دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی کامپیوتر

گزارش پروژه اول

تاب‌آوری راهبردی تحت عدم‌قطعیت

درس: نظریه بازی‌ها

استاد: دکتر سمیرا حسین‌قربان

دانشجو: ایلیا یزدانی

تابستان ۱۴۰۵

فهرست مطالب

۱ مقدمه: فهم مدل ۲

۲ تحلیل نظری ۳

۱.۲ تحلیل تصمیم ادامه یا خروج ۳

۲.۲ تحلیل هزینه مؤثر ۶

۳.۲ تحلیل باورها و اطلاعات ناقص ۷

۴.۲ تحلیل سیگنال‌دهی پرهزینه ۸

۵.۲ تحلیل تعارض اعتبار و انعطاف‌پذیری ۹

۶.۲ تحلیل ارزش خروج ۱۰

۷.۲ تحلیل تعادلی ۱۱

۸.۲ گزاره تحلیلی ۱۳

۳ پیاده‌سازی ۱۳

۱.۳ معرفی توابع اضافه‌شده به theory.py ۱۳

۲.۳ ویژگی‌های اضافه‌شده ۱۵

۳.۳ پاداش‌دهی آموزشی ۱۶

۴ تفسیر نتایج ۱۷

۵ محدودیت‌های مدل ۱۸

چکیده

این گزارش یک چارچوب نظریه بازی برای تقابل طولانی‌مدت در شرایط عدم قطعیت را بررسی می‌کند و بر پایه آن، منطق تنش بین ایران و آمریکا را توضیح می‌دهد. در این مدل، تقابل یک جنگ فرسایشی چندمرحله‌ای با اطلاعات ناقص است که در آن هر طرف، در هر مرحله و بر اساس باورش درباره تاب‌آوری طرف مقابل، تصمیم می‌گیرد ادامه دهد یا خارج شود. در گزارش، نخست اجزای مدل شرح داده می‌شود؛ سپس تصمیم ادامه یا خروج، هزینه مؤثر و ظرفیت مدیریت هزینه، به‌روزرسانی باورها، سیگنال‌دهی پرهزینه، تعارض اعتبار و انعطاف‌پذیری و ارزش پویای خروج تحلیل می‌شود؛ و در پایان، منطق تعادلی مدل، تفسیر نتایج و محدودیت‌های مدل بررسی می‌گردد. پیام اصلی گزارش این است که تداوم تقابل پرهزینه لزوماً غیرعقلانی نیست: وقتی اطلاعات ناقص است، سیگنال‌ها پرهزینه‌اند و مسیر خروجِ سیاسی در دسترس نیست، بن‌بست پرهزینه می‌تواند یک نتیجه تعادلی باشد.

۱ مقدمه: فهم مدل

در این بخش، اجزای اصلی این مدل را بررسی می‌کنیم:

- **بازیگران اصلی:** دو بازیکن در این بازی حضور دارند. ایران که با I نمایش داده می‌شود و آمریکا که با U نمایش می‌دهیم.

- **نوع خصوصی هر بازیکن:** هر بازیکن i یک نوع ساختاری خصوصی به صورت $\theta_i = (\bar{\rho}_i, \bar{m}_i)$ دارد که در آغاز بازی تعیین می‌شود و در طول بازی ثابت می‌ماند؛ $\bar{\rho}_i$ عزم پایه و $\bar{m}_i$ ظرفیت پایه مدیریت هزینه است. باور پیشین درباره نوع هر بازیکن نیز با $p_i(\theta_i)$ نمایش داده می‌شود.

- **مفهوم تاب‌آوری و تفاوت آن برای دو طرف:** تاب‌آوری با e_i^t نمایش داده می‌شود؛ متغیری پنهان و پویا که سطح تاب‌آوری بازیکن در مرحله t است و از نوع ساختاری سرچشمه می‌گیرد ($e_i^0 = e_i^0(\theta_i)$). برای ایران، تاب‌آوری یعنی جذب فشار خارجی بدون آن‌که این فشار به بی‌ثباتی داخلی تبدیل شود (مدیریت تحریم‌ها، حفظ نظم داخلی و انسجام نخبگان)؛ و برای آمریکا، یعنی تداوم فشار بر ایران بدون خستگی داخلی، انزوای دیپلماتیک، گسترش بیش‌ازحد نظامی یا تشدیدِ مهارنشدنی تنش.

- **اقدامات و سیگنال‌ها:** اقدام کامل بازیکن i در مرحله t برابر است با $a_i^t = (\sigma_i^t, d_i^t)$. مؤلفه σ_i^t بخش سیگنالیِ مشاهده‌پذیر اقدام است (وضعیت نظامی، پیام دیپلماتیک، خویشتنداری، تشدید تنش، تعهد عمومی یا عملکرد زیر فشار). تاریخ عمومی اقدامات مشاهده‌شده با h^t و مجموعه بازیگران فعال با $M(h^t)$ نمایش داده می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که بسته به تاریخ، گاهی یک بازیکن زودتر حرکت می‌کند و گاهی هر دو هم‌زمان.

- **تصمیم ادامه یا خروج:** مؤلفه $d_i^t \in \{C, E\}$ تصمیم ادامه است:
  - ادامه تقابل (C)
  - خروج/کاهش تنش/مصالحه/تغییر راهبرد (E).

  زمان توقف هر بازیکن نیز به‌صورت $\tau_i = \inf\{t : d_i^t = E\}$ تعریف می‌شود.

- **هزینه مؤثر ادامه:** هزینه جاری مؤثر ادامه تقابل برابر است با:

$$g_i(t, h^t; \theta_i, e_i^t) = \frac{c_i(t, h^t) + a_i^{aud}(t, h^t) + r_i(t, h^t)}{m_i^t}$$

که در آن c_i هزینه مادی-اقتصادی، a_i^{aud} هزینه مخاطب داخلی و r_i هزینه ریسک تشدید است؛ مخرج کسر، m_i^t، ظرفیت جاری مدیریت هزینه است که توان جذب، توزیع و مدیریت سیاسی هزینه‌های خام را می‌سنجد. هزینه مؤثر انباشته تا مرحله t نیز با $G_i(t; \cdot)$ نمایش داده می‌شود. نکته کلیدی این است که سطح یکسانی از فشار خام، بسته به ظرفیت مدیریت هزینه، هزینه مؤثر متفاوتی تولید می‌کند.

- **هزینه سیگنال‌دهی:** سیگنال‌ها پرهزینه‌اند و هزینه آن‌ها برابر است با:

$$\varphi_i(\sigma_i^s; \theta_i, e_i^s, h^s) = \varphi_i^{prod} + \varphi_i^{commit}$$

یعنی هزینه تولید و نگهد سیگنال به‌علاوه هزینه تعهد و مخاطب. سیگنال قوی‌تر پرهزینه‌تر است، اما برای بازیکنی با تاب‌آوری، عزم یا ظرفیت مدیریت بیشتر، کم‌هزینه‌تر است.

- **ارزش ادامه دادن تا عقب‌نشینی طرف مقابل:** اگر بازیکن تا خروج حریف در بازی بماند، ارزش $B_i(e_i^t, \theta_i)$ را کسب می‌کند که در تاب‌آوری جاری و عزم پایه صعودی است.

- **ارزش خروج، مصالحه یا کاهش تنش:** ارزش خروج با $X_i(t, h^t)$ نمایش داده می‌شود و پویاست، یعنی به تاریخ عمومی بستگی دارد. خروج لزوماً به معنای شکست نیست؛ می‌تواند مصالحه، آتش‌بس یا تغییر راهبرد باشد.

- **باورها و به‌روزرسانی آن‌ها:** باور پسین بازیکن j درباره نوع و تاب‌آوری جاری حریف با $\mu_j^t(\theta_i, e_i^t \mid h^t)$ نمایش داده می‌شود. چون تاب‌آوری مستقیم مشاهده نمی‌شود، هر طرف آن را از اقدامات، سیگنال‌ها و عملکرد طرف مقابل زیر فشار استنتاج می‌کند و در صورت امکان با قاعده بیز به‌روزرسانی می‌کند؛ از این رو، این تقابل نه‌فقط یک مسابقه فشار مادی، بلکه یک مسابقه تفسیر است.

در نهایت، مطلوبیت تحقق‌یافته هر بازیکن (u_i) ترکیب همین اجزاست: اگر بازیکن حریف را وادار به عقب‌نشینی کند $(\tau_i > \tau_j)$ ارزش B_i و اگر زودتر (یا هم‌زمان) خارج شود ارزش X_i را دریافت می‌کند؛ اما در هر دو حالت، هزینه‌های مؤثر انباشته G_i و هزینه‌های سیگنال‌دهی را تا لحظه توقف می‌پردازد. بنابراین تصمیم مرکزی در هر مرحله این است که آیا ارزش انتظاری ادامه از ارزش خروج بیشتر است یا نه، و تقابل تا زمانی تداوم می‌یابد که هر دو طرف ادامه را بر خروج ترجیح دهند.

۲ تحلیل نظری

۱.۲ تحلیل تصمیم ادامه یا خروج

در این بخش نشان می‌دهیم که چگونه منطق بازی تقابل فرسایشی [1] از مدل داده‌شده استخراج می‌شود. در هر مرحله t، هر بازیکن فعال $i \in M(h^t)$ پس از مشاهده تاریخ عمومی h^t، با دو گزینه کلی روبه‌روست:

[1] Attrition of War

- **ادامه تقابل:** $d_i^t = C$ ؛ یعنی ماندن در تقابل و پذیرفتن هزینه‌های مؤثر و سیگنال‌دهی در آن مرحله؛
- **خروج:** $d_i^t = E$ ؛ یعنی بسته به تاریخ، خروج، کاهش تنش، مصالحه، آتش‌بس یا تغییر راهبرد، که ارزش خروج $X_i(t, h^t)$ را تحقق می‌بخشد.

چون بازی چندمرحله‌ای با اقدامات مشاهده‌شده و اطلاعات ناقص است، این تصمیم باید عقلانی باشد: پس از هر تاریخ عمومی، انتخاب بازیکن باید با توجه به باورش درباره نوع و تاب‌آوری حریف، یعنی $\mu_i^t(\theta_j, e_j^t \mid h^t)$، بهینه باشد.

شرط عقلانیت برای ادامه

فرض کنید بازیکن i در مرحله t ماندن در بازی را در نظر می‌گیرد. پیامد نهایی او به مقایسه زمان توقف خودش $\tau_i = \inf\{t : d_i^t = E\}$ با زمان توقف حریف τ_j بستگی دارد: اگر $\tau_i > \tau_j$، ارزش عقب‌نشینی حریف $B_i(e_i^{\tau_j}, \theta_i)$ را می‌گیرد و اگر $\tau_i \leq \tau_j$، ارزش خروج $X_i(\tau_i, h^{\tau_i})$ را؛ و در هر دو حالت، هزینه‌های مؤثر و سیگنال‌دهی انباشته تا پایان بازی از آن کسر می‌شود. بنابراین ارزش مورد انتظار ادامه برابر است با:

$$
\begin{aligned}
V_i^C(t, h^t) = \mathbb{E}\Big[& \\
& B_i(e_i^{\tau_j}, \theta_i)\, \mathbf{1}_{\tau_i > \tau_j} \\
& + X_i(\tau_i, h^{\tau_i})\, \mathbf{1}_{\tau_i \leq \tau_j} \\
& - \sum_{s=t+1}^{\tau} g_i(s, h^s; \theta_i, e_i^s) \\
& - \sum_{s=t+1}^{\tau} \varphi_i(\sigma_i^s; \theta_i, e_i^s, h^s) \\
& \Big| \; h^t, \theta_i, e_i^t, \mu_i^t \Big],
\end{aligned}
$$

که در آن $\tau = \min\{\tau_i, \tau_j\}$ افق هزینه‌پردازی است و انتظار بر اساس باور بازیکن درباره نوع، تاب‌آوری و بازی آینده حریف (و در نتیجه درباره τ_j) گرفته می‌شود. توجه کنید که $\mathbf{1}_p$ اگر اتفاق p رخ دهد برابر یک، وگرنه 0 می شود.

از سوی دیگر، اگر بازیکن در همین مرحله خارج شود،

$$V_i^E(t, h^t) = X_i(t, h^t).$$

توجه کنید که هزینه مؤثر انباشته $G_i(t; \cdot)$ و هزینه‌های سیگنال‌دهی $\sum_{s=0}^{t} \varphi_i(\sigma_i^s)$ تا مرحله t در هر دو شاخه به‌طور یکسان ظاهر می‌شوند و لذا از مقایسه حذف شده‌اند؛ گذشته، تنها از طریق تاریخ عمومی h^t، ارزش خروج پویا و باورهای به‌روزشده بر تصمیم جاری اثر می‌گذارد. بنابراین، ادامه زمانی انتخاب می‌شود که منفعت مورد انتظار از ماندن در بازی، پس از کسر هزینه‌های مؤثر و هزینه‌های سیگنال‌دهی، از ارزش خروج بیشتر باشد:

$$d_i^t = C \quad \Longleftrightarrow \quad V_i^C(t, h^t) \;\geq\; X_i(t, h^t). \tag{۱}$$

این همان منطق جنگ فرسایشی است که در این مدل نهفته است؛ هر بازیکن تا زمانی در مسابقه پرهزینه می‌ماند که ارزش انتظاری پیشی‌گرفتن بر حریف از ارزش ترک بازی بیشتر باشد؛ با این تفاوت که در اینجا هزینه‌ها نه خام بلکه مؤثر اند (بر ظرفیت مدیریت هزینه m_i^t تقسیم می‌شوند)، ارزش خروج نه عددی ثابت بلکه وابسته به تاریخ است.

از نامساوی (۱) روشن می‌شود که چه عواملی ادامه را محتمل‌تر می‌کنند:

- احتمال ذهنی بالاترِ خروج زودهنگام حریف (یعنی μ_i^t احتمال بیشتری به e_j^t یا $\bar{\rho}_j$ پایین بدهد)، که عبارت B_i را بالا می‌برد؛
- ظرفیت مدیریت هزینه بالاتر m_i^t، که هزینه جاری مؤثر g_i را کوچک و انتظار را ارزان می‌کند؛
- تاب‌آوری جاری e_i^t و عزم پایه $\bar{\rho}_i$ بالاتر، که B_i را افزایش می‌دهند؛
- سرانجام، ارزش خروج جاری $X_i(t, h^t)$ پایین‌تر.

چرا یک بازیکن ممکن است با وجود هزینه‌بر بودن، ادامه دهد؟

بر اساس همان نامساوی، مدل نشان می‌دهد که ادامه پرهزینه لزوماً رفتار غیرعقلانی نیست، و گاهی هزینه خروج از ادامه‌دادن پرهزینه‌تر می‌شود. دلایل اصلی این موضوع در این مدل عبارتند از:

۱. **در دسترس‌نبودن سیاسیِ خروج.** اگر هزینه مخاطب داخلی، مصالحه یا کاهش تنش را تحقیرآمیز یا ناممکن کرده باشد و هیچ مسیری با حفظ‌آبرو، میانجیگری معتبر یا گام متقابلی وجود نداشته باشد، $X_i(t, h^t)$ بسیار پایین می‌آید؛ در این حالت حتی با هزینه مؤثر بالا، نامساوی (۱) برقرار می‌ماند: بازیکن نه به این دلیل ادامه می‌دهد که پیروزی محتمل است، بلکه به این دلیل که خروج از نظر سیاسی پرهزینه‌تر است.

۲. **انتظار خروج پیش‌تر حریف.** حتی اگر هزینه جاری g_i بالا باشد، چنانچه بازیکن باور داشته‌باشد دشمنش به انتهای تاب‌آوری خودش نزدیک شده و به زودی از بازی خارج می‌شود، آنگاه طبق منطق بازی فرسایشی ماندن در بازی در نهایت سودمندتر خواهد بود.

۳. **خودِ ادامه، یک سیگنال است.** چون تاب‌آوری مستقیم مشاهده نمی‌شود، حریف آن را از رفتار استنتاج می‌کند؛ خروج پس از سیگنال‌های پرهزینه، تاب‌آوری پایین را آشکار می‌کند و اعتبار سرمایه‌گذاری‌شده را از بین می‌برد، اما ادامه، باور حریف به تاب‌آوری بالا را حفظ می‌کند و می‌تواند او را به خروج زودتر وادارد؛ یعنی انتخاب $d_i^t = C$ بر باور آینده حریف μ_j^{t+1} و در نتیجه توزیع τ_j اثر می‌گذارد.

۴. **شکاف هزینه خام و هزینه مؤثر.** فشار خام (تحریم، فشار نظامی و مانند آن) ممکن است زیاد باشد، اما اگر m_i^t بالا باشد، هزینه مؤثر g_i قابل‌مدیریت می‌ماند؛ بنابراین ادامه‌ای که از بیرون پرهزینه دیده می‌شود، برای خود بازیکن عقلانی است.

در نهایت توجه کنید که تقابل تا زمانی تداوم می‌یابد که هر دو بازیکن ادامه را بر خروج ترجیح دهند؛ از این رو، بن‌بست طولانی و پرهزینه نه نشانه رفتار غیرعقلانی، بلکه می‌تواند بر مسیر تعادلی یک بازی فرسایشی با اطلاعات ناقص باشد.

۲.۲ تحلیل هزینه مؤثر

هزینه ادامه تقابل در این مدل تنها هزینه خام نیست، آنچه بر تصمیم ادامه یا خروج اثر می‌گذارد هزینه مؤثر است و هزینه مؤثر به ظرفیت مدیریت هزینه نیز بستگی دارد:

$$g_i(t, h^t; \theta_i, e_i^t) = \frac{c_i(t, h^t) + a_i^{aud}(t, h^t) + r_i(t, h^t)}{m_i^t}, \quad m_i^t = m_i(\theta_i, e_i^t, h^t) > 0. \tag{۲}$$

صورت کسر سه جزء اصلی دارد: هزینه مادی و اقتصادی c_i، هزینه سیاسی و اجتماعی داخلی a_i^{aud}، و هزینه ریسک تشدید و از دست رفتن کنترل بحران r_i. اما این هزینه‌ها پیش از ورود به تصمیم‌گیری بر ظرفیت مدیریت هزینه m_i^t تقسیم می‌شوند؛ بنابراین دو طرف که با فشار خام مشابهی روبه‌رویند، لزوماً هزینه مؤثر مشابهی تجربه نمی‌کنند. حال چهار پرسش تحلیلی مطرح شده را بررسی می‌کنیم:

اثر افزایش هزینه خام بر تصمیم ادامه:

افزایش هزینه خام (تحریم شدیدتر، استقرار نظامی بیشتر و ...) جریان هزینه مؤثر g_i را بالا می‌برد، ارزش ادامه V_i^C را کاهش می‌دهد و نامساوی (۱) را به سمت خروج متمایل می‌کند. اما چون $\partial g_i / \partial c_i = 1/m_i^t$، شدت این اثر به ظرفیت مدیریت هزینه بستگی دارد: همان افزایش فشار خام برای بازیکنی با m_i^t بالاتر، اثر بسیار کوچک‌تری بر تصمیم ادامه دارد.

اثر افزایش ظرفیت مدیریت هزینه:

چون $\partial g_i / \partial m_i^t < 0$، افزایش m_i^t هر سه جزء هزینه خام را به بار مؤثر کمتری تبدیل می‌کند؛ انتظار کم‌هزینه‌تر می‌شود و ادامه دادن محتمل‌تر. افزون بر این، طبق بخش سیگنال‌دهی مدل، $\partial \varphi_i / \partial \bar{m}_i < 0$؛ یعنی ظرفیت بالاتر، سیگنال عزم را نیز ارزان‌تر و معتبرتر می‌کند. در نتیجه، افزایش مدیریت هزینه هم بر ادامه دادن و هم سیگنال‌دهی اثر مثبت دارد.

چرا فشار خارجی لزوماً به کاهش تاب‌آوری نمی‌انجامد؟

زیرا تاب‌آوری معادل تحمل درد خام نیست؛ فشار تنها وقتی تاب‌آوری e_i^t را فرسایش می‌دهد که به هزینه‌های داخلی غیرقابل‌مدیریت تبدیل شود. اگر m_i^t بالا بماند، مخرج بزرگ کسر رابطه (۲) افزایش صورت را خنثی می‌کند و هزینه مؤثر قابل‌مدیریت می‌ماند؛ حتی عملکرد موفق زیر فشار، باور حریف μ_j^t درباره تاب‌آوری را به نفع بازیکن نگه می‌دارد. پس فشار خارجی بدون شکاف در مدیریت داخلی، لزوماً باعث کاهش تاب‌آوری و نزدیک شدن بازیکن به خروج نمی‌شود.

چرا ضعف در مدیریت داخلی هزینه، اعتبار تاب‌آوری را کاهش می‌دهد؟

ضعف مدیریتی (بی‌ثباتی اقتصادی، نارضایتی عمومی، شکاف نخبگان) هم a_i^{aud} و هم g_i را بالا می‌برد و هم برای حریف مشاهده‌پذیر است؛ حریف از این عملکرد، باور $\mu_j^t(\theta_i, e_i^t \mid h^t)$ را به سمت نوع‌های ضعیف به‌روزرسانی می‌کند و به خروج حریف در زمان نزدیک باور پیدا می‌کند. در نتیجه سیگنال‌های عزم او دیگر باورپذیر نخواهند بود و حریف ترغیب می‌شود فشار را ادامه دهد. بنابراین ضعف مدیریتی داخلی نه تنها تاب‌آوری راهبردی را کاهش می‌دهد، بلکه ادامه دادن را نیز پرهزینه می‌کند.

بنابراین، در این مدل فشار به‌خودی‌خود مزیت راهبردی تولید نمی‌کند؛ اثر آن همیشه از فیلتر ظرفیت مدیریت هزینه عبور می‌کند و دو طرف با فشار خام مشابه می‌توانند هزینه‌های مؤثر بسیار متفاوتی تجربه کنند.

۳.۲ تحلیل باورها و اطلاعات ناقص

در این مدل، هر بازیکن نوع ساختاری حریف $\theta_i = (\bar{\rho}_i, \bar{m}_i)$، سطح تاب‌آوری جاری e_i^t و هزینه‌های واقعی او (c_i، a_i^{aud}، r_i و m_i^t) را به‌طور کامل مشاهده نمی‌کند؛ آنچه مشاهده می‌شود تنها تاریخ عمومی اقدامات h^t است. از این رو، تصمیم‌گیری بر اساس باور پسین $\mu_j^t(\theta_i, e_i^t \mid h^t)$ انجام می‌شود و تقابل، علاوه بر یک مسابقه فشار، یک مسابقه تفسیر است.

هر بازیکن درباره چه چیزی عدم قطعیت دارد؟

هر بازیکن ساختار بازی، توزیع پیشین $p_i(\theta_i)$ و تاریخ عمومی h^t — یعنی سیگنال‌ها، تصمیم‌ها و عملکرد مشاهده‌پذیر حریف — را می‌داند؛ اما نوع خصوصی حریف (عزم پایه و ظرفیت پایه مدیریت هزینه)، تاب‌آوری پنهان e_i^t و هزینه‌های واقعی او مشاهده‌پذیر نیستند. بنابراین هیچ‌یک از دو طرف قدرت واقعی حریف را نمی‌داند و هر دو بر پایه برآورد ذهنی از تاب‌آوری طرف مقابل تصمیم می‌گیرند. هر چند این باورها در طول بازی براساس داده‌ها و سیگنال‌ها به‌روز می‌شوند اما هیچ‌گاه با قطعیت به دست نخواهند آمد.

چگونه مشاهده اقدامات گذشته، باورها را تغییر می‌دهد؟

چون اقدامات پرهزینه‌اند و هزینه آن‌ها به نوع بازیکن بستگی دارد، حاوی اطلاعات‌اند. پس از مشاهده اقدام a_i^t، باور با قاعده بیز به‌روزرسانی می‌شود:

$$\mu_j^{t+1}(\theta_i, e_i^t \mid h^{t+1}) \propto s_i^t(a_i^t \mid h^t, \theta_i, e_i^t)\, \mu_j^t(\theta_i, e_i^t \mid h^t).$$

برای مثال تاریخ بازیی که زیر نوع قوی (تاب‌آوری بالاتر و مدیریت هزینه بیشتر) محتمل‌تر است، احتمال ذهنی قوی بودن رقیب را بالا می‌برد: جذب فشار بدون بی‌ثباتی آشکار، باور به تاب‌آوری بالا را تقویت می‌کند همانطورکه بی‌ثباتی داخلی، عقب‌نشینی شتاب‌زده یا سیگنال‌های ارزان، آن را تضعیف می‌کند.

چرا ادامه دادن یک طرف می‌تواند به‌عنوان سیگنال تاب‌آوری تفسیر شود؟

ماندن در بازی پرهزینه است؛ بازیکنِ ادامه‌دهنده جریان هزینه مؤثر g_i را می‌پردازد و ارزش خروج X_i را رها می‌کند. نوع ضعیف (تاب‌آوری یا ظرفیت مدیریت پایین) ادامه را پرهزینه‌تر می‌یابد و زودتر خروج را ترجیح می‌دهد؛ پس انتخاب $d_i^t = C$ از نوع قوی محتمل‌تر است و به‌دلیل شرط $\partial^2\varphi_i/\partial\sigma_i^s\,\partial e_i^s < 0$، تقلید آن برای نوع ضعیف پرهزینه خواهد بود. از این رو، خودِ ادامه دادن یک سیگنال پرهزینه و تا حدی اطلاع‌رسان از تاب‌آوری بالا است.

چرا عقب‌نشینی نکردن همیشه به معنای قدرت واقعی نیست؟

همانطور که در بخش اول بررسی کردیم ادامه دادن بازی ممکن است دلایل دیگری داشته باشد؛ اگر هزینه مخاطب داخلی یا تعهدهای گذشته، $X_i(t, h^t)$ را بسیار پایین آورده باشند، حتی بازیکن ضعیف هم ادامه می‌دهد . افزون بر این، در تعادل‌های ترکیبی یا نیمه‌جداکننده، نوع ضعیف گاهی سیگنال قوی می‌فرستد تا در باور حریف قوی به نظر برسد. پس عقب‌نشینی نکردن تنها یک نشانه ناقص است و می‌تواند هم نشاندهنده قدرت واقعی باشد، هم گرفتاری سیاسی یا بلوف.

چگونه ممکن است باور اشتباه درباره حریف باعث خطا شود؟

باورها از سیگنال‌های ناقص برمی‌آیند و می‌توانند به‌طور سیستماتیک خطا کنند. دست‌کم‌گرفتن تاب‌آوری حریف باعث می‌شود بازیکن انتظار خروج زودتر حریف را بکشد و تقابلی پرهزینه‌تر و طولانی‌تر از انتظار تحمل کند؛ دست‌بالاگرفتن آن نیز می‌تواند به احتیاط بیش‌ازحد، امتیازدهی ناروا یا بازدارندگی کاذب بینجامد و به حریف ضعیف اجازه دهد با بلوف اعتبار کسب کند و نتیجه بهتری بگیرد. به‌عبارت دیگر، هر دو خطای «ادامه بیش‌ازحد» و «عقب‌نشینی زودرس» می‌توانند ریشه در باور اشتباه درباره e_i^t و θ_i داشته باشند.

یک مثال ساده از به‌روزرسانی باور

فرض کنید بازیکن j دو نوع برای حریف در نظر می‌گیرد: قوی (H) و ضعیف (L)، با احتمال پیشین برابر $\mu_j^t(H) = \mu_j^t(L) = 0.5$. فرض کنید احتمال مشاهده «ادامه تقابل زیر فشار» برای نوع قوی 0.9 و برای نوع ضعیف 0.4 باشد، چون ادامه برای نوع قوی ارزان‌تر است. با مشاهده ادامه، باور طبق قاعده بیز به

$$\mu_j^{t+1}(H \mid C) = \frac{0.9 \times 0.5}{0.9 \times 0.5 + 0.4 \times 0.5} = \frac{0.9}{1.3} \approx 0.69$$

می‌رسد؛ یعنی صرف مشاهده یک اقدام، احتمال ذهنی قوی‌بودن حریف از 0.5 به حدود 0.69 افزایش می‌یابد. تکرار همین فرایند در طول زمان، تصویر ذهنی هر طرف از تاب‌آوری طرف مقابل را می‌سازد و نشان می‌دهد چرا تقابل پیش از آن‌که مسابقه توان مادی باشد، مسابقه تحلیل و تفسیر است.

۴.۲ تحلیل سیگنال‌دهی پرهزینه

در این مدل، جزء مشاهده‌پذیر اقدام، یعنی σ_i^t وضعیت نظامی، پیام دیپلماتیک، خویشتنداری، تشدید تنش، تعهد عمومی یا عملکرد زیرفشار نه‌تنها پیامد مادی دارد بلکه حامل اطلاعات نیز هست و می‌تواند نشان دهد که بازیکن تاب‌آوری، عزم یا ظرفیت مدیریت هزینه بالایی دارد. همچنین می‌دانیم:

$$\varphi_i(\sigma_i^s; \theta_i, e_i^s, h^s) = \varphi_i^{prod}(\cdot) + \varphi_i^{commit}(\cdot)$$

که φ_i^{prod} هزینه تولید سیگنال و φ_i^{commit} هزینه تعهد و مخاطبی است که از عمومی‌شدن سیگنال ایجاد می‌شود. اکنون به سوالات مطرح شده پاسخ می‌دهیم:

چرا سیگنال بدون هزینه است ممکن است معتبر نباشد؟

هر دو بازیکن انگیزه دارند قوی‌تر و مصمم‌تر از آنچه هستند به نظر برسند. ازآنجایی که سیگنال بدون هزینه را هر نوعی می‌تواند با هزینه صفر تولید کند پس چنین سیگنالی حامل اطلاعات نیست و چون حریف نیز این را می‌داند، باور μ_j^t خود را تغییر نمی‌دهد. اعتبار تنها زمانی شکل می‌گیرد که ارسال سیگنال هزینه واقعی و وابسته به نوع و تاریخچه رویارویی داشته باشد؛ تنها در این صورت سینگال روی باور حریف ممکن است اثر بگذارد.

چرا سیگنال قوی برای نوع ضعیف پرهزینه‌تر است؟

چون هزینه سیگنال به نوع فرستنده بستگی دارد: با توجه به $\partial\varphi_i/\partial e_i^s < 0$ و $\partial\varphi_i/\partial \bar{m}_i < 0$، همان سیگنال بر بازیکنی با تاب‌آوری یا ظرفیت مدیریت پایین‌تر، بار سنگین‌تری تحمیل می‌کند. حفظ آمادگی نظامی بالا، جذب فشار بدون بی‌ثباتی آشکار، یا پایبندی به تعهد عمومی به منابع، ثبات داخلی و کنترل بحران نیاز دارد که در واقع نوع ضعیف آن‌ها را کمتر در اختیار دارد؛ پس هم سطح هزینه سیگنال و هم رشد آن با قدرت سیگنال برای او بیشتر است.

چگونه شرط تک‌عبوری باعث می‌شود سیگنال قوی اطلاعاتی شود؟

شرط تک‌عبوری[۲]

$$\frac{\partial^2 \varphi_i}{\partial \sigma_i^s \, \partial e_i^s} < 0,$$

[۲] single-crossing

می‌گوید هزینه نهایی افزایش قدرت سیگنال در تاب‌آوری نزولی است. بنابراین هرچه سیگنال قوی‌تر شود، شکاف هزینه بین نوع ضعیف و قوی بازتر می‌شود تا جایی که ارسال آن تنها برای نوع بالا صرفه دارد؛ در تعادل جداکننده، نوع قوی سیگنال قوی و نوع ضعیف سیگنال ضعیف‌تر انتخاب می‌کند، چون برای ضعیف هزینه تقلید از منفعتِ باورِ مطلوب حریف بیشتر است. در نتیجه، مشاهده سیگنال قوی باور μ_j^t را به نفع تاب‌آوری بالا به‌روزرسانی می‌کند و سیگنال اطلاعاتی می‌شود.

چه تفاوتی میان سیگنال واقعی و بلوف وجود دارد؟

سیگنال واقعی را نوعی می‌فرستد که تاب‌آوری و ظرفیت مدیریت واقعی‌اش سیگنال را مقرون‌به‌صرفه و پایدار می‌کند؛ چنین سیگنالی با عملکرد زیر فشار پشتیبانی و در طول زمان تکرار می‌شود، تا آن‌که باورها به نوع واقعی همگرا شوند. بلوف اما ارسال گاه‌به‌گاه سیگنال قوی توسط نوع ضعیف (در تعادل تجمیعی یا ترکیبی) برای دستکاری باور حریف است؛ چون ساختار هزینه او متفاوت است، بلوف پرهزینه و ناپایدار است و به‌مرور، بی‌ثباتی آشکار یا ناتوانی در حفظ موضع، نوع فرستنده را آشکار می‌کند و باور حریف بازمی‌گردد. بلوف سوار بر خطای موقتی باور است، اما سیگنال واقعی با نوع فرستنده سازگار و در مسیر تعادلی پایدار است.

چرا تقلید سیگنال قوی برای نوع کم‌تاب‌آور دشوارتر است؟

زیرا تقلید یک اقدام لحظه‌ای نیست؛ نوع کم‌تاب‌آور باید سیگنال را در طول زمان نگهداری کند و هزینه مؤثر g_i بالاتری می‌پردازد و تاب‌آوری‌اش سریع‌تر فرسایش می‌یابد، بنابراین شکاف هزینه مرحله‌به‌مرحله انباشته می‌شود تا از منفعتِ باورِ مطلوب حریف بگذرد. افزون بر این، اگر نوع ضعیف سیگنال دست‌وپاگیری را تقلید کند، در تعهد خود گرفتار می‌شود (معامله اعتبار–انعطاف) و مسیر خروجش پرهزینه‌تر می‌شود. پس هرچه سیگنال قوی‌تر و افق تقابل طولانی‌تر باشد، تقلید آن برای نوع کم‌تاب‌آور دشوارتر است.

تمام این موارد نشان می‌دهند چرا سیگنال‌دهی در این مدل صرفا یک پیام نیست؛ سیگنال‌دهی درواقع اقدامی است که هزینه‌بر است و در روند تقابل تاثیر به‌سزایی دارد.

۵.۲ تحلیل تعارض اعتبار و انعطاف‌پذیری

در این مدل میان یک سیگنال قوی و معتبر، و انعطاف‌پذیری آینده تعارض وجود دارد. این دو اثر را می‌توان فشرده نوشت:

$$\frac{\partial \mu_j^t}{\partial \sigma_i^s} > 0, \quad \frac{\partial X_i(t, h^t)}{\partial \sigma_i^s} < 0;$$

یعنی سیگنال قوی‌تر، باور حریف به تاب‌آوری بالا را تقویت می‌کند (اثر اعتبار)، اما ارزش خروج را پایین می‌آورد (اثر انعطاف‌پذیری).

اکنون سوالات مطرح شده در دستورالعمل را بررسی می‌کنیم:

چرا قوی‌ترین سیگنال لزوماً بهترین سیگنال نیست؟

چون هر سیگنال دو اثر مخالف دارد: افزایش اعتبار و کاهش انعطاف. با قوی‌ترشدن سیگنال، منفعت نهایی اعتبار کم‌کم از هزینه نهاییِ از دست‌رفتن انعطاف کمتر می‌شود؛ تعهد عمومی، آمادگی نظامی بالا یا موضع حداکثری، هزینه مخاطب عقب‌نشینی و ریسک تشدید r_i را بالا می‌برند. مثلا سیگنالی که بی‌نهایت قوی باشد، تعهدی ایجاد می‌کند که هزینه خروج را بسیار زیاد می‌کند. بنابراین سیگنال بهینه لزوماً بیشینه نیست؛ سیگنالی بهینه است که به‌اندازه کافی قوی باشد تا معتبر بماند، و نه آن‌قدر قوی که بازیکن را در موضع خود گرفتار کند.

چه زمانی سیگنال قوی باعث گیر افتادن بازیکن در تهدیدات خودش می‌شود؟

وقتی جزء تعهدی سیگنال φ_i^{commit} بزرگ شود: تعهد عمومی یا موضع حداکثری، هزینه مخاطب داخلی عقب‌نشینی a_i^{aud} را چنان بالا می‌برد که $X_i(t, h^t)$ بسیار پایین می‌آید. در این حالت، حتی اگر ادامه از نظر راهبردی بهینه نباشد، خروج از نظر سیاسی پرهزینه‌تر است و بازیکن ادامه می‌دهد نه به‌خاطر بهینگی، بلکه به‌خاطر گرفتاری در تعهدات خودش. این همان هشدار مرکزی مدل است: قربانی‌کردن بیش‌ازحد انعطاف به پای اعتبار، ادامه را از انتخاب به اجبار تبدیل می‌کند.

چرا حفظ امکان خروج می‌تواند بخشی از راهبرد عقلانی باشد؟

چون تصمیم ادامه همیشه مقایسه $V_i^C(t, h^t)$ با $X_i(t, h^t)$ است؛ اگر مسیر خروج پذیرفتنی وجود نداشته باشد، بازیکن حتی زمانی که هزینه‌های انتظاری از منافع بیشتر شده‌اند نمی‌تواند متوقف شود و زیان انباشته می‌شود. حفظ امکان خروج، ارزش گزینه‌ای توقف در برابر شوک‌ها و عدم قطعیت آینده را نگه می‌دارد. به همین دلیل، حفظ امکان خروج باعث تنوع گزینه‌ها در آینده می‌شود و می‌تواند بخش مهمی از راهبرد عقلانی باشد.

چگونه یک بازیکن می‌تواند هم معتبر باشد و هم مسیر خروج را کاملاً نبندد؟

با انتخاب سیگنال‌هایی که پرهزینه اما برگشت‌پذیرند یا دامنه تعهد را محدود می‌کنند: عملکرد زیر فشار (جذب هزینه بدون بی‌ثباتی آشکار) تاب‌آوری را نشان می‌دهد، بدون آن‌که تعهد حداکثری ایجاد کند؛ سیگنال باید به‌اندازه‌ای قوی باشد که شرط جداکنندگی برقرار بماند، نه بیشتر. هم‌زمان می‌توان ساختن مسیر خروج را به طرف ثالث یا فرایندهای دیپلماتیک سپرد تا اعتبار سیگنال حفظ شود اما خروجِ سیاسی در دسترس بماند. به‌عبارت دیگر، راهبرد بهینه در این مدل موازنه بین اعتبار و انعطاف هر سیگنال.

۶.۲ تحلیل ارزش خروج

همانطور که گفته شد، در این مدل لزوما خروج به معنی شکست نیست و می‌تواند اشکال دیگری داشته باشد. ارزش این گزینه را $X_i(t, h^t)$ نمایش می‌دهد و، برخلاف مدل‌های ساده، یک گزینه بیرونی ثابت نیست؛ بلکه مقداری پویا و وابسته به تاریخ عمومی است.

در ادامه به پرسش‌های مطرح شده در دستورالعمل پاسخ می‌دهیم:

چرا ارزش خروج وابسته به تاریخچه بازی است؟

چون معنای سیاسی خروج از خود تاریخچه ساخته می‌شود؛ تعهدات عمومی داده‌شده، سیگنال‌های فرستاده‌شده، هزینه‌های تحمل‌شده و انتظارات شکل‌گرفته در افکار عمومی تعیین می‌کنند که یک خروج مشخص «توافق معقول» تلقی شود یا «عقب‌نشینی تحقیرآمیز». به‌عبارت دیگر، همان اقدام خروج پس از تاریخ‌های مختلف پیامد سیاسی متفاوتی دارد؛ درواقع این تاریخچه بازی است که مشخص می‌کند که خروج صورت گرفته یک شکست کامل است، یا شکل‌های دیگر مانند تغییر راهبرد. به همین دلیل X_i تابعی از (t, h^t) است، نه یک عدد ثابت.

چرا در بعضی تاریخچه‌ها خروج آسان‌تر و در بعضی دشوارتر می‌شود؟

تاریخچه‌ای که در آن تعهد عمومی کمتری داده شده، سیگنال حداکثری فرستاده نشده و مسیر خروج با حفظ آبرو یا میانجیگری در دسترس است، ارزش خروج را بالا نگه می‌دارد و خروج آسان است. برعکس، تاریخچه‌ای انباشته از تعهدات عمومی، موضع‌های حداکثری و هزینه‌های سنگینِ دیده‌شده، عقب‌نشینی را پرهزینه می‌کند و X_i را پایین می‌آورد. همچنین اعتبار تعهدات طرف مقابل و تضمین‌های طرف ثالث، خروج را آسان‌تر یا دشوارتر می‌کند.

چگونه هزینه‌های داخلی می‌توانند خروج را دشوارتر کنند؟

هزینه مخاطب داخلی a_i^{aud} تنها بر ادامه اثر نمی‌کند؛ اگر مصالحه در افکار عمومی تحقیرآمیز یا خیانت به فداکاری‌ها تلقی شود، خودِ خروج نیز هزینه مخاطب سنگینی پیدا می‌کند: برای مثال نارضایتی عمومی، فشار نخبگان و جریان‌های سیاسی برای ایران و هزینه مشروعیت، عدم همراهی متحدین یا ریسک انتخاباتی برای آمریکا نمونه‌هایی از این هزینه‌های داخلی برای هر طرف است. به این ترتیب، هزینه‌هایی که در طول تقابل تحمل شده‌اند، به‌جای آن‌که خروج را جذاب کنند، می‌توانند آن را سیاسی ناممکن سازند و $X_i(t, h^t)$ را کاهش دهند.

چگونه توافق مرحله‌ای یا زبان face-saving ارزش خروج را افزایش می‌دهد؟

میانجیگری معتبر طرف ثالث، گام‌های متقابل و توالی‌بخشی به امتیازها خروج را از چارچوب شکست و خروج تحقیرآمیز به چارچوب توافق متقابل و خروج آبرومندانه منتقل می‌کنند؛ هزینه مخاطب عقب‌نشینی کاهش می‌یابد و تعهد طرف مقابل قابل‌اتکاتر می‌شود، یعنی $X_i(t, h^t)$ بالا می‌آید. از دید مدل، ساختن خروج دقیقاً همان دستکاری ارزش خروج است که می‌تواند نامساوی شرط ادامه دادن را به نفع خروج برگرداند.

چرا ممکن است بازیکن نه به امید پیروزی، بلکه به دلیل نبود خروج قابل قبول ادامه دهد؟

شرط ادامه، طبق رابطه (۱)، $V_i^C(t, h^t) \geq X_i(t, h^t)$ است. حتی اگر ارزش انتظاری ادامه دادن پایین باشد — پیروزی نامحتمل و هزینه‌ها بالا — بازیکن چنان‌که از آن هم پایین‌تر باشد (خروج تحقیرآمیز یا ناممکنِ سیاسی)، در بازی می‌ماند. این همان بینش کلیدی چارچوب است که بارها بررسی کردیم: ادامه تقابل لزوماً نشانه امید به پیروزی نیست؛ می‌تواند نشانه نبودن مسیر خروج مناسب در این لحظه باشد.

۷.۲ تحلیل تعادلی

در این بخش منطق تعادلی مدل را دقیق‌تر بیان می‌کنیم.

چارچوب تعادلی: عقلانیت ترتیبی و سازگاری باورها

با توجه به اطلاعات ناقص و اقدامات مشاهده‌شده، مفهوم مناسب، تعادل بیزی کامل است، یعنی عقلانیت ترتیبی همراه با سازگاری باورها: یک تعادل دستگاهی از راهبردهای رفتاری $s_i^t(\cdot \mid h^t, \theta_i, e_i^t)$ و باورهای $\mu_j^t(\theta_i, e_i^t \mid h^t)$ است به‌طوری که نخست، پس از هر تاریخ، اقدام هر بازیکن با توجه به باورش بهینه باشد، و دوم، باورها در مسیر تعادل از راهبردها با قاعده بیز به‌دست آیند.

ارزش خالص ادامه دادن را تعریف می‌کنیم:

$$\Delta V_i(t, h^t; \theta_i, e_i^t) = V_i^C(t, h^t; \theta_i, e_i^t, \mu_i^t) - X_i(t, h^t).$$

با فرضهای مدل ($\partial B_i/\partial e_i^t > 0$ و $\partial g_i/\partial e_i^t < 0$ و $\partial \varphi_i/\partial e_i^s < 0$)، ΔV_i در تاب‌آوری خود بازیکن صعودی است؛ بنابراین آستانه‌ای مانند $\hat{e}_i(t, h^t)$ وجود دارد که

$$d_i^t = C \quad \Longleftrightarrow \quad e_i^t \geq \hat{e}_i(t, h^t).$$

نکته ظریف، ماهیت نقطه‌ثابتی مسئله است: $\hat{e}_i$ به باور μ_i^t درباره حریف وابسته است، و همین باور خود با قاعده بیز از آستانه حریف $\hat{e}_j$ ساخته می‌شود؛ پس تعادل، جفت‌آستانه‌ها و باورهای سازگار با هم است — دقیقاً منطق جنگ فرسایشی با اطلاعات ناقص.

۱. استراتژی هر بازیکن در حالت تاب‌آوری بالا چیست؟

در حالت تاب‌آوری بالا، $e_i^t \geq \hat{e}_i$، ادامه دادن هم ارزان است و هم پرسود: g_i پایین، B_i بالا و هزینه سیگنال کم است. بنابراین انواع قوی‌تر $d_i^t = C$ را انتخاب می‌کند، و سیگنالی می‌فرستد که به‌اندازه کافی قوی باشد تا معتبر بماند، اما نه آن‌قدر قوی که خودش را به دام بیندازد (تعارض اعتبار–انعطاف). در تعادل جداکننده، همین سیگنال نوع او را آشکار می‌کند و حریف را به بازبینی احتمال پیروزی خودش وامی‌دارد؛ در تعادل تجمیعی، نوع قوی صرفاً ادامه می‌دهد و فرسایش را به کار می‌گیرد.

۲. استراتژی هر بازیکن در حالت تاب‌آوری پایین چیست؟

برای نوع ضعیف، $e_i^t < \hat{e}_i$، ادامه پرهزینه و ارزش پیشی‌گیری پایین است. اگر مسیر خروج پذیرفتنی وجود داشته باشد (X_i نسبتاً بالا)، نوع ضعیف $d_i^t = E$ را برمی‌گزیند، گاه همراه با سیگنال حفظ آبرو. اگر خروج در دسترس نباشد (X_i پایین)، نوع ضعیف مدتی ادامه می‌دهد و برای بهره‌برداری از عدم قطعیت حریف، سیگنال تجمیعی یا بلوف می‌فرستد؛ اما به‌دلیل شرط تک‌عبوری، این تقلید عموما پرهزینه است و نمی‌تواند مدت زیادی پایدار بماند؛ با انباشته‌شدن هزینه یا آشکارشدن ضعف زیر فشار، نوع ضعیف خارج می‌شود.

۳. باور طرف مقابل چگونه بر انتخاب ادامه یا خروج اثر می‌گذارد؟

V_i^C روی توزیع زمان توقف حریف τ_j محاسبه می‌شود و این توزیع از μ_i^t می‌آید. اگر i باور کند حریف کم‌تاب‌آور است و زود خارج می‌شود، ارزش انتظاری B_i بالا می‌رود و هزینه انتظار کم می‌شود؛ پس آستانه $\hat{e}_i$ پایین می‌آید و حتی نوع‌های نسبتاً ضعیف هم ادامه می‌دهند. برعکس، باور به حریفی با تاب‌آوری بالا، انتظار را طولانی و پرهزینه می‌کند، $\hat{e}_i$ را بالا می‌برد و خروج را محتمل‌تر می‌سازد. بنابراین می‌توان گفت باورها مانند یک اهرم عمل می‌کنند و تاثیر به‌سزایی در نتیجه مقابله دارد. سیگنال‌ها هم دقیقا برای جابجایی این اهرم‌ها استفاده می‌شوند.

۴. در چه شرایطی ادامه تقابل برای هر دو طرف پایدار می‌ماند؟

تقابل زمانی تداوم می‌یابد که در تاریخ مورد نظر، شرط ادامه برای هر دو بازیکن برقرار باشد:

$$e_I^t \geq \hat{e}_I(t, h^t), \qquad e_U^t \geq \hat{e}_U(t, h^t).$$

این ناحیه وقتی شکل می‌گیرد که هزینه مؤثر برای هر دو طرف قابل‌مدیریت باشد (مثلا m_i^t بالا)، هر طرف باور کند حریف ممکن است زودتر جا بزند (باورهای نه‌چندان شفاف)، ارزش خروج برای هر دو پایین باشد (نبود مسیر حفظ آبرو، هزینه مخاطب بالا) و B_i بالا باشد. در این ناحیه، حتی اگر هر دو طرف توافق دوجانبه را از پیش ترجیح دهند، اطلاعات ناقص و انگیزه به بزرگ‌نمایی تاب‌آوری مانع آن می‌شود؛ بنابراین بن‌بست پرهزینه روی مسیر تعادلی قرار می‌گیرد — همان منطق شکست چانه‌زنی در مدل‌های عقلانی جنگ (رابطه (۱) برای هر دو).

۵. در چه شرایطی یکی از طرفین به خروج یا کاهش تنش تمایل پیدا می‌کند؟

خروج وقتی رخ می‌دهد که برای یک بازیکن $\Delta V_i < 0$ شود، یعنی آستانه از بالا عبور کند: افت e_i^t (بی‌ثباتی داخلی، بحران اقتصادی)، افت m_i^t (که g_i را بالا می‌برد)، افزایش X_i (میانجیگری معتبر، زیان حفظ آبرو، تضمین طرف ثالث)، یا قوی‌شدن باور به تاب‌آوری بالای حریف (که $\hat{e}_i$ را بالا می‌برد). همچنین آشکارشدن نوع و فروپاشی تعادل تجمیعی می‌تواند نوع ضعیف را ناگهان به خروج براند. پس کاهش تنش در مدل لزوماً تغییر اراده نیست؛ می‌تواند تغییر هزینه‌ها، ارزش خروج یا باورها باشد.

۶. آیا سیگنال‌ها می‌توانند انواع را جدا کنند یا تعادل تجمیعی شکل می‌گیرد؟

هر دو حالت ممکن است و رخ دادن هر کدام به اندازه شکاف هزینه بستگی دارد. اگر فاصله تاب‌آوری و ظرفیت مدیریت میان انواع ضعیف و قوی، بزرگ و سیگنال‌ها به‌اندازه کافی پرهزینه باشند، شرط جداکنندگی برقرار می‌شود: نوع قوی سیگنال قوی σ^H و نوع ضعیف سیگنال ضعیف‌تر σ^L می‌فرستد؛ باورها شفاف می‌شوند و بازی به‌سرعت به خروج طرف ضعیف‌تر نزدیک می‌گردد. اگر شکاف کوچک باشد یا منفعت بلوف برای نوع ضعیف بالا باشد (X_i بسیار پایین یا سود زیاد از عقب‌نشینی حریف)، تعادل تجمیعی یا نیمه‌جداکننده شکل می‌گیرد: سیگنال‌ها مشابه می‌مانند، باورها مبهم می‌مانند و تقابل طولانی‌تر می‌شود. بنابراین مدل هم آشکارسازی سریع نوع‌ها را پوشش می‌دهد و هم ابهام طولانی‌مدت را.

۸.۲ گزاره تحلیلی

در رابطه با بلوف زدن و تقلید نوع ضعیفتر یک گزاره نیمه‌رسمی قرار می‌دهم:

زمانی که ایجاد یک سیگنال قوی، که عموما از بازیکنی قوی انتظار می‌رود، هزینه قابل مدیریتی ایجاد کند بازیکن ضعیف به بلوف زدن و وانمود به قوی بودن رغبت پیدا می‌کند. چرا که یک سیگنال قوی به همراه مدیریت هزینه فشار را بر طرف مقابل افزایش می‌دهد، باورهای او را در راستای قوی بودن رقیب تقویت می‌کند و احتمال خروج زودتر او را بیشتر می‌کند.

۳ پیاده‌سازی

به عنوان بخشی از پروژه یک سری فایل پایتون داده‌شد که برای توابع مشخص این بازی را اجرا و شبیه‌سازی می‌کنند. برای آموزش یک استراتژی از روش یادگیری تقویتی بهره گرفته شد. ما برای تکمیل شبیه‌سازی باید دو تابع را در فایل theory.py کامل می‌کردیم:

- extra_features: مدل در هرگام تعدادی ویژگی از بازی را دریافت می‌کند و براساس آن تصمیم می‌گیرد. در طول یادگیری وزن این مقادیر تعیین می‌شوند. به طور ابتدایی 16 ویژگی حاضر در obs به مدل داده می‌شود. ما می‌توانیم مقادیر بیشتر و متنوع‌تری را برای یادگیری به مدل بدهیم.

- shaping: در صورتی که این تابع خالی باشد، مدل در طول یادگیری براساس همان توابع مطلوبیت موجود در بازی اصلی آموزش می‌بیند. در این صورت ممکن است آموزش بسیار کند باشد. ما می‌توانیم با دادن پاداش‌های مصنوعی در هرمرحله، با توجه به شرایط، به یادگیری مدل کمک کنیم. با انتخاب درست این سودها می‌توانیم کاری کنیم که مدل سریع‌تر و بهتر فرایند یادگیری را پشت‌سر بگذارد.

در ادامه توابع پیاده‌سازی شده، ویژگی‌های اضافی و پاداش‌های یادگیری را بررسی می‌کنیم:

۱.۳ معرفی توابع اضافه‌شده به theory.py

- on_episode_start: اگر نیاز بود، می‌توانستیم در شروع هر دور بخشی از اطلاعات را تغییر دهیم. در این پیاده‌سازی به این‌کار نیازی نبود.

- _opponent_id: تابع کمکی، برای گرفتن نام حریف براساس نام بازیکن خودمان.

- _clip01: محدود کردن عدد بین 0 و 1، به جهت دسترسی راحت‌تر قرار داده شد.

- signed_tanh: همان tanh با یک پارامتر مقیاس؛ برای اینکه کمیت‌های بدون کران طبیعی را در $[-1, 1]$ نگه داریم تا اندازهٔ ویژگی‌ها قابل مقایسه و پایدار بماند.

- exit_value: محاسبهٔ دقیق ارزش خروج $X_i = x_0 - \lambda K_i - h\tilde{\sigma}_j + w_{med}M$ با پارامترهای canonical، چون همهٔ ورودی‌ها عمومی‌اند، هیچ تقریبی لازم ندارد.

- own_flow_cost: محاسبهٔ دقیق هزینهٔ مؤثر خودی g_i از روی obs: جمع سه جزء خام (مادی، مخاطب، ریسک تشدید)، ضرب در ramp و تقسیم بر ظرفیت m_i؛ چون نوع و تاب‌آوری خودمان در obs است، این هزینه بدون نیاز به برآوردی به دست می‌آید.

- history_statistics: با پیمایش تاریخچه، اطلاعات لازم را جدا می‌کند. در واقع مراحل را براساس اینکه بازیکن حریف پاسخ می‌دهد، یا همزمان عمل می‌کنند جدا و بررسی می‌کند و اطلاعات به دست آمده را خروجی می‌دهد.

- bayesian_initiative: این تابع براساس اطلاعات به دست‌آمده باور ما درباره قوی بودن حریف را با استفاده از قاعده بیزی به روز می‌کند. اینکار با استفاده از رفتار حریف در مراحلی که همزمان عمل می‌کنند به دست می‌آید. همچنین یک ضریب 4 روی احتمال پیشین قرار داده‌ایم.

- estimated_type: با توجه به نتایجی که در قاعده بیزی به دست آوردیم احتمالی روی نوع حریف در می‌آوریم. علاوه بر این احتمال، میزان اطمینان از آن را نیز خروجی می‌دهیم تا به عنوان ویژگی به مدل دهیم.

- estimated_opponent_endurance: با توجه به پیشبینی‌های انجام شده روی نوع حریف، و تاریخچه فعلی بازی، تاب‌آوری حریف را تخمین می‌زند. در اینجا از روابط موجود در config.py بهره گرفته‌شد.

- estimated_opponent_flow_cost: محاسبه هزینهٔ مؤثر جاری حریف g_j با همان فرمول g خودمان، اما با $\hat{m}$ و $\hat{e}$ که از قاعده بیزی به دست آوردیم، به‌جای نوع و تاب‌آوری مشاهده‌ناپذیر او.

- estimated_time_to_exhaustion: با توجه به تخمین‌های زده شده، نسبت تاب‌آوری به هزینه برای هردوطرف سنجیده می‌شود. این مقدار تقریبا نشان می‌دهد چند گام دیگر بازیکن می‌تواند بازی کند تا تاب‌آوریش تمام شود.

- outlasting_score: محاسبه احتمال بردن جنگ فرسایشی را با استفاده از تاب‌آوری مانده هر طرف حساب می‌کند.

- continuation_margin: مطابق تحلیل‌های انجام شده، ارزش ماندن در بازی بررسی می‌شود. از آنجایی که محاسبه مقدار دقیق آن طولانی است، محاسبات صرفا برای یک مرحله انجام شده است.

- response_features: این تابع در اصل برای تقابل بهتر با مدل Tit-For-Tat قرار داده شده و نشان می‌دهد چقدر رقیب مانند این مدل است.

- extra_features: ویژگی‌های اضافه از خروجی این تابع داده می‌شوند. این ویژگی‌ها و دلیل استفاده از آنها را در ادامه توضیح می‌دهم.

- current_public_state: از آنجایی که در shaping وضعیت فعلی بازی داده نمی‌شود، این تابع نوشته شد تا این وضعیت از تاریخچه به دست آید.
- expected_state_value: امتیاز قابل انتظاری که بازیکن از این مرحله می‌تواند به دست آورد را محاسبه می‌کند و عنصر اصلی پتانسیل هم هست.
- potential: ارزش و پتانسیل حالت فعلی بازی را برای بازیکن حساب می‌کند.
- shaping: به صورت تلسکوپی به مدل پاداش می‌دهد تا به استراتژی مناسب برسد. در ادامه این پاداش را دقیق‌تر بررسی می‌کنیم.

۲.۳ ویژگی‌های اضافه‌شده

در مجموع، علاوه‌بر 16 ویژگی که در obs وجود داشته، 12 ویژگی دیگر هم، با ضریبدهی مناسب، برای یادگیری به مدل داده‌شد. در ادامه به طور خلاصه این موارد را بررسی می‌کنیم:

- est_rho: مقدار پایه تاب‌آوری حریف که بخشی از نوع او را مشخص می‌کند. این مقدار با توجه به سیگنال‌های حریف به‌روز می‌شود.
- est_m: مقدار تخمین‌زده شده از ظرفیت مدیریت هزینه حریف. این مقدار هم بخشی از نوع رقیب است و در انتخاب راهبرد مناسب نقش موثری ایفا می‌کند. این عدد، هرچند کمتر، ولی با سیگنال‌های حریف به‌روز می‌شود.
- est_e: تخمین میزان تاب‌آوری باقی‌مانده حریف به صورت نرمال‌شده. این مقدار با استفاده از نوع تخمین‌زده شده‌ی حریف و تاریخچه‌ی عمومی بازی، هزینه‌های پرداخت شده در مراحل قبل را در نظر می‌گیرد و به ما تخمینی از میزان توانایی باقی‌مانده‌ی او برای ادامه‌ی بازی می‌دهد.
- q_high: احتمال پسین قوی بودن سیگنال‌های مشاهده شده. این مقدار کمی با میانگین سیگنال‌ها متفاوت است و اطلاعات متفاوتی به مدل می‌دهد.
- confidence: میزان اطمینان به تخمین بیزی انجام‌شده. با افزایش تعداد مراحل مستقلی که از رفتار حریف مشاهده شده است، اطلاعات بیشتری برای به‌روزرسانی باورها در اختیار مدل قرار می‌گیرد و مقدار این ویژگی نیز افزایش می‌یابد.
- tau_own: زمان تخمینی باقی‌مانده تا اتمام تاب‌آوری خودمان، در صورتی که هزینه‌ی جاری تقریباً ثابت باقی بماند. این ویژگی نشان می‌دهد که با شرایط فعلی، تا چه مدت توانایی ادامه‌ی بازی را داریم.
- tau_opp: مشابه مورد قبل، اما برای حریف. از آنجا که میزان تاب‌آوری واقعی حریف در دسترس نیست، این مقدار بر اساس نوع تخمین‌زده‌شده، تاب‌آوری اولیه و هزینه‌های بازسازی‌شده‌ی حریف محاسبه می‌شود.
- opponent_cost: تخمین هزینه‌ی جاری حریف برای ادامه‌ی بازی. این مقدار اثر سیگنال‌های فعلی، تعهد انباشته، ریسک تشدید تنش و ظرفیت مدیریت هزینه‌ی تخمین‌زده‌شده‌ی حریف را در بر می‌گیرد.

- response_delta: میزان گرایش حریف به افزایش یا کاهش سیگنال خود در پاسخ به رفتار ما. مقدار مثبت نشان‌دهنده‌ی تمایل بیشتر به تشدید و مقدار منفی نشان‌دهنده‌ی تمایل بیشتر به کاهش سطح سیگنال است. این ویژگی به‌خصوص در تشخیص رفتارهای واکنشی و راهبردهایی مانند Tit-for-Tat می‌تواند مفید باشد.

- margin: حاشیه‌ی تقریبی ادامه دادن بازی نسبت به خروج. این ویژگی با در نظر گرفتن احتمال تخمینی غلبه بر حریف، ارزش پیروزی، ارزش خروج و هزینه‌ی جاری ادامه‌ی بازی محاسبه می‌شود. در نتیجه، مقدار مثبت آن نشان‌دهنده‌ی مطلوب‌تر بودن ادامه‌ی بازی و مقدار منفی نشان‌دهنده‌ی جذاب‌تر بودن خروج است.

- X: ارزش فعلی خروج از بازی. این مقدار به تعهد انباشته، سیگنال حریف و وضعیت میانجی‌گری وابسته است و به مدل کمک می‌کند تا جذابیت خروج را در شرایط مختلف بازی بهتر درک کند.

- signaling_cost: هزینه‌ی ارسال سیگنال در وضعیت فعلی. این هزینه به شدت سیگنال و همچنین تاب‌آوری، ظرفیت مدیریت هزینه و سایر ویژگی‌های نوع بازیکن وابسته است. بنابراین، این ویژگی به مدل نشان می‌دهد که انتخاب یک سیگنال شدیدتر در شرایط فعلی چه هزینه‌ای برای بازیکن به همراه خواهد داشت.

۳.۳ پاداش‌دهی آموزشی

برای کمک به یادگیری مدل، علاوه‌بر پاداش اصلی محیط، از Reward Shaping نیز استفاده شده است. در این روش، به جای تعیین مستقیم پاداش برای هر عمل، برای هر وضعیت یک تابع پتانسیل Φ تعریف می‌کنیم و پاداش اضافی بر اساس تغییر این پتانسیل بین دو وضعیت متوالی محاسبه می‌شود. به این ترتیب، تابع شکل‌دهی به صورت

$$F(s_t, s_{t+1}) = \gamma\Phi(s_{t+1}) - \Phi(s_t)$$

تعریف می‌شود که در آن مقدار $\gamma = 0.995$ در نظر گرفته شده است. بنابراین، مدل به سمت وضعیت‌هایی هدایت می‌شود که از دیدگاه نظری بازی مطلوب‌تر هستند، بدون آنکه پاداش اصلی بازی تغییر کند.

در این پروژه تابع پتانسیل از چند عامل مختلف تشکیل شده است. مهم‌ترین عامل، ارزش تصمیم‌گیری در وضعیت فعلی است که با ضریب 0.80 در تابع پتانسیل قرار گرفته است. این مقدار با در نظر گرفتن احتمال تخمینی غلبه بر حریف، ارزش ادامه دادن یا خروج و هزینه‌ی جاری ادامه‌ی بازی محاسبه می‌شود. بنابراین، وضعیت‌هایی که در آن ادامه دادن بازی از نظر اقتصادی مطلوب‌تر است، پتانسیل بیشتری خواهند داشت.

عامل دوم، اختلاف زمان تخمینی باقی‌مانده تا اتمام تاب‌آوری دو بازیکن است که با ضریب 0.15 در نظر گرفته شده است. در نتیجه، اگر بازیکن فعلی بتواند مدت بیشتری نسبت به حریف به بازی ادامه دهد، مقدار پتانسیل افزایش پیدا می‌کند. این عامل به مدل کمک می‌کند تا وضعیت تاب‌آوری نسبی دو بازیکن را در تصمیم‌گیری خود لحاظ کند.

عامل بعدی، تعهد انباشته‌ی خود بازیکن است. این مقدار با استفاده از پارامتر هزینه‌ی مخاطب α_i و میزان تعهد K_i محاسبه شده و با ضریب -0.15 وارد تابع پتانسیل می‌شود. دلیل این امتیاز منفی آن است که افزایش تعهد، هزینه‌ی خروج از بازی را بیشتر کرده و بازیکن را در شرایط دشوارتری قرار می‌دهد. بنابراین انباشت بیش از حد تعهد به عنوان یک عامل نامطلوب برای وضعیت بازیکن در نظر گرفته شده است.

همچنین اثر تشدید تنش در تابع پتانسیل لحاظ شده است. این بخش شامل شدت سیگنال خود بازیکن، شدت سیگنال حریف و حاصل‌ضرب این دو سیگنال است و در مجموع با ضریب -0.20 کسر می‌شود. وجود این جمله باعث می‌شود که مدل از ورود غیرضروری به وضعیت‌های دارای سیگنال‌های شدید و تشدید متقابل تنش پرهیز کند. به ویژه

حاصل‌ضرب سیگنال‌ها، شرایطی را که هر دو بازیکن به طور هم‌زمان در حال تشدید هستند، با امتیاز منفی بیشتری همراه می‌کند.

در نهایت، وجود میانجی‌گری به عنوان یک عامل مطلوب با ضریب $+0.15$ در نظر گرفته شده است. از آنجا که میانجی‌گری ارزش خروج را افزایش می‌دهد، وجود آن می‌تواند بازیکن را به سمت وضعیت‌هایی هدایت کند که حل‌وفصل بازی با هزینه‌ی کمتری امکان‌پذیر است.

در نتیجه، تابع پتانسیل نهایی به صورت

$$\Phi = 0.80\,D + 0.15\,T - 0.15\,C - 0.20\,E + 0.15\,M$$

در نظر گرفته می‌شود که به ترتیب، D نشان‌دهنده‌ی ارزش تصمیم‌گیری، T اختلاف زمان باقی‌مانده تا اتمام تاب‌آوری، C میزان تعهد، E میزان تشدید تنش و M وضعیت میانجی‌گری است.

بنابراین، هدف از این شکل‌دهی آن است که یادگیری مدل نسبت به وضعیت‌هایی که از نظر نظری دارای ارزش اقتصادی و استراتژیک بیشتری هستند، سریع‌تر و پایدارتر شود. در عین حال، پاداش اصلی بازی همچنان توسط محیط تعیین می‌شود و شکل‌دهی تنها به عنوان یک سیگنال کمکی در فرآیند آموزش استفاده می‌شود.

۴ تفسیر نتایج

موارد خواسته شده در این بخش عموما در طول این گزارش به طور مستقیم یا غیرمستقیم بررسی شده‌اند. در اینجا تفسیر هر کدام را به زبان قابل‌فهم قرار می‌دهم:

چرا تقابل پرهزینه می‌تواند ادامه پیدا کند؟

چون تصمیم به ادامه، مقایسه هزینه با صفر نیست؛ مقایسه ارزش ادامه V_i^C با ارزش خروج X_i است. تا زمانی که هر دو طرف ادامه را بر خروج ترجیح دهند (رابطه (۱))، تقابل می‌ماند، حتی اگر برای هر دو پرهزینه باشد. بنابراین ادامه پرهزینه، رفتار غیرعقلانی نیست؛ نتیجه تعادلی یک جنگ فرسایشی با اطلاعات ناقص است.

هرچند در مدل پیاده‌سازی شده اغلب بازی‌ها کمتر از 8 مرحله به طول می‌انجامد که این موضوع نشان می‌دهد در تقابل 2 ایجنت منطقی ادامه تقابل ازجایی به بعد برای هر دو طرف به شدت پرهزینه می‌شود و بازی تقریبا سریع تمام می‌شود.

چرا افزایش هزینه لزوماً به پایان تقابل منجر نمی‌شود؟

چون آنچه وارد تصمیم می‌شود هزینه خام نیست، هزینه مؤثر ادامه دادن g_i است؛ و هزینه‌های گذشته و بر تصمیم کنونی اثر نمی‌گذارند. اگر ظرفیت مدیریت هزینه بالا بماند، افزایش فشار خام خنثی می‌شود، و تصمیم تنها به هزینه‌های آینده و مقایسه آن‌ها با ارزش خروج بستگی دارد. پس افزایش هزینه به‌خودی‌خود پایان تقابل را نمی‌سازد.

چرا مدیریت هزینه می‌تواند از خود هزینه مهم‌تر باشد؟

هزینه خام از فیلتر معیار مدیریت هزینه داخلی بازیکن می‌گذرد، و چیزی که در تصمیم‌گیری نقش دارد این هزینه موثر است. بنابراین بازیکنی که مدیریت هزینه بالاتری دارد می‌تواند فشار خام بیشتری را مدیریت کند (به اصطلاح فشار را جذب کند.) در نتیجه می‌شود گفت که تاب‌آوری را ظرفیت مدیریت هزینه‌ها تعیین می‌کند.

چرا باورها و برداشت‌ها از واقعیت مادی مهم‌تر می‌شوند؟

از آنجایی که نوع و تاب‌آوری حریف مشاهده نمی‌شود، هر طرف بر اساس باور μ_j^t بازی می‌کند، نه بر اساس واقعیت. بازیکن ضعیف‌تری که تاب‌آوری‌اش بالا پنداشته شود، بازدارندگی بیشتری کسب می‌کند تا بازیکن قوی‌تری که تاب‌آوری‌اش پایین

پنداشته شود. از این رو، سیگنال‌ها و عملکرد زیر فشار که باورها را می‌سازند بازی را هدایت می‌کنند و تقابل، بیش از آن‌که مسابقه توان مادی باشد، مسابقه باورها و تحلیل‌ها است.

چرا سیگنال قوی همیشه بهترین انتخاب نیست؟

چون هر سیگنال دو لبه دارد: اعتبار را بالا می‌برد اما انعطاف را پایین می‌آورد. سیگنال حداکثری می‌تواند فرستنده را در تعهد خودش گرفتار کند، ارزش خروج X_i را به شدت کاهش دهد، و ادامه دادن را تبدیل به اجبار کند. (تنوع را از حرکت‌های بعدی سلب کند) بنابراین سیگنال بهینه باید هم به اندازه قوی باشد هم انعطاف داشته باشد.

همچنین خود سیگنال چه در لحظه و چه درطول بازی هزینه ایجاد می‌کند. این هزینه با افزایش قدرت سیگنال زیاد می‌شود و می‌تواند هزینه انباشه مخاطب را هم زیاد کند. (همانگونه که در پروژه پایتون دیدیم)

چرا خروج باید از نظر سیاسی امکان‌پذیر باشد؟

چون ارزش خروج $X_i(t, h^t)$ ثابت نیست و از تاریخچه ساخته می‌شود: تعهدات عمومی، هزینه مخاطب داخلی و نبود مسیر حفظ آبرو می‌توانند آن‌قدر X_i را پایین بیاورند که خروج از ادامه پرهزینه‌تر شود. در این حالت بازیکن نه به امید پیروزی، بلکه به دلیل نبود خروج قابل قبول ادامه می‌دهد؛ به همین دلیل خروج باید ساخته شود — با میانجیگری، زبان حفظ آبرو و گام‌های متقابل.

چرا حفظ انعطاف‌پذیری بخشی از عقلانیت راهبردی است؟

چون عقلانیت اقتضایی یعنی بازیکن در هر مرحله بتواند، در صورت برتری هزینه‌ها بر منافع، متوقف شود. اگر مسیر خروج بسته شود، این گزینه از بین می‌رود و بازیکن حتی زمانی که ادامه دادن مضر است در بازی می‌ماند. پس حفظ انعطاف (نگه‌داشتن X_i در سطحی معقول) ضعف نیست؛ شرط لازم برای آن است که ادامه همیشه یک انتخاب بماند، نه اجبار.

۵ محدودیت‌های مدل

در این بخش کمبودها و محدودیت‌های این مدل ارائه شده را بررسی می‌کنیم و به سوالات مطرح شده پاسخ می‌دهیم:

مدل چه چیزهایی را ساده‌سازی کرده است؟

هر طرف یک بازیکن واحد با نوع اسکالر $\theta_i = (\bar{\rho}_i, \bar{m}_i)$ و یک متغیر پنهان e_i^t است؛ مراکز تصمیم‌گیری، سازمان‌ها و جریان‌های داخلی تجمیع شده‌اند. هزینه‌ها به سه جزء کاهش یافته و در یک نسبتِ واحد g_i خلاصه شده‌اند، و توابع B_i و X_i تنها با خواص یکنوایی مشخص شده‌اند، نه فرم دقیق. زمان گسسته است و رخدادهایی مانند تصادف یا تشدید ناخواسته تنها از طریق r_i یا تاریخ h^t وارد مدل می‌شوند. این ساده‌سازی‌ها بهای تحلیل‌پذیری است؛ مدل جهت اثرها را می‌گیرد، نه اندازه دقیق آن‌ها را.

آیا دو بازیکن برای این مسئله کافی است؟

برای پرسش مرکزی — مسابقه تاب‌آوری دوجانبه — تا حد زیادی بله، چون مکانیسم اصلی (هزینه‌ها، سیگنال‌ها، باورها و خروج) دوجانبه است. اما طرف‌های ثالث (بازیگران منطقه‌ای، متحدان، قدرت‌های بزرگ، نهادهای بین‌المللی) تنها به‌طور غیرمستقیم وارد می‌شوند؛ به‌صورت جابه‌جایی در c_i و r_i، یا تغییر X_i از طریق میانجیگری و تضمین. پرسش‌هایی مانند اجرای ائتلافی تحریم‌ها یا سرریز منطقه‌ای در این چارچوب فشرده شده‌اند.

از آنجایی که هدف اصلی مسئله بررسی دو طرف درگیر است و نه بررسی رفتار میانجی‌ها و کشورهای درگیر، در مجموعه می‌توان گفت دو بازیکن کافی است، و اضافه کردن بازیکن‌های دیگر پیچیدگی‌ها را زیاد می‌کند و تمرکز را از قسمت اصلی دور می‌کند.

نقش بازیگران منطقه‌ای، متحدان، افکار عمومی و نهادهای داخلی چگونه ساده شده است؟

در این مدل، افکار عمومی و نهادهای داخلی به‌عنوان بازیگران راهبردی مستقل مدل نشده‌اند، بلکه اثر آن‌ها به‌صورت فشرده در متغیرهایی مانند a_i^{aud} و X_i وارد شده است. بنابراین، فشار یا حمایت داخلی می‌تواند بر هزینه‌های ادامه تقابل و ارزش خروج اثر بگذارد، اما خودِ فرایند سیاسی داخلی به‌عنوان یک مرحله یا بازیگر جداگانه در نظر گرفته نمی‌شود.

به‌طور مشابه، متحدان و بازیگران منطقه‌ای نیز دارای تابع مطلوبیت، اطلاعات خصوصی یا راهبرد مستقل نیستند. اثر آن‌ها در مدل عمدتاً از طریق تغییر در هزینه‌های مؤثر، تاب‌آوری، یا ارزش گزینه خروج طرفین لحاظ می‌شود. در نتیجه، مدل تعاملات چندجانبه و تصمیم‌گیری مستقل این بازیگران را کنار می‌گذارد و تمرکز خود را بر تعامل راهبردی دو بازیکن اصلی حفظ می‌کند.

آیا فرض عقلانیت کامل قابل دفاع است؟

این فرض تا حدی قابل دفاع است، زیرا مدل فرض می‌کند هر دو طرف بر اساس اطلاعات و باورهای خود، تصمیمی را انتخاب می‌کنند که مطلوبیت مورد انتظارشان را بیشینه کند. (در واقع سود باید طوری تعریف شده باشد که واقعا خواسته طرفین را نشان دهد) با این حال، در دنیای واقعی تصمیم‌گیری ممکن است تحت تأثیر خطا، اطلاعات ناقص و محدودیت‌های انسانی باشد. بنابراین، عقلانیت کامل بیشتر یک فرض ساده‌کننده برای تحلیل نظری است تا توصیفی کامل از رفتار واقعی طرفین.

آیا باورها همیشه با قاعده بیز به‌روزرسانی می‌شوند؟

قاعده بیز فقط در مسیر تعادل، یعنی برای تاریخ‌های با احتمال مثبت، اعمال می‌شود، و برای تاریخ‌های خارج از مسیر، در صورت وجود، باورها مشخص نیستند و نیاز به تعیین جداگانه دارند، در عمل نیز به‌روزرسانی ممکن است از بیز فاصله بگیرد: سوگیری تأیید، استنتاج انگیزشی، خطای اطلاعاتی و سیاسی‌بودن باورها تفسیر را پرنویزتر و چسبنده‌تر از آن می‌کنند که مدل فرض می‌کند.

آیا سیگنال‌ها همیشه قابل مشاهده و قابل تفسیر هستند؟

در این پروژه خیلی درباره نوع و شکل سیگنال‌ها صحبت نشده. به طور کلی ممکن است سیگنال‌ها نویز داشته باشند، دستکاری شده باشند، یا حتی کاذب باشند. به همین دلیل ممکن است این سیگنال‌ها لزوما به خوبی قابل تفسیر و نتیجه‌گیری نباشد.

می‌شود گفت در دنیای واقعی آنقدر پارامترها و داده‌ها زیاد هستند که مدل‌سازی این سیگنال‌ها در چند عدد و مقدار کار دشواری است.

آیا مدل قدرت پیش‌بینی دارد یا فقط چارچوب تحلیلی ارائه می‌دهد؟

آنطور که مقاله تاکید می‌کند هدف اصلی این مدل ارائه یک چارچوب تحلیلی است. اما می‌توان اگر به عنوان یک ناظر، از اطلاعات بازی آگاه باشیم، می‌شود از این مدل برای پیش‌بینی اتفاقات آینده نیز استفاده کرد.

اما اگر اطلاعات ما از دو طرف ناقص باشد، یا از یک طرف ناآگاه باشیم (همانند یک بازیکن) آنگاه لزوما قدرت پیشبینی بالایی نداریم و نمی‌شود با دقت خوبی تحلیل کرد.

درواقع ارزش مدل در سازمان‌دادن متغیرها و تولید پیامدهای کیفی قابل آزمایش است؛ به‌کارگیری آن به‌عنوان ابزار پیش‌بینی، سواستفاده از چارچوب است.

کدام نتیجه مدل نسبت به تغییر مفروضات حساس‌تر است؟

به نظر می‌رسد حساس‌ترین نتیجه مدل، تصمیم نهایی بازیکنان برای ادامه دادن یا خروج از تقابل و در نتیجه تعادل بازی باشد. دلیل آن این است که مفروضات مختلف مدل، مانند هزینه ادامه تقابل، تاب‌آوری بازیکنان، باور آن‌ها درباره طرف مقابل، هزینه

و اعتبار سیگنال‌ها و همچنین ارزش خروج، همگی می‌توانند روی مطلوبیت نهایی بازیکنان اثر بگذارند.

برای مثال، اگر هزینه ادامه تقابل افزایش پیدا کند یا باور یک بازیکن نسبت به تاب‌آوری طرف مقابل تغییر کند، ممکن است تصمیم او از «ادامه دادن» به «خروج» تغییر کند. بنابراین حتی یک تغییر نسبتاً کوچک در برخی مفروضات می‌تواند در شرایطی که بازیکن نزدیک به مرز تصمیم‌گیری است، نتیجه تعادلی بازی را تغییر دهد.

در نتیجه، حساسیت اصلی مدل در مرز بین ادامه تقابل و خروج دیده می‌شود؛ زیرا تغییر در مفروضات می‌تواند نه‌تنها مقدار مطلوبیت بازیکنان، بلکه خودِ استراتژی و نتیجه تعادلی بازی را تغییر دهد.

استفاده هوش‌مصنوعی

از هوش مصنوعی برای فهم بهتر، بررسی عمیق‌تر، تولید متون اولیه و کدها استفاده شده. اما تمام گزارش به‌دقت بررسی شده و محتویات آن با اطلاع کامل از جزییات، نهایی شده است. مسئولیت کامل این گزارش برعهده خودم هست.