

مدل جاذبه برای دانشجویان کارشناسی

یوتو وی. یوتوف

ترجمه شده به فارسی توسط:

صالح صحابه تبریزی

حمید فیروز



DREXEL UNIVERSITY

Center for

Global Policy Analysis

LeBow College of Business

The CGPA working papers are circulated for discussion and comment purposes. They have not been peer-reviewed or been subject to the review by the CGPA Board. The CGPA does not hold any responsibility for the content and correctness of the papers in this series.

خطاب به اساتید

از این که از این فصل در کلاس خود استفاده می‌کنید سپاسگزارم! من زمان و تلاش زیادی برای نوشتن این فصل صرف کرده‌ام و امیدوارم برای شما و دانشجویان‌تان مفید باشد. این فصل، داده‌ها و کدهای تحلیل عملی و همچنین سؤالات تمرینی و پاسخ‌های آنها همگی کالاهای عمومی رایگان هستند. با این حال به نکات زیر توجه کنید:

- دانشجویان خود را تشویق کنید که این فصل را همراه با داده‌ها و کدها، مستقیماً از وبسایت زیر دانلود کنند. این کار به من کمک می‌کند تا میزان استفاده از فصل را پیگیری کنم و مشخص کنم که آیا ادامه این تلاش ارزشمند است یا خیر: https://yotoyotov.com/Gravity_Undergrads.html

- اگر اشکال، اشتباه یا تناقضی در فصل یا داده‌ها و کدهای همراه مشاهده کردید یا پیشنهاداتی برای بهبود دارید، از طریق این ایمیل مرا مطلع کنید: yotov@drexel.edu. پیشنهادات شما برای تغییراتی که فصل را مفیدتر می‌کنند، همیشه مورد استقبال قرار می‌گیرند.

- اگر می‌خواهید به کلید سؤالات تمرینی این فصل دسترسی داشته باشید، از طریق این ایمیل با من تماس بگیرید: yotov@drexel.edu

- در نهایت، اگر دانشجویان شما در پروژه‌های پژوهشی از این فصل استفاده می‌کنند، از ایشان بخواهید که به این فصل به درستی ارجاع دهند.

درباره‌ی نویسنده



این فصل دو عشق حرفه‌ای بزرگ من را ترکیب می‌کند - علاقه‌ام به تدریس و تعهدی که به مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل دارم. به همین دلیل این فصل را یکی از ارزشمندترین کارهای خود می‌دانم و امیدوارم برای بسیاری از دانشجویان کارشناسی، دانشجویان کارشناسی ارشد و دیگران که ممکن است از آشنایی با مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل بهره‌مند شوند، مفید باشد.

در حقیقت، من به دلیل علاقه‌ام به تدریس و جاذبه تصمیم گرفتم وارد دورهٔ دکتری شوم و دورهٔ کاری خود را به توسعهٔ مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل اختصاص داده‌ام. خوشبختانه، در این حوزه پیشرفت‌های زیادی نیز داشته‌ام، از توسعهٔ مدل‌های نظری و شیوه‌های تخمین گرفته، تا ارتقاء روش‌های محاسباتی و حتی ساخت پایگاه‌های اطلاعاتی. کارهای من در گستره‌ای از نشریات معتبر علمی چاپ شده‌اند و بارها نیز از مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل برای مشاوره دادن به سازمان‌های بین‌المللی، دولت‌ها و اندیشکده‌ها استفاده کرده‌ام.

در این میان، شاید مهم‌ترین کاری که انجام داده باشم این است که بارها مدل جاذبه را به صدها دانشجو، پژوهشگر و سیاست‌گذار از بیش از ۱۳۰ کشور تدریس کرده‌ام. همچنین، راهنمای چندین پروژهٔ پژوهشی توسط دانشجویان بوده‌ام. همین امر مرا متقاعد کرده است که مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل به‌راستی برای دانشجویان کارشناسی قابل دسترس و مفید است. به گمان من، این فصل می‌تواند منبعی منحصر به فرد برای تدریس روش‌های پیشرفته و ابزارهای کاربردی سیاستی در کلاس‌های کارشناسی باشد. به همین دلیل، نگارش آن را افتخاری برای خود می‌دانم.

درباره‌ی مترجمین



صالح صحابه تبریزی دانشیار کالج بازرگانی دانشگاه آکلاه‌ماس. علاقه‌مندی‌های پژوهشی او غالباً به موضوعاتی در اقتصاد بین‌الملل مرتبط است. همچنین، او در مدرسهٔ تحصیلات تکمیلی کالج بازرگانی به تدریس اقتصاد و اقتصاد سنجی می‌پردازد. او دارای دکترای اقتصاد از دانشگاه ویسکانسین در میلواکی است. پیش از آن نیز، او مدرک مطالعات پیشرفته در اقتصاد بین‌الملل را از مؤسسهٔ اقتصاد جهان کیل، مدرک کارشناسی ارشد اقتصاد بین‌الملل و مالیه را از دانشگاه ماگدبورگ، و مدرک کارشناسی اقتصاد را از دانشگاه علامه طباطبائی اخذ کرده بود.



حمید فیروز استادیار اقتصاد در دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی است. پیش از این سمت، او به‌عنوان پژوهشگر مهمان (اقتصاددان ارشد) در بانک فدرال رزرو سان‌فرانسیسکو فعالیت داشت و عضو هیئت علمی در دانشگاه راجستر و دانشگاه فلوریدا بوده است. زمینه‌های پژوهشی او شامل اقتصاد بین‌الملل، قدرت انحصاری، اقتصاد کلان بازار کار و پویایی بنگاه‌ها است. او دارای دکترای اقتصاد از دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا و همچنین کارشناسی ارشد اقتصاد و کارشناسی مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی شریف است.

از بسیاری از همکاران و دوستان که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در شکل‌گیری این فصل نقش داشته‌اند، از جمله دلینا اگنوستوا، جیمز اندرسون، اسکات بایر، ریچارد بالدوین، ریچارد بارنت، جف برگسترن، گُسیمو بوره‌لی، اینگو بورچرت، سباستین بردلی، فدریکو کاریل-کاسیا، کارستن اِکل، پیتر اِگر، گابریل فلبرمایر، لیساندرا فلاش، خاویر فلورز، لیونل فونتانیه، ربکا فریمن، جین گروسمن، جین گروسمن. جیمز هریگان، پَنو هاید، اینگا هایلاند، جولیان هینز، پیتر هرمان، پل کو، اوهیون کوون، ماریو لارچ، مایا لیناسک، جف لاکستد، مارتینا ماگلی، ایما مارتینس-زارسوزو، زَنیا ماتشکه، خوزه آنتونیو مونتیرو، آرنه ناگنگاست، سرگی نیگای، کوین اُروک، جوردی پانی‌اگوآ، بلیک پیترز، روبرتا پیرمارتینی، ری ریزمن، فرناندو ریوس-آویلا، آنا ماریا سانتاکرو، مائوریسیو سپولودا، سرژ شیکر، ژوواو سانتوس سیلوا، باب استایگر، کوستاس سیروپولوس، آنجلوس تئودوراکوپولوس، فرید توبال، ژوشکا وانر، اردال یالچین، جانگسو یون و تام زیلکین سپاسگزارم. همچنین از بلیز جیانجیولیو به‌طور ویژه برای کمک‌های ارزشمندش در تمام ابعاد این فصل تشکر می‌کنم. به علاوه، از حمایت و تشویق مرکز تجزیه و تحلیل سیاست جهانی در دانشگاه درکسل قدرانی می‌کنم. مطابق با اغلب کتاب‌های درسی کارشناسی، تعداد منابع را اندک نگه داشته‌ام. با این حال در سراسر فصل، خواننده را به برخی مقالات و مرورهای کلیدی ارجاع می‌دهم. مسئولیت تمامی بیانات و خطاها بر عهده من است.

در پایان، از صالح صحابه تبریزی و حمید فیروز بابت ترجمه‌ی این فصل از انگلیسی به فارسی تشکر می‌کنم. امیدوارم که این فصل برای بسیاری از دانشجویان فارسی‌زبان مفید باشد و سودمند.

مدل جاذبه برای دانشجویان کارشناسی

مدل جاذبه، مدلی بنیادین و بسیار پرکاربرد در تحلیل تجارت بین‌الملل است و ابزاری مهم برای بررسی سیاست‌های تجاری به‌شمار می‌رود. به‌عنوان نمونه، همگی تحلیل‌های کمی مربوط به تعرفه‌های اعمال‌شده از سوی رئیس‌جمهور آمریکا در ابتدای سال ۲۰۲۵، آثار خروج بریتانیا از اتحادیه اروپا و تأثیر تحریم‌های تجاری علیه روسیه پس از حمله‌اش به اوکراین، که همگی آنها در رسانه‌های عمومی به‌طور گسترده پوشش داده شدند، بر پایه نسخه‌هایی از مدل جاذبه به‌دست آمده‌اند. بنابراین، جای شگفتی نیست اگر بگوییم معادله‌ی جاذبه شاید تنها مدل تجربی باشد که در صفحه‌ی اول روزنامه‌ی «فایننشال تایمز» نیز معرفی شده است و به نمایش درآمده است (شکل ۱).

شکل ۱: مدل جاذبه در صفحه‌ی اول روزنامه‌ی فایننشال تایمز



منبع: روزنامه‌ی فایننشال تایمز، ۲۸ فروردین ۱۳۹۵. الهام‌گرفته از سخنرانی «پیتر نیری» در انجمن اقتصاددانان بریتانیا در فروردین ماه ۱۳۹۸

دلایل اصلی شهرت و اهمیت معادله‌ی جاذبه در اقتصاد این است که ۱. توان پیش‌بینی آن در مقایسه با سایر مدل‌ها بی‌رقیب است؛ ۲. بر پایه‌ی نظریه‌های محکم و پذیرفته‌شده‌ی اقتصادی بنا شده است؛ ۳. بسیار شهودی و قابل‌فهم است و حتی برای مخاطبان متنوع، از جمله دانشجویان کارشناسی، به‌سادگی قابل استفاده است؛ و ۴. بهره‌بردن از آن در مدل‌های سنجی برای تحلیل بسیاری از سیاست‌های تجاری بسیار ساده و سراسر است. با وجود این مبانی نظری قوی، جذابیت شهودی و موفقیت چشمگیر این مدل در عمل، معادله‌ی جاذبه هنوز جایگاه شایسته‌ی خود را در کتاب‌های درسی تجارت بین‌الملل در سطح کارشناسی پیدا نکرده است. برای پر کردن این خلاء، این فصل چندین هدف را دنبال می‌کند:

- در بخش ۱، مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل به دانشجویان کارشناسی معرفی می‌شود. در این بخش توضیح داده می‌شود که چرا مدل جاذبه ابزاری ارزشمند برای دانشجویان است و چگونه می‌تواند درک آنها از عوامل تعیین‌کننده‌ی تجارت میان کشورها را تقویت کند. همچنین بیان می‌شود که چه ویژگی‌هایی باعث شده‌اند مدل جاذبه به یکی از محبوب‌ترین و موفق‌ترین مدل‌ها در پژوهش‌ها و سیاست‌گذاری تجاری تبدیل شود.
- در بخش ۲، پشتوانه‌ی نظری معادله‌ی ساده‌ی جاذبه ارائه می‌شود. سپس نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان نسخه‌ی ساده‌ی جاذبه را به یک مدل جاذبه‌ی ساختاری تبدیل کرد. همچنین پیامدهای مهم نظریه‌ی جاذبه برای کاربردهای تجربی و برآوردهای این مدل برجسته می‌شود.
- در بخش ۳، معادله‌ی نظری جاذبه به یک مدل اقتصادسنجی ترجمه می‌شود. سپس مهم‌ترین چالش‌های اقتصادسنجی در برآوردهای جاذبه توضیح داده می‌شود. در ادامه، چندین توصیه‌ی شهودی و آسان برای اجرای برآوردهای جاذبه ارائه و جمع‌بندی می‌شود.
- در بخش ۴، تحلیل‌های عملی با داده‌های واقعی و کدهای ساده برای کاربردهای عملی ارائه می‌شود. همچنین مجموعه‌ای از پرسش‌های تمرینی، راهنمایی‌ها و داده‌های تکمیلی ارائه می‌شوند که جملگی می‌توانند برای پروژه‌های تجربی، درس‌های اقتصادسنجی، و نگارش پایان‌نامه‌ی کارشناسی مفید باشند. این مطالب در بخش ۴ و مجموعه‌ی پرسش‌های پایانی فصل ارائه شده‌اند.

۱. مدل جاذبه - چرا باید آن را مطالعه کرد و چرا محبوب است؟

در پاسخ به پرسش‌های همکاران و با توجه به بازخورد دانشجویان کارشناسی که با مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل آشنا شده‌اند و نیز بر اساس تجربه تدریس و مشاوره خودم، قویاً معتقدم که جاذبه می‌تواند و باید به دانشجویان کارشناسی آموزش داده شود. جعبه ۱ فهرستی از دلایل ارائه می‌کند که چرا مدل جاذبه باید در دوره‌های کارشناسی پوشش داده شود و چگونه می‌تواند به دانشجویان کارشناسی سود برساند.

جعبه ۱: چرا باید مدل جاذبه را مطالعه کرد و این مدل چگونه می‌تواند برای دانشجویان کارشناسی مفید باشد؟

- مدل جاذبه در پیش‌بینی جریان‌های تجاری غالباً موفق است و در پژوهش‌های دانشگاهی و ارزیابی‌های سیاست‌گذاری نیز بیشتر از هر مدل دیگری که در کتاب‌های درسی تجارت بین‌الملل در سطح کارشناسی پوشش داده می‌شوند، استفاده می‌شود.
- مدل جاذبه می‌تواند نظریه‌های کلاسیک تجارت را تکمیل و تقویت کند، به‌ویژه از آن جهت که معادله سنجی این مدل به دانشجویان اجازه می‌دهد برخی از این نظریه‌ها را به‌صورت عملی آزمون کنند.
- مدل جاذبه کاربردهای عملی و زیادی دارد. این مدل تجربی با واقع‌بینی و جدیت هزینه‌های تجاری را در نظر می‌گیرد و به‌آسانی می‌تواند با داده‌های واقعی اجرا شود و بدین ترتیب موجب غنا بخشیدن به درس‌های تجارت در دوره کارشناسی می‌شوند که غالباً نظری هستند و فاقد تحلیل‌های کاربردی.
- به دلیل جذابیت شهودی و بیان نظری ساده آن، مدل جاذبه برای مخاطبان گسترده، از جمله دانشجویان کارشناسی، به سادگی قابل فهم است.
- به‌واسطه پیشرفت‌های اخیر در اقتصادسنجی و محاسبات، اجرای مدل تجربی جاذبه پیشرفته با دانش پایه‌ای از اقتصادسنجی (مثلاً استفاده از حداقل مربعات معمولی و اثرات ثابت: Ordinary Least Squares with Fixed Effects) ممکن است. برای تسهیل این امر، این فصل داده‌های واقعی، کدهای اقتصادسنجی، تحلیل عملی و سؤالات تمرینی را در اختیار می‌گذارد.
- مدل جاذبه می‌تواند فراتر از تجارت برای دانشجویان سودمند باشد. شهود و ابزارهای عملی این فصل را می‌توان به‌طور مستقیم برای مطالعه جریان‌های مهاجرتی دوسویه، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، ثبت دوسویه اختراعات فرامرزی و موارد دیگری به کار برد.
- علاوه بر استفاده در دوره تجارت بین‌الملل در سطح کارشناسی، مدل جاذبه می‌تواند در دوره‌های اقتصادسنجی، سمینارهای کارشناسی و برای دانشجویانی که می‌خواهند پایان‌نامه کارشناسی بنویسند یا روی پروژه‌های پژوهشی کار کنند، مفید باشد.

مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل. معادله جاذبه در تجارت بین‌الملل پیش‌بینی می‌کند که جریان‌های تجاری دوجانبه میان دو کشور (X_{ij}) - یعنی واردات کشور j از کشور i - متناسب با حاصل ضرب اندازه اقتصادی کشور صادرکننده (Y_i) و کشور واردکننده (Y_j) است و برعکس میزان موانع و هزینه‌های تجاری دوجانبه میان دو کشور (T_{ij}) :

$$X_{ij} = \tilde{G} \frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^\theta}, \quad (1)$$

در معادله شماره ۱، $\tilde{G}$ ثابت جاذبه تجاری است و θ کشش جریان‌های تجاری نسبت به موانع تجاری را نشان می‌دهد. به طور خاص، پارامتر θ نشانگر میزان حساسیت تجارت به تغییرات هزینه‌های تجاری است. به صورت شهودی، معادله شماره ۱ بیان می‌کند که هرچه دو کشور بزرگ‌تر و به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، بیشتر با یکدیگر تجارت می‌کنند. سادگی و شهودی بودن مدل جاذبه در تجارت، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که این مدل را جذاب و پرکاربرد کرده است.

چرا مدل جاذبه این قدر محبوب است؟ چهار دلیل اصلی وجود دارد که چرا معادله جاذبه در تجارت میان اقتصاددانان و سیاست‌گذاران تا این حد پرتعداد است. نخست اینکه، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، شباهت آن با قانون جاذبه نیوتن باعث می‌شود مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل بسیار شهودی و قابل‌درک باشد.

۱. معادله جاذبه بسیار شهودی است

جعبه شماره ۲ شباهت چشمگیر میان معادله جاذبه در تجارت و قانون جاذبه عمومی نیوتن را نشان می‌دهد. معادله جاذبه حاکی از آن است که ارزش تجارت (نیروی جاذبه) میان دو کشور (دو جرم) با حاصل‌ضرب اندازه اقتصادی آن‌ها و عکس میزان موانع تجاری بین آنها (مربع فاصله) متناسب است. به بیان ساده، هرچه دو کشور بزرگ‌تر و به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، تجارت بیشتری نیز با یکدیگر خواهند داشت.

جعبه ۲: جاذبه در فیزیک و جاذبه در تجارت بین‌الملل

جاذبه در تجارت بین‌الملل

$$X_{ij} = \tilde{G} \frac{Y_i Y_j}{T_{ij}^\theta}$$

X_{ij} : ارزش جریان تجاری میان دو کشور i و j

$\tilde{G}$: ضریب ثابت جاذبه در تجارت

Y_i : اندازه اقتصاد کشور i

Y_j : اندازه اقتصاد کشور j

T_{ij} : هزینه‌ها/اصطکاک تجاری میان i و j

$\theta > 0$: کشش جریان تجاری نسبت به هزینه‌ها

جاذبه در فیزیک

$$F_{ij} = G \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2}$$

F_{ij} : نیروی جاذبه میان دو جسم i و j

G : ضریب ثابت جاذبه در فیزیک

M_i : جرم جسم i

M_j : جرم جسم j

D_{ij} : فاصله میان اجسام i و j

۲: کشش نیروی جاذبه نسبت به فاصله

آنچه شباهت چشمگیر میان معادلات جاذبه تجارت و فیزیک را جذاب‌تر می‌کند این است که معادله جاذبه تجارت می‌تواند به صورت تئوریک نیز از نظریه‌های اقتصاد خرد استخراج شود.

دومین دلیل محبوبیت معادله جاذبه در تجارت بین‌الملل این است که می‌تواند در عمل جریان‌های تجاری دوسویه را با دقتی چشمگیر پیش‌بینی کند.

۲. معادله جاذبه قدرت پیش‌بینی بالایی دارد

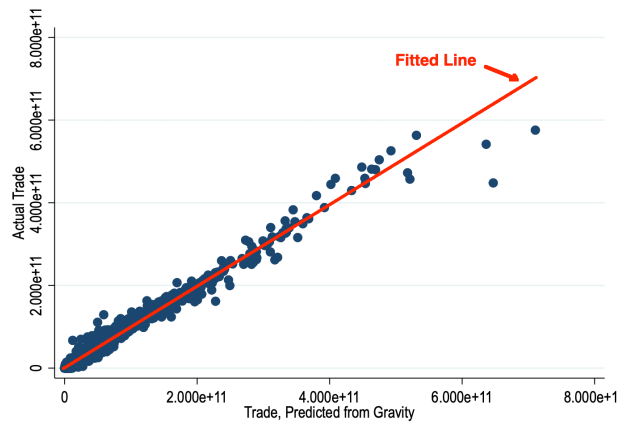
معادله جاذبه همواره تطابق بسیار قوی میان داده‌های واقعی تجارت و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل ایجاد می‌کند و برای مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل، که به «متغیرهای استاندارد جاذبه» معروف‌اند، برآوردهایی معقول (از نظر اندازه تخمین‌ها و علامت ایشان) به‌دست می‌دهد؛ این متغیرها شامل لگاریتم فاصله دوجانبه، و متغیرهای دیگری نظیر مرز مشترک، زبان رسمی مشترک، روابط استعماری، و توافقات تجاری منطقه‌ای هستند. برای نمونه، تخمین‌هایی که بر معادله جاذبه استوار شده‌اند نشان می‌دهند که هرچند تجارت دوسویه با افزایش فاصله میان دو کشور کاهش می‌یابد، اما با شکل‌گیری توافقات تجاری منطقه‌ای جریان‌های تجاری میان همان دو کشور افزایش می‌یابد.

شکل ۲ عملکرد چشمگیر مدل جاذبه را نشان می‌دهد؛ به این صورت که جریان‌های تجاری دوجانبه پیش‌بینی‌شده توسط مدل جاذبه را در برابر جریان‌های واقعی تجارت برای ۱۰۰ صادرکننده بزرگ جهان طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ ترسیم می‌کند. پیش‌بینی‌های ارائه‌شده در شکل ۲ حاصل یک مدل اقتصادسنجی مدرن جاذبه هستند که اجرای آن در بخش ۴ فصل توضیح داده خواهد شد.

نتایج تخمین‌های سنجی نشان می‌دهند که عملکرد تجربی این مدل مدرن در مقایسه با دیگر مدل‌های تجارت بی‌سابقه است؛ برای مثال، ضریب همبستگی میان تجارت واقعی و پیش‌بینی‌شده برابر با ۰/۹۹ است. با این حال، همان‌طور که در بخش ۴ و در پرسش‌های تمرینی انتهای فصل نیز نشان داده می‌شود، حتی مدل ساده جاذبه با تنها سه متغیر مستقل نیز می‌تواند جریان‌های تجاری دوجانبه را با موفقیت زیادی پیش‌بینی کند.

آنچنان که ذکر شد، پیش‌بینی‌های شکل ۲ بر پایه داده‌هایی انجام شده‌اند که طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ تغییر می‌کنند. نکته مهم این است که معادله جاذبه هم با داده‌های مقطعی (Cross Section) یک‌ساله بسیار خوب کار می‌کند و هم با داده‌های تابلویی (Panel Data) که نتیجه تجميع مشاهدات در طول سال‌ها هستند. به علاوه، معادله جاذبه چه با داده‌های کلان و تجميعی و چه با داده‌های ریز و تفکیک‌شده در هر سطحی از تفکیک (مانند محصول، صنعت، یا بخش) عملکرد بسیار خوبی دارد.

شکل ۲: پیش‌بینی جریان‌های تجاری دوسویه توسط مدل جاذبه



منبع: نویسنده، بر اساس مدلی که در بخش ۴ تشریح می‌شود.

سومین دلیل اصلی شهرت و اهمیت معادله جاذبه این است که این معادله بسیار انعطاف‌پذیر است.

۳. معادله جاذبه بسیار انعطاف‌پذیر است.

مدل جاذبه برای توضیح جریان‌های تجاری و کمی‌کردن تأثیر متغیرهای اثرگذار بر آن در صدها مقاله علمی به کار گرفته شده است. همچنین، این مدل ابزار اصلی برای تحلیل سیاست‌های تجاری نیز هست. جعبه شماره ۳ فهرستی تفصیلی (اما نه کامل) از عوامل «سنتی» و عوامل «غیرمتعارف‌تر» تأثیرگذار بر تجارت ارائه می‌دهد. می‌توان با اطمینان گفت که برای مطالعه تأثیر هر یک از این عوامل بر جریان‌های تجاری یا سایر تولیدهای اقتصادی که به تجارت بین‌الملل مرتبط هستند، ناگزیر باید از نوعی مدل جاذبه استفاده کرد.

جعبه ۳: کاربردهای معادله جاذبه

عوامل «سنتی» تأثیرگذار بر تجارت. فاصله، همسایگی، تولید ناخالص داخلی، جمعیت، سطح توسعه، موافقت‌نامه‌های تجاری ترجیحی، تعرفه‌ها، جنگ‌های تعرفه‌ای، یارانه‌های صادراتی، جغرافیا، موانع غیرتعرفه‌ای، عضویت در سازمان تجارت جهانی، اتحادیه‌های گمرکی، عضویت در اتحادیه اروپا، ارز مشترک و اتحادیه‌های پولی، عضویت در سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD)، عضویت در صندوق بین‌المللی پول (IMF)، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، مهاجرت، پیوندهای فرهنگی، روابط استعماری، زبان مشترک و غیره.

عوامل «غیرمتعارف‌تر» تأثیرگذار بر تجارت. کیفیت نهادی، کمک‌های خارجی، اعتماد، شهرت مردم، شهرت محصولات، نرخ ارز، بیماری فراگیر کووید، خروج بریتانیا از اتحادیه اروپا، برنامه‌های ترویج صادرات، ثبت اختراعات، موانع فنی تجارت، استانداردهای بهداشتی و قرنطینه، مالیات بر درآمد شرکت‌ها، مالیات بر ارزش افزوده، رویدادهای بزرگ ورزشی نظیر المپیک و جام جهانی، تحریم‌ها و مجازات‌ها (همچون تحریم‌ها علیه روسیه)، درگیری‌ها و جنگ‌ها، دزدی دریایی، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بسته شدن کانال سوئز، جنگ‌های تعرفه‌ای ترامپ و غیره.

برای آشنایی با منابع دقیق مربوط به بیشتر کاربردهای یادشده، خوانندگان علاقه‌مند را به (Yotov 2024) ارجاع می‌دهم.

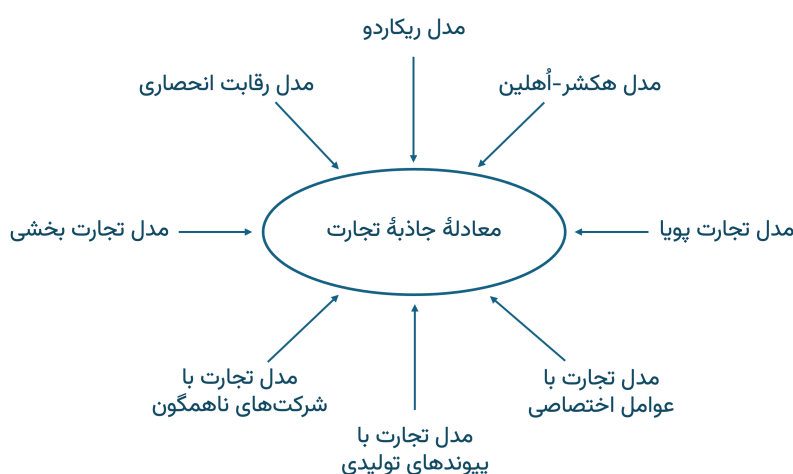
به جز توانایی برای دربرگرفتن گستره‌ای از متغیرهای تعیین‌کننده جریان‌های تجاری، چهار بُعد انعطاف‌پذیری دیگر برای مدل جاذبه وجود دارد. اول، جاذبه در هر سطحی از تفکیک داده‌ها قابل اعمال است: برای محصولات، صنایع، بخش‌ها و غیره. دوم، جاذبه با موفقیت برای مطالعه سایر جریان‌های دوجتهی همچون سرمایه‌گذاری خارجی، مهاجرت، انتقال فناوری بین‌المللی و غیره به کار رفته است، هرچند که مبانی نظری این قبیل پژوهش‌ها هم‌تراز و قابل مقایسه با مبانی نظری مدل جاذبه در تجارت نیستند. سوم، همان‌طور که بعداً در این فصل نشان داده خواهد شد، اجرای یک مدل تجربی جاذبه مدرن با نرم‌افزارهای آماری استاندارد بسیار آسان است. در نهایت، مدل جاذبه می‌تواند به‌طور انعطاف‌پذیر در مدل‌های گسترده‌تر ادغام شود، از جمله مدل‌های سرمایه‌گذاری در سرمایه فیزیکی، مدل‌های محیط‌زیستی، بازارهای کار و غیره.

چهارمین دلیل اصلی موفقیت مدل جاذبه این است که می‌توان آن را بر پایه نظریه‌های اقتصاد خرد استوار کرد.

۴. معادله جاذبه پشتوانه نظری محکم (و فراوان) دارد

یکی از ویژگی‌های چشمگیر معادله جاذبه تجارت آن است که تحت فروض نسبتاً مرسوم می‌توان آن را از مبانی خرداقتصادی مختلفی استخراج کرد. آنچنان که شکل ۳ نشان می‌دهد، معادله جاذبه را می‌توان از نظریه‌های کلاسیک تجارت که معمولاً در کتاب‌های درسی کارشناسی پوشش داده می‌شوند، مانند مدل ریکاردو، مدل هکشر-آهلین، مدل رقابت انحصاری و مدل عوامل اختصاصی استخراج کرد. همچنین همان معادله جاذبه از مدل‌های تجارت بخشی، مدل‌های تجاری پویا، مدل‌های تجارت با پیوندهای تولیدی و مدل‌های تجارت با بنگاه‌های ناهمگون نیز به دست می‌آید.

شکل ۳: برخی از بنیادهای نظری معادله جاذبه تجارت



منبع: نویسنده، با بهره‌گیری از (Yotov et al. 2016).

مدت زمان زیادی طول کشید تا جامعه دانشگاهی تجارت بین‌الملل متوجه شود که گستره‌ای از نظریات مختلف تجارت به یک معادله جاذبه ساده و شهودی منتهی می‌شوند (بخش عمده‌ای از این تحولات نظری در جعبه ۴ خلاصه شده است). اما با نگاه به گذشته، شاید چندان هم تعجب‌آور نباشد که محرک‌های جریان تجاری را بتوانیم تنها در سه دسته از عوامل خلاصه کنیم: نیروهای سمت صادرکننده، نیروهای سمت واردکننده، و نیروهای دوسویه. همین دسته عوامل می‌توانند در روابط دیگر دوسویه اجتماعی-اقتصادی نیز کاربرد داشته باشند. بنابراین، روش‌های تجربی و تحلیل عملی که در بخش‌های ۳ و ۴ ارائه می‌شود بالقوه به طور گسترده‌تری کاربرد خواهند داشت (مثال: سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، مهاجرت، جریان‌های فناوری و غیره).

پایه‌های نظری مدل جاذبه پیامدهای مهمی برای تحلیل‌های تجربی با استفاده از این معادله دارند. برای نمونه، هرچه برآوردهای تجربی هماهنگ‌تر با نظریه انجام شوند، قدرت پیش‌بینی کلی مدل جاذبه بیشتر می‌شود و تخمین آثار سیاست‌های تجاری نیز دقیق‌تر خواهد بود. همچنین در نظر گرفتن برخی ویژگی‌های نظری کلیدی مدل جاذبه به حل چند معمای مشهور در ادبیات تجارت کمک کرده است؛ برای مثال، این یافته ظاهراً متناقض که تأثیر فاصله بر تجارت در طول زمان کاهش نیافته است، یا اینکه مدل‌های ساده جاذبه نمی‌توانند عدم توازن‌های تجاری دوجانبه را به‌درستی توضیح دهند. نظریه جاذبه الهام‌بخش بسیاری از توصیه‌های مهم در برآورد مدل‌های جاذبه بوده است؛ از جمله ضرورت در نظر گرفتن هزینه‌های تجاری چندجانبه، که در بخش بعد با جزئیات بیشتری بررسی می‌شود. در نهایت، نظریه جاذبه امکان می‌دهد که آثار تجارت به سایر پیامدهای اقتصادی نیز منتقل و بررسی شوند؛ از جمله اثرات بازار کار، پیامدهای محیط‌زیستی، سرمایه‌گذاری در سرمایه فیزیکی، و رشد اقتصادی.

پیش از ادامه بحث، باید یادآور شد که مدل جاذبه – مانند بسیاری از ابتکارهای بزرگ – یک شبه مشهور نشد. همان‌طور که در جعبه ۴ خلاصه شده است، سال‌ها زمان برد تا مدل جاذبه جای خود را در میان اقتصاددانان تجارت پیدا کند و به مدل اصلی و پرکاربرد در تحلیل‌های تجاری تبدیل شود.

قابل توجه در قدرت محاسباتی تسهیل شد. همراه با آن، شیوه‌های جدید در حوزه تخمین، مانند استفاده از اثرات ثابت صادرکننده، واردکننده و زوج-کشوری معرفی شدند- کاربرد این اثرات ثابت در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرند. معرفی برآوردگر Poisson Pseudo Maximum Likelihood (PPML) توسط Santos Silva and Tenreiro (2006) قدم مهم دیگری بود. این برآوردگر بعدها به‌عنوان بهترین شیوه تخمین پارامترهای معادله جاذبه تثبیت شد.

در پایان نیز، Arkolakis et al. (2012) سلطه مدل جاذبه ساختاری را با نشان دادن این که بخش مهمی از مدل‌های بنیادین تجارت بین‌الملل در نهایت به همان معادله جاذبه منتهی می‌شوند، تثبیت کردند. به علاوه، همراه با بسیاری کاربردها و توسعه‌های نظری جدید، مدل جاذبه توانست در قالب فصلی مبسوط که در نسخه ۲۰۱۴ «کتاب راهنمای اقتصاد بین‌الملل» به چاپ برسد و جایگاه ویژه خود را در ادبیات اقتصاد بین‌الملل تثبیت کند. این مدل همچنین در «کتاب راهنمای تجارت و حمل‌ونقل بین‌الملل ۲۰۱۸» و در کتاب‌های اختصاصی تحلیل سیاست تجاری و تأثیر جهانی‌شدن مطرح شد.

معادله تجربی جاذبه همچنان مدل اصلی برای کاربردهای جدید باقی ماند، در حالی که دیگران نتایج موجود را با روش‌های بهتر برای اندازه‌گیری هزینه‌های تجاری و کمی کردن تأثیر تعیین‌کننده‌های مختلف (مثل اتحادیه‌های پولی، زبان مشترک، نرخ ارز، تحریم‌های اقتصادی و غیره) بازنگری کردند. به علاوه، داده‌های بهتر (از نظر پوشش کشور، بخش و زمان) امکان بررسی اثرات ناهمگون بسیاری از سیاست‌های تجاری (مثل موافقت‌نامه‌های منطقه‌ای، اتحادیه‌های پولی، تحریم‌ها و غیره) را در ابعاد مختلف فراهم کرد. همچنین، مطالعات دیگری نیز نشان دادند که جاذبه برای تجارت خدمات، معادن و کشاورزی و در هر سطحی از تفکیک - از سطح محصول تا سطح کل - بسیار خوب عمل می‌کند. به تدریج بیشتر از پیش روشن شد که برای مطالعه تأثیر هر یک از متغیرهای تعیین‌کننده جریان‌های تجاری باید به نوعی از مدل جاذبه متوسل شد. به‌علاوه، با بهره‌گیری از پیشرفت‌های ادبیات تجارت، پژوهشگران و سیاست‌گذاران مدل جاذبه در تجارت بین‌الملل را برای مطالعه سایر جریان‌های دوسویه مانند مهاجرت، سرمایه‌گذاری خارجی، ثبت اختراعات فرامرزی و غیره تطبیق دادند.

این دوران همچنین شاهد پیشرفت‌های مهم در زمینه تخمین، داده و نظریه بود. در حوزه تخمین روشن شد که برآوردگر PPML به‌طور کامل با نظریه جاذبه سازگار است. این تطابق نظری و دسترسی به ابزار تخمین، فضایی را فراهم آورد که تحلیل‌های جامع سیاست تجاری با نرم‌افزارهای آماری استاندارد و بدون نیاز به برنامه‌نویسی سفارشی انجام شود. پیشرفت‌های مهم دیگری نیز در حوزه نظری (مثل جاذبه با پیوندهای تولیدی و جاذبه با پویایی‌های دوسویه) رخ داد که بسیار راهگشا بودند. ترکیب عملکرد تجربی چشمگیر، ابزارهای اقتصادسنجی و محاسباتی جدید و پیشرفت‌های نظری باعث شد که پژوهش‌ها تجارت را به نتایج اقتصادی مختلفی مانند انتشار فناوری، بیکاری، انتشار کربن و غیره پیوند دهند. به علاوه، نسل جدیدی از پایگاه‌های داده جاذبه، شامل متغیرهای توضیحی و داده‌های تجارت بین‌المللی و داخلی در سطوح مختلف تفکیک، ساخته شد تا پیشرفت‌های نظری و نیازهای جدید کاربردی را پشتیبانی کند.

قدرت و موفقیت بی‌سابقه مدل جاذبه در سال ۲۰۲۵ آشکار شد؛ دلیل اصلی آن نیز تغییرات مکرر تعرفه‌ها در دوره دوم ریاست‌جمهوری ترامپ بود (مثلاً تعرفه‌های فولاد بر کانادا که در صبح روز ۱۹ اسفندماه ۱۴۰۳ اعمال شد). به‌واسطه پیشرفت‌های چشمگیر در ادبیات جاذبه، پژوهشگران توانستند اثرات کامل (جزئی و تعادل عمومی) سیاست‌های تجاری را با سرعت و بی وقفه تحلیل کنند.

شرح روند تکامل مدل جاذبه بر اساس Yotov (2024) تنظیم شده است. خوانندگان علاقه‌مند می‌توانند برای بحثی مفصل‌تر و دسترسی کامل به منابع بیشتر، به آن مقاله مراجعه کنند.

در سال ۲۰۲۵ میلادی، مدل جاذبه بر حوزه تجارت بین‌الملل حکمفرماست! اما راه رسیدن آن به شهرت آسان نبود. بد نیست بدانید که اولین کاربردهای جاذبه در اقتصاد، به نظریات اقتصادی اتکا نمی‌کردند و تنها از قانون جاذبه در فیزیک الهام گرفته بودند. بسیاری، Tinbergen (1962) را به‌عنوان نخستین استفاده جاذبه در اقتصاد می‌دانند. ولکن این ممکن است تنها از منظر مطالعات اقتصاد بین‌الملل درست باشد، چرا که تینبرگن (برنده جایزه نوبل اقتصاد در سال ۱۹۶۹) نخستین کسی بود که از جاذبه برای مدل کردن جریان‌های تجاری بین‌المللی استفاده کرد. مدتها قبل از تینبرگن، (1885) Ravenstein معادله جاذبه را برای جریان‌های مهاجرت به کار برده بود. با این همه، برخی از شاگردان تینبرگن در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ کار او را ادامه دادند، هرچند که اغلب اقتصاددانان آن دوران جاذبه را به‌دلیل فقدان مبانی نظری، مدلی جدی برای تجارت نمی‌دانستند.

اگرچه درباره اینکه چه کسی نخستین بار جاذبه را وارد اقتصاد کرد بحث‌هایی وجود دارد، اما اقتصاددانان تجارت تقریباً اتفاق نظر دارند که نخستین بنیان نظری معادله جاذبه تجارت به گونه‌ای که امروز می‌شناسیم، متعلق به (1979) Anderson است. نکته جالب این است که، با کمی اصلاحات جزئی، مدل جاذبه اندرسون در سال ۱۹۷۹ با تمام تحلیل‌های تجربی مدرن جاذبه کاملاً سازگار است.

علیرغم جذابیت شهودی، عملکرد تجربی خوب و مبانی نظری محکم، مدل جاذبه توانست در طول دهه‌های ۱۹۸۰ و حتی ۱۹۹۰ توجه اقتصاددانان اصلی تجارت را جلب کند. در طول این مدت، بررسی‌های اقتصادی در «کتاب راهنمای اقتصاد بین‌الملل» که به نوعی مسیر پژوهش در تجارت بین‌الملل را مشخص می‌کند، نسبت به مدل جاذبه بدبین بودند و نظر مثبتی نداشتند. آنها مبانی نظری مدل جاذبه را زیر سؤال بردند و پیش‌بینی کردند که این مدل هیچ تأثیر معناداری بر حوزه تجارت بین‌الملل نخواهد داشت. به زعم (2011) Anderson، مدل جاذبه تجارت در طول این سالها از منظر علمی پتیم بود و بی‌کس.

تا اوایل دهه ۲۰۰۰، اقتصاددانان تجارت به دلیل بدنامی مدل جاذبه، آن را نادیده می‌گرفتند و بیشتر از آن در تحلیل‌های سیاستی استفاده می‌شد. اما پیشرفت‌های عمده‌ای در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی باعث شد که دوران طلایی «جاذبه ساختاری» (۲۰۰۲-۲۰۱۲) آغاز شود.

نخست، و مهم‌تر از هر عامل دیگری، مقالات Eaton and Kortum (2002) و (2003) Anderson and van Wincoop جای هیچ تردیدی باقی نگذاشتند که مدل جاذبه از پایه‌های نظری بسیار محکمی برخوردار است. دوم، پژوهش‌های تجربی اقتصاددانان دیگر نظیر Frankel and Romer (1999) و (2000) Rose این اعتقاد رایج که معادله جاذبه برای کارهای جدی مناسب نیست را شکستند و آغازگر احیای مدل جاذبه به‌عنوان ابزاری معتبر بودند. سوم، این دوره شاهد توسعه مجموعه‌هایی بزرگ و باکیفیت از داده‌های تجارت بین‌الملل بود و البته بهبود روش‌های اقتصادسنجی و قابلیت‌های محاسباتی (Baldwin and Taglioni, 2006).

در طول دوران طلایی خود (۲۰۰۲-۲۰۱۲)، جاذبه به مدل اصلی در مطالعات تجارت بین‌الملل تبدیل شد و در صدها مقاله ظاهر شد؛ از کاربردها و توسعه‌های نظری گرفته تا پیشرفت‌های روش‌های تخمین و پایگاه‌های داده جدید. بیشتر مقالات این دوره کاربردهای تجربی بودند که تلاش می‌کردند اثر سیاست‌ها و تعیین‌کننده‌های مختلف بر جریان‌های تجاری (مثل توافقات تجارت آزاد، عضویت در سازمان تجارت جهانی، فاصله، روابط استعماری و غیره) تخمین بزنند. ولکن، بسیاری از این مطالعات هنوز معادله جاذبه را فقط به‌صورت شهودی به کار می‌بردند. با گذر زمان، نزدیک‌تر شدن به نظریه به درک بهتر محرک‌های رشد تجارت و تخمینهای معقول‌تر منجر شد.

بخشی از پیشرفت‌های نظری در طول دوران طلایی مدل جاذبه شامل مدل‌های جاذبه بخشی، جاذبه با شرکت‌های ناهمگون و جاذبه پویا بود. در همان دوره، علاقه افزون به نظریه و کاربردهای جاذبه با پیشرفت‌های

۲. مدلی با وزن و وقار: مدل ساختاری جاذبه

این بخش سه هدف آموزشی اصلی دارد. نخست، مدل نظری و ساختاری جاذبه در تجارت را معرفی می‌کند. دوم، معادله ساده جاذبه را با نسخه ساختاری آن مقایسه کرده و تفاوت‌های مهمی را که از دل نظریه برمی‌آیند برجسته می‌سازد. سوم، چندین پیامد کلیدی را برای مدل‌سازی جریان‌های تجاری و برآورد معادله تجربی جاذبه – به‌گونه‌ای سازگار با نظریه – بیان می‌کند.

۱.۲. تمام راه‌ها به «جاذبه ساختاری» ختم می‌شوند

همان‌طور که پیش‌تر بحث شد، یکی از شگفت‌انگیزترین ویژگی‌های مدل جاذبه در تجارت آن است که یک معادله واحد جاذبه را می‌توان از مبنای نظری متفاوت و متعددی در اقتصاد خرد استخراج کرد؛ مبنای‌ای که برخی از آنها موضوعات استاندارد در کتاب‌های درسی تجارت بین‌الملل در دوره کارشناسی هستند (شکل ۳). در ادامه مسیر تکامل ادبیات نظری جاذبه، مدل ساختاری مدرن جاذبه را نیز در دو گام معرفی می‌کنیم. پیش از آن، اما، در هماهنگی با نظریه‌های کلاسیک تجارت، معادله مقطعی ساختاری جاذبه را ارائه می‌دهیم:^۱

$$X_{ij} = \frac{Y_i E_j}{Y} \left(\frac{t_{ij}}{T_j T_i} \right)^{-\theta} \quad (۲)$$

سه ویژگی برگرفته از نظریه، مدل ساختاری جاذبه در معادله (۲) را از معادله ساده جاذبه در معادله (۱) متمایز می‌کند. نخست، در این معادله، عبارت ساختاری مربوط به ثابت جاذبه تجاری $\bar{G}$ معادل با ارزش کل تولید جهانی Y است. نتیجه این موضوع آن است که جریان‌های تجاری دوجانبه متناسب‌اند با حاصل ضرب اندازه اقتصادی دو شریک تجاری، نسبت به تولید جهانی.

دوم، معادله نظری جاذبه میان تولید صادرکننده (Y_i) به‌عنوان شاخص اندازه کشور صادرکننده و هزینه‌های مصرفی واردکننده (E_j) به‌عنوان شاخص اندازه کشور واردکننده تمایز قائل می‌شود. به‌صورت شهودی نیز، اندازه مرتبط برای صادرکننده باید توان تولیدی آن باشد، در حالی که اندازه مرتبط برای واردکننده باید ظرفیت مصرفی آن باشد. البته، اهمیت این تمایز در سطوح ریزتر و بخشی بسیار بیشتر است؛ زیرا به‌عنوان مثال، به دلیل تخصص‌گرایی، عدم توازن‌های تجاری در سطح بخش‌ها (یعنی فاصله بین صادرات و واردات هر بخش) می‌تواند بسیار بزرگ باشد.

سوم، عبارت هزینه تجاری (T_{ij}) که در معادله (۱) آمده بود، در معادله (۲) به سه مؤلفه ساختاری تجزیه می‌شود. به طور خاص، t_{ij} نشان‌دهنده موانع یا هزینه‌های تجاری دوجانبه است که مستقیماً بر جریان تجارت میان دو کشور اثر می‌گذارد؛ همچون، فاصله، تعرفه‌ها، تحریم‌ها، و توافقات تجاری میان دو کشور. T_j و T_i به ترتیب هزینه‌های تجاری چندجانبه (Multilateral Trade Costs) در سمت صادرکننده و واردکننده هستند. این دو متغیر بیانگر آن هستند که تجارت میان دو کشور تنها به اندازه اقتصادی آنها و موانع دوجانبه تجارت محدود نمی‌شود، بلکه به این موضوع نیز بستگی دارد که تجارت این کشورها با سایر کشورها چقدر پرهزینه است. به همین دلیل است که به این هزینه‌ها به عنوان هزینه‌های «چند جانبه» شناخته می‌شوند.

برای روشن‌تر شدن شهود مربوط به هزینه‌های تجاری چندجانبه، شکل ۴ آمریکا و کانادا را در یک تمرین ذهنی به سیاره مریخ منتقل می‌کند. در چنین شرایطی، حتی اگر اندازه اقتصادی دو کشور (E_j و Y_i) و همچنین موانع مستقیم دوجانبه تجارت (t_{ij}) – همچون فاصله – هیچ تغییری نکنند، باز هم آمریکا و کانادا بیشتر از موقعیت کنونی‌شان روی زمین با یکدیگر تجارت می‌کنند. چرا؟ چون روی مریخ، این دو کشور بسیار دورتر و منزوی‌تر از سایر کشورها خواهند بود. بنابراین، تجارت میان آمریکا و کانادا فقط به هزینه‌های تجاری دوجانبه آنها بستگی ندارد، بلکه به هزینه تجارت آنها با باقی جهان نیز ارتباط دارد. این نکته یکی از تفاوت‌های مهم میان جاذبه ساده و جاذبه ساختاری است.

شکل ۴: هزینه‌های تجاری چندجانبه



منبع: نویسنده؛ با الهام از (Krugman 1995).

^۱ این معادله با مهم‌ترین مقالات مربوط به مدل جاذبه، از جمله (Eaton and Kortum (2002 و (Anderson and van Wincoop (2003 سازگار است. برای ارزیابی شیوه‌های دیگر استخراج معادله جاذبه، خوانندگان می‌توانند به (Yotov et al. (2016 نیز مراجعه کنند.

مدل جاذبه ساده، به اشتباه فرض می‌کند که تنها هزینه‌های دوجانبه تجارت مهم است. بر خلاف آن، اما، مدل جاذبه ساختاری، هزینه‌های چندجانبه را نیز در نظر می‌گیرد. پس از آن نیز تنها دو تغییر مبتنی بر نظریه، ما را به مدل ساختاریِ امروزیِ جاذبه در تجارت می‌رساند:

$$X_{ij,t}^k = \frac{Y_{i,t}^k E_{j,t}^k}{Y_t^k} \left(\frac{t_{ij,t}^k}{T_{j,t}^k T_{i,t}^k} \right)^{-\theta^k}, \quad \forall i, j, t, k. \quad (3)$$

نخست، مدل جاذبه را می‌توان در هر سطحی از تجميع داده‌ها استخراج کرد؛ برای مثال در سطح محصول، صنعت، بخش، یا در سطح کل اقتصاد. در معادله (۳) این موضوع با استفاده از نمایه k نشان داده شده است؛ نمایه‌ای که می‌تواند به یک محصول، صنعت، یا بخش خاص اشاره داشته باشد. تعدیل دوم مربوط به نمایه زمانی t است. نباید فراموش کرد که همچون جریان‌های تجاری، متغیرهای اندازه و مؤلفه‌های هزینه تجاری در معادله (۳) جملگی در طول زمان تغییر می‌کنند. همچنین نظریه‌های پویا در تجارت نشان می‌دهند که تجارت و آزادسازی تجاری می‌توانند باعث انباشت عوامل تولید شوند؛ مانند سرمایه فیزیکی در کارخانه‌های تولیدی در امتداد مرز آمریکا و مکزیک (Maquiladoras). توجه کنید که اگر نمایه‌های k و t حذف شوند، معادله (۳) دقیقاً همسان معادله (۲) خواهد بود. در نهایت نیز، نباید فراموش کنیم که همه نظریه‌های بنیادین مدل جاذبه بیان می‌کنند که این مدل هم برای تجارت بین‌المللی $i \neq j$ و هم تجارت داخلی $i = j$ کاربرد دارد.

۲.۲. پیامدهای نظری مدل جاذبه برای کاربرد و تخمین

پایه‌های نظری معادله جاذبه پیامدهای بسیار مهمی برای کاربرد عملی مدل جاذبه و همچنین تخمین پارامترهای معادله اقتصادسنجی آن دارند. در ادامه، هر یک از این پیامدهای نظری اصلی و اهمیت آنها را به ترتیب توضیح می‌دهم.

هزینه‌های تجاری چندجانبه. هزینه‌های تجاری چندجانبه دو پیامد مهم برای سنجش اثر سیاست‌های تجاری دارند. نخست، اگر این هزینه‌های چندجانبه در مدل تجربی جاذبه به درستی کنترل نشوند، معادله جاذبه تجارت میان کشورهایی را که از بقیه جهان منزوی‌ترند کمتر از واقعیت پیش‌بینی می‌کند و تجارت کشورهایی را که در میان شرکای تجاری متعدد قرار دارند (برای نمونه، کشورهای اروپایی) بیشتر از واقعیت برآورد خواهد کرد. دوم، هزینه‌های تجاری چندجانبه نشان می‌دهند که یک کشور تا چه اندازه می‌تواند تجارت خود را به سمت شرکای دیگر منحرف کند. این موضوع برای ارزیابی اثر بسیاری از سیاست‌های امروزی بسیار کلیدی است. برای مثال، یکی از دلایل اصلی کم‌اثر بودن تحریم‌های اعمال‌شده علیه روسیه پس از حمله به اوکراین این بود که روسیه توانست تجارت خود را به کشورهایی که تحریم را همراهی نمی‌کردند (مانند چین، هند و ترکیه) منتقل کند. چنین رفتارهایی دقیقاً در هزینه‌های چندجانبه تجارت بازتاب پیدا می‌کند. نمونه دیگر، تعرفه‌های آمریکا علیه کانادا در سال ۲۰۲۵ است. این تعرفه‌ها در عمل برای کانادا زیان‌بارند، چرا که کانادا نسبتاً از سایر بخش‌های جهان دور و منزوی است.

جاذبه در سطوح مختلف. نتایج نظری نشان می‌دهند که مدل جاذبه در هر سطحی از تجميع برقرار است و سودمند: از سطح محصول گرفته تا سطح کلان. پیامد اصلی این ویژگی نظری آن است که مدل تجربی جاذبه در عمل بسیار انعطاف‌پذیر است و بسته به پرسش مورد نظر، تحلیل می‌تواند بر یک محصول خاص، یک صنعت، یک بخش، یا به طور گسترده‌تر، بر مقایسه کالاها و خدمات تمرکز کند. توانایی تحلیل جداگانه جریان‌های تجاری برای صنایع یا بخش‌های مختلف اهمیت فراوان دارد، زیرا هزینه‌های تجاری (همچون هزینه‌های حمل‌ونقل) در بخش‌های مختلف متفاوت است. همچنین بسیاری از سیاست‌های تجاری (همچون سیاست‌های تعرفه‌ای) در سطحی تفکیک‌شده وضع و اجرا می‌شوند. حتی زمانی که سیاست‌ها در سطح کلان اجرا می‌شوند، مانند تحریم‌های تجاری کامل، آثار آنها می‌توانند در میان محصولات، صنایع و بخش‌های مختلف تفاوت چشمگیری داشته باشند. به همین دلیل است که در بسیاری از موارد استفاده از مدل جاذبه در سطوح گوناگون مطلوب است و سودمند. نظریه مدل جاذبه نیز از تحلیل‌های تفکیک‌شده پشتیبانی روشن می‌کند و راهنمایی مشخصی ارائه می‌نماید.

جاذبه در طول زمان. بُعد زمانی معادله جاذبه نیز چند پیامد تجربی مهم دارد. نخست، افزودن سال‌های بیشتر به داده‌های جاذبه باعث می‌شود تحلیل‌ها دقیق‌تر شوند. دوم، همان‌طور که در بخش بعد نشان داده می‌شود، استفاده از داده‌های تابلویی که تابعی از زمان هستند، امکان مدل‌سازی انعطاف‌پذیر، جامع و ساده گستره‌ای از هزینه‌های تجاری دوجانبه ثابت در طول زمان – مانند فاصله – را فراهم می‌کند. سوم، داده‌های تابلویی اجازه می‌دهند که تغییرات و تعدیلات هزینه‌های تجاری و آثار انواع سیاست‌ها در طول زمان رصد شوند. برای مثال، اثرات توافق‌های تجاری منطقه‌ای غالباً فوری و لحظه‌ای نیستند، و ثبت تغییرات تدریجی جریان‌های تجاری پس از اجرای یک توافق تجاری منطقه‌ای می‌تواند برای سیاست‌گذاری بسیار مفید باشد. علاوه بر این، آثار چنین توافقاتی در طول دهه ۱۹۹۰ می‌تواند با آثار توافقات جدید بسیار متفاوت باشد؛ این تفاوت‌ها بدون استفاده از داده‌های زمان‌دار قابل مشاهده نیستند.

تولید صادرکننده و هزینه‌های مصرفی واردکننده. همچنین، تفاوت میان ارزش تولید و میزان هزینه‌های مصرفی – که نظریه جاذبه بر آن تأکید دارد – چند پیامد تجربی مهم به همراه دارد. نخست، اگر هزینه‌های تجاری میان کشورها متقارن باشند (برای نمونه، هزینه‌هایی که تابع فاصله جغرافیایی هستند)، نادیده گرفتن تفاوت میان تولید و مصرف باعث کاهش دقت مدل جاذبه می‌شود، زیرا مدل در این صورت همیشه جریان‌های تجاری دوجانبه را متقارن پیش‌بینی خواهد کرد. دوم، تمایز میان تولید و مصرف در سطوح تفکیک‌شده (مانند تجارت بخشی) اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، زیرا در این سطوح تفاوت میان تولید ملی و مصرف ملی می‌تواند بسیار بزرگ و معنادار باشد. سوم، حتی با داده‌های کلان، تولید ناخالص داخلی نمی‌تواند بهترین

شاخص برای اندازه اقتصادی در مدل جاذبه باشد. چرا؟ از یک سوی، نظریه مدل جاذبه لزوم توجه به عدم توازنهای تجاری را مطرح می‌کند. از سوی دیگر، تولید ناخالص داخلی بر اساس ارزش افزوده اندازه‌گیری می‌شود، در حالی که جریانهای تجاری بر اساس ارزش ناخالص سنجیده می‌شوند؛ و این دو با هم سازگار نیستند. خوشبختانه، همان‌طور که در بخش بعد نشان داده می‌شود، تکنیک‌های اقتصادسنجی ساده و کارآمدی وجود دارند که می‌توانند این متغیرهایی که به ابعاد اقتصادهای مبداء و مقصد جریان تجاری مرتبط هستند (نظیر تولید صادرکننده و هزینه‌های مصرفی واردکننده) را در مدل تجربی جاذبه کنترل کنند، بدون آنکه نیازی به داده‌های اضافی یا نگرانی درباره چالش‌های اندازه‌گیری باشد.

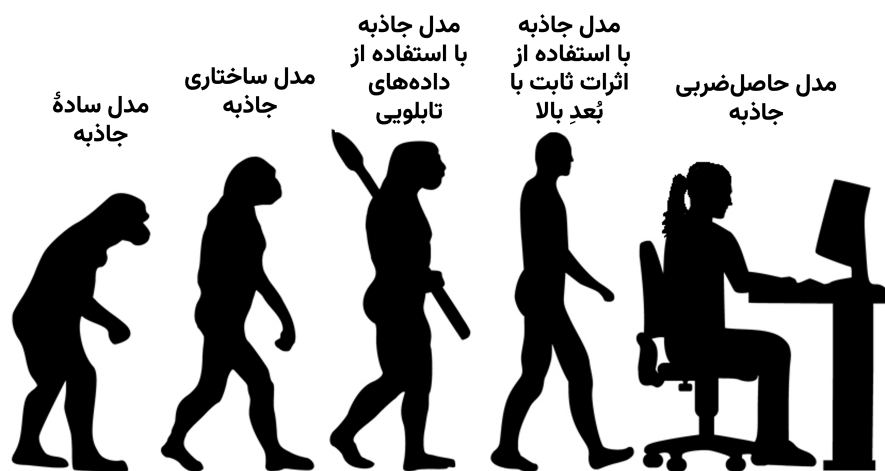
تبادلات داخل مرزها. نظریه تجارت نشان می‌دهد که مدل جاذبه برای فروش داخلی نیز صدق می‌کند. علاوه بر این، استفاده از داده‌های تجارت داخلی می‌تواند مزایای مهمی برای برآوردهای جاذبه داشته باشد؛ برای مثال، امکان شناسایی انحراف تجاری (Trade Diversion Effect) ناشی از توافقات تجاری برای کشورهایی که عضو توافق نیستند، بررسی آثار فرامرزی تحریم‌ها، و تحلیل آثار سیاست‌های تجاری غیرتبعیض‌آمیز. با این حال، به دلیل محدودیت‌های داده‌ای، اغلب برآوردهای جاذبه هنوز تنها بر اساس داده‌های تجارت بین‌المللی انجام می‌شوند و استفاده از جریان‌های تجاری داخلی هنوز به یک رویه رایج تبدیل نشده است. بنابراین، در هماهنگی با بخش عمده ادبیات موجود درباره جاذبه، در این فصل نیز تمرکز ما فقط بر جریان‌های تجارت بین‌الملل خواهد بود.

۳. از شیوه ساده تا شیوه نوین تخمین مدل جاذبه

بخش مهمی از موفقیت چشمگیر مدل جاذبه ناشی از قدرت پیش‌بینی بی‌سابقه و انعطاف‌پذیری بالای آن برای به‌کارگیری در حوزه‌های مختلف است. هدف این بخش آن است که معادله تجربی ساده جاذبه را به یک مدل اقتصادسنجی مدرن جاذبه تبدیل کند؛ مدلی که بتوان از آن برای برآورد اثر مجموعه‌ای از عوامل تعیین‌کننده جریان‌های تجاری استفاده کرد. در این تحلیل فرض می‌شود که خواننده تنها نیازمند دانش پایه‌ای اقتصادسنجی است (مثلاً استفاده از حداقل مربعات معمولی و اثرات ثابت: Ordinary Least Squares with Fixed Effects) بنابراین، مطالب این بخش باید برای هر دانشجوی کارشناسی که یک درس اقتصادسنجی گذرانده باشد قابل فهم و قابل استفاده باشد. علاوه بر این، این بخش می‌تواند برای دانشجویانی که قصد دارند درس اقتصادسنجی پیشرفته‌تر، سمینار اقتصادی، پایان‌نامه کارشناسی، یا پروژه پژوهشی مستقل انجام دهند نیز بسیار مفید باشد.

با تکیه بر بنیان‌های نظری مدل جاذبه و آنچه تا به الان آموخته‌ایم، مشخصات اقتصادسنجی مدل جاذبه را در پنج گام توسعه می‌دهیم؛ گام‌هایی که مطابق با روند تاریخی تکامل برآوردهای معادله جاذبه‌اند و در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند.^۲

شکل ۵: تکامل شیوه‌های تخمین مدل جاذبه



منبع: نویسنده.

مدل ساده جاذبه. به مانند بخش قبلی که در آن معادله ساده جاذبه را به مدل ساختاری جاذبه تبدیل کردیم، اکنون کار را با یک معادله ساده جاذبه آغاز می‌کنیم. برای این منظور، سه گام ساده را دنبال می‌کنیم. نخست، معادله (۱) را لگاریتم‌گیری و خطی‌سازی می‌کنیم تا به رابطه زیر برسیم:

$$\ln(X_{ij}) = \ln(\bar{G}) - \theta \ln(T_{ij}) + \ln(Y_i) + \ln(Y_j). \quad (۴)$$

^۲ برای توضیح و بحث مفصل درباره توصیه‌های مربوط به برآوردهای جاذبه، خواننده را به (Larch et al. (2025) ارجاع می‌دهم.

دوم، معادله (۴) را با استفاده از جانشین‌هایی برای متغیرهای مستقل به یک مدل اقتصادسنجی تبدیل می‌کنیم. به‌طور خاص، برای اندازه اقتصادی کشور صادرکننده و واردکننده، از تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان شاخص استفاده می‌کنیم. برای هزینه‌های تجاری دوجانبه نیز، از فاصله جغرافیایی دوجانبه ($DIST$) و توافقات تجاری منطقه‌ای (RTA) بهره می‌بریم. بد نیست یادآوری کنیم که در ادبیات جاذبه، فاصله و توافقات تجاری منطقه‌ای از رایج‌ترین شاخص‌ها برای اندازه‌گیری هزینه‌های تجاری هستند.^۳

استفاده از فاصله و توافقات تجاری منطقه‌ای به‌عنوان شاخص‌های هزینه‌های تجاری، از نظر آموزشی نیز مفید است. فاصله یک متغیر پیوسته است، در حالی که متغیر مربوط به توافق تجاری منطقه‌ای یک شاخص دوگانه (Binary Variable) است که تنها حاوی مقادیر «صفر» و «یک» می‌باشد. به‌طور دقیق‌تر، مقدار این متغیر آن زمان برابر با «یک» است که دو کشور مبداء و مقصد جریان تجاری در سال موردنظر یک توافق تجاری منطقه‌ای فعال داشته باشند، و در غیر این صورت این متغیر برابر با «صفر» است.

در نهایت، یک عرض از مبدأ اضافه می‌کنیم (β_0) که متناظر با ثابت جاذبه ($\tilde{G}$) است، و یک عبارت خطا در پیش‌بینی (ϵ_{ij}) نیز به معادله می‌افزاییم؛ عبارتی که نخستین مدل اقتصادسنجی ما برای جاذبه را کامل می‌کند:

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \beta_3 \ln(GDP_i) + \beta_4 \ln(GDP_j) + \epsilon_{ij}. \quad (5)$$

معادله (۵) رایج‌ترین نسخه مدل اقتصادسنجی جاذبه است. این معادله را می‌توان با روش حداقل مربعات معمولی (OLS) برآورد کرد، و نتایج به‌دست‌آمده را می‌توان به شکل زیر تفسیر کرد:

ضرایب تخمینی برای متغیرهای پیوسته (مانند فاصله و تولید ناخالص داخلی) جملگی شاخص‌های «کشش» هستند. برای مثال، اگر ضریب فاصله برابر با ۰.۸- باشد ($\hat{\beta}_2 = -0.8$)، بدین معناست که با ثابت بودن سایر شرایط، یک افزایش ۱ درصدی در فاصله دو کشور باعث کاهش ۰.۸ درصدی در تجارت دوجانبه میان آنها می‌شود. به علاوه، برای تفسیر اثر یک شاخص دوگانه (نظیر توافقات تجاری منطقه‌ای)، می‌توان از این رابطه استفاده کرد: $[exp(\beta_1) - 1] \times 100$. برای نمونه، اگر ضریب برآوردشده برای توافقات برابر با ۰.۵ باشد، این بدان معناست که، با ثابت بودن سایر شرایط، توافقات تجاری منطقه‌ای فعال‌شده در دوره مورد بررسی، حدود ۶۵ درصد تجارت میان اعضای این توافقات را افزایش داده‌اند.

مدل ساختاری جاذبه. در گام بعد، مدل اقتصادسنجی خود را با در نظر گرفتن پیامدهای نظری معادله (۲) بهبود می‌دهیم. به‌طور مشخص، باید در این گام، دو نکته نظری را لحاظ کنیم: نخست، باید تغییرات در تولید صادرکننده و هزینه‌های واردکننده را به عنوان دو متغیر جداگانه وارد مدل کنیم. دوم، باید هزینه‌های تجاری چندجانبه را نیز در نظر بگیریم. از لحاظ نظری هر دو موضوع را می‌شود با استفاده از داده‌های قابل مشاهده مدیریت کرد. اما یک راه بسیار ساده‌تر، سازگار با نظریه، و کاملاً جامع این است که برای کنترل هم‌زمان تفاوت تولید صادرکننده، هزینه‌های واردکننده و هزینه‌های چندجانبه تجارت، از اثرات ثابت صادرکننده و واردکننده استفاده کنیم:

$$\ln(TRADE_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \pi_i + \psi_j + \epsilon_{ij}. \quad (6)$$

در اینجا π_i مجموعه‌ای از اثرات ثابت صادرکننده (Exporter Fixed Effects) است؛ یعنی شاخص‌های دوگانه‌ای که برای هر صادرکننده در داده‌ها حاوی مقادیر «یک» و «صفر» هستند. همچنین ψ_j مجموعه‌ای از اثرات ثابت واردکننده (Importer Fixed Effects) است؛ یعنی شاخص‌های دوگانه‌ای که برای هر واردکننده در داده‌ها حاوی مقادیر «یک» و «صفر» هستند. برای مثال، اگر داده‌های ما شامل ۱۰۰ کشور باشد و هر کشور هم به‌عنوان صادرکننده و هم به‌عنوان واردکننده در داده‌ها حضور داشته باشد، ۱۰۰ اثر ثابت واردکننده و ۱۰۰ اثر ثابت صادرکننده خواهیم داشت.^۴

مزیت‌های اصلی استفاده از اثرات ثابت از این قرار است: ۱. بردارهای اثرات ثابت همه ویژگی‌های مربوط به صادرکننده و واردکننده – چه قابل مشاهده و چه غیرقابل مشاهده – از جمله اندازه اقتصادی و هزینه‌های تجاری چندجانبه را به‌طور کامل کنترل می‌کنند. بنابراین، دیگر لازم نیست نگران متغیرهایی باشیم که به اشتباه از معادله حذف شده‌اند. همچنین، نباید نگران جمع‌آوری گستره‌ای از داده‌های تولید صادرکننده، هزینه‌های واردکننده، و هزینه‌های دوجانبه باشیم. ۲. ساختن بردارهای اثرات ثابت و به کار گرفتن آنها با نرم‌افزارهای آماری رایج بسیار ساده است. این موضوع را در بخش بعد نشان می‌دهیم. در عین حال، مشکل استفاده از بردارهای اثرات ثابت این است که با استفاده از آنها، دیگر نمی‌توان اثر متغیرهایی را که مخصوص صادرکننده یا واردکننده هستند شناسایی کرد؛ چون این متغیرها کاملاً با اثرات ثابت هم‌خط می‌شوند و در دل آنها «جذب» می‌گردند. البته این محدودیت تأثیر چندانی بر هدف کنونی ما ندارد، چون هدف ما برآورد اثر هزینه‌ها و سیاست‌های دوجانبه

^۳ در پرسش‌های تمرینی انتهای فصل، شاخص‌های دیگری را برای هزینه‌های تجاری و همچنین متغیرهای سیاستی معرفی می‌کنیم.
^۴ از نظر فنی، به دلیل هم‌خطی کامل (Perfect Collinearity)، یکی از اثرات ثابت در سمت صادرکننده و یکی هم در سمت واردکننده حذف می‌شود. با این حال، این موضوع هیچ اثری بر برآورد ضرایب متغیرهای مستقلی که برای ما مهم‌اند نخواهد داشت.

تجاری است (مثل فاصله و توافقات تجاری میان دو کشور).

مدل جاذبه با استفاده از داده‌های تابلویی. گام بعدی ساده است: وقت آن رسیده است که بُعد زمانی را به مدل اقتصادسنجی خود اضافه کنیم. در نتیجه، عبارت خطا در پیش‌بینی و همۀ متغیرها (به جز فاصله که در طول زمان تغییر نمی‌کند) از این پس نمایۀ زمانی (t) خواهند داشت:

$$\ln(TRADE_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \beta_2 \ln(DIST_{ij}) + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (7)$$

آنچنان که در بخش قبل نیز گفته شد، افزودن بُعد زمانی به تحلیل اقتصادسنجی با بنیادهای نظری مدل جاذبه سازگار است. به علاوه، داشتن داده‌های بیشتر معمولاً عملکرد مدل اقتصادسنجی را بهتر می‌کند. همچنین، بُعد زمانی به ما اجازه می‌دهد تغییرات اثر توافقات تجاری منطقه‌ای را پیش و پس از اجرایی شدن آنها بررسی کنیم، و همچنین ببینیم آیا اثر توافقاتی که در دوره‌های زمانی مختلف شکل گرفته‌اند با هم فرق دارد یا نه؛ برای مثال، توافقات دهه ۱۹۹۰ در مقایسه با توافقات دهه ۲۰۰۰.

مدل جاذبه با استفاده از اثرات ثابت با بُعد بالا. استفاده از داده‌های تابلویی امکانی فراهم می‌کند که بتوانیم اثرات ثابت دوگانه کشورها را هم وارد مدل کنیم (γ_{ij})؛ به همین دلیل است که از گستره‌ای از اثرات ثابت با بُعد بالا (High-Dimensional Fixed Effects: HDFE) در این مدل استفاده می‌کنیم. اثرات ثابت دوگانه کشورها در عمل شاخص‌های دوگانه‌ای هستند که برای هر جفت صادرکننده-واردکننده مقدار «یک» می‌گیرند و در غیر این صورت برابر با «صفر» هستند:

$$\ln(TRADE_{ij,t}) = \beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t} + \epsilon_{ij,t}. \quad (8)$$

همانند اثرات ثابت صادرکننده و واردکننده، اثرات ثابت دوگانه کشورها نیز همۀ هزینه‌های تجاری دوجانبه‌ای که در طول زمان ثابت‌اند – مثل فاصله – را به طور کامل کنترل می‌کنند. مشکل این کار آن است که دیگر نمی‌توان اثر فاصله یا هر متغیر دوجانبه ثابت دیگری را به طور جداگانه تخمین زد. به همین دلیل، معادله (۸) دیگر شامل متغیر فاصله نیست، چرا که این متغیر در اثرات ثابت زوج کشورها «جذب» می‌شود.

با این حال، تا وقتی هدف ما برآورد اثر سیاست‌هایی باشد که در طول زمان تغییر می‌کنند (مثل تعرفه‌ها، توافقات تجاری منطقه‌ای، تحریم‌ها و غیره)، استفاده از اثرات ثابت دوگانه کشورها در برآوردهای جاذبه به شدت توصیه می‌شود. این کار بسیاری از متغیرهای مهم احتمالی حذف‌شده را کنترل می‌کند، نیاز به جمع‌آوری داده‌های گسترده را کمتر می‌سازد، و قدرت پیش‌بینی مدل جاذبه را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. این نکته در تخمین‌های بخش بعد روشن‌تر و تأیید می‌شود.

مدل حاصل‌ضربی جاذبه. آخرین گام، که ما را در نهایت به بهترین مدل سنجی می‌رساند، گامی است جهت حل مشکل معادله لگاریتمی-خطی جاذبه. فراموش نکنیم که از آنجا که لگاریتم صفر تعریف نشده است، معادله لگاریتمی-خطی تمامی جریان‌های تجاری دوجانبه‌ای را که در مجموعه داده‌ها با صفر گزارش شده‌اند را کنار می‌گذارد. یک اصلاح ساده آن است که هر دو سوی معادله را از حالت لگاریتمی خارج کنیم:

$$TRADE_{ij,t} = \exp [\beta_0 + \beta_1 RTA_{ij,t} + \gamma_{ij} + \pi_{i,t} + \psi_{j,t}] \times \epsilon_{ij,t}. \quad (9)$$

دو ویژگی دیگر هم باعث می‌شوند که مدل اقتصادسنجی حاصل‌ضربی جذاب باشد. نخست، همان‌طور که در بخش بعد نشان داده می‌شود، پارامترهای این مدل را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای آماری رایج، به سادگی و با سرعت بالا تخمین زد. دوم، علیرغم حذف تابع لگاریتم، تفسیر پارامترهای مدل جاذبه همانند نسخه لگاریتمی-خطی باقی می‌ماند.

معادله (۹) نمایانگر مدل اقتصادسنجی نوین جاذبه است که این روزها پژوهشگران دانشگاهی و تحلیل‌گران سیاست‌گذاری از آن برای برآورد اثر سیاست‌های گوناگون استفاده می‌کنند. بر اساس معادله (۹)، جعبه ۵ پیوند میان پیامدهای نظری جاذبه و نحوه پیاده‌سازی تجربی آنها را خلاصه می‌کند.

پیش از ادامه بحث در بخش چهارم این فصل، بد نیست یادآوری کنم که مطابق با نظریه، معادله جاذبه در هر سطحی از تجميع کاربرد دارد. بنابراین، معادله (۹) را می‌توان برای محصول‌های منفرد، در سطح صنعت، یا با داده‌های کلان و تجميعی برآورد کرد. در هر صورت، اجرای معادله (۹) و برآورد آن با نرم‌افزارهای آماری رایج بسیار ساده است. در بخش بعد، این موضوع را با یک مثال ساده – اما به روز – نشان می‌دهیم.

پیامدهای نظری	پیامدهای عملی
در نظر گرفتن تولید صادرکننده و هزینه‌های مصرفی واردکننده	بهره بردن از اثرات ثابت صادرکننده (با بُعد زمانی) و اثرات ثابت واردکننده (با بُعد زمانی)
در نظر گرفتن هزینه‌های تجاری چندجانبه	بهره بردن از اثرات ثابت صادرکننده (با بُعد زمانی) و اثرات ثابت واردکننده (با بُعد زمانی)
در نظر گرفتن هزینه‌های تجاری دوجانبه ثابت در طول زمان	بهره بردن از اثرات ثابت دوگانه کشورهای (یا متغیرهای دوجانبه ثابت در طول زمان)
در نظر گرفتن هزینه‌های تجاری دوجانبه متغیر در طول زمان	بهره بردن از داده‌های تابلویی و متغیرهایی که در طول زمان تغییر می‌کنند
در نظر گرفتن جریان‌های تجاری دوجانبه‌ای را که در مجموعه داده‌ها با صفر گزارش شده‌اند	بهره بردن از مدل حاصل‌ضربی جاذبه و شیوه تخمین PPML

۴. تخمین پارامترهای جاذبه: ارزیابی تأثیر فاصله، توافق‌های تجاری منطقه‌ای، و اتحادیه اروپا بر جریان‌های تجاری

این بخش شامل یک مثال عملی است که به ترتیب، پارامترهای معادلات بخش قبل را تخمین می‌زند. علاوه بر برآورد اثر فاصله و توافق‌های تجاری منطقه‌ای، در طول این مثال اثر اتحادیه اروپا را نیز مستقل از سایر توافقات، ارزیابی می‌کنیم. برای این کار، یک شاخص دوگانه جدید ($EU_{ij,t}$) به مدل اضافه می‌شود: اگر دو کشور مبدا (i) و مقصد (j) در سال (t) عضو اتحادیه اروپا باشند، این شاخص عدد «یک» را به خود می‌گیرد؛ در غیر این صورت، عدد «صفر» را می‌گیرد. در این میان، متغیر ($RTA_{ij,t}$) مابقی توافق‌های تجاری را نمایندگی می‌کند. اثر اتحادیه اروپا نیز توسط پارامتر متغیر ($EU_{ij,t}$) به طور جداگانه برآورد می‌شود. این تغییر چهار دلیل دارد: نخست، اثر عضویت در اتحادیه اروپا بر تجارت برای پژوهشگران و سیاست‌گذاران همواره بسیار مهم بوده است و مورد توجه. دوم، انتظار می‌رود اثر اتحادیه اروپا با اثر سایر توافقات تجاری متفاوت باشد و قوی‌تر. سوم، این مثال به خوبی نشان می‌دهد که چگونه می‌توان اثر توافق‌های تجاری مختلف را از هم جدا کرد.^۵ چهار، اتحادیه اروپا نمونه‌ای از مجموعه‌ای از کشورهای درهم‌تنیده است؛ طبق بحث‌های بخش نظری این فصل، در چنین حالتی هزینه‌های تجاری چندجانبه می‌توانند نقش مهمی در برآورد دقیق اثر اتحادیه اروپا داشته باشند.

تحلیل‌های سنجی این بخش با نرم‌افزار Stata انجام می‌شود. این بخش کدهایی را که برای به دست آوردن نتایج لازم است ارائه می‌کند و یافته‌ها را نیز تفسیر می‌کند. یک Do-file نیز که حاوی همه کدهای این بخش است، به همراه مجموعه داده‌هایی که برای برآوردها استفاده می‌شود، در نشانی زیر در دسترس است: https://yotoyotov.com/Gravity_Undergrads.html.

همچنین، کدهایی که برای تخمین در این بخش استفاده می‌شوند را می‌توان در سایر نرم‌افزارهای آماری رایج (و حتی رایگان) هم به سادگی اجرا کرد. به همین دلیل، این مطالب باید برای هر دانشجوی کارشناسی پیشرفته قابل استفاده باشد. برای دسترس‌پذیری بیشتر، در وبسایت فوق‌الذکر داده‌ها و کدهای این بخش در R نیز ارائه شده‌اند.

مجموعه داده‌های جاذبه. برای این فصل، پایگاه داده «جاذبه برای دانشجویان کارشناسی» (Gravity for Undergraduates: GU) را نیز گردآوری کرده‌ام که بر تازه‌ترین داده‌های موجود (تا فروردین ۱۴۰۴) درباره تجارت، سیاست‌های تجاری و متغیرهای مرتبط با مدل جاذبه تکیه دارد. این مجموعه داده همسان داده‌هایی است که در اختیار پژوهشگران و سیاست‌گذاران قرار دارند. بنابراین، داده‌هایی که در تحلیل تجربی این بخش و نیز در پرسش‌های تمرینی پایان فصل به کار می‌روند، برای تحلیل سیاستی و پروژه‌های پژوهشی هم مناسب‌اند. مجموعه داده GU شامل متغیرهای کلان تجارت و جاذبه برای ۱۰۰ صادرکننده بزرگ جهان در دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ است و به ترتیب در حدود ۹۹ درصد از صادرات جهان، ۹۸ درصد از واردات جهان و ۹۸ درصد از تولید ناخالص داخلی در جهان را پوشش می‌دهد.

^۵در پرسش‌های تمرینی پایان فصل نیز نمونه‌های بیشتری از این تفکیک آمده است.

فهرست زیر متغیرهایی را نشان می‌دهد که در تحلیل این بخش استفاده می‌شوند، همراه با توضیح کوتاه و منبع داده. سایر متغیرها در بخش «پرسش‌های تمرینی» در پایان فصل معرفی و توضیح داده خواهند شد.

Exporter	کد ISO برای کشور صادرکننده <i>i</i> .
Importer	کد ISO برای کشور واردکننده <i>j</i> .
Year	سال <i>t</i> بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳.
Trade	ارزش اسمی دلاری مجموع جریان تجاری میان کشورهای <i>i</i> و <i>j</i> در طول سال <i>t</i> . منبع: UN COMTRADE Database, https://comtradeplus.un.org/ .
Distance	فاصله‌ی جغرافیایی (به کیلومتر) میان کشورهای <i>i</i> و <i>j</i> ، وزن‌دهی شده با اندازه‌ی جمعیت. منبع: USITC DGD Database, https://www.usitc.gov/data/gravity/dgd.htm .
RTA	شاخص دوگانه (صفر و یک) وجود توافق تجاری منطقه‌ای (RTA) میان کشورهای <i>i</i> و <i>j</i> در سال <i>t</i> . منبع: Mario Larch's Database, https://www.ewf.uni-bayreuth.de/en/research/RTA-data/ .
EU	شاخص دوگانه (صفر و یک) حضور هم‌زمان کشورهای <i>i</i> و <i>j</i> در اتحادیه اروپا در سال <i>t</i> . منبع: Yoto Y. Yotov. Based on data from the European Commission.
GDP_Exporter	ارزش اسمی تولید ناخالص داخلی کشور صادرکننده، <i>i</i> در سال <i>t</i> (دلار آمریکا). منبع: World Bank WDI Database, https://datacatalog.worldbank.org/home .
GDP_Importer	ارزش اسمی تولید ناخالص داخلی کشور واردکننده، <i>j</i> ، در سال <i>t</i> (دلار آمریکا). منبع: World Bank WDI Database, https://datacatalog.worldbank.org/home .

شکل ۶ بخشی از داده‌های GU را برای سه کشور (کانادا، مکزیک و ایالات متحده) و سه سال (۱۹۹۳ تا ۱۹۹۵) نشان می‌دهد. این داده‌ها نشان می‌دهند که تجارت میان این سه کشور زیاد است، متقارن نیست، و در طول زمان تغییر می‌کند. طبق تعریف متغیرها، فاصله برای هر جفت کشور متقارن است. متغیر توافق تجاری منطقه‌ای برای تجارت میان کانادا و آمریکا در همه سال‌ها برابر با «یک» است، چون توافق تجاری کانادا-آمریکا از سال ۱۹۸۹ برقرار بوده است. ولکن، این متغیر برای آمریکا-مکزیک و کانادا-مکزیک در سال ۱۹۹۴ از «صفر» به «یک» تغییر می‌کند، چون «توافق تجارت آزاد آمریکای شمالی» (NAFTA) تازه از آن سال به اجرا درآمد. متغیر مرتبط به اتحادیه اروپا همواره برابر با «صفر» است، چرا که هیچ‌کدام از این کشورها عضو اتحادیه اروپا نیستند. متغیرهای مربوط به تولید ناخالص داخلی نیز تفاوت اندازه اقتصادی کشورها را نشان می‌دهند. در نهایت، هرچند لازم نیست شما اثرات ثابت را به‌طور دستی بسازید و به مدل اضافه کنید، شکل ۶ چهار نمونه از اثرات ثابت را به‌عنوان مثال در خود دارد. به طور خاص 'CAN_exp_1993' اثر ثابت مربوط به کشور کانادا به عنوان صادرکننده در سال ۱۹۹۳ است. همچنین، 'USA_imp_1995' اثر ثابت مربوط به کشور آمریکا به عنوان واردکننده در سال ۱۹۹۵ است. به علاوه، 'CAN_MEX' اثر ثابت دوگانه مربوط به کشورهای کانادا-مکزیک است که مختص صادرات از کانادا به مکزیک می‌باشد و 'MEX_CAN' نیز اثر ثابت دوگانه مربوط به کشورهای مکزیک-کاناداست که مختص صادرات از مکزیک به کانادا می‌باشد.

شکل ۶: ساختار داده‌های جاذبه

	Exporter	Importer	Year	Trade	Distance	RTA	EU	GDP_Exporter	GDP_Importer	CAN_exp_1993	USA_imp_1995	CAN_MEX	MEX_CAN
1	CAN	MEX	1993	9.882e+08	3472.085	0	0	5.791e+11	5.302e+11	1	0	1	0
2	CAN	MEX	1994	1.620e+09	3472.085	1	0	5.799e+11	5.536e+11	0	0	1	0
3	CAN	MEX	1995	1.374e+09	3472.085	1	0	6.060e+11	3.802e+11	0	0	1	0
4	CAN	USA	1993	1.136e+11	2134.945	1	0	5.791e+11	6.859e+12	1	0	0	0
5	CAN	USA	1994	1.319e+11	2134.945	1	0	5.799e+11	7.287e+12	0	0	0	0
6	CAN	USA	1995	1.483e+11	2134.945	1	0	6.060e+11	7.640e+12	0	1	0	0
7	MEX	CAN	1993	2.785e+09	3472.085	0	0	5.302e+11	5.791e+11	0	0	0	1
8	MEX	CAN	1994	3.274e+09	3472.085	1	0	5.536e+11	5.799e+11	0	0	0	1
9	MEX	CAN	1995	3.901e+09	3472.085	1	0	3.802e+11	6.060e+11	0	0	0	1
10	MEX	USA	1993	4.072e+10	2492.907	0	0	5.302e+11	6.859e+12	0	0	0	0
11	MEX	USA	1994	5.033e+10	2492.907	1	0	5.536e+11	7.287e+12	0	0	0	0
12	MEX	USA	1995	6.275e+10	2492.907	1	0	3.802e+11	7.640e+12	0	1	0	0
13	USA	CAN	1993	8.804e+10	2134.945	1	0	6.859e+12	5.791e+11	0	0	0	0
14	USA	CAN	1994	1.002e+11	2134.945	1	0	7.287e+12	5.799e+11	0	0	0	0
15	USA	CAN	1995	1.098e+11	2134.945	1	0	7.640e+12	6.060e+11	0	0	0	0
16	USA	MEX	1993	4.832e+10	2492.907	0	0	6.859e+12	5.302e+11	0	0	0	0
17	USA	MEX	1994	5.481e+10	2492.907	1	0	7.287e+12	5.536e+11	0	0	0	0
18	USA	MEX	1995	5.397e+10	2492.907	1	0	7.640e+12	3.802e+11	0	0	0	0

منبع: پایگاه داده «جاذبه برای دانشجویان کارشناسی»

آنچه در شکل ۶ به نمایش آمده است، تنها ۱۸ مشاهده دارد؛ چون ۳ کشور داریم و هر کدام از آنها در هر یک از ۳ سال، به ۲ کشور دیگر صادرات می‌کند و از همان دو کشور نیز واردات دارد (۳ کشور صادرکننده ضرب در ۲ کشور وارد کننده ضرب در ۳ سال). بنابراین، اگر همه جفت‌کشورها و همه سال‌های مجموعه داده GU در دسترس بود، تعداد مشاهدات برابر با ۳۳۶۶۰۰ مشاهده می‌بود. (۱۰۰ کشور صادرکننده ضرب در ۹۹ کشور وارد کننده ضرب در ۳۴ سال). با این حال، داده‌های GU کاملاً متوازن نیستند، چون برخی کشورها—برای مثال جمهوری‌های سابق شوروی—در اوایل دهه ۱۹۹۰ مستقل نبودند و داده‌های تجارت و تولید ناخالص داخلی آنها فقط برای سال‌های بعد در دسترس است. در نتیجه، تعداد مشاهدات در مجموعه داده GU برابر با ۳۲۰۹۲۰ است.

پیش از آنکه وارد تحلیل اقتصادسنجی شویم، لازم است برخی متغیرها نظیر تجارت، فاصله و تولید ناخالص داخلی را به شکل لگاریتمی تبدیل کنیم. این کار با مجموعه‌ای از کدهای ساده در Stata انجام می‌شود:

```
generate ln_trade=ln(Trade)
generate ln_dist=ln(Distance)
generate ln_gdp_exp=ln(GDP_Exporter)
generate ln_gdp_imp=ln(GDP_Importer)
```

تخمین مدل ساده جاذبه. بر اساس معادله ۵، کدهای زیر که در Stata قابل اجرا هستند سبب‌ترین (و البته ساده‌انگارانه‌ترین) برآورد پارامترهای مدل جاذبه را طریق OLS محاسبه می‌کنند:

```
regress ln_trade ln_dist RTA EU ln_gdp_exp ln_gdp_imp if Year==2023
```

کد کلیدی تخمین دستور regress است. با استفاده از این کد، تخمینگر OLS در Stata به کار گرفته می‌شود. در این میان، متغیر وابسته 'ln_trade' است. متغیرهای مستقل نیز شامل 'ln_dist'، 'RTA'، 'EU'، 'ln_gdp_exp' و 'ln_gdp_imp' هستند. همچنین، دستور 'if year==2023' برای این منظور به کار گرفته شده است که تخمین‌ها تنها برای یک سال (۲۰۲۳) انجام شوند. طبیعی‌ست که این تخمین‌ها می‌توانند برای هر سال دیگری در داده‌ها نیز تکرار شوند: از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳.

برآوردهای جاذبه از این مشخصه در ستون (۱) جدول ۱ گزارش شده‌اند. در مجموع، نتایج همان‌طور است که انتظار می‌رود. پنج نکته برجسته‌اند. نخست، برآورد اثر فاصله بر تجارت منفی و از نظر آماری معنادار است؛ بر اساس تخمین OLS، یک افزایش ۱ درصدی در فاصله باعث کاهش ۱.۱۷۹ درصدی در تجارت می‌شود. دوم، برآوردهای اثر RTA و EU هر دو مثبت و از نظر آماری معنادارند. برآورد RTA نشان می‌دهد که با ثابت بودن سایر شرایط، توافقات تجاری منطقه‌ای باعث افزایش ۹۴ درصدی تجارت میان اعضای توافق شده‌اند ($[exp(0.664) - 1] \times 100 = 94.25$). سوم، شاید عجیب نباشد که چون اتحادیه اروپا نمونه‌ای از یکپارچگی بسیار عمیق است، اثر اتحادیه اروپا بر تجارت حتی بزرگ‌تر است. (آیا می‌توانید با استفاده از شیوه محاسبه اثر RTA، افزایش تجارت ناشی از اتحادیه اروپا را در میان اعضای اتحادیه اروپا محاسبه کنید؟) چهارم، ضرایب بزرگ، مثبت و معنادار GDP (هم در سمت صادرکننده و هم در سمت واردکننده) رابطه قوی و مثبت میان اندازه اقتصادی و تجارت را تأیید می‌کنند. در نهایت، R-Squared تخمین که در حدود ۶۴ درصد است، نشان می‌دهد که یک مدل ساده جاذبه برازش قابل توجهی دارد؛ حتی با تنها پنج متغیر مستقل.

تخمین مدل ساختاری جاذبه. با اعمال دو تغییر در کد قبلی Stata می‌توانیم مدل ساختاری جاذبه را تخمین بزنیم. تابع سنجی این مدل و پارامترهای آن در معادله ۶ آمده است:

```
reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU if Year==2023, absorb(Exporter Importer)
```

به عنوان نخستین تغییر از دستور reghdfe استفاده می‌کنیم.^۶ هرچند استفاده از دستور استاندارد regress (همچون مثال قبلی) کاملاً قابل قبول است، در اینجا دستور reghdfe ترجیح داده می‌شود، چون امکان مدیریت آسان تعداد زیادی اثرات ثابت را فراهم می‌کند. از قضا، این همان تغییر دومی‌ست که در برآورد مدل ساختاری اعمال می‌کنیم. به‌طور مشخص، با استفاده از گزینه 'absorb(Exporter Importer)'، اثرات ثابت صادرکننده و اثرات ثابت واردکننده در تخمین در نظر گرفته می‌شوند. این اثرات ثابت همه ویژگی‌های قابل مشاهده و غیرقابل مشاهده در سمت صادرکننده (مثلاً ارزش تولید) و در سمت واردکننده (مثلاً مخارج مصرفی) را کنترل می‌کنند و همچنین هزینه‌های تجاری چندجانبه را که می‌توانند بر تجارت دوجانبه اثر بگذارند، در نظر

^۶ دستورات reghdfe و pphdfe که در این فصل به کار می‌روند، بر مبنای Correia (2016) و Correia et al. (2020) بنا شده‌اند.

جدول ۱: تکامل مدل‌های سنجی جاذبه

	(1) مدل ساده جاذبه	(2) مدل ساختاری جاذبه	(3) مدل تابلویی جاذبه	(4) مدل HDFE جاذبه	(5) مدل حاصل ضربی جاذبه
ln_dist	-1.179 (0.032)**	-1.473 (0.034)**	-1.583 (0.006)**		
RTA	0.664 (0.049)**	0.236 (0.051)**	0.147 (0.010)**	0.103 (0.013)**	0.076 (0.012)**
EU	0.900 (0.112)**	-0.261 (0.117)*	-0.526 (0.022)**	0.427 (0.030)**	0.273 (0.024)**
ln_gdp_exp	1.352 (0.015)**				
ln_gdp_imp	1.143 (0.015)**				
Constant	-37.864 (0.600)**				
N	9564	9564	288085	288085	320920
R ²	0.643	0.759	0.772	0.897	

منبع: نویسنده. خطاهای استاندارد داخل پرانتز آمده‌اند.

+ $p < 0.10$, * $p < .05$, ** $p < .01$.

برای جزئیات تخمین‌ها، به متن اصلی فصل مراجعه کنید.

می‌گیرند. بنابراین، نتایج جدید برآورد که در ستون (۲) جدول ۱ آمده‌اند، دیگر شامل برآورد اثر تولید ناخالص داخلی نیستند.^۷

چهار تفاوت مهم بین برآوردهای ستون‌های (۱) و (۲) دیده می‌شود. نخست، برآورد اثر فاصله در ستون (۲) همچنان منفی و از نظر آماری معنادار است؛ اما قدر مطلق آن بزرگ‌تر شده است. دوم، برآورد اثر اتحادیه اروپا بسیار کوچک‌تر است؛ حتی منفی می‌شود. این نتیجه با بحث بخش قبل درباره پیامدهای نظری هزینه‌های تجاری چندجانبه سازگار است. به‌طور مشخص، همان‌طور که نظریه پیش‌بینی می‌کند، وقتی هزینه‌های چندجانبه تجارت را در نظر بگیریم، اثر اتحادیه اروپا بسیار کوچک‌تر برآورد می‌شود. سوم، می‌بینیم برآورد اثر توافقات تجاری منطقه‌ای هم کوچک‌تر شده است؛ اما همچنان مثبت و از نظر آماری معنادار باقی می‌ماند. در نهایت، مقدار R-Squared در ستون (۲) بزرگ‌تر است. این موضوع طبیعی است و به استفاده از بردار اثرات ثابت صادرکننده و واردکننده برمی‌گردد؛ اثراتی که به‌ترتیب همه عوامل تعیین‌کننده جریان‌های تجاری در سمت صادرکننده و در سمت واردکننده را، چه قابل مشاهده باشند و چه غیرقابل مشاهده، کنترل می‌کنند.

تخمین مدل جاذبه با استفاده از داده‌های تابلویی. با اعمال دو تغییر در کد قبلی می‌توانیم از Stata استفاده کنیم تا پارامترهای مدل جاذبه را با استفاده از داده‌های تابلویی تخمین بزنیم. تابع سنجی این مدل و پارامترهای آن در معادله ۷ آمده است:

reghdfe ln_trade ln_dist RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year)

نخست، عبارت 'if year==2023' را حذف می‌کنیم، چون می‌خواهیم از تمام سال‌های موجود در داده‌ها استفاده کنیم. دوم، اجازه می‌دهیم اثرات ثابت در مدل اقتصادسنجی در طول زمان هم تغییر کنند؛ یعنی حالا از اثرات ثابت «صادرکننده-سال» ('Exporter#Year') و «واردکننده-سال» ('Importer#Year') استفاده می‌کنیم. توجه کنید که ابعاد این اثرات ثابت در حالت داده‌های تابلویی با نظریه مدل جاذبه تابلویی (۳) سازگار است؛ جایی که متغیرهای مربوط به صادرکننده و واردکننده (یعنی متغیرهای اندازه کشور و هزینه‌های تجاری چندجانبه) نیز در طول زمان تغییر می‌کنند.

برآوردهای تابلویی در ستون (۳) جدول ۱ گزارش شده‌اند. نخست می‌بینیم که همان‌طور که انتظار می‌رود، تعداد مشاهده‌ها در ستون (۳) به‌طور قابل توجهی بیشتر است. به همین دلیل، مجموعه خطاهای استاندارد (Standard Errors) در ستون (۳) بسیار کوچک‌تر شده‌اند. برآورد اثر فاصله با نتیجه مقطعی متناظر در ستون (۲) قابل مقایسه است. برآورد اثر توافقات تجاری منطقه‌ای کوچک‌تر شده، اما همچنان مثبت و از نظر آماری معنادار است. با این حال، برآورد اثر اتحادیه اروپا در ستون (۳) بزرگ، منفی و معنادار است. این نتیجه از دید سیاست‌گذاری بسیار غافلگیرکننده است؛ اما از نظر روش‌شناسی چندان عجیب نیست. دلیل آن این است که این مشخصه تابلویی، بسیاری از هزینه‌های تجاری دوجانبه مهم، که می‌توانند نقش تعیین‌کننده داشته

^۷ وقتی اثرات ثابت را وارد مدل می‌کنیم، ضریب «عرض از مبدأ» دیگر تفسیر معمول خود را از دست می‌دهد؛ بنابراین آن را گزارش نمی‌کنیم و کنار گذاشته می‌شود.

باشند، را در مدل جا انداخته است. این مشکل در مدل بعدی برطرف می‌شود.

تخمین مدل جاذبه با استفاده از اثرات ثابت با بُعد بالا (HDFE). تغییر بعدی، استفاده از اثرات ثابت دوگانه کشورهای است. تابع سنجی این مدل و پارامترهای آن در معادله ۸ آمده است. در عمل، استفاده از اثرات ثابت دوگانه کشورهای به راحتی با استفاده از گزینه 'absorb' در دستور برآورد ما انجام می‌شود. در نتیجه، علاوه بر اثرات ثابت صادرکننده-سال و واردکننده-سال، اکنون اثرات ثابت دوگانه کشورهای 'Importer#Exporter' را نیز به مدل اضافه می‌کنیم. برای این منظور از کد زیر بهره می‌بریم:

```
reghdfc ln_trade RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year Importer#Exporter)
```

همانطور که در کد تخمین می‌بینید، دیگر اثری از متغیر 'ln_dist' در تخمین نیست، چرا که به محض معرفی اثرات ثابت دوگانه کشورهای، تمامی هزینه‌های تجاری دوجانبه ثابت در طول زمان، از جمله فاصله، در مدل «جذب» می‌شوند و کاملاً کنترل خواهند کرد. از آنجا که بخش عمده‌ای از هزینه‌های تجاری دوجانبه توسط جغرافیا تعیین می‌شود، اثرات ثابت دوگانه کشورهای ابزارهای سنجی بسیار قدرتمندی برای کنترل متغیرهایی هستند که نمی‌توانند به راحتی اندازه‌گیری یا حتی مشاهده شوند. این امر، به ما کمک می‌کند تا بر متغیرهای سیاستی مورد علاقه، مانند عضویت در اتحادیه اروپا و توافقات تجاری منطقه‌ای تمرکز کنیم. فراموش نکنید که هرچند متغیرهایی نظیر EU و RTA متغیرهای دوجانبه هستند، در طول زمان ثابت نیستند و تغییر می‌کنند. ولیکن، اگر تمرکز پژوهش بر اثرات مؤلفه‌های تغییرناپذیری نظیر فاصله، مرزهای مجاور و زبان مشترک باشد، آنگاه نمی‌توان از اثرات ثابت دوگانه کشورهای استفاده کرد، زیرا گنجاندن آن اثرات برآورد تأثیر متغیرهایی نظیر فاصله را ناممکن می‌سازد. از قضا، چنین تحلیل‌هایی در سؤالات تمرینی پایان فصل گنجانده شده است.

برآوردهای جاذبه با اثرات ثابت دوگانه کشورهای در ستون (۴) جدول ۱ گزارش شده‌اند. این مدل به یک برآورد کاملاً متفاوت از اثر اتحادیه اروپا منجر می‌شود: به طور خاص، همان‌طور که انتظار می‌رفت، برآورد اثر اتحادیه اروپا اکنون بزرگ، مثبت و از نظر آماری معنادار است. برآورد تأثیر توافقات تجاری منطقه‌ای کمی کوچک‌تر از قبل است، اما همچنان مثبت و معنادار باقی می‌ماند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، دلیل این تغییرات در برآوردهای سیاستی این است که مدل‌های قبلی برخی متغیرهای مستقل مهم و ثابت در طول زمان را از قلم انداخته بودند؛ متغیرهایی که اکنون با اثرات ثابت دوگانه کشورهای به طور کامل کنترل می‌شوند. بنابراین، تا وقتی متغیر مورد توجه اثر متغیرهای سیاستی دوجانبه باشد (مثل عضویت در اتحادیه اروپا، توافقات تجاری منطقه‌ای، تعرفه‌ها، تحریم‌ها و الخ.)، استفاده از مدلی که اثرات ثابت دوگانه کشورهای را در بر می‌گیرد، به شدت توصیه می‌شود. در نهایت نیز، آنچنان که انتظار می‌رفت، به کارگیری اثرات ثابت دوگانه کشورهای باعث افزایش بیشتر برازش کلی مدل نیز شده است؛ به طوری که R-Squared هم اکنون به ۹۰ درصد رسیده است.

تخمین مدل حاصل‌ضربی جاذبه. آخرین مدلی که در این فصل به کار می‌گیریم، مدل حاصل‌ضربی‌ست که پارامترهای آن از طریق دستور زیر تخمین زده می‌شوند. تابع سنجی این مدل و پارامترهای آن در معادله ۹ آمده است:

```
ppmlhdfc Trade RTA EU, absorb(Exporter#Year Importer#Year Importer#Exporter)
```

دو تغییر ساده به ما امکان می‌دهند مدل جاذبه را در قالب حاصل‌ضربی‌اش برآورد کنیم: نخست، دستور reghdfc در Stata را با دستور ppmlhdfc جایگزین می‌کنیم. سپس، از داده‌های جریان‌های تجاری در «سطح» و نه در «لگاریتم» استفاده می‌کنیم؛ به همین دلیل این بار از متغیر 'Trade' (که میزان مبادلات را نمایندگی می‌کند) به جای متغیر 'ln_trade' (که لگاریتم میزان مبادلات را نمایندگی می‌کند) استفاده می‌کنیم. به جای برآوردگر OLS، دستور جدید ppmlhdfc از برآوردگر ضربی PPML استفاده می‌کند. این روزها، برآوردگر PPML به عنوان برآوردگر استاندارد مدل جاذبه جا افتاده است، چرا که نسبت به OLS چند مزیت اقتصادی سنجی مهم دارد. به طور خاص، این برآوردگر به دلیل شکل ضربی خود می‌تواند وجود «جریان‌های تجاری صفر» در داده‌ها را به درستی در نظر بگیرد.^۸ نکته مهم این است که تفسیر برآوردهای جاذبه، وقتی آنها را با روش PPML به دست می‌آوریم، تغییری نمی‌کند. علاوه بر این، به لطف پیشرفت‌های اخیر در محاسبات، برآوردگر PPML پایدار و سریع است.

آخرین مجموعه از تخمین‌های مدل جاذبه در ستون (۵) جدول ۱ آمده است. پارامتر توافقات تجاری منطقه‌ای در برآورد مدل جاذبه حاصل‌ضربی، در حدود ۰.۰۷۶ تخمین زده شده است. این تخمین نشان می‌دهد که با ثابت بودن سایر شرایط، توافق‌هایی که در دوره مورد بررسی اجرائی شده‌اند، توانسته‌اند تجارت میان اعضای توافق را تا حدود ۸ درصد افزایش دهند. ضریب تخمین زده شده برای عضویت در اتحادیه اروپا نیز اثر متناظری در حدود ۳۱ درصد را نشان می‌دهد. البته ممکن است برآوردهای این دو متغیر سیاستی کمی کوچک به نظر برسند. در این میان، باید به چند نکته توجه کرد. نخست، با توجه به استفاده از اثرات ثابت زوج کشورهای، برآوردهای ما فقط اثر RTAهایی را ثبت می‌کنند که پس از سال ۱۹۹۰ وارد اجرا شده‌اند. این موضوع درباره تأثیر EU نیز صدق می‌کند. دوم، اثرات EU و RTA می‌تواند بسیار ناهمگون باشند. این موضوع در بخش پرسش‌های تمرینی

^۸ خوانندگان علاقه‌مند می‌توانند برای بحث‌های مفصل درباره ویژگی‌های جذاب روش PPML در برآوردهای جاذبه، به Santos Silva and Tenreiro (2006) و Larch et al. (2025) مراجعه کنند.

پایان فصل نشان داده می‌شود. در نهایت، توجه کنید که در ستون (۵) مقدار R-Squared گزارش نشده است.^۹ در عوض، برای سنجش برازش کلی مدل، خواننده را دوباره به شکل ۲ ارجاع می‌دهم؛ شکلی که بر اساس برآوردهای همین مدل به دست آمده است.

یک نکته پایانی. اگر معنای هر جزء از مدل حاصل‌ضربی مدل جاذبه و پیامدهای آن درک کرده باشید، راه زیادی را طی کرده‌اید و واقعاً باید به خود افتخار کنید. همان‌طور که در بخش «پرسش‌های تمرینی» در پایان فصل نشان داده می‌شود، فقط با افزودن متغیرهای مستقل مربوطه به همین خط برآورد، می‌توانید اثر بسیاری از سیاست‌های دوجانبه و وابسته به زمان (مثل تحریم‌ها، اتحادیه‌های گمرکی و غیره) را بر تجارت برآورد کنید. همچنین، اگر به اثر عوامل ثابت در طول زمان بر جریان‌های تجاری علاقه‌مند باشید (مثل فاصله، پیوندهای استعماری، زبان رسمی مشترک و غیره)، می‌توانید به جای استفاده از اثرات ثابت زوج کشورها، این متغیرها را وارد مدل کنید. در مجموع، تا اینجا شما ابزارهای لازم را برای بررسی اثر بسیاری از سیاست‌ها بر جریان‌های تجاری با یک مدل نوین جاذبه در اختیار دارید.

پیش از جمع‌بندی، یک موضوع مهم دیگر از مدل اقتصادسنجی جاذبه باقی مانده که هنوز درباره آن صحبت نکردیم. این موضوع به نحوه رویکرد ما به محاسبه خطاهای استاندارد (Standard Errors) در برآوردهای جاذبه مربوط است و پیش‌تر به سه دلیل مطرح نشد. نخست، این موضوع شاید برای یک متن مخصوص دانشجویان کارشناسی اندکی پیشرفته باشد. دوم، هنوز روش‌های محاسباتی کاملاً جاافتاده و مورد توافق همگان برای حل این مسئله وجود ندارد. سوم، حتی با تغییر رویکرد محاسباتی در این موضوع، ضرایب برآوردشده برای متغیرهای مستقل تغییر نمی‌کنند؛ تنها خطاهای استاندارد مربوط به آنها ممکن است بزرگ‌تر یا کوچک‌تر شوند. با این حال، در بسیاری از موارد این محاسبه فقط به تفاوت‌های کوچک در نتایج جاذبه منجر می‌شود. بنابراین، بدون ورود به جزئیات، پیشنهاد من این است که از یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای برخورد با خطاهای استاندارد در مدل جاذبه استفاده کنید و در انتهای دستور برآورد، گزینه 'cluster(Exporter#Importer)' را اضافه کنید. از آنجا که اقتصاددانان اقتصادسنجی برجسته هنوز در این باره به توافق نرسیده‌اند، لازم نیست زیاد نگران‌ش باشید؛ و اگر از شما پرسیدند چرا این اصلاح را انجام داده‌اید، می‌توانید خیلی ساده بگویید: «تقصیر یوتوف است!».

^۹ دلیل این امر آن است که برآوردگر غیرخطی PPML یک شاخص شبیه به R-Squared تولید می‌کند که با شاخص تولید شده بر مبنای برآوردهای خطی به طور مستقیم قابل مقایسه نیست. برای اطلاعات بیشتر به این Statalist مراجعه کنید:
<https://www.statalist.org/forums/forum/general-stata-discussion/general/1528609-ppmlhdfe-pseudo-r2>.

References

- Anderson, James E.** 1979. “A Theoretical Foundation for the Gravity Equation.” *American Economic Review* 69 (1): 106–116.
- Anderson, James E.** 2011. “The Gravity Model.” *Annual Review of Economics* 3 133–160.
- Anderson, James E., and Eric van Wincoop.** 2003. “Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle.” *American Economic Review* 93 (1): 170–192.
- Arkolakis, Costas, Arnaud Costinot, and Andrés Rodríguez-Clare.** 2012. “New Trade Models, Same Old Gains?” *American Economic Review* 102 (1): 94–130.
- Baldwin, Richard E., and Daria Taglioni.** 2006. “Gravity for Dummies and Dummies for Gravity Equations.” *NBER Working Paper No. 12516*.
- Correia, Sergio.** 2016. “A Feasible Estimator for Linear Models with Multi-Way Fixed Effects.” *unpublished manuscript available at <http://scoreia.com/research/hdfe.pdf>*.
- Correia, Sergio, Paulo Guimarães, and Thomas Zylkin.** 2020. “Fast Poisson Estimation with High-Dimensional Fixed Effects.” *The Stata Journal* 20 (1): 95–115. [10.1177/1536867x20909691](https://doi.org/10.1177/1536867x20909691).
- Eaton, Jonathan, and Samuel Kortum.** 2002. “Technology, Geography and Trade.” *Econometrica* 70 (5): 1741–1779.
- Frankel, J.A., and D. Romer.** 1999. “Does Trade Cause Growth?” *American Economic Review* 89 (3): 379–399.
- Krugman, Paul.** 1995. “Increasing returns, imperfect competition and the positive theory of international trade.” In *Handbook of International Economics*, edited by G. M. Grossman, and K. Rogoff, Volume 3. 1st edition, Chap. 24, 1243–1277.
- Larch, Mario, Serge Shikher, and Yoto Yotov.** 2025. “Estimating Gravity Equations: Theory Implications, Econometric Developments, and Practical Recommendations.” Working Papers2025001, Center for Global Policy Analysis, LeBow College of Business, Drexel University, <https://ideas.repec.org/p/drx/wpaper/2025001.html>.
- Ravenstein, Ernest George.** 1885. “The Laws of Migration: Part 1.” *Journal of the Statistical Society of London* 48 (2): 167–235.
- Rose, Andrew K.** 2000. “One money, one market: the effect of common currencies on trade.” *Economic Policy* 15 (30): 08–45.
- Santos Silva, João M.C., and Silvana Tenreyro.** 2006. “The Log of Gravity.” *Review of Economics and Statistics* 88 (4): 641–658.
- Tinbergen, Jan.** 1962. *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York: The Twentieth Century Fund.
- Yotov, Yoto V.** 2024. “The evolution of structural gravity: The workhorse model of trade.” *Contemporary Economic Policy* 42 (4): 578–603.
- Yotov, Yoto V., Roberta Piermartini, Jose-Antonio Monteiro, and Mario Larch.** 2016. *An Advanced Guide to Trade Policy Analysis: The Structural Gravity Model*. Geneva: UNCTAD and WTO.

پرسش‌های تمرینی این بخش با هدف‌های زیر طراحی شده‌اند. نخست، برای تبیین دوبارهٔ مطالب و ابزارهایی که در این فصل پوشش داده شدند. دوم، برای تمرین و گسترش مهارت‌های کد نویسی شما. سوم، برای ارائهٔ کاربردهای سیاستی بیشتر و واقع‌بینانه‌تر. پرسش‌ها بر اساس درجهٔ دشواری مرتب شده‌اند؛ از ساده‌تر به دشوارتر. هر پرسش مستقل است و می‌تواند (و بهتر است) به صورت مستقل حل شود. برخی پرسش‌ها چندبخشی هستند و حل هر بخش معمولاً فقط به چند خط کد نیاز دارد. در پایان نیز بد نیست بدانید که پایگاه دادهٔ «جاذبه برای دانشجویان کارشناسی» (GU) تنها داده‌ای است که برای پاسخ دادن به همهٔ پرسش‌ها لازم دارید.

۱. **فیزیک و تجارت:** با استفاده از دادهٔ تولید ناخالص داخلی کشور صادرکننده و کشور واردکننده و نیز متغیر فاصله برای سال ۲۰۲۳ از مجموعه دادهٔ GU، جریان تجارت را مطابق با مدل سادهٔ جاذبهٔ تجارت (معادلهٔ ۱) در این فصل بازسازی کنید. مطابق با ادبیات موجود تجارت، فرض کنید کشش تجارت نسبت به فاصله برابر با -1 است ($\theta = -1$). همچنین، چون قرار است همبستگی بین جریان تجاری بازسازی شده و جریان حقیقی تجارت را بررسی کنید، فرض کنید ثابت جاذبهٔ تجاری برابر با ۱ است. ($G = 1$) اکنون همبستگی میان جریان‌های تجاری بازسازی شده از مدل سادهٔ جاذبه و جریان‌های تجاری واقعی موجود در داده‌ها را محاسبه کنید. ضریب همبستگی میان جریان بازسازی شده با جریان واقعی چقدر است؟ سپس میانگین‌های این دو متغیر را با هم مقایسه کنید. چه چیزی می‌تواند اختلاف میان آنها را توضیح دهد؟

۲. **برآوردهای مقطعی در گذر زمان:** از پایگاه دادهٔ GU استفاده کنید تا مدل سادهٔ جاذبه از بخش ۴ فصل (مثل نتایج گزارش شده در ستون (۱) جدول ۱) را برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ برآورد کنید. سپس روند تغییرات ضرایب پنج متغیر جاذبه را در طول زمان بررسی و توضیح دهید. (راهنمایی: می‌توانید ۴ معادلهٔ جداگانه برآورد کنید یا یک Loop بنویسید).

۳. **متغیرهای استاندارد مدل جاذبه:** لگاریتم فاصلهٔ دوجانبه، وجود مرز مشترک، زبان رسمی مشترک، و روابط استعماری، چهار شاخص پرکاربرد برای هزینه‌های تجاری دوجانبه و ثابت در طول زمان هستند که در ادبیات تجارت به طور گسترده استفاده می‌شوند. در این پرسش، از پایگاه دادهٔ GU استفاده می‌کنید تا اثر این متغیرهای استاندارد جاذبه را بر تجارت برآورد کنید.

۳.الف. از مدل حاصل ضریبی جاذبه در بخش ۴ فصل (مانند نتایج گزارش شده در ستون (۵) جدول ۱) شروع کنید و متغیرهای 'ln_dist'، 'Contiguous_Border'، 'Common_Language' و 'Colonial_Ties' را مستقیماً به همین مدل اضافه کنید. آیا می‌توانید اثر این متغیرها را برآورد کنید؟ چرا؟

۳.ب. اکنون همان مدل را بدون اثرات ثابت دوگانهٔ کشورها برآورد کنید. به طور خاص، در مدل شما کدام جزء باعث می‌شود اثرات ثابت دوگانهٔ کشورها وارد مدل شوند؟ همان جزء را حذف کنید. آیا حالا می‌توانید برای متغیرهای جدید بخش ۳.الف برآوردی به دست آورید؟ ضرایب جدید را از نظر علامت و اندازه تفسیر کنید.

۴. **اثرات اتحادیه‌های گمرکی:** اتحادیه‌های گمرکی (Customs Unions) نوعی از توافقات تجاری منطقه‌ای (RTA) هستند که در آن، اعضای توافق منطقه‌ای علاوه بر آزادسازی تجارت میان خود، یک سیاست تجاری خارجی مشترک نیز برای تجارت با کشورهای غیرعضو اتخاذ می‌کنند. به همین دلیل، اتحادیه‌های گمرکی نوعی «توافق تجاری منطقه‌ای عمیق» به شمار می‌روند. بنابراین، انتظار می‌رود که اتحادیه‌های گمرکی تجارت را بیش از توافقات تجاری منطقه‌ای افزایش دهند. در این پرسش، از پایگاه دادهٔ (GU) استفاده می‌کنید تا این فرضیه را آزمون کنید.

۴.الف. از داده‌های GU استفاده کنید و پارامترهای مدل حاصل ضریبی جاذبه که در بخش ۴ بحث شد را برآورد کنید (همچون نتایج گزارش شده در ستون (۵) جدول ۱). این بار، اِما، متغیر 'Customs_Union' را نیز به مدل اضافه می‌کنید. سپس ضریب برآورد شده برای 'Customs_Union' را تفسیر و دربارهٔ آن بحث کنید.

۴.ب. از آنجا که اتحادیه‌های گمرکی طبق تعریف، نوعی از توافقات تجاری منطقه‌ای هستند، متغیر 'RTA' از قبل اتحادیه‌های گمرکی را هم در بر می‌گیرد. بنابراین، ضریب برآورد شده برای متغیر 'Customs_Union' در بخش ۴.الف باید به عنوان انحرافی در تخمین نسبت به اثر 'RTA' تفسیر شود.

برای به دست آوردن اثر اتحادیه‌های گمرکی به طور مستقل، وقتی متغیر 'Customs_Union' برابر با «یک» است مقدار متغیر 'RTA' را برابر با «صفر» قرار دهید. سپس مدل بخش ۴.الف را دوباره برآورد کنید. در پایان، برآوردهای تأثیر اتحادیه‌های گمرکی در بخش‌های ۴.الف و ۴.ب را با هم مقایسه کنید و سپس برآورد جدید را تفسیر کنید.

۵. **تأثیر تحریم‌ها:** در دنیای امروز، تحریم‌های اقتصادی به بخشی جدایی‌ناپذیر از سیاست بین‌الملل تبدیل شده‌اند. در این پرسش، از پایگاه داده‌ی GU استفاده می‌کنید تا اثر تحریم‌های کامل تجاری (Complete Trade Sanctions) را برآورد کنید و همچنین اثر تحریم‌ها علیه روسیه را به‌طور جداگانه مشخص و تفکیک کنید.

۵.الف. از داده‌های GU استفاده کنید و پارامترهای مدل حاصل‌ضربی جاذبه که در بخش ۴ بحث شد را برآورد کنید (همچون نتایج گزارش‌شده در ستون (۵) جدول ۱). این بار، اما، متغیر 'Trade_Sanction' را نیز به مدل اضافه می‌کنید. سپس ضریب برآوردشده برای 'Trade_Sanction' را تفسیر و درباره‌ی آن بحث کنید.

۵.ب. از مدل قبلی در بخش ۵.الف شروع کنید و اثر تحریم‌ها علیه روسیه را جدا کنید. برای این کار، از متغیر 'Trade_Sanction' استفاده کنید تا یک متغیر جدید برای تحریم‌های مربوط به روسیه بسازید: 'Russia_Sanction'. آن زمان که روسیه در یک تحریم تجاری قرار داشته باشد، 'Russia_Sanction' برابر «یک» خواهد بود. در غیر این صورت، این متغیر جدید برابر با «صفر» خواهد بود. سپس، آن زمان که 'Russia_Sanction' برابر با «یک» است، مقدار متغیر 'Trade_Sanction' را برابر با «صفر» قرار دهید. پس از آن، مدل بخش ۵.الف را با اضافه کردن متغیر 'Russia_Sanction' دوباره برآورد کنید. نتایج خود را تفسیر کنید.

۵.ج. اثر تحریم‌های سال ۲۰۲۲ علیه روسیه، که به‌دلیل حمله‌ی این کشور به اوکراین اعمال شد، را جدا کنید. برای این کار، متغیر 'Russia_Sanction' در مدل قبلی را به دو متغیر تقسیم کنید: برای تحریم‌های قبل از ۲۰۲۲، متغیری با نام 'Russia_Sanction_Old' تعریف کنید؛ برای تحریم‌هایی که در سال ۲۰۲۲ اعمال شدند، متغیری با نام 'Russia_Sanction_New' تعریف کنید. سپس، مدل بخش ۵.ب را برآورد کنید، با این تفاوت که به‌جای متغیر، از این دو متغیر جدید استفاده کنید. نتایج خود را بحث و تفسیر کنید.

۶. **تأثیرات ناهمگون توافقات تجاری منطقه‌ای:** برآوردی که برای همه‌ی توافقات تجاری منطقه‌ای در این فصل گزارش شد، ممکن است ناهمگونی قابل‌توجهی را که در آثار این توافقات وجود دارد را پنهان کند. در این پرسش، از پایگاه داده‌ی GU استفاده می‌کنید تا چند بُعد از ناهمگونی اثر این توافقات را بررسی کنید.

۶.الف. با استفاده از داده‌های GU، مدل حاصل‌ضربی جاذبه که در بخش ۴ بحث شد را برآورد کنید (همچون نتایج گزارش‌شده در ستون (۵) جدول ۱). این بار، اما، اجازه دهید اثر متغیر 'RTA' در سه دوره‌ی زمانی متفاوت باشد: از ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹، از ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹، و از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳. (راهنمایی: ابتدا باید متغیر 'RTA' را به سه متغیر جداگانه تبدیل کنید؛ هرکدام برای یکی از این دوره‌ها.) سپس نتایج به دست آمده را توضیح دهید و درباره‌ی آنها بحث کنید.

۵.ب. دوباره از مدل حاصل‌ضربی جاذبه که در بخش ۴ فصل معرفی شد آغاز کنید (ستون (۵) جدول ۱). این بار، اثر توافق تجارت آزاد استرالیا-چین (ChAFTA) را که از سال ۲۰۱۵ اجرا شده، به‌طور جداگانه برآورد کنید. برای این کار، یک شاخص دوگانه به نام 'ChAFTA' بسازید که برای جریان‌های تجاری بین استرالیا و چین در سال‌های پس از ۲۰۱۴ عدد «یک» و در غیر این صورت عدد «صفر» را بگیرد. سپس این متغیر را به مدل حاصل‌ضربی جاذبه اضافه کنید.

۶.ج. برآوردی که در قسمت ۶.ب از متغیر 'ChAFTA' به دست آمد، تأثیر آن را به‌عنوان تغییری در اثر کلی توافقات تجاری نشان می‌دهد. دلیل این امر آن است که متغیر 'RTA' شامل متغیر 'ChAFTA' نیز هست. برای به‌دست آوردن برآورد اثر کامل توافق تجاری استرالیا و چین، وقتی متغیر 'ChAFTA' برابر با «یک» است، مقدار متغیر 'RTA' را برابر با «صفر» قرار دهید. سپس پارامترهای مدل بخش ۶.ب را دوباره برآورد کنید. برآوردهای 'ChAFTA' را در این دو مشخصه مقایسه کنید و برآورد جدید را تفسیر کنید.

۶.د. بررسی کنید که آیا اثرات ChAFTA نامتقارن هستند یا نه. (راهنمایی: متغیر 'ChAFTA' را بر اساس جهت جریان تجارت به دو متغیر جداگانه تفکیک کنید؛ یکی برای تجارت از استرالیا به چین و دیگری برای تجارت از چین به استرالیا. سپس این دو متغیر را به‌جای متغیر 'ChAFTA' در مدل قبل وارد کنید و برآوردهای آنها را با هم مقایسه کنید.)