فصلنامه علمی مطالعات بین‌رشته‌ای دانش‌راهبردی
سال داوزدهم، شماره ۴۸، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۶۳- ۳۹

مقاله پژوهشی: تعمیم مدل رقابت تسلیحات موشکی اینتریلیگیتور با لحاظ عامل سامانه‌های دفاع موشکی

20.1001.1.24234621.1401.12.48.2.6

سید شمس الدین حسینی [۱] *کامیار حسین خانزاده[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

چکیده

کشورها جهت صیانت از مردم، خاک، منابع و منافع اقتصاد خود توجه ویژه‌ای به امنیت خود دارند و منابع قابل‌ملاحظه‌ای را به این امر اختصاص می‌دهند. نگرانی کشورها از خدشه‌دار شدن امنیت و دفع خطر احتمالی می‌تواند به رقابت تسلیحاتی آن‌ها منجر شود. اینتریلیگیتور با استفاده از مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون تعادل دو کشور درگیر رقابت تسلیحاتی موشکی را با استفاده از توابع واکنش کشورها استخراج کرده است. با توجه به این‌که در مدل مذکور تنها دارایی موشکی کشورها لحاظ شده است، در پژوهش حاضر با اضافه کردن عامل سامانه‌های دفاع موشکی، توابع واکنش و تعادل جدید در تعداد موشک موردنیاز کشورها استخراج‌شده است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که تملک سامانه‌های دفاع موشکی توسط یکی از کشورهای درگیر رقابت تسلیحاتی، تحت تأثیر مؤلفه‌های تعداد سامانه‌های دفاع موشکی، ضریب موفقیت آن‌ها و مدت‌زمان حمله کشور مهاجم، به افزایش قطعی نیاز موشکی کشور مقابل در رقابت تسلیحاتی بین آن‌ها می‌انجامد. از طرف دیگر با توجه به تأثیرگذاری مؤلفه‌های دیگری نظیر مدت‌زمان حملات موشکی دو طرف، نسبت عملیات موفق سامانه دفاع موشکی و تعداد سامانه‌های دفاع موشکی، تعادل موشکی کشور دارنده سامانه‌های دفاع موشکی می‌تواند کاهش و یا افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد دفاع، رقابت تسلیحاتی، مخارج دفاعی، سامانه‌های دفاع موشکی

[۱] استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی تهران، ایران
[۲]*دانشجوی دکتری اقتصاد مالی دانشگاه علامه طباطبائی ، تهران، ایران ، kamyar272@gmail.com

مقدمه

امنیت یکی از ضرورت‌های اجتماعی جهت رشد و ارتقاء جامعه جهت نیل به اهداف آن می‌باشد. سازمان ملل امنیت را چنین تعریف می‌کند: اینکه کشورها هیچ‌گونه احساس خطر، حمله خارجی، فشار سیاسی یا اقتصادی نکنند و بتوانند آزادانه گسترش و توسعه خویش را تعقیب نمایند.(سجادپور اجتهادی ۱۳۸۹) به‌عبارت‌دیگر، امنیت به‌نوعی احساس روانی گفته می‌شود که در آن به خاطر مبرا بودن از ترس، وضعیت آرامش و اطمینان خاطر حاصل می‌گردد.(هندیانی ۱۳۸۶) امنیت جوامع بشری از دیرباز در معرض خطرات مختلف طبیعی و انسانی قرار داشته‌اند که برای دفع آن تمهیداتی در نظر گرفته‌اند. با شکل‌گیری کشورها و حکومت‌ها،این رفتار دفاعی حالت گسترده‌تر و پیچیده‌تری به خود گرفته و ملزومات بیشتری را شامل شده است. درواقع جوامع انسانی به دلیل خطراتی که آن را تهدید می‌کرد مخارجی را صرف تدابیر دفاعی می‌کردند که این رفتار مطابق با تهدیدها و یا فرصت‌های موجود بوده است. (باغستانی میبدی و همکاران ۱۳۹۷)

در برخی موارد تقویت قوای دفاعی یک کشور خود پیام تهدید را به سایر کشورها می‌دهد. در چنین وضعیتی سایر کشورها نیز به مقابله پرداخته و برای دفع تهدید احتمالی یا آمادگی در مقابل تهدید کشور متخاصم تجهیزات نظامی خود را تقویت می‌کنند. این امر می‌تواند یک پیام تهدیدآمیز برای کشور اول باشد و او نیز مجبور به افزایش سطح آمادگی نظامی خود شود و بدین ترتیب یک چرخه شکل می‌گیرد که بدان رقابت تسلیحاتی می‌گویند. (باغستانی میبدی و همکاران ۱۳۹۷)

در خلال جنگ سرد و رقابت تسلیحاتی موشکی و هسته‌ای دو کشور ابرقدرت ایالات‌متحده امریکا و اتحاد جماهیر شوروی سابق، نظریه بازدارندگی میان دو کشور درگیر رقابت تسلیحاتی توسعه داده شد. از دیدگاه نظریه‌پردازان بازدارندگی، نظم سیستم زمانی حفظ خواهد شد که رهبران دریابند حریفان بالقوه آن‌ها در صورت رخداد رفتار نامطلوب توان و اراده تلافی را خواهند داشت. بنابراین در پاسخ به تجاوز بالقوه استراتژیست‌ها باید با افزایش توان‌های نظامی و نشان دادن اراده تلافی تهدیدات بازدارنده را تقویت نماید. (قاسمی ۱۳۸۸)

بر اساس بنیان‌های نظری، شکل‌گیری سیستم بازدارنده مستلزم سه شرط بنیادی زیر است:

- برقراری رابطه با حریف و آگاه ساختن آن از قصد و نیت و حدود اعمال ممنوعه
- توانایی تحمیل خسارت غیرقابل‌تحمل بر دشمن و عقلانیت طرفین در محاسبه سود و هزینه احتمالی رفتارهای خود
- تهدید واقعی و باور حریف به اینکه طرف مقابل از چنین توانایی برخوردار است. (قاسمی ۱۳۸۳)

مدل ریچاردسون[1] یکی از اولین قالب‌های تحلیلی رقابت تسلیحاتی بین دو کشور می‌باشد. ریچاردسون برهمکنش کشورهای درگیر رقابت تسلیحاتی را به‌صورت یک سیستم معادلات تفاضلی مدل کرده است. این مدل بر مبنای تهدیدات مدرن عصر موشکی بناشده است اما بااین‌حال نگاهی خارجی به موضوع رقابت تسلیحاتی دارد و فرایند کسب تسلیحات توسط کشورها را نه یک تصمیم درونی فرماندهان دفاعی بلکه یک فرایند مکانیکی می‌پندارد(اینتریلیگیتور[2]۱۹۷۵). اینتریلیگیتور با لحاظ مفروضات یک سیستم بازدارنده، با استفاده از مدل ریچاردسون دستگاه معادلات جدیدی را مطرح کرده و تعادل کشورها در کسب تسلیحات موشکی را در یک مدل مبتنی بر تصمیم و توابع واکنش استخراج کرده است. نظر به این‌که در سال‌های اخیر با پیدایش فن‌آوری سامانه‌های دفاع موشکی، صحنه رقابت تسلیحاتی موشکی دچار تغییرات عمده‌ای شده است که منجر به تغییر نتایج مدل‌های نامبرده می‌باشد، پژوهش حاضر درصدد ارائه مدل رقابت تسلیحات موشکی با لحاظ عامل سامانه‌های دفاع موشکی می‌باشد.

مبانی نظری و پیشینه شناسی تحقیق

پیشینه شناسی تحقیق

مدل ریچاردسون مبنای بسیاری از تحقیق‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها جهت پارامترهای مربوط به رقابت تسلیحاتی می‌باشد. ازجمله پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های ذیل اشاره کرد.

[1] Richardson
[2] Intriligator

هالیست(۱۹۷۷) با اضافه کردن دو پارامتر دیگر تحت عنوان فن‌آوری مورد استفاده کشورها در ساخت تسلیحات و محدودیتهای اقتصادی جهت ساخت تسلیحات، به مدل اولیه ریچاردسون، دستگاه معادلات مذکور را که در حالت سنتی با دو متغیر تبیین می‌شد، به چهار متغیر افزایش داده و سپس رقابت تسلیحاتی میان کشورهای ایالات متحده امریکا و اتحاد جماهیر شوری را با استفاده از مدل مذکور در سال ۱۹۴۸ الی ۱۹۷۰ برآورد کرده است. در نتیجه تخمین مدل وی نشان داده می‌شود که اتحاد جماهیر شوروی حساسیت کمتری به تغییر در انباره تسلیحاتی ایالات متحده نشان می‌دهد و استراتژی این کشور رسیدن به سطح کلی انباره تسلیحاتی ایالات متحده امریکا می‌باشد.

دون[2] و همکاران(۲۰۰۱) در جهت برآورد رقابت تسلیحاتی ترکیه–یونان در پژوهش خود با مبنا قرار دادن مدل اولیه رقابت تسلیحاتی ریچاردسون و با استفاده از داده های سالهای ۱۹۶۰ الی ۱۹۹۶ به تخمین پارامترهای مربوطه پرداخته و نشان میدهد که میان دو کشور نامبرده رقابت تسلیحاتی معنی‌داری وجود دارد. وی در پژوهش خود نشان می‌دهد که وجود متغیر موهومی حمله نظامی ترکیه به قبرس باعث شده است که مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون از دقت بالایی برخوردار نباشد و این پدیده باعث خطایی بالا در این مدل تحلیلی گردد.

بریتو و اینتریلیگیتور (۱۹۸۵) در تبیین یک مدل نظری، به نقد فرض بنیادین شفافیت اطلاعات در نظریه رقابت تسلیحاتی می‌پردازد و با استفاده از نظریه بازی‌ها مدلی ارائه می‌دهد که در یک جهان دو کشوری و دو دوره‌ای، هر کشور در دوره اول می‌تواند ارتش بسازند و یا منابع آن را مصرف کنند، سپس در دوره دوم می‌توانند تهدید کند و یا برای تصاحب منابع کشور رقیب شروع به جنگ کند. وی در این مقاله نشان می‌دهد که در صورت وجود اطلاعات کامل از تصمیمات و وجود یک فضای شفاف، جنگی رخ نخواهد داد. در صورت حاکم بودن فضای اطلاعات ناقص، کشوری که اطلاعات ناقص دارد و از سطح ساخت تسلیحات کشور مقابل اطلاع کاملی ندارد، جهت جلوگیری از فریب خوردن از طرف مقابل، جنگ پیش‌دستانه‌ای را آغاز کند.

[1] Hollist
[2] Dunne

پیشینه نظری تحقیق

مدل‌های رقابت تسلیحاتی، یکی از اولین مدل‌های تبیین شده به زبان ریاضی در فضای علوم سیاسی می‌باشد. مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون اولین مدل معرفی شده در این زمینه می‌باشد که رقابت دو کشور در ساخت تسلیحات را تبیین می‌کند. در این مدل واکنش طرفین به ساخت تسلیحات توسط کشور مقابل، از پیش تعیین شده و با حساسیت یک ضریب ثابت در قالب ساخت تسلیحات جدید خود را نشان می‌دهد. با پیدایش نظریه بازی‌ها، واکنش دوطرف درگیر در ساخت تسلیحات نیز به مدل‌ها اضافه گشته و بازی معمای زندانی، مورد استفاده پژوهشگران در زمینه مدل‌های رقابت تسلیحاتی گشت. ایتریلیگیتور با استفاده از نظریه بازیها، تعمیمی از مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون ارائه می‌دهد که در آن، با استفاده از انتخاب بازیکنان تعادل در ساخت تسلیحات در یک جنگ پویای دوکشوری و دومرحله‌ای را استخراج می‌کند. پس از پایان جنگ سرد و کاهش محسوس تحقیقات نظری در باب رقابت تسلیحاتی، مدل پاول[1] با استفاده از نظریه بازیها و معرفی مطلوبیت های بازیکنان در پیروزی و شکست پس از یک جنگ فرضی، ارائه گشته است که در آن با لحاظ فروضی متفاوت، تعادل در ساخت تسلیحات دو کشور معرفی می‌گردد. نقطه ضعف مدل پاول، عدم مدلسازی انباشت تسلیحات میباشد و بدین صورت این مدل برای جنگ های مدرن کاربرد ندارد.(فرون[2] ۲۰۱۱) مشروح مدلهای مذکور به صورت زیر می‌باشد.

۱–مدل ریچاردسون

ریچاردسون از سال ۱۹۴۰ بر توضیح مدل جنگ بر پایه ریاضیات مشغول بوده است. نتایج پژوهش‌های وی و در سال ۱۹۶۰منتشر شده است و به نام "مدل رقابت تسلیحاتی ریچاردسون" شهرت دارد. یکی از نتایج پژوهش‌های وی سیستم معادلات تفاضلی می‌باشد که رقابت تسلیحاتی را مدل می‌کند. وی معادلات تفاضلی مدل رقابت تسلیحاتی را به‌صورت زیر معرفی می‌کند.

$$\frac{dx}{dt} = ay - mx + r \quad و \quad \frac{dy}{dt} = bx - ny + s$$

رابطه شماره ۱: سیستم ۲ کشوری رقابت تسلیحاتی ریچاردسون

[1] Powell
[2] Fearon

در رابطه شماره ۱،پارامتر x بیانگر میزان تسلیحات کشور اول در زمان t می‌باشد. $\frac{dx}{dt}$ بیانگر تغییراتی است که در زمان t در انباره تسلیحاتی کشور اول رخ می‌دهد. y بیانگر انباره تسلیحاتی کشور دوم است که به دلیل تأثیر پذیرفتن دو کشور از قدرت دفاعی یکدیگر، با ضریب a بر انباشت تسلیحات در کشور اول تأثیر می‌گذارد. در ادبیات موجود، از a و b به‌عنوان عامل "ترس" و "عکس‌العمل" یاد می‌شود. همچنین عوامل m و n بیانگر استهلاک تسلیحات در دوره t می‌باشد که به عوامل "محدودیت"[3] یا "استهلاک"[4] معروف است. درنهایت عوامل r و s میزان مصرف ثابت از تسلیحات در هرسال است که بانام "باقی‌مانده"[5] شناخته می‌شود. برای این‌که سیستم معادلات تفاضلی ریچاردسون به تعادل ختم شود می‌بایست تغییرات تسلیحات در نقطه تعادل صفر باشد و به‌عبارت‌دیگر $\frac{dx}{dt}$ و $\frac{dy}{dt}$ برابر با صفر شوند. در این شرایط معادلات به‌صورت زیر حل می‌گردند که با جایگذاری در رابطه شماره ۱ تعادل x و y را به‌صورت زیر استخراج کرد.

$$x^* = \frac{rn + as}{mn - ab} \quad و \quad y^* = \frac{sm + br}{mn - ab}$$

رابطه شماره ۲: تعادل در مدل دو کشوری ریچاردسون

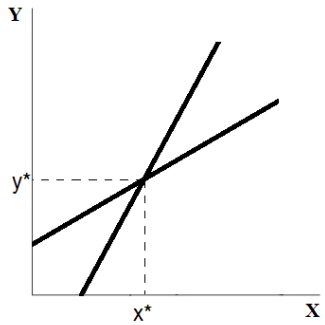
با توجه به مخرج تعادل‌های سیستم معادلات تفاضلی، می‌بایست $mn > ab$ بوده باشد تا نقطه‌ای به نام تعادل، موجودیت پیدا کند و این عبارت بدین معنی است که جهت وجود نقطه تعادل در رقابت تسلیحاتی دو کشور، باید فرسودگی و هزینه‌های کلی رقابت تسلیحاتی و جنگ از هزینه‌های مربوط به تسلیح کردن ارتش‌ها با تأثیری که از قدرت دفاعی رقیب می‌پذیرد، بیشتر باشد.

با تغییر رابطه شماره ۱ و نوشتن جفت معادلات بر اساس عامل x، دو رابطه خطی حاصل می‌گردد که در صورت داشتن نقطه تعادل که شرط آن ذکر شد، دارای نقطه تلاقی به شکل زیر می‌باشد که x^* و y^* تعادل حاصل از تلاقی توابع واکنش کشور x و y می‌باشند.

[1] Fear
[2] Reaction
[3] Restraint
[4] Fatigue
[5] Leftovers

خطی شده معادله اول از رابطه ۱ : $y = \frac{mx-r}{a}$ و خطی شده معادله دوم از رابطه ۱ : $y = \frac{bx+s}{n}$

رابطه شماره ۳: خطی سازی رابطه شماره ۱



شکل شماره ۱: بیان نموداری نقطه تعادل سیستم تفاضلی ریچاردسون

۲–مدل اینتریلیگیتور

اینتریلیگیتور (۱۹۷۵) در بحبوحه جنگ سرد موشکی–اتمی میان دو ابر قدرت وقت، ایالات متحده امریکا و اتحاد جماهیر شوروی مدل رقابت تسلیحاتی خود را توسعه داده است. وی پارامترهای مرتبط با تعادل ریچاردسون را بازتعریف کرده و تعادل را بر اساس آن بازنویسی می‌کند.

$$\dot{M}_A = a_1 M_B - a_2 M_A + a_3 \quad و \quad \dot{M}_B = b_1 M_A - b_2 M_B + b_3$$

$$\dot{M}_A = \dot{M}_B = 0$$

$$M_A = a_1' M_B + a_3' \quad \text{به‌طوری‌که:} \quad a_3' = \frac{a_3}{a_2} \quad و \quad a_1' = \frac{a_1}{a_2}$$

$$M_B = b_1' M_A + b_3' \quad \text{به‌طوری‌که:} \quad b_3' = \frac{b_3}{b_2} \quad و \quad b_1' = \frac{b_1}{b_2}$$

$$M_A^E = \frac{a_1' b_3' + a_3'}{1 - a_1' b_1'} \quad و \quad M_B^E = \frac{a_3' b_1' + b_3'}{1 - a_1' b_1'}$$

رابطه شماره ۴: تعادل ریچاردسون در معادلات اینتریلیگیتور

در ادامه وی به تبیین یک مدل پویا از جنگ موشکی می‌پردازد. در این مدل فرض می‌شود شعله‌های جنگ میان دو کشور افروخته‌شده و تنها اسلحه موجود در دست این کشورها موشک می‌باشد. معادلات مدل‌سازی جنگ موشکی ارائه‌شده به‌صورت ذیل می‌باشد.

$$\dot{M}_A = -\alpha M_A - \beta' \beta M_B f_B \qquad M_A(0) = M_A^0$$

$$\dot{M}_B = -\beta M_B - \alpha\alpha' M_A {f_A}' \qquad M_B(0) = M_B^0$$
$$\dot{C_A} = (1-\beta')\beta M_B v_B \qquad C_A(0) = 0$$
$$\dot{C_B} = (1-\alpha')\alpha M_A v_A \qquad C_B(0) = 0$$

رابطه شماره ۵: مدل جنگ موشکی اینتریلیگیتور

در مدل‌بالا α ضریب شلیک موشک‌های کشور A می‌باشد و از انباره زرادخانه کشور A به میزان αM_A موشک کاسته می‌شود. از طرف دیگر کشور B ،نسبت β' از موشک‌هایی که می‌خواهد شلیک کند را به هدف قرار دادن موشک‌های کشور A را اختصاص می‌دهد. f_B نسبت موفقیت این‌گونه شلیک‌های کشور B می‌باشد. با فرض این‌که از ابتدا نیز نسبت β از انباره موشک‌های خود را به جنگ با کشور A اختصاص بدهد، خسارتی که به انباره موشک‌های کشور A وارد می‌شود برابر $\beta M_B f_B \beta'$ می‌شود. از طرف دیگر $\dot{C_A}$ خسارتی است که به کشور A وارد می‌شود. با توجه به این‌که نسبت $\beta(1-\beta')$ از موشک‌های کشور B به هدف قرار دادن تأسیسات و شهرها اختصاص‌یافته است و اگر فرض شود نرخ تخریب موشک‌های کشور B در برخورد با تأسیسات و شهرهای کشور A ، v_B باشد، خسارت کشور A در این مرحله جنگ $(1-\beta')\beta M_B v_B$ برآورد می‌گردد.

در مدل اینتریلیگیتور ابتدا فرض می‌شود که هر دو کشور صرفاً به دنبال بازدارندگی هستند و قصدی برای حمله ندارند. ازاین‌رو مقادیر لحاظ شده در مدل به میزان برآورد کشورها از یکدیگر می‌باشد. هر کشور دارای انباره تسلیحات موشکی به میزان M_A و M_B می‌باشد. تغییرات انباره موشکی را نیز با $\dot{M}$ نشان می‌دهد. هر موشک شلیک‌شده می‌تواند با ۲ هدف روانه شده باشد. نوع هدف اول شهرهای کشور رقیب است و نوع هدف دوم پایگاه‌های موشکی کشور رقیب است. با فرض درگیری کشور A و B تغییر انباره موشکی دو کشور به‌صورت معادلات زیر می‌باشد.

$$\dot{M}_A = -\alpha M_A - \beta'\beta M_B f_B \text{ و } \quad M_A(0) = M_A^0$$
$$\dot{M}_B = -\beta M_B - \alpha'\alpha M_A f_A \text{ و } \quad M_B(0) = M_B^0$$

رابطه شماره ۶: تغییرات موشک‌های دو کشور در مدل جنگ موشکی

در رابطه شماره ۶، α ضریب شلیک موشک از انباره موشک کشور A و β نیز ضریب شلیک

موشک کشور B می‌باشد. α' ضریب موشک‌هایی از کشور A است که از کل موشک‌های شلیک‌شده، به سمت پایگاه موشک‌های کشور B روانه شده است. بدیهی است که نسبت $(1-\alpha')$ از موشک‌های شلیک‌شده کشور A نیز به سمت شهرها و زیرساخت‌های کشور B روانه می‌شود. β و $(1-\beta')$ نیز مفهوم مشابهی برای کشور B دارد. f_A میزان تعداد تخریب موشکی است که از پایگاه کشور A شلیک‌شده و به پایگاه‌های موشکی کشور B اصابت کرده است. f_B نیز مفهوم مشابهی برای کشور B دارد.

f_A و f_B نیز خود تابعی از قدرت تخریب موشک‌ها(W)، آسیب‌پذیری پایگاه‌های موشک‌های کشور رقیب (K) (اندازه و بزرگی پایگاه‌های موشکی)، ضریب خطا و یا نقطه زنی موشک‌ها (I) و ضریب ثابتی با عنوان ضریب موفقیت فنی عملیات موشک‌ها می‌باشد (γ) که می‌توان آن را به‌صورت زیر نشان داد.

$$f_A = \gamma_A \frac{W_A^{2/3} K_B^2}{I_A^2} \quad و \quad f_B = \gamma_B \frac{W_B^{2/3} K_A^2}{I_B^2}$$

رابطه شماره ۷: پارامتر تخریب موشک‌ها

هر یک از موشک‌های شلیک‌شده به سمت پایگاه‌های موشکی رقیب صرفاً بخشی از انباره موشکی رقیب را تخریب می‌کند ولی درصورتی‌که موشک به سمت شهرها و تأسیسات سرمایه‌ای کشور رقیب روانه شود، خسارتی به کشور رقیب وارد می‌کند که در رابطه زیر اثر آن تبیین می‌شود.

$$\dot{C}_A = (1-\beta')\beta M_B v_B \text{ و } C_A(0) = 0$$
$$\dot{C}_B = (1-\alpha')\alpha M_A v_A \text{ و } C_B(0) = 0$$

رابطه شماره ۸: برآورد خسارات در مدل جنگ موشکی

در رابطه شماره ۸، ازیک‌طرف $\dot{C}$ به معنای خسارتی است که موشک‌های شلیک‌شده کشور رقیب با اصابت به شهرها وارد می‌سازد و از طرف دیگر v به معنای تخریبی است که می‌تواند هر موشک به شهر کشور رقیب وارد سازد. با توجه به مدل اولیه جنگ موشکی، در این مرحله رویکردی خاص نسبت به جنگ موشکی تبیین می‌شود که به آن ضربه اول میگویند. در این رویکرد به دنبال تعادل در جنگ‌های ضربتی و بسیار کوتاه‌مدت هستیم. بدین‌صورت که ابتدا یک کشور (بدون این‌که از

کلیت مسئله کم شود فرض می‌شود کشور A حمله‌کننده می‌باشد) به کشور رقیب خود حمله‌ای پیشدستانه صورت می‌دهد. مدت‌زمانی که این حمله پیشدستانه طول می‌کشد θ دقیقه می‌باشد و فقط پایگاه‌های موشکی کشور رقیب را هدف قرار می‌دهد که بدین معنی است که $\alpha' = 1$ می‌باشد. ضریب استفاده از موشک‌های کشور A را $\alpha = \bar{\alpha}$ در نظر می‌گیریم. ازاین‌جهت انباره موشک‌های کشور A با نرخ $\bar{\alpha}$ در هر دقیقه کاهش پیدا می‌کند.در این دقایق اولیه حمله کشور B آمادگی لازم جهت پاسخگویی نداشته و غافلگیر شده است و هیچ پاسخی به حملات کشور A نمی‌دهد و موشک‌های کشور A برخی از موشک‌های کشور B را در پایگاه‌های موشکی کشور B نابود می‌کند. مقدار انباره موشک‌های دو کشور پس از پایان حملات کشور A در رابطه زیر نشان داده‌شده است.

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

رابطه شماره ۹: تعداد موشک‌های باقی‌مانده دو کشور در لحظه θ

پس از گذشت حمله پیشدستانه، کشور B درصدد پاسخگویی و انتقام برمی‌آید و فقط شهرهای کشور A را به مدت φ دقیقه هدف قرار می‌دهد. اگر توان پاسخگویی کشور B، $\beta = \bar{\beta}$ فرض شود و با توجه به این‌که همه موشک‌های شلیک‌شده کشور B به شهرها شلیک می‌شود $\beta' = 0$ فرض شود، با جایگذاری رابطه شماره ۹ در معادله خسارت کشور A آورده شده در رابطه شماره ۵، خسارت کشور A در پایان دوره پاسخ کشور B ویا به‌عبارت‌دیگر پس از گذشت $\theta + \varphi$ دقیقه از شروع جنگ موشکی به‌صورت زیر است.

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

معادله شماره ۱۰: خسارت کشور A در پایان جنگ

حال برای این‌که کشور B دارای حداقل توان موشکی جهت پاسخ به تجاوز کشور A باشد می‌بایست پس از حمله پیشدستانه کشور A و نابودی بخشی از موشک‌هایش، به‌اندازه کافی موشک داشته باشد که در پاسخ خسارتی به کشور A وارد سازد که این مقدار خسارت به‌قدری برای این کشور دردناک باشد که کشور A از عواقب این خسارت از همان ابتدا به کشور B حمله نکند. با توجه به توضیحات فوق اگر استراتژی هر دو کشور دفاع باشد و هیچ کشوری قصد حمله نداشته باشد، مهم برآورد کشورها از خسارت قابل‌تحمل کشور دیگر می‌باشد و اگر برآورد آستانه قابل‌تحمل

خسارات برای کشور A را ازنظر کشور B، به میزان $\bar{C}_A$ در نظر بگیریم، آنگاه حداقل موشک‌های موردنیاز کشور B برای بازدارندگی برابر است با موشک‌های نابودشده در حمله پیشدستانه کشور A و موشک‌های موردنیاز برای مورد هدف قرار دادن شهرهای کشور A که از رابطه شماره ۱۰ استخراج می‌گردد. این عبارت را به‌صورت رابطه زیر می‌توان نشان داد.

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

رابطه شماره ۱۱: تعداد موشک‌های کشور B در لحظه θ

رابطه شماره ۹ نشان‌دهنده رابطه‌ای خطی است میان حداقل موشک‌های موردنیاز کشور B جهت بازدارندگی که به‌صورت معادله خطی بر اساس تعداد موشک‌های کشور A به‌دست‌آمده است. با مقایسه رابطه شماره ۱۱ با معادلات توابع پاسخ مدل ریچاردسون می‌توان شیب و عرض از مبدأ معادله خطی بالا را به b_1' و b_3' نسبت داد. ازاین‌جهت این دو مقدار را به‌صورت زیر معادل می‌گردد.

$$b_1' = f_A[1-\exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]M_A \quad و \quad b_3' = \frac{\bar{C}_A}{v_B(1-\exp(-\bar{\beta}\varphi_B)}$$

رابطه شماره ۱۲: تعیین پارامترهای مدل ریچاردسون

حال اگر کشور B کشور متجاوز باشد و کشور A در پاسخ به تجاوز کشور B پاسخ دهد تعداد موشک‌های موردنیاز کشور A برای بازدارندگی مشابه رابطه شماره ۱۱ به‌صورت زیر به دست می‌آید.

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

رابطه شماره ۱۳: تعداد موشک‌های کشور A در لحظه θ

و اینجا می‌توان α_1' و α_3' را نیز به‌صورت زیر مشابه رابطه شماره ۱۲ بازنویسی کرد.

$$\alpha_1' = f_B[1-\exp(-\bar{\beta}\theta_B)]M_B \quad و \quad \alpha_3' = \frac{\bar{C}_B}{v_A(1-\exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)}$$

رابطه شماره ۱۴: تعیین پارامترهای مدل ریچاردسون

درنهایت بنا بر پاسخ دستگاه معادلات ریچاردسون که از تلاقی دو تابع پاسخ به دست می‌آمد درصورتی‌که دو معادله خطی روابط شماره ۱۱ و ۱۳ تلاقی داده شود، تعادل در نقطه با مختصات

مندرج در رابطه ذیل به دست می‌آید.

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

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

رابطه شماره ۱۵: تعادل در مدل ریچاردسون

اینک با تغییر فرض این‌که هر دو کشور به دنبال بازدارندگی هستند، فرض می‌شود که هر دو کشور به دنبال حمله هستند و در هر موقعیت که توانش را داشته باشند که توان دفاعی کشور رقیب را به نحوی کاهش دهند که توان پاسخ‌گویی با خسارات دردناک برای کشورشان را نداشته باشد، دریغ نکرده و حمله را آغاز می‌کنند. اگر $\hat{C}_A$ حداکثر خساراتی در نظر گرفته شود که خود کشور A می‌تواند در پی خرابی حملات کشور B تحمل کند، می‌توان دو معادله خطی روابط شماره ۱۳ و ۱۱ را با جابجایی و همچنین جایگزین کردن مقادیر $\bar{C}_A$ و $\bar{C}_B$ با $\hat{C}_A$ و $\hat{C}_B$ بازنویسی کرد. می‌توان استدلال کرد که $\bar{C}_A$ از $\hat{C}_A$ بزرگ‌تر است زیرا کشورها مایل هستند در برآورد حمله دیگران به خود کمترین خسارت را تحمل کنند ولی معمولاً اگر در بازنویسی رابطه شماره ۱۱، M_A را تابعی خطی از M_B بگیریم، حداقل موشک‌های موردنیاز کشور A برای یک تجاوز موفقیت‌آمیزی استخراج می‌شود که پس از حمله، انباره تسلیحات موشکی کشور B به‌قدری کاهش پیدا می‌کند که توان پاسخگویی مناسب و دردناک به کشور A را ندارد.

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

رابطه شماره ۱۶: بازنویسی رابطه شماره ۱۱ در شرایط تهاجمی بودن کشورها

به همین صورت درصورتی‌که در معادله شماره ۱۱ M_B تابعی از M_A باشد:

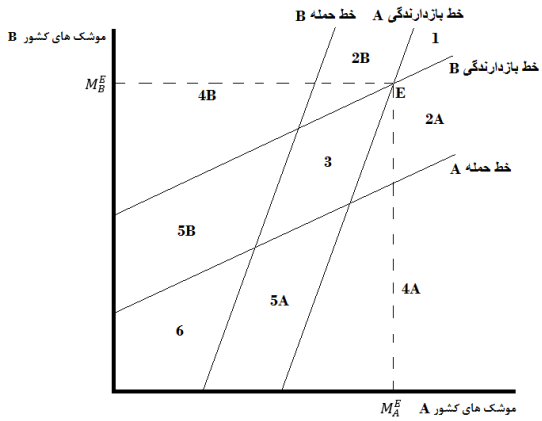
$$M_B = \left\{\frac{1}{f_B[1-\exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}\right\}M_A - \left\{\frac{\hat{C}_B}{v_A(1-\exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)f_A[1-\exp(-\bar{\beta}\theta_B)]}\right\}$$

معادله شماره ۱۷: بازنویسی معادله ۱۳ در شرایط تهاجمی بودن کشورها

درصورتی‌که روابط شماره ۱۱ و ۱۳ و ۱۶ و ۱۷ در یک صفحه رسم شود، فضای دوبعدی موجودی موشک‌های دو کشور به ۹ ناحیه تقسیم می‌شود که در شکل نمایش داده‌شده است. باید توجه داشت که برآورد دیگر کشورها از خسارت قابل‌تحمل یک کشور اصولاً بیشتر از خسارت قابل‌تحمل در نظر خود آن کشور می‌باشد یا به‌عبارت‌دیگر تا وقتی‌که یک کشور موردحمله واقع نشده است، جنگ را یک امر بسیار بد و عواقب آن را وحشتناک‌تر می‌داند ولی وقتی‌که جنگ رخ داد و کشور خود را در وسط یک موقعیت جنگی یافت، آنگاه خسارات ازلحاظ روانی کم‌اهمیت‌تر از قبل از وقوع جنگ خود را نشان می‌دهد. ازاین‌جهت به‌صورت روانی معادله زیر حاصل می‌گردد.

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

رابطه شماره ۱۸: رابطه برآورد خسارت قابل‌تحمل برآورد شده توسط کشورها



شکل شماره ۲: واکنش بازدارندگی و حمله دو کشور درگیر رقابت تسلیحاتی

اگر یک کشور بیش از مقدار نشان داده‌شده در خط بازدارندگی موشک در اختیار داشته باشد می‌تواند اطمینان داشته باشد که در صورت موردحمله قرار گرفتن می‌تواند پاسخ مناسبی به این اقدام نشان دهد در این صورت می‌تواند مطمئن باشد به وی حمله نمی‌شود. همچنین اگر یک کشور بیش از مقدار نشان داده‌شده در معادله خط حمله‌اش موشک در اختیار داشته باشد می‌تواند حمله را شروع کرده و مطمئن باشد که پس از حمله وی، انباره موشک‌های کشور رقیب به‌قدری کم است که

نمی‌تواند در ضربت دوم یا زمان پاسخ، خسارت دردناکی وارد سازد.

روش‌شناسی تحقیق

مدل اینتریلیگیتور مبتنی بر دستگاه معادلات ریچاردسون و با تبیین دقیق‌تر سازوکار جنگ موشکی توسعه‌یافته است. این مدل مبتنی بر برآورد مجدد توابع واکنش با جزئیات بیشتر و درنهایت استخراج تعادل حجم تسلیحات موردنیاز طرفین بناشده است. جهت توسعه مدل مذکور در نظر است ابتدا پارامترهای جدید اثرگذار که در مدل پایه دیده نشده است معرفی گردد و سپس با تغییر عبارت‌های بنیادین مدل اولیه، به‌طوری‌که فرمول‌ها بازتاب‌دهنده چگونگی اثرگذاری پارامتر جدید باشد، توابع واکنش جدید مطابق با فروض جدید حاصل گردد و بدین‌جهت تعادل ثانویه استخراج می‌شود. در تحقیق حاضر، با ساخت روابط به‌روز شده، مدل تعمیم‌یافته حاصل گشته و تعادل آن بررسی می‌گردد که با حاصل گشتن توابع واکنش جدید و تعادل جدید می‌توان اثر وجود پارامتر جدید بر میزان تغییرات تسلیحات موشکی دو طرف مناقشه را با مدل پایه مقایسه کرد و نشان داد وجود پارامتر جدید تا چه میزان می‌تواند به سود یا زیان کشورها منجر شود.

یافته‌ها و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

الف: تعمیم مدل رقابت تسلیحاتی با لحاظ سامانه‌های دفاع موشکی

یکی از جدیدترین تجهیزاتی که در دفاع موشکی مورداستفاده قرار می‌گیرد، سامانه‌های دفاع موشکی می‌باشد. در زمان نگارش مقالات اینتریلیگیتور، سامانه‌های دفاع موشکی چه در بعد رادار و تشخیص حملات در شرف انجام و چه در بعد موفقیت در عملیات انهدام اجسام پرنده تهدیدآمیز به‌اندازه امروز موفق و مطرح نبودند. در سال‌های اخیر با پیشرفت صنعت الکترونیک چه در بخش رادار و شناسایی پرنده‌های با سطح مقطع راداری کم و چه در صنعت ساخت موشک، کشورهایی ازجمله جمهوری اسلامی ایران به فنّاوری ساخت سامانه‌های دفاع موشکی دست‌یافته‌اند و همچنین کشورهایی که به فنّاوری ساخت آن دسترسی ندارند، با توجه به اهمیت این تجهیزات در تأمین امنیت هوایی، اقدام به خرید این سامانه‌ها از کشورهای پیشرو در صنایع دفاعی(ازجمله روسیه و ایالات‌متحده امریکا) کرده‌اند. بر این اساس ضروری است مدل‌های رقابت تسلیحاتی ازجمله مدل رقابت موشکی اینتریلیگیتور بازبینی‌شده و بنا به فروض حال حاضر به‌روزرسانی شوند. ازاین‌جهت در ادامه با معرفی فروض و معادلات جدید، مدل رقابت تسلیحاتی اینتریلیگیتور را از نو بازنویسی

کرده و نتایج معادلات جدید تفسیر می‌گردد.

در مدل جدید فرض می‌شود علاوه بر داشتن انباره موشکی، هر کشور دارای تعدادی لانچر موشک‌انداز در سامانه‌های دفاعی خود می‌باشد. با توجه به این‌که مدل اینتریلیگیتور صرفاً حمله اول(حمله برق‌آسایی که سریع پایان می‌پذیرد) و حمله دوم(پاسخ تلافی کشور موردتهاجم به حمله اول) را مدل کرده است، فرض می‌شود که لانچرهای سامانه‌های دفاع موشکی هر کشور در زمان حملات فقط یک‌بار قابلیت پرتاب موشک را دارند. به‌عبارت‌دیگر ازآنجاکه این حملات برق‌آسا و لحظه‌ای می‌باشند، هر لانچر سامانه دفاع موشکی پس از پرتاب موشک، زمانی نیاز دارد که دوباره تسلیح شود و آماده پرتاب موشک بعدی شود، زمان انجام عملیات ضربه اول و دوم به‌قدری کوتاه می‌باشد که زمانی برای تسلیح دوباره و شلیک دوم لانچرهای سامانه دفاع موشکی باقی نمی‌ماند. ازاین‌جهت ظرفیت جلوگیری از حملات هوایی به تعداد لانچرهای سامانه دفاع موشکی محدود می‌باشد. همچنین فرض می‌شود همانند موشک‌های شلیک‌شده کشورها، موشک‌های سامانه‌های دفاع موشکی نیز دارای ضریب ثابتی در موفقیت در عملیات می‌باشد. و درنهایت هر موشک شلیک‌شده توسط سامانه دفاع موشکی با یک نسبت ثابتی می‌تواند پرنده‌های کشور مقابل اعم از موشک و هواپیما را مورد اصابت قرار دهند. ازاین‌رو اگر g_A ضریب تخریب موشک‌های سامانه دفاع موشکی از موشک‌های شلیک‌شده توسط کشور مقابل باشد، آن را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد.

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

معادله شماره ۱۹: ضریب موفقیت رهگیری و انهدام موشک‌های سامانه دفاع موشکی

در عبارت ذکرشده W' عبارت است از قدرت انفجاری موشک‌های سامانه‌های دفاعی، K اندازه موشک‌های کشور مقابل است که به‌نوعی بیانگر آسیب‌پذیری در برابر موج انفجاری است و همچنین I' بیانگر دقت موشک‌های سامانه‌های دفاعی در نزدیک شدن و منفجرشدن در نزدیکی موشک شلیک‌شده کشور رقیب می‌باشد. μ' بیانگر ضریب عملیات موفق موشک‌های سامانه‌های دفاعی می‌باشد. ضریب موفقیت تخریب موشک‌ها در تخریب لانچرهای سامانه‌های دفاع موشکی نیز با h_A

نشان داده می‌شود و برابر است با:

$$h_A = \mu_A \frac{W_A^{2/3} K'^2_B}{I_A^2}$$

معادله شماره ۲۰: ضریب موفقیت موشک‌ها در انهدام لانچرهای سامانه دفاع موشکی

در عبارت بالا K' اندازه لانچرهای موشک‌انداز سامانه‌های دفاعی می‌باشد. مدل جنگ بدین‌صورت است که با فرض این‌که هر دو کشور رویکرد پیشگیرانه در جنگ داشته باشند، ابتدا کشور A تعدادی موشک روانه کشور Bمی‌کند. ضریب پرتاب موشک از انباره موشک به α می‌باشد. به میزان α_1 از این موشک‌ها به پایگاه‌های موشکی کشور رقیب شلیک می‌شود و به میزان α_2 از کل موشک‌های شلیک‌شده به‌منظور نابودی سامانه‌های موشکی شلیک می‌گردد. طبیعتاً باقی موشک‌های شلیک‌شده که برابر میزان $1 - \alpha_1 - \alpha_2$ از کل موشک‌ها است، به سمت شهر و زیرساخت‌ها و تأسیسات صنعتی روانه می‌شود. اگر به همین صورت کشور B نیز کشور A را مورد هدف قرار دهد، تعدادی از لانچرهای سامانه دفاع موشکی کشورها مورد اصابت قرار می‌گیرد. اگر لانچرهای دو کشور با نماد L_A و L_B نشان داده شود، کاهش لانچرهایی که مورد اصابت موشک‌های کشور رقیب قرار می‌گیرد، بدین‌صورت می‌باشد:

$$\dot{L}_A = -\beta_2 \beta M_B h_B \quad و \quad L_A(0) = L_A^0$$
$$\dot{L}_B = -\alpha_2 \alpha M_A h_A \quad و \quad L_B(0) = L_B^0$$

معادله شماره ۲۱: نرخ کاهش لانچرهای سامانه‌های دفاع موشکی در جنگ فرضی

یک تفاوت عمده‌ای که در تعمیم مدل اولیه ایجاد می‌شود این است اندازه حمله موشکی اهمیت پیدا می‌کند. این بدین معنی است که درصورتی‌که حمله موشکی یک کشور از تعداد لانچرهای سامانه دفاع موشکی کشور رقیب کمتر باشد، سامانه دفاع موشکی به همه موشک‌های کشور متخاصم پاسخ می‌دهد و فقط تعداد اندکی از موشک‌های شلیک‌شده از تور این سامانه‌ها موفق به فرار می‌شوند. ولی اگر ابعاد حمله از تعداد لانچرها بیشتر باشد، همه لانچرها موشک‌های دفاعی را شلیک می‌کنند و تعدادی از موشک‌های شلیک‌شده را ساقط می‌کنند ولی باقی موشک‌ها بدون هیچ مزاحمتی به اهداف تعیین‌شده اعم از پایگاه‌های موشکی، سامانه‌های دفاع موشکی و شهرها و تأسیسات صنعتی

اصابت می‌کنند. ازاین‌جهت از مقدار فرمولی هر یک از دو حالت ذکرشده حداکثر گرفته می‌شود و در عبارت کلی لحاظ می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر عبارت "تابع ماکسیمم"، که در ذیل آورده شده، تعداد موشکی را نشان می‌دهد که از تور سامانه هوایی به‌سلامت عبور می‌کنند و مسیر خود را برای نابودی اهداف خود ادامه می‌دهند. بر این اساس معادلات کاهش موشک‌های کشورها و همچنین خسارات واردشده به شهرها به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{M}_A = -\alpha M_A - \beta_1 . Max[(1-g_A)\beta M_B, (1-g_A)L_A + \beta M_B - L_A]\, f_B \text{ و } M_A(0) = M_A^0$$
$$\dot{M}_B = -\beta M_B - \alpha_1 . Max[(1-g_B)\alpha M_A,\ (1-g_B)L_B + \alpha M_A - L_B] f_A \text{ و } M_B(0) = M_B^0$$
$$\dot{C}_A = \beta_3 . Max[(1-g_A)\beta M_B, (1-g_A)L_A + \beta M_B - L_A] v_B \text{ و } C_A(0) = 0$$
$$\dot{C}_B = \alpha_3 . Max[(1-g_B)\alpha M_A, (1-g_B)L_B + \alpha M_A - L_B] v_A \text{ و } C_B(0) = 0$$

رابطه شماره ۲۲: مدل جنگ تعمیم‌یافته هوایی

در جنگ فرضی حمله اول و پاسخ، با توجه به این‌که کشور حمله‌کننده درصدد گرفتن ابزار حمله از کشور رقیب خود می‌باشد، حمله‌ای صورت می‌دهد که بیشترین خسارات را به توان بالقوه آسیب‌زننده کشور رقیب وارد می‌آورد. ازاین‌جهت فرض می‌شود ابتدا کشور Aبا بیشترین توان ممکن به پایگاه‌های موشکی کشور Bحمله می‌کند. به‌عبارت‌دیگر α برابر با $\bar{\alpha}$ فرض می‌شود. همچنین از تمام موشک‌های شلیک‌شده کشور A هیچ‌کدام به سمت شهرها و تأسیسات صنعتی و همچنین سامانه‌های دفاع موشکی نمی‌باشد. این بدین معنی است که $\alpha_1 = 1$ و $\alpha_2 = 0$ می‌باشد. بر این اساس در فاز اول جنگ یا فاز حمله کشور A که در زمان صفر تا θ رخ می‌دهد، تغییرات انباره موشک‌های کشورA و B بدین شکل در می‌آید:

$$M_A(\theta_A) = M_A^0 \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)$$
$$Z_A = [1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]$$
$$M_B(\theta_A) = M_B^0 - f_A . Max[(1-g_B)Z_A M_A^0, (1-g_B)L_B + Z_A M_A^0 - L_B]$$

رابطه شماره ۲۳: تعداد موشک‌های باقی‌مانده دو کشور در لحظه θ در مدل تعمیم‌یافته

در فاز دوم جنگ کشور B درصدد پاسخگویی برآمده و هدف آن وارد آوردن بیشترین خسارت ممکن به کشور Aمی‌باشد. ازاین‌جهت این کشور نیز با تمام توان ممکن یا $\beta = \bar{\beta}$ موشک‌های خود را روانه کشور A می‌کند. جهت وارد آوردن خسارات بیشتر، از میان موشک‌های شلیک‌شده

هیچ‌کدام به سمت لانچرها و پایگاه‌های موشکی کشور A نمی‌رود و همه موشک‌ها به سمت شهرها و تأسیسات صنعتی روانه می‌شود.بر این اساس $\beta_1 = \beta_2 = 0$ فرض می‌شود.

کشور A نیز دارای سامانه دفاع موشکی است و ابعاد پاسخ کشور B دو حالت را پیش می‌آورد، حالت اول این است که تعداد لانچرهای کشور A از تعداد موشک‌های شلیک‌شده کشور B بیشتر باشد. در این صورت به ازای هر موشک شلیک‌شده کشور Bیک موشک دفاعی جهت انهدام آن شلیک می‌گردد. سامانه‌های دفاع موشکی کشور A موفق می‌گردند با نرخ g_A موشک‌های B را ساقط کنند . باقی آن‌ها از تور دفاعی عبور کرده و به سمت اهداف خود روانه می‌گردند. حالت دوم این است که موشک‌های شلیک‌شده کشور B از لانچرهای کشور A بیشتر می‌باشد که در این صورت، همه لانچرهای کشور A موشک خود را برای نابودی یکی از موشک‌های کشور B شلیک می‌کنند. از میان موشک‌های کشور B تعداد $g_A L_A$ از آن‌ها منهدم می‌گردند و باقی آن‌ها از تور دفاعی عبور می‌کنند. با این حساب تابع ماکسیمم، تعداد موشک‌های B را نشان می‌دهد که از تور دفاعی عبور می‌کند و ازاین‌جهت خسارت واردشده به کشور A بدین‌صورت برآورد می‌گردد:

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

رابطه شماره ۲۴: خسارت کشور A در پایان جنگ موشکی فرضی مدل تعمیم‌یافته

تعداد موشک‌های کشور B در لحظه θ برابر موشک‌های نابودشده در حمله کشور A و موشک‌های باقیمانده می‌باشد.

$$M_B = f_A . Max[(1-g_B)Z_A M_A, (1-g_B)L_B + Z_A M_A - L_B] + M_B(\theta_A)$$

رابطه شماره ۲۵: تعداد موشک‌های کشور B در مدل تعمیم‌یافته

با جاگذاری معادله ۲۴ در معادله ۲۵ عبارت زیر حاصل می‌گردد:

$$M_B = f_A . Max[(1-g_B)Z_A M_A, (1-g_B)L_B + Z_A M_A - L_B] + Max[\frac{\bar{C}_A}{v_B(1-g_A)Z_B}, \frac{\bar{C}_A}{v_B Z_B} + \frac{g_A L_A}{Z_B}]$$

رابطه شماره ۲۶: رابطه جاگذاری

رابطه بالا با داشتن دو تابع حداکثر کننده پیچیده است و چهار حالت جهت تحلیل دارد. این چهار حالت به این بستگی دارد که کشور A با تعداد موشک کمتر از لانچرهای دشمن حمله را آغاز می‌کند

و یا با موشک‌های بیشتری حمله را صورت می‌دهد. و همچنین کشور B با موشک‌های کمتر از لانچرهای کشور B حمله را پاسخ می‌دهد و یا با موشک‌هایی بیش از این مقدار انتقام می‌گیرد. ازاین‌جهت در راستای ساده‌سازی مسئله فرض می‌شود که هر دو کشور با توانی بیش از توان پاسخ‌گویی لانچرهای سامانه‌های دفاعی رقیب خود به یکدیگر حمله می‌کنند. با این فرض رابطه شماره ۲۶ به‌عنوان تابع عکس‌العمل کشور B و تابع عکس‌العمل کشور A به‌صورت زیر ساده می‌شود.

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

رابطه شماره ۲۷: ساده‌شده رابطه شماره ۲۶

با توجه به رابطه شماره ۲۷ و معادلات ریچارد سون پارامترهای نقطه تعادل به صورت زیر حا صل می‌گردد:

$$b_1' = f_A[1 - \exp(-\bar{\alpha}\theta_A)]$$
$$b_3' = \frac{\bar{C}_A}{v_B(1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B))} + \frac{g_A L_A}{1 - \exp(-\bar{\beta}\varphi_B)} - f_A g_B L_B$$
$$a_1' = f_B[1 - \exp(-\bar{\beta}\theta_B)]$$
$$a_3' = \frac{\bar{C}_B}{v_A(1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A))} + \frac{g_B L_B}{1 - \exp(-\bar{\alpha}\varphi_A)} - f_B g_A L_A$$

رابطه شماره ۲۸:پارامترهای معادله خطی ریچاردسون در مدل تعمیم‌یافته

نقطه تعادل مدل تعمیم‌یافته از جاگذاری رابطه شماره ۲۸ در معادله نقطه تعادل ریچاردسون به‌صورت زیر حاصل می‌گردد:

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

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

رابطه شماره ۲۹: نقطه تعادل در مدل تعمیم‌یافته

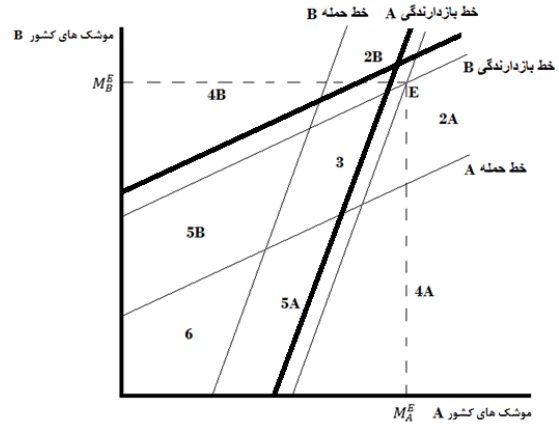
ب: تفسیر مدل تعمیم‌یافته

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در رابطه شماره ۲۷، شیب‌خط نسبت به معادله پیش از تعمیم تغییری نداشته است، شیب‌خط تحت تأثیر عوامل بنیادی قدرت، دقت و اندازه موشک‌ها و همچنین توان حمله اول و پاسخ دوم کشورها می‌باشد. عرض از مبدأ آن تحت تأثیر وجود لانچرهای دفاع موشکی تغییر کرده است. دو تغییر در این معادله ایجادشده است از یک‌جهت عبارت $\frac{g_A L_A}{Z_B}$ به عرض از مبدأ اضافه‌شده است که نشان‌دهنده تأثیر داشتن سامانه دفاعی کشور مقابل بر تعداد موشک تعادلی کشور B در مدل می‌باشد. از طرف دیگر عبارت $f_A g_B L_B$ از عرض از مبدأ خط کم شده که نشان‌دهنده میزان تأثیر مثبت بر قدرت دفاعی کشور B و نیاز کمتر به موشک جهت رسیدن به نقطه تعادل رقابت تسلیحات موشکی می‌باشد. بدیهی است که با ایجاد این تغییرات در معادله خط نقطه تعادل نیز جابجا می‌شود. در ادامه اثر وجود سامانه دفاعی برای هر کشور به‌صورت مجزا موردبررسی قرار می‌گیرد. درصورتی‌که داشتن سامانه‌های دفاع موشکی برای یکی از کشورها بررسی شود، با توجه به تقارن مسئله، می‌توان با جابجا کردن پارامترهای مربوط به دو کشور اثر متقابل برای کشور دوم نیز استنباط شود. ازاین‌جهت بدون این‌که از کلیت مسئله کم شود فرض می‌شود $L_B = 0$. پس داشتن سامانه دفاع موشکی برای کشور A و اثری که بر تعداد موشک‌های دو کشور در نقطه تعادل می‌گذارد اهمیت پیدا می‌کند. در این صورت توابع واکنش دو کشور به‌صورت زیر درمی‌آیند.

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

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

معادله شماره ۳۰: توابع واکنش دو کشور در صورت وجود سامانه دفاع موشکی برای کشور A



شکل شماره ۳: تغییرات توابع واکنش در حالت داشتن سامانه دفاعی توسط کشور A

تابع واکنش کشور B به میزان $\frac{g_A L_A}{Z_B}$ به بالا انتقال می‌یابد که نشان می‌دهد در صورت وجود سامانه‌های دفاعی کشور A، کشور B برای وارد آوردن خسارت دردناک به رقیب خود به تعداد موشک بیشتری نیاز دارد زیرا برخی از موشک‌های کشور B در تور سامانه دفاع موشکی کشور A از بین می‌رود. از طرف دیگر تابع واکنش کشور A به میزان $f_B g_A L_A$ به سمت چپ منتقل می‌شود که نشان می‌دهد باوجود سامانه‌های دفاعی، درصورتی‌که کشور B به کشور A حمله‌ور شود، برخی از موشک‌های این حمله که به سمت پایگاه‌های موشکی روانه شده‌اند در تور دفاعی نابود می‌شود. ازاین‌جهت تعداد موشک‌های سالم باقی‌مانده کشور A بیش از مقدار حالت پایه‌ای مسئله یعنی حالت بدون سامانه دفاعی خواهد بود. بر این اساس کشور A به تعداد موشک کمتری جهت وارد آوردن خسارت دردناک برای کشور B نیازمند است. درنتیجه مختصات نقطه تعادل به‌صورت زیر به دست می‌آید:

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

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

رابطه شماره ۳۱: نقطه تعادل در حالت داشتن سامانه دفاع موشکی توسط کشور A

اگر تغییری که در مدل تعمیم‌یافته نسبت به مدل اولیه حاصل شده است از معادله برون کشیده شود، تغییر مختصات نقطه تعادل حاصل می‌گردد که به میزان عبارت زیر می‌باشد.

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

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

رابطه شماره ۳۲: تغییرات نقطه تعادل در حالت داشتن سامانه دفاع موشکی توسط کشور A نسبت به حالت پایه

لازم به ذکر است که تغییرات نقطه تعادل برای دو کشور با توجه به شکل شماره ۳ و به میزان حاصل‌شده در رابطه شماره ۳۲ می‌تواند مثبت یا منفی باشد. این میزان به قدرت تخریب موشک‌ها و عملکرد سامانه‌های دفاعی و میزان زمان حمله هر کشور و نرخ پرتاب موشکشان بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

با پدیدار شدن سامانه‌های دفاع موشکی که به‌طور تأثیرگذاری توانایی رهگیری هواپیماها و موشک‌های متخاصم را دارا هستند، مدل‌های سنتی رقابت تسلیحات موشکی توانایی توضیح‌دهندگی پایین‌تری به نسبت سال‌های قبل پیداکرده‌اند. ازاین‌جهت نیاز به توسعه مدل‌های جدید با لحاظ فن‌آوری‌های نوظهور اهمیت پیدا می‌کند. در پژوهش ارائه‌شده، مدل اینتریلیگیتور به‌عنوان مدل جنگ موشکی میان دو کشور شرح داده شد. سپس با اضافه کردن فاکتور سامانه‌های دفاع موشکی معادلات جدید معرفی گشت و با بسط معادلات جدید توابع واکنش کشورها در صورت وجود سامانه‌های دفاع موشکی، تعادل‌های جدید استخراج گشت. با اضافه کردن سامانه‌های دفاع موشکی این امر که قدرت یک کشور در دفاع از خود افزایش پیدا می‌کند امری بدیهی به نظر می‌رسد اما باوجود مدل مذکور می‌توان میزان افزایش قدرت دفاعی و تعادل جدید و همچنین میزانی که کشور مقابل برای

مقابله با چنین سیستم‌هایی هزینه می‌کند قابل‌محاسبه است. بدین‌جهت بر اساس معادلات نهایی مدل تعمیم‌یافته تعداد موشک‌های موردنیاز کشوری که دارای سامانه‌های دفاع موشکی می‌باشد می‌تواند کاهش و یا افزایش پیدا کند و این تفاوت به پارامترهای دیگری نظیر مدت‌زمان حمله دو کشور به یکدیگر مرتبط است. اینطور می‌توان نتیجه گرفت که کشوری که رقیب وی دارای سامانه‌های دفاع موشکی می‌باشد، درصورتی‌که مایل به حفظ توان بازدارندگی خود می‌باشد، می‌بایست مخارج دفاعی خود را افزایش داده و به انباره موشک‌های خود افزون کند تا در تعادل بازدارندگی با تضعیف جایگاه مواجه نشود.

پیشنهادات

مدل رقابت تسلیحاتی اینتریلیگیتور در فضای جنگ سرد و مبتنی بر فروض جنگ موشکی دهه‌ها پیش بنا شده است و تغییراتی که در فضای جنگ در در سال‌های اخیر وجود آمده است می‌تواند باعث تغییر و روزآمد شدن معادله ها و تعادل آنها گردد. از جمله مواردی که می‌تواند منجر به تعمیم مدل مذکور گردد مزارع موشکی غیر قابل شناسایی، موشکهای غیرقابل ردیابی و موضوع بسیار جدید موشکهای فراصوت می‌باشد. با استناد به مقاله تحلیلی راجاگوپالان(۲۰۲۱)، با تمرکز بر تخصیص منابع مالی کشورهای ایالات‌متحده امریکا، روسیه و چین بر ساخت موشک های فراصوت، به نظر می‌رسد رقابت تسلیحات موشکی جدیدی در ابعاد جهانی در حال شکل‌گیری می‌باشد که مبنای آن سرعت بالای موشک‌ها می‌باشد که در مدل اینتریلیگیتور قابلیت بالایی جهت مدل‌سازی دارد و بدین جهت می‌تواند زمینه پژوهشی مهم و به روزی محسوب گردد. همچنین از آنجا که مدل رقابت موشکی اینتریلیگیتور با تمرکز بر جنگ موشکی از مدل اولیه ریچاردسون مشتق شده است و مدل ریچاردسون یک مدل جامع و بدون تمرکز بر موشک‌ها می‌باشد، ایجاد مدلهای مشابه در زمینه رقابت های تسلیحات دریایی و یا انواع جنگهای هوایی نظیر رقابت‌های پهپادی و جنگنده های هوایی دور از دسترس نمی‌باشد.

[1] Rajagopalan

منابع

الف– فارسی

- باغستانی میبدی، مسعود و عباسی دره بیدی، ابوالفضل و بوجار، حمیدرضا (۱۳۹۷)، ***برآورد مدل رقابت تسلیحاتی بین کشورهای منتخب منطقه غرب آسیا با تأکید بر جمهوری اسلامی ایران***، فصلنامه مطالعات مدیریت راهبردی دفاع ملی، شماره ۷، صص۴۳-۷۹
- سجادپور، سید محمدکاظم و اجتهادی، سعیده (۱۳۸۹)، ***نگرش امنیتی غرب و تهدیدات بین‌المللی پس از جنگ سرد، مطالعات موردی برنامه هسته‌ای جمهوری اسلامی ایران***، دو فصلنامه دانش سیاسی، سال ۶،شماره ۱، صص ۲۵-۵۹
- قاسمی، فرهاد (۱۳۸۸). ***الزامات تئوریک بازدارندگی منطقه‌ای جمهوری اسلامی ایران***، فصلنامه بین‌المللی روابط خارجی، شماره ۳، صص ۵۵-۸۳
- قاسمی، فرهاد (۱۳۹۰) ***پیامدهای منطقه‌ای شدن و گسترش سامانه‌های موشکی راهبردی بر بازدارندگی در نظم جهانی نوین***، فصلنامه راهبرد دفاعی،سال ۹، شماره ۳۴، صص ۱۸۱-۲۱۴
- قاسمی، فرهاد (۱۳۸۳) ***نگرش تئوریک بر مدل‌های جنگ و بازدارندگی در روابط بین‌الملل***، مجله سیاست دفاعی، سال ۱۳، شماره ۱
- هندیانی، عبدالله (۱۳۸۶). ***بررسی تحولات مفهوم امنیت در محیط امنیتی***، فصلنامه دانش انتظامی، سال ۹، شماره ۳، صص ۹-۳۰

ب– انگلیسی

- Andreoni.J, Miller. J.H (1993), ***Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoner's Dilemma: Experimental Evidence***, The Economic Journal,Vol 103, No. 418, pp. 570-585
- Brito, D. L, Intriligator, M. D. (1972), ***A Dynamic Model of an Armaments Race***,International economic review, Vol 13,issue 2,pp.279-292
- Brito, D. L, Intriligator, M. D. (1985), ***Conflict, War, and Redistribution***, American Political Science Review, Vol 79, issue 4, pp.943-957
- Dunne. P, Eftychia. N, & Smith. R (2001***), An econometric analysis of the arms race between Greece and Turkey***, In 5th

Annual Middlesex Conference on Economics and Security, Middlesex University Business School, London.

- Fearon. J, D (2011)***, Arming and Arms Races***, Paper presented at the Annual Meeting of the American Political Science Association.
- Hollist, W. L. (1977). ***An Analysis of Arms Processes in the United States and the Soviet Union***. International Studies Quarterly, 21(3), pp.503-528
- Intriligator, M. D. (1975), ***Strategic Considerations in the Richardson Model of Arms Race***, Journal of Political Economy, 83(2), pp.339-353.
- Intriligator, M. D. & Brito, D. L (1984), ***Can Ann's Races lead to the Outbreak of War?*** Journal of Conflict Resolution, Vol 28, issue 1, pp.63-84.
- Intriligator, M. D. & Brito, D. L (1976), ***Formal Models of Arms Races***, Journal of Peace Science,Vol 2, issue 1, pp.77-88
- Isard, W. & Anderton, C. H(1985), ***Arms Race Models: A Survey and Synthesis***, Conflict Management and Peace Science, Vol 8, Issue 2, pp.28-95
- Nalebuff, B. (1988). ***Minimal Nuclear Deterrence***. journal of conflict resolution, Vol 32, issue 3, pp. 411–425.
- Powell, R. M. (1993) ***Guns, Butter, and Anarchy***, American Political Science Review, Vol 87(1), pp.115–132
- Rajagopalan, R. P. (2021). ***Hypersonic Missiles: A New Arms Race***, Available at: https://thediplomat.com/2021/06/hypersonic-missiles-a-new-arms-race/
- Richardson, L. F. (1960), ***Arms and Insecurity: A Mathematical Study of Causes and Origins of War***. Pittsburgh: Boxwood Press
- Zhang, B. (2011), ***US missile defence and China's nuclear posture: changing dynamics of an offence–defence arms race***. International Affairs, Vol 87, Issue 3, pp. 555–569