اقتصادسنجی فضایی

Spatial Econometrics

برای مجموعه‌ای از مناطق جغرافیایی، مشاهدات جمع‌آوری شده برای مناطق نزدیک به هم تمایل دارند تا خصوصیات مشابه بیشتری در مقایسه با مناطق دورتر از هم داشته باشند. از نقطه‌نظر آماری، این خصوصیت بر این نکته تأکید دارد که همبستگی بین مشاهدات جمع‌آوری شده از مناطق نزدیک به هم بالاتر از همبستگی بین مشاهدات مکان‌هایی است که از هم فاصله دارند. برای تحلیل این نوع داده‌ها از روش اقتصادسنجی فضایی استفاده می‌شود. درواقع در این الگوها علاوه‌بر بُعد زمان، بُعد فضا (مکان) نیز مدنظر قرار می‌گیرد. براساس قضیه گاوس- مارکف، رگرسیون با داده‌های نمونه‌ای به‌صورت رابطه زیر نشان داده می‌شود (Anselin, 1988):

$$Y = X\beta + \varepsilon \qquad (۱)$$

که در آن Y نشان‌دهنده متغیر وابسته، X بیانگر یک ماتریس $n \times k$ از متغیرهای توضیحی، β بردار پارامترها و ε برداری از n جمله خطای تصادفی است. وابستگی می‌تواند بین چندین مشاهده رخ دهد به‌طوری که i می‌تواند هر مقداری از $i = 1,...,n$ را اختیار کند، چرا که انتظار می‌رود داده های نمونه‌ای مشاهده شده در یک نقطه از فضا به مقادیر مشاهده شده در مکان‌های دیگر وابسته باشد. براساس رابطه زیر داریم:

$$Y_i = f(Y_i) \qquad i = 1,...,n \qquad i \neq j \qquad (۲)$$

به‌طور مثال پدیده بیکاری در مکانی مانند i فقط تحت تأثیر عوامل دورن همان منطقه نیست و عوامل دیگری در مناطق مجاور روی آن اثر می‌گذارند و همچنین فاصله این منطقه با مناطق مجاور نیز می‌تواند روی شدت تأثیر این عوامل دخالت داشته باشد. ناهمسانی فضایی اشاره به انحراف در روابط بین مشاهدات در سطح مکان‌های جغرافیایی دارد. رابطه خطی زیر را درنظر بگیرید:

$$Y_i = X_i\beta_i + \varepsilon_i \qquad (۳)$$

که در آن i بیانگر مشاهدات به‌دست آمده در $i = 1,...,n$ نقطه در فضا، x_i نشانگر بردار $1 \times k$ از متغیرهای توضیحی همراه با مجموعه پارامترهای β_i مربوط به آن، y_i متغیر وابسته در مشاهده یا مکان i، ε_i بیانگر خطای تصادفی در رابطه مذکور است. باتوجه‌به این رابطه، هنگام حرکت در بین مشاهدات توزیع داده های نمونه‌ای نشانگر میانگین و واریانس ثابتی نخواهند بود.

الگوهای خودرگرسیون فضایی

برای بررسی وجود وابستگی فضایی بین داده‌های نمونه‌ای دارای بعد فضا از الگوهای خودرگرسیون فضایی استفاده می شود. اگر بردار متغیر موردنظر در مناطق مختلف با Y نشان داده شود و ماتریس متغیرهای توضیح‌دهنده با X بیان گردد، آنگاه الگوی کلی خودرگرسیون فضایی با داده‌های مقطعی که توسط انسلین (Anselin, 1988) ارائه شده است، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} Y &= \rho W_1 Y + \beta X + U \\ U &= \lambda W_2 U + \varepsilon \\ \varepsilon &\approx N(0, \sigma^2 I_n) \end{aligned} \qquad (۴)$$

که در آن Y یک بردار $n \times 1$ از متغیر وابسته و X یک ماتریس $n \times k$ از متغیرهای توضیحی است. W_1 و W_2 ماتریس‌های وزنی فضایی $n \times n$ هستند که می‌توانند براساس تعاریف همسایگی فضایی براساس مجاورت و یا به‌عنوان تابعی از فاصله ایجاد شوند. پارامتر ρ خودهمبستگی فضایی را اندازه‌گیری می‌نماید. U اجزاء اخلال الگو با میانگین صفر و واریانس σ^2 بوده که فرض شده دارای ساختار فضایی است و λ ضریب همبستگی اجزاء اخلال یا خطاهای رگرسیون در مناطق مختلف است.

الگوی فوق نشان می‌دهد که بین مناطق مختلف، دو نوع همبستگی فضایی می‌تواند مطرح باشد؛ نوع اول همبستگی بین متغیر وابسته در مناطق مختلف است که براساس همسایگی در قالب ماتریس همسایگی W_1 وزن داده می‌شوند و ρ شدت این همبستگی فضایی را اندازه‌گیری می‌نماید. نوع دوم همبستگی بین جزء خطا یا اجزاء اخلال در مکان‌های مختلف است که شدت این همبستگی توسط λ در رابطه فوق اندازه‌گیری می‌شود. با اعمال برخی محدودیت‌ها در الگوی کلی (۴) الگوهای ساده‌تری به‌دست می‌آید. مثلاً اگر $X = 0$ و تغیرات اجزاء اخلال تحت تأثیر مناطق دیگر نباشد (یعنی: $W_2 = 0$)، الگوی خودرگرسیون فضایی مرتبه اول به فرم زیر

Encyclopedia of Economics
دانشنامه اقتصاد
enceco.ihcs.ac.ir

به‌دست می‌آید (LeSage, 1999):

$$Y = \rho W_1 Y + \varepsilon \qquad \varepsilon \approx N(0, \sigma^2 I_n) \qquad (۵)$$

در این الگو که مشابه الگوی خودرگرسیونی معمولی مرتبه اول در تحلیل سری زمانی است، تغییر در متغیر وابسته در هریک از مناطق (Y)، به‌صورت یک ترکیب خطی از تغییر در تولید واحدهای همسایه حاصل می‌شود و نیازی به اطلاعات دیگری برای توضیح متغیر وابسته نیست. ازآنجاکه این الگو فاقد عرض از مبدأ است، در عمل متغیر وابسته به‌صورت انحراف از میانگین وارد الگو می‌شود. حال اگر صرفاً $W_2 = 0$ باشد، الگوی مختلط رگرسیون- خودرگرسیون فضایی حاصل می‌شود که به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (LeSage, 1999):

$$Y = \rho W Y + \beta X + \varepsilon \qquad \varepsilon \approx N(0, \sigma^2 I_n) \qquad (۶)$$

که در آن تمام متغیرها تعاریف قبلی خود را دارند. درواقع این الگو یک الگوی رگرسیونی استاندارد است که یک متغیر جدید که وقفه فضایی متغیر وابسته است به آن افزوده شده است.

معمولاً در تجزیه و تحلیل رگرسیون کلاسیک فرض بر این است که اجزاء اخلال الگو مستقل هستند، اما در مورد داده‌های فضایی، اجزاء اخلال ممکن است همبسته باشند و ساختار همبستگی آنها تابعی از موقعیت قرار گرفتن مشاهدات در فضای مورد مطالعه باشد. این حالت نوع دیگری از الگوهای خودرگرسیون فضایی را به وجود می‌آورد که الگوی رگرسیون فضایی در اجزاء اخلال نامیده می‌شود و با فرض $W_1 = 0$ در الگوی کلی (۴) به‌دست می‌آید. الگوی یاد شده به صورت زیر نشان داده می‌شود (LeSage, 1999):

$$Y = \beta X + U \qquad U = \lambda W_2 U + \varepsilon \qquad \varepsilon \approx N(0, \sigma^2 In) \qquad (۷)$$

که در آن W_2 ماتریس وزن‌های فضایی و λ ضریب همبستگی خطاهای فضایی است. بقیه متغیرها، تعاریف قبلی خود را دارند. اما اینکه کدام الگو مناسب‌تر است، موضوعی است که می‌بایست در عمل و با انجام آزمون‌هایی مشابه با رگرسیون‌های معمولی تعیین گردد. در ادبیات اقتصادسنجی فضایی چندین آزمون آماری برای آزمون وجود همبستگی فضایی در اجزاء اخلال وجود دارد که مهم‌ترین آنها آماره I موران، آزمون نسبت درست‌نمایی و آزمون ضریب لاگرانژ هستند.

نوع دیگری از الگوهای خودرگرسیون فضایی تحت عنوان الگوی خودرگرسیون دوربین فضایی وجود دارد که مرتبط با الگوهای فضایی فوق بوده و در آن وقفه فضایی متغیرهای توضیحی نیز مانند وقفه فضایی متغیر وابسته به الگو اضافه می‌گردد. الگوی نامبرده به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (LeSage, 1999):

$$Y = \rho W_1 Y + \beta_1 X + \beta_2 W_1 X + \varepsilon \qquad \varepsilon \approx N(0, \sigma^2 In) \qquad (۸)$$

که در آن β_2 ضریب همبستگی فضایی بین متغیرهای توضیحی را اندازه‌گیری می‌نماید و بقیه متغیرها تعاریف قبلی خود را دارند. درواقع در این الگو فرض می‌شود که متغیرهای توضیحی نیز دارای ساختار فضایی هستند و مقدار آنها بین مناطق مختلف می‌تواند به یکدیگر همبسته باشد.

الگوهای خودرگرسیون فضایی با داده‌های پانل

فراهم نمودن امکان آزمون فرضیه‌های رفتاری پیچیده‌تر، کاهش همخطی بین متغیرها و افزایش درجه آزادی و درنتیجه افزایش کارایی برآورد ازجمله مزایای استفاده از داده‌های پانل (تابلویی) به‌جای داده‌های مقطعی است که همانند الگوهای رگرسیون معمولی، این بحث در مورد الگوهای خودرگرسیون فضایی نیز صادق است. دو اثر در الگوهای خودرگرسیون پانل فضایی قابل بررسی است که کاربرد آنها را جذاب می‌نماید. این اثرات شامل اثرات معین فضایی و اثرات متقابل فضایی می‌باشند (Elhorst, 2003; Elhorst, 2010).

تعریف ماتریس همسایگی فضایی

برای تدوین الگوهای خودرگرسیون فضایی اولین قدم ایجاد ماتریس همسایگی یا ماتریس وزن‌های فضایی است. برای

Encyclopedia of Economics
enceco.ihcs.ac.ir

ایجاد ماتریس وزن‌های فضـــایی روش‌های مختلفی در ادبیات اقتصادسنجی فضایی مطرح شده است که مهم‌ترین آنها تعریف ماتریس وزن‌های فضایی براساس مجاورت و تعریف ماتریس به‌عنوان تابعی از فاصـــله اســـت (LeSage, 2004). در روش مجاورت براســـاس اینکه تعداد نمونه‌ها یا مناطق مورد بررســـی کم یا زیاد باشـــد دو حالت برای تعریف ماتریس همســـایگی فضـایی مطرح می‌شـود که شـامل موارد زیر اسـت: الف) برای زمانی‌که تعداد نمونه‌ها (مکان‌ها) کم است، همسایگی براساس تعاریف مختلف مجاورت مانند مجاورت «خطی»، مجاورت «رخ مانند»، مجاورت «فیل مانند» و مجاورت «ملکه مانند» که براســـاس حرکت مهره‌های شـــطرنج نامگذاری شـــده‌اند، ایجاد می‌شـــود (LeSage, 1999). ب) برای زمانی‌که تعداد نمونه‌ها (مکان‌ها) زیاد اســـت، جهت تعیین نزدیک‌ترین مشـــاهدات و شـــکل‌دهی ماتریس همســـایگی، اســـتفاده از روش مثلث‌بندی دلانی برای تعریف مجاورت توصـیه شـده اسـت (LeSage, 2004). برای برآورد الگوهای خودرگر سیونی فضایی از روش حداکثر درســـت‌نمایی (ML) اســـتفاده می‌شـــود چرا که کاربرد روش حداقل مربعات معمولی (OLS) در برازش این الگوها منجر به برآوردهای کارا نمی‌شود (LeSage, 1999).

کتاب‌شناسی

Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers.

Elhorst, J. P. (2003). Specification and Estimation of Spatial Panel Data Models. *International Regional Science Review, 26*(3), 244 – 268. https://doi.org/10.1177/0160017603253791

Elhorst, J. P. (2010). Spatial Panel Data Models. In M. Fischer and A. Getis (Eds.), *Handbook of Applied Spatial Analysis* (pp. 377-407). Springer.

LeSage, J. P. (1999). *Spatial Econometrics*. The Web Book of Regional Science.

LeSage, J. P. (2004). *Maximum Likelihood Estimation of Spatial Regression Models*. https://www.researchgate.net/ publication/229020633

مرتضی تهامی‌پور زرندی

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی

Encyclopedia of Economics

enceco.ihcs.ac.ir