پویای رابطه منابع طبیعی و نظامی‌گری در کشورهای خاورمیانه، *فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی*، شماره ۲۲: ۳۷-۱۹.
- گل‌خندان، ابوالقاسم. و بابایی آغ اسمعیلی، مجید. (۱۳۹۵). پیش‌بینی میزان مخارج دفاعی ایران تا افق ۱۴۰۴؛ با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و PSO، *فصلنامه آینده‌پژوهی دفاعی*، شماره ۳: ۱۳۷-۱۱۳.
- Abdelfattah, Y.M., Abu-Qarn, A. & Dunne, P. (2013). The Demand for Military Spending in Egypt, *Defense and Peace Economics*, 25 (3): 231-245.
- Ando, S. (2015). Empirical Analysis of the Defense Interdependence between Japan and the United States, *Defense and Peace Economics*, 26 (2): 223-231.
- Chalikias, M. & Skordoulis, M. (2014). Implementation of Richardson's Arms Race Model in Advertising Expenditure of Two Competitive Firms, *Applied Mathematical Sciences*, 8 (81): 4013-4023.
- Deger, S. & Sen, S. (1990). *Military Security and the Economy: Defense Expenditure in India and Pakistan*, In K. H. Sandler, the Economics of Defense Spending. London and New York: Routledge.
- Dunne, P. (1995). Economic Effects of Military Expenditure in Development Countries: A Survey, *the Peace of Dividend*, Ch. 23: 439-464.
- Dunne, P., Eftychia, N. & Smith, R. (2000), Arms Race Models and Econometric Applications. The Arms Trade, Security and Conflict, Middlesex University Business School.
- Engle, R. F. & Granger, W. J. (1987).Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing, *Econometrica*, 55 (2): 251-276.
- George, J., Hou, D. & Sandler, S. (2018). Asia-Pacific Demand for Military Expenditure: Spatial Panel and SUR Estimates, doi.org/10.1080/10242694.2018.1434375.
- Hackworth, T. (2003). *India and Pakistan, a classic "Richardson" Arms Race: A Genetic Algorithmic approach*, Conference: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 1999), 13-17 July 1999, Orlando, Florida, USA.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*, Princeton University Press.
- Hartley, K. & Sandler, T. (1995). *Handbook of Defense Economics*, Vol. 1. North Holland: Amsterdam
- Hartley, T. & Russett, B. (1992). Public Opinion and the Common Defense: Who Governs Military Spending in the United States? *American Political Science Review*, 86 (4): 905-915.
- Hou, N. (2010). *Arms Race, Military Expenditure and Economic Growth in India*, A thesis submitted to University of Birmingham For the degree of

DOCTOR OF PHILOSOPHY, Department of Economics, The University of Birmingham.

- http://data.worldbank.org/indicator.
- http://www.sipri.org/research/arma ments/milex.
- Isard, W. & Anderton, C. H. (1988). *A Survey of Ann's Race Models. In W. Isard, Arms Races*, Arms Control and Conflict Analysis (pp. 17-85), Cambridge: Cambridge University Press.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization, Proc. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Piscataway, NJ, 1942-1948.
- McGuire, M. C. (1965). *Secrecy and the Arms Race*, Cambridge: MA: Harvard University Press.
- Montalvo, J. (1995). Comparing Co-integration Regression Estimators: Some Additional Monte Carlo Results, *Economic Letters*, 48: 229-334.
- Park, J. (1992). Canonical Co-integrating Regressions, *Econometrica*, 60: 119-143.
- Rattinger, H. (1975). Armaments, Detente, and Bureaucracy, *Journal of Conflict Resolution*, 19 (4): 571-595.
- Richardson, L. F. (1960). Arms and Insecurity: A Mathematical Study of Causes and Origins of War. Pittsburgh: Boxwood Press.
- Sheikh, M.R. & Aslam, M. (2015). Is There an Arms Race Between Pakistan and India? An Application of GMM, *The Lahore Journal of Economics*, 20 (2): 35-51.
- Skogstad, K. (2016). Defense Budgets in the Post-cold War Era: A Spatial Econometrics Approach, *Defense and Peace Economics*, 27 (3): 323-352.
- Wolfson, M. (1968). A Mathematical Model of the Cold War, *Peace Research Society*, 9: 107-123.
- Wolfson, M. (1990). Perestroika and the quest for peace, *Defense Economics*, 1 (3): 221232.
- Yesilyurt, M. E. & Elhorst, P. E. (2017). Impacts of Neighboring Countries on Military Expenditures: A Dynamic Spatial Panel Approach, *Journal of Peace Research*, 54 (6): 777-790.

پیوست‌ها

جدول (۱) مقایسه معیارهای اندازه‌گیری برای سه معادله خطی، نمایی و درجه دوم در الگوریتم‌های ژنتیک و PSO

نوع الگوریتم	انواع مدل	معیارهای اندازه‌گیری			
		MSE	RMSE	MAE	MAPE
ژنتیک	خطی	۲۴/۲۲۱۸	۴/۸۱۸۶	۱/۹۲۱۸	۰/۱۰۷۸
	درجه دوم	۵۵۴۱۵۹/۹۵	۱۲۱۱/۵۵۴۱	۱۲۸/۳۲۵۸	۱۶/۸۸۴۳
	نمایی	۱۲/۲۱۴۸	۳/۶۷۱۹	۲/۱۴۶۹	۰/۰۸۸۲
PSO	خطی	۵/۱۴۷۱	۱/۶۱۶۳	۰/۶۸۵۳	۰/۰۳۹۵
	درجه دوم	۱۲۶۴۱/۰۸	۱۱۰/۴۸۹۱	۸/۹۰۰۶	۲/۲۸۹۶
	نمایی	۳/۰۸۴۲	۱/۸۰۶۸	۰/۵۵۹۲	۰/۰۵۳۸

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی