A Review of Energy Demand Models

Nasser Khiabani[1] | naser.khiabani@atu.ac.ir
Solaleh Tavassoli[2] | s_tavassoli@atu.ac.ir

Abstract Energy demand modeling, from estimation and methodology points of view, is one of the main challenging issues among energy experts. This study attempts to identify the gaps and differences in energy demand modeling literature. More specifically the study concentrates on the properties of two approaches: "single equation" and "demand system" that commonly used in this area. Our review indicates that the single-equation approach, despite its simplicity in estimating parameters, suffers from severe problems, such as endogeneity and instability in parameters. However, the serious problem with this approach is that its specification has not been supported by rigorous microeconomic theory. On the other hand, the energy demand system model is explicitly derived from the microeconomic theory that makes it possible to derive own- and cross-price elasticities of energy fuels and to consider interfuel substitution. However, the severe problem of this approach is that the demand elasticity estimates are more sensitive to selecting functional specifications. We investigate and compare the properties of the two common functional forms in energy demand system namely, translog and linear logit model. Our review indicate that the linear logit model, under theoretical regularity conditions, can provide more convenient estimates of demand elasticities compared to translog functional form.

Keywords: Demand Elasticity, Interfuel Substitution, Translog Functional Forms, Linear Logit Model, Dynamic Models.

JEL Classification: D2, C2, C5.

1. Associate Professor, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University. Tehran, Iran, (Corresponding Author).
2. Ph.D. Student of Economics, Allameh Tabataba'i University. Tehran, Iran.

The Journal of PLANNING & BUDGETING | Indexed In ISC | ISSN: 2251-9092 | Vol. 25 | No. 3 | Autumn 2020 | PP 65-94

مروری بر مدلسازی تقاضای انرژی

ناصر خیابانی | naser.khiabani@atu.ac.ir
دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی.

سلاله توسلی | s_tavassoli@atu.ac.ir
دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی.

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ | پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳

چکیده: انتخاب مدل مناسب به منظور برآورد کشش تقاضای حامل‌های انرژی یکی از چالش‌های اساسی پیش‌روی پژوهشگران این حوزه است. در این راستا، پژوهش حاضر به بررسی کاربرد دو رویکرد متداول «تک‌معادله‌ای» و «سیستمی» در مدلسازی تقاضای انرژی می‌پردازد. رویکردهای تک‌معادله‌ای با وجود سادگی در برآورد پارامترها، با مشکلاتی نظیر درون‌زایی و بی‌ثباتی در پارامترها مواجه هستند. علاوه بر این، رویکرد اشاره‌شده از پشتوانهٔ نظری قدرتمندی برخوردار نبوده و به همین دلیل، تفسیر دقیق اقتصادی کشش‌های خودی و متقاطع با ضعف جدی مواجه شده است. در مقابل، ساختار معادلات تقاضا در رویکرد سیستمی بر پایه مبانی اقتصاد خرد بوده و همین امر موجب شده است که کشش‌های خودی و متقاطع به‌سهولت از این مدل‌ها استخراج شود و تعاملات بین حامل‌های انرژی نیز لحاظ گردد. ولی ضعف این رویکرد وابستگی بیش از حد آن به انواع فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر است، به‌طوری که انتخاب فرم تبعی می‌تواند تاثیر بسیار مهمی در برآوردهای کشش‌های تقاضای انرژی داشته باشد. در این پژوهش، با بررسی و تحلیل مزایا و کاستی‌های دو رویکرد اشاره‌شده، خواص و ویژگی‌های دو فرم تبعی متداول در مدلسازی سیستمی تقاضای انرژی، به‌طور مشخص فرم تبعی ترانسلوگ و لاجیت خطی مورد مقایسه و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج تحلیلی ما نشان می‌دهد که احتمال به‌دست آوردن تخمین‌های موافق با محدودیت‌های نظریه تقاضا در مدل لاجیت خطی بیشتر از فرم تبعی ترانسلوگ است.

کلیدواژه‌ها: کشش تقاضا، جانشینی بین حامل‌ها، ترانسلوگ، لاجیت خطی، مدلسازی پویا

طبقه‌بندی JEL: C5 ,C2 ,D2.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | سال بیست و پنجم | شماره ۳ | پاییز ۱۳۹۹ | ص ص ۹۴-۶۵ | نمایه در ISC

مقدمه

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های اقتصاددانان در حوزه انرژی، داشتن اطلاعات دقیق و جامع از رفتار تقاضا در بخش‌های مختلف اقتصادی و برآورد کشش‌های قیمتی تقاضا و همچنین کشش قیمت‌های متقاطع حامل‌های انرژی با یکدیگر است، و دانستن این اطلاعات امری ضروری برای سیاستگذاری به‌شمار می‌آید. به دیگر سخن، یکی از مسائل مهم در تحلیل تقاضای حامل‌های انرژی، برآورد میزان حساسیت مصرف یک حامل به اجرای سیاست‌های قیمتی، و همچنین شناسایی ارتباط جانشینی یا مکملی بین حامل‌های مختلف است. در همین راستا، به دنبال بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰، پژوهش‌های مربوط به تقاضای انرژی به‌طور گسترده در ادبیات اقتصادی مورد توجه قرار گرفته و این امر به نوبه خود به پیشرفت روش‌شناسی در مدلسازی تقاضای انرژی و معرفی تکنیک‌های اقتصادسنجی برای برآورد این مدل‌ها منجر شده است (Altinay & Yalta, 2016).

در پی پیشرفت مدلسازی تقاضای انرژی، مدل‌های گوناگونی توسط پژوهشگران مختلف برای تحلیل تقاضای انرژی بکار گرفته شد. ولی پرسش کلیدی که همواره در ادبیات انرژی مورد توجه است، انتخاب مدل مناسب برای برآورد کشش تقاضای حامل‌های انرژی است. با وجود رویکردهای متعددی که در این رابطه وجود دارد، دو رویکرد به‌طور فراوان در این رابطه مورد استفاده قرار گرفته است. مدلسازی با رویکرد تک‌معادله‌ای که به‌اصطلاح «تک‌معادله تقاضای واقعی[1]» نامیده می‌شود (Hall, 1986)، و با وجود سادگی در برآورد پارامترها، از مبانی نظری قدرتمندی برخوردار نیست، و مدلسازی سیستمی که تعامل‌های بین حامل‌های انرژی را مد نظر قرار می‌دهد و به‌شدت به انواع فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر وابسته است. این پژوهش درصدد کنکاشی قابل‌ملاحظه درباره این دو رویکرد متداول است و با بررسی پژوهش‌های مختلفی که در این زمینه وجود دارد، به بحث درباره مزایا و کاستی‌های آن‌ها می‌پردازد. در واقع، هدف از انجام این کار آشنایی پژوهشگران با نقاط ضعف و قوت روش‌های مدلسازی تقاضای انرژی است و این پژوهش می‌کوشد راهنمای جامعی برای انجام پژوهش‌های آتی در زمینه مدلسازی تقاضای تک‌معادله‌ای و به‌ویژه رویکرد سیستمی باشد.

ساختار پژوهش این‌گونه سازمان می‌یابد که تمرکز بر مدل‌های اقتصادسنجی است و در بخش نخست با بررسی ادبیات مدلسازی تقاضای انرژی ـ مدلسازی سیستمی و تک‌معادله‌ای ـ به مقایسه آن‌ها پرداخته می‌شود. بخش دوم، به واکاوی دقیق مدل لاجیت خطی در چارچوب رویکرد سیستمی می‌پردازد و مزایای

1. Single Equation Real Demand (SERD)

آن نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌گردد. در بخش سوم، اهمیت مدلسازی پویای سیستم تقاضا و مزایای مدل لاجیت خطی پویا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان نیز نتیجه‌گیری از مقایسه مدل‌ها ارائه می‌گردد.

مدلسازی تقاضای انرژی

در پی بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰، توجه گسترده به پژوهش‌های مربوط به تقاضای انرژی در ادبیات اقتصادی موجب پیشرفت روش‌شناسی در مدلسازی تقاضای انرژی و معرفی تکنیک‌های اقتصادسنجی برای برآورد این مدل‌ها شد. برنت و وود[1] (۱۹۷۵)، اظهار می‌کنند که تقاضای بنگاه برای انرژی از تقاضا برای تولید بنگاه مشتق می‌شود و تقاضای انرژی یک تقاضای مشتق‌شده است. از آن‌جایی که بنگاه تمایل به انتخاب آن دسته از نهاده‌هایی دارد که هزینه کل را با توجه به سطح مشخصی از تولید به کمینه می‌رساند، تقاضای مشتق‌شده نهاده‌ها به سطح تولید و امکان جانشینی آن‌ها با توجه به فناوری تولید و قیمت‌های نسبی بستگی دارد. این موضوع‌ها در بسیاری از پژوهش‌های تقاضای انرژی توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. در روش‌شناسی مدل‌های تقاضای انرژی نیاز به حل یک پرسش کلیدی است، بدین صورت که باید چه گروهی از مدل‌ها برای استخراج کشش‌های تقاضا با توجه به اهداف پژوهش‌ها انتخاب شوند. در پاسخ به این پرسش، دو رویکرد برای مدلسازی تقاضای انرژی در ادبیات مطرح است. گروه اول شامل مدل معادلات تقاضای همزمان یا سیستمی است که به‌شدت به انواع فرم‌های تبعیِ انعطاف‌پذیر، به‌ویژه ترانسلوگ[2]، وابسته است و از آن‌ها به عنوان مدل «سهم‌های مخارج»[3] نام برده می‌شود. گروه دوم، رویکرد تک‌معادله‌ای است که به‌اصطلاح تک‌معادله تقاضای واقعی نامیده می‌شود (Hall, 1986). شایان اشاره است که پژوهش‌های بسیاری در ادبیات از هر دو رویکرد مدلسازی تقاضای انرژی یعنی رویکرد تک‌معادله‌ای (Altinay & Yalta, 2016; Dagher, 2012; Liddle & Huntington ,2020)، و رویکرد سیستمی (Ma & Stern, 2016; He & Lin, 2019; Liu *et al*. 2018; Bölük & Koç, 2010) استفاده می‌کنند، ولی هر یک از این روش‌ها با کاستی‌ها و مزایایی مواجه‌اند. در ادامه، به معرفی برخی از ویژگی‌ها که امکان مقایسه این دو رویکرد را فراهم می‌کنند پرداخته می‌شود، و مزایا و کاستی‌های دو رویکرد نیز مقایسه می‌شوند.

1. Berndt & Wood
2. Translog
3. Expenditure Shares (ES)

❖ انواع تصریح تابع تقاضا: تصریح تقریبی مبتنی بر پایه نظری اندک در مقابل تصریح با کمک مباحث پایه‌ای اقتصاد خرد؛

❖ در نظرگرفتن تاثیر همزمان قیمت و مصرف تمامی حامل‌ها بر یکدیگر؛

❖ لحاظ قیود نظری مانند قید برابر واحد بودن مجموع سهم‌های مخارج حامل‌ها؛

❖ مشکل درون‌زایی[1] در توابع تقاضا؛ و

❖ محاسبه انواع کشش‌های جانشینی.

روش‌های تک‌معادله‌ای تقاضا به‌نسبت تقریبی[2] است و پیندیک[3] (۱۹۷۹ ب)، اشاره می‌کند که به‌طور معمول از این مدل‌ها در پژوهش‌های جانشینی بین حامل‌ها یا در پژوهش‌هایی که مدلسازی نظری یک حامل ممکن است پیچیده و دشوار باشد، استفاده می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد برای مواردی که به بررسی ویژگی‌های رفتار غیرقیمتی مصرف یک حامل خاص می‌پردازند، این مدل‌ها از مزیت برخوردارند. البته کاستی‌های چنین مدل‌های تقریبی ناشی از آن است که آن‌ها از فرم‌های تبعی مقید، بدون پایه نظری یا با پایه نظری اندک استفاده می‌کنند و با کاستی‌هایی ازجمله نادیده گرفتن تاثیر نسبی قیمت تمامی حامل‌ها به‌طور مجزا و لحاظ نکردن قیود نظری مانند قید برابر واحد بودن مجموع سهم‌های مخارج حامل‌ها مواجه هستند (Hall, 1986). در مقابل، در رویکرد سیستمی ساختار معادلات تقاضا بر اساس مبانی اقتصاد خرد استخراج می‌گردد، از این‌رو به‌سهولت می‌توان ارتباط جانشینی و مکملی را بین یک حامل انرژی با سایر حامل‌ها استخراج نمود. باید توجه داشت که در مدل‌های تک‌معادله‌ای تنها با وارد کردن قیمت سایر حامل‌ها نمی‌توان تاثیر نسبی مصرف تمامی حامل‌ها را بر مصرف حامل مورد نظر دنبال کرد و همین نکته می‌تواند به خطا در ارزیابی جانشینی بین حامل‌ها منجر گردد. شاید در مورد تقاضای عواملی مثل آب که جانشینی برای آن نمی‌توان در نظر گرفت، این رویکرد مدلسازی تا حدودی می‌تواند صحیح باشد، اما در مورد حامل‌های انرژی توجیه این نوع مدلسازی دشوار است.

داگر[4] (۲۰۱۲)، به نبود توافق در مورد عوامل تعیین‌کننده تقاضای حامل‌های انرژی در چارچوب مدل‌های

---

۱. برآورد توابع تقاضا همواره به دلیل امکان تعیین شدن قیمت و مقدار به‌طور مشترک در معرض چالش درون‌زایی است. هنگام مواجه شدن با چنین مشکلی برآوردگرهای OLS تورش‌دار و ناسازگار خواهند بود و کشش‌های برآوردی از این مدل‌ها دیگر دارای اعتبار نخواهند بود. پس پژوهشگران از تکنیک‌های تخمین دیگری مانند روش متغیرهای ابزاری (IV) استفاده می‌کنند تا به تخمین‌زن‌هایی با ویژگی سازگاری دست یابند (Burke & Yang, 2016).

2. Ad Hoc
3. Pindyck
4. Dagher

تک‌معادله‌ای اشاره می‌کند و بیان می‌کند که متغیرهایی ازجمله قیمت، قیمت حامل‌های مرتبط، درآمد، جمعیت، اثرهای فصلی، و تغییرهای فناوری به‌طور متداول در این مدل‌ها وارد می‌شوند. در زمره روش‌های تک‌معادله‌ای، گروهی از پژوهش‌ها هستند که کشش تقاضای کوتاه‌مدت و بلندمدت را از راه مدل تصحیح خطا[1] و تجزیه‌وتحلیل هم‌انباشتگی[2] بررسی می‌کنند. در این پژوهش‌ها به صورت تقریبی، تابع تقاضای نهاده انرژی به‌طور معمول تابعی از قیمت نهاده، قیمت نهاده‌های جانشین مربوطه، عوامل آب و هوایی، و سطح توسعه اقتصادی یا سطح درآمد در نظر گرفته می‌شود. یکی از ویژگی‌های مشترک این پژوهش‌ها متفاوت بودن نتایج برآوردها از پژوهشی به پژوهش دیگر به دلیل ورود متغیرهای مختلف در تصریح تقریبی تابع است.

اختلاف در کشش‌های تخمینی می‌تواند در پژوهش‌هایی مانند مادلنر و همکاران[3] (۲۰۱۱)، آشه و همکاران[4] (۲۰۰۸)، اِرداگدو[5] (۲۰۱۰)، ودود و همکاران[6] (۲۰۱۱)، و برنشتاین و مادلنر[7] (۲۰۱۱) مشاهده شود. جالب است که اختلاف بین برآوردهای کشش‌ها آن‌قدر زیاد است که حتی می‌توانند علایم متضادی نیز داشته باشند. مادلنر (۱۹۹۶)، اظهار می‌کند که نتایج می‌توانند بسته به وضعیت اقتصادی که نمونه از آن گرفته شده یا به دلیل احتمال پاسخ‌های نامتقارن به تغییرهای قیمت و درآمد متفاوت باشد. در این راستا برخی پژوهش‌ها ازجمله گریفن و شولمن[8] (۲۰۰۵)، دارگای و گیتلی[9] (۲۰۱۰)، پولمیس[10] (۲۰۱۲)، و قاسان و بنرجی[11] (۲۰۱۴)، با استفاده از مدل‌های مختلف به اندازه‌گیری این رفتارهای نامتقارن پرداخته و با اتخاذ روشی به پارامترها اجازه داده‌اند تا در طول دوره نمونه متفاوت باشند. کرایمو و برینلاند[12] (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های مختلف تاثیر متغیر درآمد و قیمت را به‌ترتیب غیرخطی و خطی ولی غیرثابت می‌یابند. انگلیسای ـ لاتز[13] (۲۰۱۱)، با استفاده از فیلتر کالمن[14] نشان می‌دهند که کشش قیمتی با گذشت زمان نوسان می‌کند. از سوی دیگر بورک و یانگ (۲۰۱۶)، اشاره

1. Error Correction Model
2. Cointegration Analysis
3. Madlener *et al.*
4. Asche *et al.*
5. Erdogdu
6. Wadud *et al*.
7. Bernstein & Madlener
8. Griffin & Schulman
9. Dargay & Gately
10. Polemis
11. Ghassan & Banerjee
12. Karimu & Brännlund
13. Inglesi-Lotz
14. Kalman Filter

می‌کنند که تخمین توابع تقاضا می‌تواند با مشکل درون‌زایی مواجه باشد، بدین معنا که قیمت و مقدار می‌توانند توامان تعیین شوند، بنابراین در یک چارچوب تک‌معادله‌ای هیچ اطمینانی وجود ندارد که تخمین‌های سازگاری از این مدل‌ها حاصل شود. هانتینگتون[1] (۲۰۰۷)، به برآورد تقاضای گاز طبیعی با استفاده از رویکرد تک‌معادله‌ای می‌پردازد و اشاره می‌کند که تقاضای گاز به عنوان یکی از منابع انرژی در یک سیستم معادلات مطرح می‌شود و رویکرد معادلات تقاضای همزمان یا سیستمی می‌تواند برای استخراج کشش‌های جانشینی میان حامل‌ها دارای مزایا و کاستی‌هایی باشد. در حقیقت، تخمین در یک چارچوب سیستمی اجازه می‌دهد که انواع کشش‌های جانشینی ازجمله کشش جانشینی آلن ـ اوزاوا[2] و موریشیما[3] محاسبه گردد که در چارچوب تک‌معادله‌ای تقاضا این امکان فراهم نیست. لحاظ تاثیرپذیری تقاضای گاز از سایر حامل‌های انرژی ازجمله مزایای رویکرد سیستمی به‌شمار می‌آید. اما در این رویکرد اغلب فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر به عنوان تقریبی از تصریح تقاضای واقعی استفاده می‌شوند که این تقریب‌ها غالباً موجب برآورد کشش‌های بسیار بزرگ و ناپایدار[4] می‌شوند.[5]

نیاز به اشاره است که با توجه به مزایای مدل‌های سیستمی در لحاظ تاثیر نسبی قیمت و مصرف تمامی حامل‌ها بر حامل مورد بررسی و محاسبه انواع کشش‌های جانشینی، ضروری است که روش‌های تخمین این مدل‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرند. مطالعه ادبیات مورد نظر نشان می‌دهد که مدل‌های «سهم‌های مخارج» نیز دارای انواع مختلفی هستند و بر اساس نوع تخمین به دو گروه مدل‌های دومرحله‌ای[6] یا تک‌مرحله‌ای طبقه‌بندی می‌شوند. در مدل‌های تک‌مرحله‌ای، معادلات سهم یک حامل[7] یا عامل تولید[8] منفرد برآورد و کشش‌های خودقیمتی و متقابل[9] محاسبه می‌شوند. این نسخه از مدل تک‌مرحله‌ای، هنگامی که برای

1. Huntington
2. Allen-Uzawa
3. Morishima
4. Not Too Stable

۵. پایداری یکی از ویژگی‌های برآوردگرها در اقتصادسنجی است. توان پایداری (Stability Exponent) یک برآوردگر به صورت میزان تاثیرگذاری هر مشاهده در نمونه بر مقدار تحقق‌یافتهٔ برآوردگر تعریف می‌شود. بالا بودن پایداری یک برآوردگر اغلب ضامن استواری نتایج (Robustness) هم در برابر خطای تصریح و هم مشاهده‌هایی با تغییرهای بسیار است. در برخی موارد، تاثیر یک مشاهده بر واریانس محاسبه‌شده برآوردگری با پایداری کم، جعلی، و گمراه‌کننده است (Andrews, 1986).

6. Nested or Two Stages
7. Fuel
8. Factor
9. Own- or Cross-Price Elasticities

حامل‌های انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌طور معمول یک «زیرمدل انرژی»[1] یا یک مدل «جانشینی بین حامل‌ها»[2] نامیده می‌شود. در مدل‌های دومرحله‌ای، مراحل مدلسازی و تخمین شامل دو بخش است. در گام اول، یک شاخص قیمت انرژی تجمیع‌شده به کمک معادلات سهم حامل‌های انرژی محاسبه می‌شود و در گام دوم، با کمک معادلات سهم عوامل ـ کشش‌های جانشینی بین عاملی متناظر ـ برآورد می‌گردد. بنابراین، بسته به هدف مطالعه دو نوع کشش کلی[3] و جزئی[4] می‌توانند به کمک مدل‌های سهم مخارج محاسبه گردند. با کمک مدل‌های دومرحله‌ای، کشش‌های کل تخمین زده می‌شوند و با کمک مدل تک‌مرحله‌ای، کشش‌های جزئی محاسبه می‌شوند.

به منظور محاسبه کشش‌های کل، در پژوهش‌های اولیه فاس[5] (۱۹۷۷)، و پیندیک (۱۹۷۹الف) یک روش تخمین دومرحله‌ای پیشنهاد می‌شود که با مفهوم بهینه‌یابی تولیدکنندگانی سازگار است که در گام نخست حامل‌های مناسب را برای به کمینه رساندن هزینه‌های انرژی انتخاب می‌کنند، و سپس به تعیین سطح بهینه نهاده‌های سرمایه، کار، و انرژی که هزینه کل را به کمینه می‌رسانند، می‌پردازند. بدین ترتیب، در این رویکرد اثر بازخوردی جانشینی بین عوامل و حامل‌ها در نظرگرفته می‌شود. این رویکرد با استفاده از روش تخمین متغیر ابزاری قابل‌پیاده‌سازی است. یعنی قیمت انرژی تخمین‌زده‌شده در مدل جانشینی بین حامل‌ها، به عنوان متغیر ابزاری برای قیمت انرژی کل در مدل جانشینی بین عوامل استفاده می‌شود. برآوردهای حاصل از این روش دومرحله‌ای، برآوردهای سازگاری از کشش‌های کل را به همراه دارد. این روش در پژوهش‌های پیندیک (۱۹۷۹الف)، سرلتیس و همکاران[6] (۲۰۱۰)، وانگ و لین[7] (۲۰۱۷)، ما و استرن (۲۰۱۶)، و همچنین در بردازی و همکاران[8] (۲۰۱۵)، و رنچلر و کورنیو[9] (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌ها در سطح بنگاه بکار گرفته شده، و با استفاده از پارامترهای تخمینی به استنباط آماری درباره تقاضا برای نهاده‌ها و محاسبه کشش‌های خودقیمتی، متقابل، و جانشینی پرداخته شده است.

پیندیک (۱۹۷۹الف)، اشاره می‌کند روش تخمین دومرحله‌ای این امکان را می‌دهد که درجه آزادی

1. Energy Submodel
2. Interfuel Substitution
3. Total Elasticities
4. Partial Elasticities
5. Fuss
6. Serletis *et al*.
7. Wang & Lin
8. Bardazzi *et al*.
9. Rentschle & Kornejew

افزایش یابد، زیرا در مرحله اول، یک تابع هزینه هموتتیک[1] تخمین زده می‌شود[2] که قیمت حامل‌ها را تجمیع می‌کند و یک شاخص قیمت انرژی و یک تابع هزینه غیرهموتتیکی برای سرمایه، نیروی کار، و انرژی تولید می‌کند. از سوی دیگر، این روش محدودیت‌هایی[3] را بر ساختار تولید اعمال می‌کند، یعنی فرض می‌کند که سهم‌های مخارج مربوط به حامل‌ها مستقل از سهم‌های مخارج برای سرمایه و نیروی کار، و سهم‌های مخارج برای حامل‌ها مستقل از کل مخارج انرژی است. در حقیقت، فرض می‌کند که تابع تولید در نهاده‌های سرمایه، نیروی کار، و انرژی جدایی‌پذیر ضعیف[4] است.[5] این بدان معناست که نرخ نهایی جانشینی بین هر یک از حامل‌ها، مستقل از مقادیر سرمایه و نیروی کار است. این فرض به ما این امکان را می‌دهد که از شاخص‌های قیمت کل برای نهاده‌های سرمایه، نیروی کار، و انرژی استفاده کنیم. فرض دیگر این است که سرمایه، نیروی کار، و کل انرژی در اجزای خود هموتتیک هستند. دنی و فاس[6] (۱۹۷۷)، نشان می‌دهند که این فرض شرط لازم و کافی را برای یک فرایند بهینه‌یابی دومرحله‌ای فراهم می‌کند. یعنی ترکیب حامل‌هایی که نهاده انرژی را تشکیل می‌دهند، بهینه‌یابی می‌شود و سپس به‌طور بهینه مقادیر سرمایه، نیروی کار، و انرژی تعیین می‌شوند. شایان اشاره است که در «زیرمدل» کشش‌هایی که بین حامل‌ها محاسبه می‌شوند، کشش‌های قیمتی جزئی هستند و در حقیقت آن‌ها فقط جانشینی بین حامل‌ها را تحت این قید که مقدار کل انرژی مصرفی ثابت باقی مانده است، نشان می‌دهند. همچنین باید اشاره شود که در پژوهش‌هایی که با رویکرد تک‌مرحله‌ای به بررسی «جانشینی بین حامل‌ها» یا «جانشینی بین عوامل»[7] با استفاده از مدل‌های «سهم‌های مخارج» تک‌مرحله‌ای می‌پردازند، به‌طور معمول هیچ‌گونه همبستگی بین اثرهای جانشینی بین حامل‌ها و عوامل در نظرگرفته نمی‌شود. در این پژوهش‌ها، اثرهای جانشینی بین عوامل با فرض یک سطح مشخص از تولید کل و اثرهای

1. Homothetic

۲. در نظریه اقتصاد خرد، هر تبدیل فزاینده‌ای از تابع همگن خطی یک تابع هموتتیک فزاینده است. در هر تابع هموتتیک، مکان هندسی نقاط تماس منحنی‌های بی‌تفاوتی در نظریه رفتار مصرف‌کننده با خط بودجه‌های دارای شیب یکسان روی شعاعی که از مبدا مختصات می‌گذرد، قرار می‌گیرد (Layard & Walters, 1978).

3. Restrictions

4. Weakly Separable

۵. جدایی‌پذیری ضعیف در توابع مطلوبیت/ تولید به این معناست که انتخاب‌های مربوط به چگونگی تقسیم مخارج/ هزینه بر کالاها/ نهاده‌هایی که در گروه‌های مختلف از هم قرار می‌گیرند، می‌تواند مستقل از یکدیگر باشد. تابع هزینه بنگاه و تابع هزینه مصرف‌کننده از نظر شکل‌گیری یکسان هستند، جز این‌که در یک مورد محصول تولید و در دیگری مطلوبیت تولید می‌شود (Layard & Walters, 1978).

6. Denny & Fuss

7. Interfactor Substitution

جانشینی بین حامل‌ها برای یک سطح مشخص از مصرف انرژی برآورد می‌شوند. این دیدگاه در مورد جانشینی بین حامل‌ها یا عوامل محدودکننده است، زیرا تغییرهای قیمتی یک حامل نه‌تنها اثر جانشینی بر حامل‌های دیگر دارد، بلکه اثر جانشینی آن از طریق تغییر در مصرف انرژی کل بر عوامل تولید نیز منتقل می‌شود. از سوی دیگر، تاثیر جانشینی بین عوامل به دلیل تغییر در تقاضای انرژی کل به جانشینی بین حامل‌ها انتقال می‌یابد. بنابراین، نادیده گرفتن این اثر بازخوردی[1] سبب می‌شود که در این مدل‌ها، همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، تنها کشش‌های جزئی برآورد گردد (Cho *et al.*, 2004). اِرداگدو (۲۰۱۰)، به طبقه‌بندی دیگری از انواع مدلسازی در پژوهش‌های تقاضای انرژی شامل دو مدل «فرم حل‌شده»[2] و «فرم ساختاری»[3] اشاره می‌کند که در مدل اول تقاضای انرژی به عنوان تابعی مستقیم و خطی از قیمت انرژی و درآمد حقیقی در نظرگرفته شده، و به‌طور معمول به صورت یک الگوی خطی log-log بوده است. اما مدل «فرم ساختاری» که پیندیک (۱۹۷۹ ب) بحث مفصلی در مورد آن ارائه می‌دهد، یک مدل تقاضای تفکیک‌شده مبتنی بر این ایده است که تقاضای انرژی یک تقاضای مشتق‌شده است. این مدلسازی تقاضای انرژی را به چندین معادله تقاضا تقسیم می‌کند و آن را به عنوان تابعی غیرمستقیم از قیمت انرژی و درآمد حقیقی معرفی می‌کند. وی در ادامه اظهار می‌کند که اگرچه مدل فرم ساختاری از دیدگاه اقتصادی نسبت به مدل فرم حل‌شده دارای مزایای بسیاری است، اما کاربرد گسترده آن به دلیل نیاز به متغیرهای بیش‌تر در مقایسه با فرم حل‌شده محدود شده است.[4]

در مجموع، با توجه به مقایسه دو رویکرد متداول مدلسازی تقاضای انرژی و مرور مزایا و کاستی‌های آنها می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های «سهم‌های مخارج» با لحاظ اثرات بازخوردی جانشینی بین حامل‌ها و محاسبه انواع کشش‌های جانشینی مدل‌های مناسب‌تری هستند که در ادامه مطالعه حاضر به واکاوی بیشتر و کاربرد مدل«سهم‌های مخارج» تک مرحله‌ای شامل معادلات سهم حامل‌های مختلف انرژی یا «زیر ـ مدل انرژی» پرداخته می‌شود.

بسیاری از پژوهش‌ها مانند یوری[5] (۱۹۷۹)، کانسیداین و مونت[6] (۱۹۸۴)، کانسیداین (۱۹۸۹ب)،

1. Feedback Effect
2. Reduced Form Model
3. Structural Form Model

۴. شایان اشاره است که منظور از مدل فرم حل‌شده مدلی است که در آن ساختار اقتصاد در نظرگرفته نشده است. در حقیقت، یک الگوی فرم ساختاری به الگویی گفته می‌شود که محدودیت‌های اقتصادی ازجمله محدودیت‌های خرد در آن لحاظ می‌شود و همین محدودیت‌ها از کانال ایجاد همبستگی اجزای اخلال معادلات تقاضا موجب تخمین مدل به صورت سیستمی می‌گردد.

5. Uri
6. Considine & Mount

هال (۱۹۸۶)، جونز[1] (۱۹۹۵؛ ۱۹۹۶)، میلچکویک و همکاران[2] (۲۰۱۶)، و حسین و سرلتیس[3] (۲۰۱۷)، به منظور بررسی جانشینی بین حامل‌ها و سیستم تقاضای انرژی از مدل «سهم‌های مخارج» تک‌مرحله‌ای استفاده می‌کنند. در پژوهش‌ها، بین حامل‌ها به‌طور معمول فرض بر این است که هزینه بنگاه در انرژی و سایر نهاده‌ها ـ نیروی کار و سرمایه ـ جدایی‌پذیر ضعیف است و تابع هزینه، یک تابع پیوسته، غیرکاهنده، مقعر، و همگن خطی نسبت به قیمت‌های نهاده‌هاست. در حالی که این فروض محدودکننده هستند، ولی این امکان را فراهم می‌کنند که توابع تقاضای شرطی نهاده‌های انرژی، بدون در نظرگرفتن صریح سایر نهاده‌ها استخراج شوند (Steinbuks & Narayanan, 2015). هنگامی که توابع تقاضای انرژی به عنوان سیستم‌های هزینه مشخص می‌شوند، باید دو ویژگی اصلی سیستم‌های تقاضای سازگار را با بیشینه‌سازی رفاه مصرف‌کننده یا کمینه‌سازی هزینه تولیدکننده احراز کنند. نخستین ویژگی این است که قیمت‌های نسبی تا حدودی ترکیب حامل‌ها را تعیین می‌کنند. اهمیت تغییرهای قیمت نسبی ناشی از شرایط همگنی[4] معادلات تقاضا است؛ بدین معنی که اگر همه قیمت‌ها به‌طور متناسب به یک نسبت افزایش پیدا کنند، کل هزینه‌های انرژی نیز به همان میزان افزایش می‌یابد. ویژگی دیگر تقارن[5] است. این ویژگی اشاره به این موضوع دارد که اگر تقاضای یک حامل با افزایش نسبی قیمت حامل دیگری افزایش یابد، آن‌گاه این دو حامل جانشین یکدیگر هستند. در این حالت، تقاضا برای حامل دوم نیز باید با افزایش قیمت حامل اول افزایش یابد. در یک سیستم پیش‌بینی تقاضای انرژی باید این اثرهای قیمتی متقارن وجود داشته باشد (Considine & Manderson, 2015).

یکی از ویژگی‌های مطالعات اولیه، استفاده از «فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر»[6] برای تقریب سیستم‌های معادلات تقاضای مستخرج از توابع هزینه یا مخارج نئوکلاسیکی است. ویژگی انعطاف‌پذیری اجازه می‌دهد که الگوی جانشینی حامل‌ها به‌طور کامل توسط داده‌ها تعیین شود. پیشرفت‌های نظری در نظریه دوگانگی[7]، امکان استخراج آسان توابع تقاضای حامل‌ها را از تابع هزینه با تصریح پیچیده در این چارچوب فراهم می‌کند. اصل دوگانگی در نظریه تولید بیان می‌کند که با توجه به تابع تولید تحت برقراری شرایط منظم بودن[8]، می‌توان به‌طور یکتا کمینه‌سازی تابع هزینه کل تولیدکننده را به عنوان راه‌حل در نظر گرفت. به‌طور معکوس، با داشتن

1. Jones
2. Miljkovic *et al*.
3. Hossain & Serletis
4. Homogeneous
5. Symmetry
6. Flexible Functional Forms
7. Duality Theory
8. Regularity Conditions

تابع هزینه‌ای که شرایط منظم بودن را احراز می‌کند، می‌توان تابع تولید متناظر را به‌طور یکتا به عنوان راه‌حل مسئله بیشینه‌سازی در نظر گرفت. شرایط منظم بودن روی تابع هزینه شامل غیرنزولی بودن، همگنی از درجه یک، مقعر بودن، و پیوسته بودن نسبت به قیمت‌هاست (Morana, 2007). بارنت[1] (۲۰۰۲)، اظهار می‌کند که بدون احراز شرایط منظم بودن نظری، شرایط مرتبه دوم برای بهینه‌یابی و نظریه دوگانگی با شکست مواجه می‌شود، در نتیجه شرایط مرتبه اول، توابع تقاضا و توابع عرضه نیز نامعتبر می‌شوند. شایان اشاره است که نظریه اقتصادی هیچ فرم تبعی خاصی را پیشنهاد نمی‌کند، ولی تنها موردی که شرایط منظم بودن را برای همه داده‌ها احراز می‌کند، فرم تبعی با کشش جانشینی ثابت[2] (CES) است که کاربرد آن برای بیش از دو نهاده بسیار محدودکننده است و نیاز به کشش جانشینی جزئی یکسان برای همه جفت‌های نهاده‌ها دارد (Uzawa, 1962). در ادامه، دو فرم تبعی ترانسلوگ و لاجیت خطی که در بیش‌تر پژوهش‌های مدلسازی جانشینی بین حامل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌طور کامل با یکدیگر مقایسه و مزایا و کاستی‌های آن‌ها مرور می‌شوند.

تابع هزینه ترانسلوگ توسط کریستنسن و همکاران[3] (۱۹۷۳) ارائه می‌شود و در آن معادلات سهم هزینه با مشتق‌گیری از تابع هزینه و اعمال لم شپارد[4] به‌دست می‌آید و برآورد می‌گردد. شایان اشاره است که شرایط لازم برای مجموعه‌ای از معادلات تقاضای سازگار با رفتار کمینه‌سازی هزینه، تحمیل محدودیت‌های تقارن، جمع‌پذیری[5]، و همگنی نسبت به قیمت‌ها[6] روی پارامترهای معادلات سهم خطی است.[7] شرایط کافی یا تقعر تابع هزینه نیز مستلزم آن است که ماتریس مشتقات دوم جزئی هزینه نسبت به قیمت‌ها، نیمه معین منفی باشد (Considine, 1989b).

یکی از ویژگی‌های تابع ترانسلوگ تخمین آسان است، زیرا مدل ترانسلوگ یک مدل خطی است و می‌تواند به‌طور مستقیم با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی سنتی تخمین زده شود.

1. Barnett
2. Constant Elasticity of Substitution
3. Christensen *et al*.
4. Shephard›s Lemma
5. Adding-Up
6. Homogeneity in Prices

۷. اگر تابع هزینه ترانسلوگ $lnC = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i lnP_i + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} \beta_{ij} lnP_i lnP_j$ به این صورت تعریف شود، به‌طوری که C کل مخارج انرژی و P قیمت حامل‌ها باشد، پارامترهای تابع هزینه می‌توانند با برآورد معادلات سهم هزینه تعیین شوند. این معادلات سهم هزینه با مشتق‌گیری از تابع هزینه اشاره‌شده و بکارگیری لم شپارد به صورت رابطه $\frac{\partial lnC}{\partial lnP_i} = w_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_{ij} lnP_j$ حاصل می‌شوند، که در آن قید $\sum \alpha_i = \sum \beta_{ij} = \sum \beta_{ji} = 0$ جمع‌پذیری و همگنی نسبت به قیمت‌ها و قید $\beta_{ji} = \beta_{ij}$ تقارن را نشان می‌دهند.

تابع تولید ترانسلوگ را می‌توان تقریب مرتبه دوم تیلور از تابع واقعی دانست. بنابراین، ترانسلوگ می‌تواند تقریب مناسبی از یک شکل دلخواه تابع تولید باشد (Lin & Tian, 2017; Lin *et al*., 2017). تابع تولید ترانسلوگ هم به شکل خطی و هم به شکل درجه دوم برای بیش از دو عامل قابل‌استفاده است. استفاده از این فرم تبعی اجازه می‌دهد که از تحمیل فروضی مانند رقابت کامل یا جانشینی کامل در بین نهاده‌ها پرهیز شود. وجود جملات درجه دوم در این تابع امکان ایجاد روابط غیرخطی را بین نهاده‌ها و تولید فراهم می‌آورد (Xie *et al*., 2016). بلو و همکاران[1] (۲۰۱۸)، اشاره می‌کنند که تابع هزینه ترانسلوگ می‌تواند تجزیه‌وتحلیل منفردی در مورد اثرهای قیمت‌های خودی و نسبی برای تمامی حامل‌ها انجام دهد. با وجود این کِیوز و کریستنسن (۱۹۸۰)[2]، گیلکی و لاول[3] (۱۹۸۰)، بارنت و لی (۱۹۸۵)، و بارنت و همکاران (۱۹۸۵؛ ۱۹۸۷)، با انتقاد از تابع ترانسلوگ اظهار می‌کنند که این تابع شرایط منظم بودن نظریه خرد نئوکلاسیکی را در «مناطق بزرگ» احراز نمی‌کند، و به دلیل متغیر بودن کشش‌ها در مدل ترانسلوگ، شرایط مقعر بودن به‌طور معادل با سهم‌های هزینه‌ای یا قیمت‌های نسبی تغییر می‌کند، و اندازه منطقهٔ منظم بودن به میزان کشش جانشینی تخمین‌زده‌شده و سهم‌های هزینه وابسته است. گیلکی و همکاران (۱۹۸۳)، نشان می‌دهند زمانی که تابع ترانسلوگ به یک تابع کاب-داگلاس تبدیل می‌شود ـ با فرض کشش‌های جانشینی واحد ـ در همه نقاط شرایط منظم بودن را برآورده می‌کند، و در واقع منظم سراسری به‌شمار می‌آید.[4] هرچه کشش‌ها از مقدار واحد دورتر می‌شوند و هرچه سهم‌های هزینه‌ای به‌طور فزاینده‌ای نامتوازن می‌شوند، شرایط منظم بودن برای محدوده کوچک‌تری از قیمت‌های نسبی احراز می‌شود (Considine, 1989a). در واقع،

1. Bello *et al*.
2. Caves & Christensen
3. Guilkey & Lovell

۴. سایر فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر موضعی که دارای مناطق منظم بزرگ‌تر ـ اما نه سراسری ـ هستند نیز در ادبیات موضوع نظیر The Quadratic AIDS QUAIDS توسط بانکس و همکاران (۱۹۹۷)، و مدل Minflex Laurent توسط بارنت (۱۹۸۳) مطرح شده است. علاوه بر این دیورت و ولز (۱۹۸۸)، نیز دو فرم تبعی انعطاف‌پذیر موضعی، The Normalized Quadratic (NQ) Reciprocal Indirect Utility Function و The NQ Expenditure Function را ارائه می‌دهند که برای آن‌ها شرایط انحنای نظری در سطح سراسری تحمیل می‌شود (Hossain & Serletis, 2017). در انتقاد از این فرم‌های تبعی نیز برخی پژوهشگران ادعا می‌کنند که این مدل‌ها به پارامترهای بیش‌تری برای تخمین ـ حتی در برخی موارد بیش از دو برابر مدل‌های ترانسلوگ ـ نیاز دارند که همین موضوع سبب می‌شود درجه آزادی در پژوهش‌های سری زمانی به‌شدت کاهش یابد (Considine, 1989a).

ویژگی منظم بودن مدل ترانسلوگ، زمانی که جانشینی عوامل از یک فاصله می‌گیرد، به‌سرعت از بین می‌رود (Hossain & Serletis, 2017). ارنبرگ و بیورنر[1] (۲۰۰۷)، با اشاره به «خوش‌رفتار»[2] بودن مدل ترانسلوگ تنها برای طیف محدودی از قیمت‌های نسبی و سهم‌های هزینه عوامل، اظهار می‌کنند که این کاستی فرم ترانسلوگ در مورد داده‌های خرد جدی‌تر است، زیرا تفاوت‌های زیادی در سهم‌های هزینه بنگاه‌ها در مقایسه با سهم‌های هزینه تجمیع‌شده[3] در سطح کلان وجود دارد.

بنابراین از دیدگاه کلاسیک، «انتخاب یک فرم تبعی» همواره به عنوان یک انتخاب بین «منظم بودن» و «انعطاف‌پذیری» مورد توجه قرار گرفته است. مشخص است که دو مسیر ممکن برای طی کردن وجود دارد. نخستین مسیر تصریح یک تابع هزینه، اعمال لم شپارد، و برآورد توابع تقاضای به‌دست‌آمده به همراه تابع هزینه است. مسیر دوم، تصریح توابع تقاضایی است که پایه‌های نئوکلاسیکی را تحقق می‌بخشند یا دست‌کم ظرفیت تحقق بخشیدن به آن‌ها را دارند. برای مثال کانسیداین و مونت (۱۹۸۴)، جونز (۱۹۹۵؛ ۱۹۹۶)، و کانسیداین (۱۹۸۹ب؛ ۱۹۹۰)، با استفاده از مدل لاجیت خطی مسیر دوم را دنبال می‌کنند. کانسیداین (۱۹۸۹ب)، به بررسی دلایل احتمالی ایجاد نتایج برخلاف شهودی[4] که در بسیاری از پژوهش‌ها به‌دست آمده، می‌پردازد و دلایل مختلفی را در این باره مطرح می‌کند. وی اشاره می‌کند که ممکن است تولیدکنندگان هزینه‌های خود را کمینه نکرده باشند یا خطای تصریح در مدل وجود داشته باشد که می‌تواند ناشی از سه عامل انتخاب سطوح مختلف تجمیع برای حامل‌ها، انتخاب فرم تبعی، و لحاظ سیاست‌های مقرراتی باشد. کانسیداین (۱۹۸۹الف)، نشان می‌دهد که احراز شرایط منظم بودن سراسری در شرایطی که فرم تبعی ترانسلوگ در نظرگرفته شود، بسیار دشوار است. وی با اشاره به ویژگی‌های مهم نهاده‌های انرژی یعنی وجود سهم‌های هزینه‌ای کوچک، امکان جانشینی محدود، و نوسان‌های زیاد در قیمت‌های نسبی انرژی نشان می‌دهد که اگر این ویژگی‌ها در ارزیابی شرایط منظم بودن سراسری گنجانده شوند، اندازهٔ منطقه منظم به‌طور قابل‌توجهی کوچک می‌شود. در نتیجه، برخی از فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر ازجمله مدل ترانسلوگ با این منطقه «منظم محدودشده» می‌توانند به علامت‌های نادرست در کشش‌های خودقیمتی منجر شوند و در بحث‌های پیش‌بینی یا تحلیل سیاستی عملکرد ضعیفی داشته باشند.

در سوی دیگر کانسیداین و مونت (۱۹۸۴)، نشان می‌دهند که تابع لجستیک که به‌طور گسترده در اقتصادسنجی برای مدلسازی انتخاب گسسته[5] مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند برای مدلسازی سیستم

1. Arnberg & Bjørner
2. Well-Behaved
3. Aggregate
4. Counter-Intuitive
5. Discrete Choice

سهم‌های هزینه[1] استفاده شود[2]، زیرا سهم‌ها نیز مانند احتمالات باید غیرمنفی و در مجموع برابر واحد باشند.[3] بدین ترتیب، یک مدل دارای امساک با خصوصیات مطلوب سراسری، مدل لاجیت خطی سهم‌های مخارج است. البته این مدل نباید با مدل‌های لاجیت گسسته و مدل‌های لاجیت قبلی سهم‌های حجم انرژی اشتباه گرفته شود. هاسمن[4] (۱۹۷۵)، نشان می‌دهد که مدل‌های سهم مقداری انرژی، کشش‌های قیمتی غیرعادی دارند. مدل‌های لجستیک سهم‌های بازاری نیز مورد انتقاد اووم[5] (۱۹۷۹) قرار گرفته است. در واقع، این مدل‌های لاجیت، قیودی را که دلالت بر استقلال گزینه‌های نامرتبط[6] است، فرض می‌کنند که فرض مطلوبی برای بکارگیری در تصریح سیستم تقاضا نیست.[7] اما بر مدل لاجیت ارائه‌شده در پژوهش کانسیداین (۱۹۸۹ب) این انتقادات وارد نمی‌شود، زیرا این مدل بر اساس سهم‌های هزینه تصریح می‌شود، استقلال گزینه‌های نامرتبط را فرض نمی‌کند، و با رفتارهای کمینه‌سازی هزینه نیز سازگار است.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، نخستین نکته در مورد رویکرد لاجیت این است که نیازی به تصریح تابع هزینه ندارد، ولی این ویژگی رویکرد لاجیت را به یک رویکرد تقریبی تبدیل نمی‌کند. تحت شرایط بازدهی ثابت نسبت به مقیاس، هیچ دلیل نظری وجود ندارد که نیاز به فرمول‌بندی تابع هزینه داشته باشد، زیرا سهم‌های هزینه تمامی اطلاعات لازم را در مورد ساختار هزینه ارائه می‌دهند. علاوه بر این، مدل لاجیت تخمین ساختارهای هزینه غیرهموتتیک را نیز امکان‌پذیر می‌سازد. در مدل لاجیت خطی می‌توان یک فرم تبعی برای مشتقات جزئی وزنی تصریح کرد. در واقع، به‌جای یک فرمول خطی از یک فرم نمایی استفاده می‌شود. با گرفتن لگاریتم از تابع لجستیک، مدل لاجیت خطی سهم‌های هزینه به‌دست می‌آید.[8] توزیع لجستیک، تقریبی نزدیک به توزیع نرمال تجمعی دارد و محاسبات را

1. Cost Shares System

۲. منظور از سیستم سهم‌های هزینه، سیستمی است که در آن معادلات براساس سهم هزینه نهاده‌ها تصریح می‌شوند و سهم هزینه یک نهاده را در هزینه کل همه نهاده‌ها نشان می‌دهد.

۳. در مسئله انتخاب گسسته، از یک مدل لاجیت چندجمله‌ای برای نشان دادن احتمالات استفاده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که آن‌ها غیرمنفی هستند و مجموع آن‌ها یک است. این ویژگی‌ها باید برای سهم‌های هزینه نیز برقرار باشد. بنابراین، استفاده از فرم لاجیت برای نشان دادن هزینه یا سهم‌های مخارج یک امر طبیعی است (Considine, 1989a).

4. Hausman

5. Oum

6. Independence of Irrelevant Alternatives

۷. اصل موضوعه بیان می‌کند که انتخاب A بر B مستقل از بود یا نبود یک راه‌حل سوم غیرمنتخب است.

۸. عبارت «این یک متغیر وابسته لاجیت است» اولین بار توسط برکسِن (۱۹۴۴)، برای توصیف لگاریتم متغیری که مجموع آن واحد است، بکار رفته است.

بسیار ساده‌تر می‌سازد (Berkson, 1944). در نسخه کاربردی مدل لاجیت خطی «تقارن» تنها برای مجموعه‌ای از سهم‌های هزینه برقرار است. بنابراین، در این مدل‌ها «تقارن سراسری»[1] برای احراز «تقعر سراسری»[2] کنار گذاشته می‌شود. در پایان نیز شرایط لازم نظریه تقاضای نئوکلاسیکی ـ همگنی و تقارن ـ به صورت قیودی بر پارامترهای موجود تحمیل می‌گردند. بررسی کشش‌های جانشینی در مدل‌های لاجیت سهم‌های هزینه نشان می‌دهد که این مدل ارتباط معناداری با مدل CES دارد. برای مثال، یک مدل لاجیت سهم‌های هزینه برای فقط دو نهاده و یا در حالتی که کشش‌های جانشینی همه نهاده‌ها برابر باشند به یک مدل CES تبدیل می‌شود. ارتباط مدل لاجیت خطی با CES برای ویژگی‌های سراسری این مدل اهمیت بسیاری دارد. شایان اشاره است که در این مدل‌ها میانگین سهم‌های هزینه انتخاب می‌شود، زیرا استنباط آماری معتبر، در مدل‌هایی با کشش‌های متغیر، فقط بر اساس میانگین سهم‌های هزینه واقعی ممکن است. البته کشش‌های جانشینی برای سهم‌های هزینه در نقاطی غیر از میانگین را می‌توان به عنوان تابعی وزنی از سهم‌های این نقاط برآوردشده از کشش‌های جانشینی محاسبه کرد (Considine, 1989a; 1989b; 1990). در مجموع، ویژگی‌های مدل لاجیت خطی سهم‌های هزینه برای تحلیل تقاضای تجربی به‌طور کامل مطلوب است. نخست این‌که سهم‌ها همیشه مثبت است و در مواردی که برخی از سهم‌های هزینه‌ای بسیار کوچک هستند، این ویژگی بسیار ارزشمند است. دوم، این مدل حجم انعطاف‌پذیری قابل‌توجهی را برای کاربردهای تجربی ارائه می‌دهد. برای مثال، انواع متغیرهای توضیحی می‌توانند در مدل گنجانده شوند، بدون این‌که بر محدودیت‌های ناشی از نظریه اقتصادی تاثیری بگذارند. این حجم از انعطاف‌پذیری به دلیل وجود ویژگی جمع‌پذیری[3] ذاتی در تابع لاجستیک است (Considine, 1989b). در جدول (۱)، ویژگی‌های دو مدل پرکاربرد در ادبیات مدلسازی جانشینی بین حامل‌ها ـ ترانسلوگ و لاجیت خطی ـ به‌طور کوتاه گزارش می‌شود.

1. Global Symmetry
2. Global Concavity
3. Adding-Up

جدول ۱: مقایسه ویژگی‌های فرم تبعی ترانسلوگ و لاجیت خطی

	مزایا	کاستی‌ها
تابع هزینه ترانسلوگ	❖ کاربرد گسترده در پژوهش‌ها به دلیل دقت نظری بالا و انعطاف‌پذیری در کاربرد به دلایل زیر: ۱. پرهیز از تصریح یک تابع تولید خاص ۲. نبود نیاز به فرض کشش جانشینی برابر با واحد یا ثابت تبدیل به تابع کاب ـ داگلاس و دارای ویژگی منظم سراسری با فرض کشش‌های جانشینی واحد	❖ احراز نشدن شرایط منظم بودن نظریه خرد نئوکلاسیکی شامل «مثبت بودن»[1]، «یکنوایی»[2]، و «انحنا»[3] در «مناطق بزرگ»[4,5] ● شبه‌مقعر بودن[6] موجب کشش‌های خودقیمتی منفی می‌شود. ● غیرمنفی بودن[7] موجب سهم‌های هزینه مثبت می‌شود. ❖ «خوش‌رفتار» بودن تنها برای طیف محدودی از قیمت‌های نسبی است و خارج از این محدوده شرایط منظم بودن نظری احراز نمی‌گردد. ❖ وابسته بودن اندازه منطقهٔ منظم بودن به میزان کشش جانشینی تخمین‌زده‌شده و سهم‌های هزینه ❖ بیش‌تر بودن سهم تعداد علامت‌های نادرست کشش‌های خودقیمتی در مقایسه با مدل لاجیت خطی در شرایط: ❖ جانشینی اندک میان عوامل ❖ کوچک و ناهمگن بودن سهم‌های عوامل

1. Positivity
2. Monotonicity
3. Curvature
4. Large Regions

۵. مثبت بودن به این موضوع اشاره دارد که تابع هزینه برای همه مشاهده‌ها مثبت باشد. یکنوایی مستلزم آن است که مشتقات مرتبه اول تابع هزینه، که متناظر با تقاضای نهاده است، غیرمنفی باشند. در نهایت ویژگی انحنا بیان می‌کند که تابع هزینه تابعی مقعر از قیمت‌ها باشد که معادل با این است که ماتریس هشین تابع هزینه، نیمه معین منفی باشد (Serletis *et al*., 2010).

6. Quasi-Concavity
7. Non-Negativity

ادامه جدول ۱: مقایسه ویژگی‌های فرم تبعی ترانسلوگ و لاجیت خطی

	مزایا	کاستی‌ها
مدل لاجیت خطی	❖ نبود نیاز به تصریح تابع هزینه ❖ امکان تخمین ساختارهای هزینه غیرهموتتیک ❖ مدلی با کشش متغیر ❖ احراز «تقعر سراسری»[1]: تضمین مثبت بودن سهم‌های هزینه و منفی بودن تمامی کشش‌های خودقیمتی برای مجموعه خاصی از سهم‌های هزینه که تقارن در آن تحمیل شده است. ❖ احراز ویژگی جمع‌پذیری ذاتی در تابع لاجستیک ❖ بالا بودن احتمال تخمین‌های موافق با محدودیت‌های نظریه تقاضا	❖ احراز نشدن «تقارن سراسری»: برقراری «تقارن» تنها برای مجموعه‌ای از سهم‌های هزینه

شایان اشاره است که به دلیل وجود کاستی‌هایی در مدلسازی‌های اشاره‌شده، امکان پیش‌بینی دقیق اثر تغییرهای سیاست‌های انرژی برای تحلیلگران این حوزه وجود نداشته است. ازجمله این کاستی‌ها می‌توان به فرم ایستا در این مدل‌ها اشاره کرد. مدلسازی ایستا به‌طور ضمنی فرض می‌کند که فرایند تعدیل همهٔ نهاده‌ها به مقادیر تعادلی بلندمدتشان به‌طور آنی انجام شده است و تقاضاکنندگان انرژی در طول یک دوره می‌توانند به‌طور کامل به شوک‌های وارد بر اقتصاد پاسخ دهند. همچنین، امکان تخمین نرخ تعدیل پویا[2] هنگام تخمین‌های مجزای کشش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در این مدل‌ها وجود ندارد. از این‌رو، مدل‌های ایستای تقاضا نمی‌توانند فضای واقعی اقتصاد را که در آن فرایند تعدیل می‌تواند تدریجی باشد، به‌طور صحیحی توصیف کنند. مورانا (۲۰۰۷)، اشاره می‌کند که احراز نشدن محدودیت‌های اقتصادی نظیر همگنی و تقارن یا شواهدی از خطای تصریح همچون نبود ثبات پارامترها یا باقیمانده‌های دارای همبستگی سریالی، می‌توانند نمونه‌هایی از کاستی‌هایی باشند که در اثر نادیده گرفتن پویایی در این نوع مدلسازی‌ها به‌وجود آمده‌اند. به همین دلیل، مدل‌های پویای تقاضای نهاده‌ها با هدف مقابله با این مشکلات معرفی می‌شوند که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

1. Global Concavity

۲. یک تخمین مستقیم، مدت زمانی است که تقاضاکنندگان نیاز دارند تعدیل بلندمدتی را در واکنش به تغییرهای قیمتی حامل‌ها انجام دهند.

مدل لاجیت خطی پویا

مدل لاجیت خطی پویا توسط کانسیداین و مونت (۱۹۸۴) ارائه شده و توسط کانسیداین (۱۹۹۰) گسترش یافته است. کانسیداین و مونت (۱۹۸۴)، استفاده از سازوکارهای تعدیل پویا را با فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر ـ برای مثال ترانسلوگ یا لئونیتیف تعمیم‌یافته ـ شامل مشکلات تجربی و نظری می‌دانند و بیان می‌کنند از دیدگاه نظریه‌ای، این مدل‌ها به‌طور کلی از یک مسئله بهینه‌یابی پویا به‌طور صریح حاصل نمی‌شوند. نکته دارای اهمیت این است که در فرم‌های تبعی، همان‌طور که نظریه بیان می‌کند، فرایند تعدیل باید بر اساس مقادیر و نه سهم‌های هزینه تصریح شود. نادیده گرفتن این مسئله اغلب به تخمین کشش‌های کوتاه‌مدتی منجر می‌شود که بزرگ‌تر از کشش‌های بلندمدت هستند. مدل لاجیت بر اساس شرایطی که به‌طور معمول داده‌های سرمایه در آن در دسترس نیستند استخراج می‌شود و در نتیجه، یک حالت خاص از یک مسئله بهینه‌یابی اقتصادی پویاست. تصریح لاجیت خطی از سهم‌های هزینه می‌تواند مجموعه‌ای از توابع تقاضا «خوش‌رفتار» را ارائه کند. همچنین، فرم پویای مدل به‌نحوی استخراج می‌شود که کاربرد آن آسان باشد و اثرهای پویا با وارد کردن مقادیر وقفه‌ای، به‌جای سهم‌های هزینه وقفه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرند.[۱] این فرایند تعدیل مبتنی بر مقدار، اصل لوشاتلیه[۲] را تضمین می‌کند و کشش‌های کوتاه‌مدت همواره کوچک‌تر از کشش‌های بلندمدت برآورد می‌شوند. نتایج تجربی کانسیداین و مونت (۱۹۸۴) نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های ایستای سیستم‌های تقاضای نهاده می‌تواند تمایل به بیش‌برآوردی کشش‌های خودقیمتی کوتاه‌مدت و کم‌برآوردی کشش‌های خودقیمتی بلندمدت داشته باشد. از سوی دیگر، در شرایطی که پژوهشگران اطلاعاتی در مورد انباره سرمایه و سایر نهاده‌های ثابت ندارند، استفاده از مدل لاجیت خطی امکان تعدیل پویای مقادیر نهاده‌ها را با توجه به تغییرهای قیمت در مجموعه‌ای از توابع تقاضای «خوش‌رفتار» فراهم می‌کند.

نسخه دیگری از مدل لاجیت خطی، توسط کانسیداین (۱۹۹۰) مطرح می‌شود که برای احراز تقارن سراسری، مدل لاجیت خطی ایستا را گسترش می‌دهد و تقارن را در سهم‌های هزینه

---

۱. شایان اشاره است که در مدل‌های ترانسلوگ پویا اثرهای پویایی با کمک سهم‌های هزینه‌ای وقفه‌ای در نظرگرفته می‌شوند. برای مطالعه بیش‌تر و نحوه استخراج مدل‌های پویای ترانسلوگ به اورگا و والترز (۲۰۰۳) رجوع شود.

2. Le Chatelier Principle

پیش‌بینی‌شده تحمیل می‌کند. وی برای برآورد سازگار مدلی که شرایط سراسری[1] را برآورده می‌کند، یک روش تکراری دومرحله‌ای ارائه می‌کند. در مرحله اول این روش، سهم‌های مشاهده‌شده واقعی هزینه حامل‌ها[2] در هر دوره به‌جای سهم‌های هزینه تعادلی برای برآورد پارامترها و تولید مجموعه اولیه سهم‌های پیش‌بینی‌شده استفاده می‌شوند. سپس سهم‌های پیش‌بینی‌شده اولیه، برای تخمین مجدد پارامترها وارد مدل می‌شوند و مجموعه جدیدی از سهم‌های پیش‌بینی‌شده را به‌وجود می‌آورند. این فرایند تا زمانی که تخمین پارامترها همگرا شود ادامه می‌یابد (Steinbuks & Narayanan, 2015).

پژوهش‌های متعددی ازجمله جونز (۱۹۹۵)، به مقایسه مدل‌های ترانسلوگ و لاجیت خطی می‌پردازند و نشان می‌دهند که در بیش‌تر موارد، مدل لاجیت خطی از ترانسلوگ بهتر عمل می‌کند، به‌ویژه هنگامی که فرایندهای تعدیل پویا در مدل در نظرگرفته شده باشند. یکی از این پژوهش‌ها پیندیک (۱۹۷۹الف) است که برای تجزیه‌وتحلیل از داده‌های پانل بین‌کشوری در سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۵۹ در یک مدل ترانسلوگ ایستا استفاده کرده است. در پژوهشی دیگر پیندیک (۱۹۷۹ب)، با استفاده از همان داده‌ها، مدل‌های ایستا و پویای لاجیت ساده را نیز برآورد کرده است. این مدل‌های لاجیت به وی کمک می‌کند که تخمین مستقیمی (صریحی) از نرخ تعدیل پویا داشته باشد، ولی متاسفانه نتایج مدل شامل کشش‌های خودقیمتی مثبت در چندین مورد، برآورد غیرمعناداری از نرخ تعدیل دارد که بسیار ناامیدکننده است (Jones, 1995). جونز (۱۹۹۵)، به تعمیم مشابهی از مدل لاجیت خطی، که تقارن سراسری را نیز تحمیل می‌کند، توسط دماگان و مونت (۱۹۹۳؛ ۱۹۹۲)[3]، و راثمن و همکاران[4] (۱۹۹۴) اشاره دارد و نسخه‌ای پویا از مدل لاجیت خطی گسترش‌یافته توسط کانسیداین (۱۹۹۰) را ارائه می‌دهد که تقارن سراسری را احراز می‌کند و بدین ترتیب، به بینش‌های مهمی درباره نرخ تعدیل پویا در تقاضای انرژی صنایع دست می‌یابد. برای ارزیابی مزیت‌های مدلسازی مدل لاجیت خطی پویای گسترش‌یافته[5] در پژوهش‌های بین حامل‌ها، وی یک مدل ترانسلوگ پویا را نیز تخمین می‌زند و شواهد جدیدی در مورد تاثیر نبود توجه به مصرف حامل‌ها برای اهداف غیرانرژی در برآورد کشش‌های قیمتی و نرخ تعدیل پویا ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از داده‌های مصرف کل ـ کل مصرف حامل ـ به‌جای استفاده از داده‌های مصرف انرژی ـ مصرف حامل فقط برای انرژی ـ تمایل به ایجاد یک تورش رو به بالا در برآورد نرخ تعدیل پویا داشته است، زیرا

1. Global Constraint
2. Actual Fuel Cost Shares
3. Dumagan & Mount
4. Rothman *et al*.
5. Extended Dynamic Linear Logit Model

حامل‌های غیرانرژی جانشین‌های اندکی دارند و می‌توانند کم‌تر به تغییرهای قیمتی واکنش نشان دهند و با سرعت به سطح مطلوب بلندمدت خود برسند. در مجموع، یافته‌های جونز (۱۹۹۵) نشان می‌دهد که یک مدل لاجیت خطی هنگام برآورد کشش‌های قیمتی حامل‌ها برای اهداف پیش‌بینی و تحلیل سیاستی از ویژگی‌های مطلوب‌تری نسبت به مدل ترانسلوگ برخوردار است.

اورگا (۱۹۹۹)، بیان می‌کند که در مدل‌های پویا، هنگامی که ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت به‌طور توام تخمین زده می‌شوند، احراز شرایط تقعر به هر دو فرم تبعی اتخاذشده و تصریح تعدیل پویای رفتار تولیدکننده بستگی دارد. وی نشان می‌دهد که یک مدل عمومی‌تر، «مدل تصحیح خطای تعمیم‌یافته جزئی»[1]، بر تمامی مدل‌های پویای دیگر ازجمله سازوکار تعدیل جزئی جونز (۱۹۹۵) مسلط است. اورگا (۱۹۹۹)، حمایت شدید تجربی از مدل ECM را نشان می‌دهد و اظهار می‌کند که این مدل برآوردهای قابل‌قبولی از کشش‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت ایجاد می‌کند و شرایط تقعر تابع هزینه را نیز احراز می‌کند که با نتایج موجود جونز (۱۹۹۵) مغایر است. اورگا و والترز (۲۰۰۳)، برای فرایند شناسایی از محدودیت‌هایی که بر تابع هزینه کوتاه‌مدت موثر است استفاده می‌کنند و نتایج مدل خود با استفاده از داده‌های مشابه با کانسیداین (۱۹۸۹ب)، و جونز (۱۹۹۵) با نتایج حاصل از مدل لاجیت خطی تعدیل جزئی مقایسه می‌کنند. آن‌ها نشان می‌دهند که حمایت تجربی از ECM فرم ترانسلوگ ضعیف است و نقض تقعر نیز ناشی از خطای تصریح پویا یا شمول حامل‌های غیرانرژی بدون واکنش به قیمت[2] در داده‌های مصرف کل به نظر نمی‌رسد. در حقیقت، ضعف رویکرد آن‌ها در مقایسه با مدل لاجیت خطی پویای کانسیداین و مونت (۱۹۸۴)، این است که مدل آن‌ها به‌طور مستقیم از یک مسئله بهینه‌یابی پویا استخراج نشده است. اورگا و والترز (۲۰۰۳)، اظهار می‌کنند که اگرچه مدل‌های لاجیت غالباً با مشکلات انتخاب گسسته همراه هستند، اما هر زمانی که بخواهیم «نتایج» غیرمنفی و حاصل جمع آن‌ها برابر واحد باشد، می‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد.

در مجموع بسیاری از این پژوهش‌ها با مقایسه تصریح پویای مدل‌های ترانسلوگ و لاجیت خطی به این نتیجه می‌رسند که مدل لاجیت خطی، باعث ایجاد علامت صحیح کشش‌های خودقیمتی برای طیف گسترده‌ای از سهم‌های هزینه می‌شود و نتایج استوارتری را به همراه می‌آورد که باید در تحلیل تجربی جانشینی بین حامل‌ها ترجیح داده شود (Steinbuks & Narayanan, 2015). در این راستا پژوهش‌های تجربی دیگری ازجمله کانسیداین (۲۰۰۰)، کانسیداین و رز (۲۰۰۱)، استاینباکس

1. Partially Generalised Error-Correction Model
2. Price-Unresponsive Non-Energy Fuel

(۲۰۱۲)، و کانسیداین و مندرسون (۲۰۱۴؛ ۲۰۱۵) از مدل‌های لاجیت خطی استفاده کرده‌اند. با وجود این، باید توجه داشت که نقض تقعر در مدل DLL[1] می‌تواند رخ دهد. برخی از این نقض‌ها، همان‌طور که در اشاره شد، می‌تواند به دلیل حذف متغیرهای توضیحی مرتبط، مانند مقررات محیط‌زیستی یا مقررات مربوط به مصرف حامل در مدل‌های تقاضای انرژی باشد. با وجود این، شرایطی می‌تواند وجود داشته باشد که پژوهشگر امکان تصریح مجدد مدل را نداشته باشد. در این موارد، یکی از گزینه‌ها تحمیل کردن تقعر است، مانند پژوهش‌های دیورت و ولز (۱۹۸۹)، ماسکینی (۱۹۹۸)، و سرلتیس و همکاران (۲۰۱۰). در این روش‌ها، به‌طور معمول تقعر در یک نقطه معمولی تحمیل می‌شود و سپس بررسی می‌شود که آیا تقعر در سایر مشاهده‌ها نیز برآورده می‌گردد یا خیر. اغلب حتی پس از تحمیل تقعر موضعی، نقض آن در سایر نقاط نیز مشاهده می‌شود. در حالی که پژوهش‌های انجام‌شده توسط کانسیداین (۱۹۸۹الف؛ ۱۹۸۹ب؛ ۱۹۹۰)، نشان می‌دهد که مدل لاجیت خطی سهم هزینه می‌تواند تقعر را در برخی موارد تجربی برای همه نقاط نمونه برآورده سازد، اما به هیچ وجه تقعر را در میانگین یا سهم‌های هزینه پیش‌بینی‌شده تحمیل نمی‌کند. ویژگی‌های مدل لاجیت خطی نشان می‌دهد که اگر تحمیل تقعر ضروری باشد، تقعر می‌تواند برای همه یا بیش‌تر مشاهده‌ها برقرار باشد. کانسیداین (۲۰۱۸)، به بررسی دو مشکل رایج در بسیاری از پژوهش‌های مدلسازی اقتصادی تقاضا و جانشینی نهاده‌ها می‌پردازد. اولین مشکل ناشی از روندهای موجود در سری‌های زمانی اقتصادی است که می‌تواند باعث ایجاد همبستگی‌های کاذب شود. مشکل دوم، کشش خودقیمتی مثبت تقاضاست که برخلاف شهود قانون تقاضاست. وی در پژوهش خود با استفاده از سیستم تقاضای لاجیت خطی پویای ارائه‌شده توسط کانسیداین و مونت (۱۹۸۴) به رفع این دو مشکل می‌پردازد. کانسیداین (۲۰۱۸)، اشاره می‌کند که دست‌کم به لحاظ نظری، یک سیستم تقاضا باید همانند یک مدل هم‌انباشتگی مربوط به مقادیر یا سهم هزینه با قیمت‌های نسبی عمل کند، به‌طوری که تغییرهای مانده در باقیمانده‌ها، یک نوفه سفید مانا باشد. بیش‌تر کاربردهای سیستم ترانسلوگ به مشکلات مربوط به ریشه واحد در داده‌ها نمی‌پردازند و غالباً همبستگی سریالی را در پسماندها نادیده می‌گیرند. کانسیداین (۲۰۱۸)، با استفاده از سری‌های زمانی نامانا نشان می‌دهد که تعدیل‌های پویا با کمک مقادیر در مدل لاجیت خطی پویا، خودهمبستگی را حذف می‌کند و تفاضل مرتبه اول داده‌ها برای به‌دست آوردن باقیمانده‌های مانا لازم نیست. از سوی دیگر، چگونگی تحمیل تقعر را نیز در مدل لاجیت خطی پویا سهم هزینه مورد بررسی قرار می‌دهد. وی از راهبرد ماسکینی (۱۹۹۸)، با کمک

1. Dynamic Linear Logit

تغییر پارامتر[1] مدل در استخراج جانشینی‌ها و سپس استفاده از تجزیه چولسکی[2] برای تحمیل تقعر استفاده می‌کند. در نسخه ارائه‌شده از مدل لاجیت در پژوهش کانسیداین (۲۰۱۸)، تقارن و تقعر برای همه سهم‌های هزینه پیش‌بینی‌شده برقرار می‌شود، نه‌فقط در میانگین سهم‌ها. شایان اشاره است که تخمین مدل با شرط تقارن تحمیل‌شده در سهم‌های هزینهٔ پیش‌بینی‌شده ممکن است با افزایش تعداد حامل‌ها بسیار دشوار شود، ولی از آن‌جایی که سهم‌های هزینه پیش‌بینی‌شده توابعی خطی از متغیرهای توضیحی و پارامترهای تخمین‌زده‌شده تکرارهای قبلی هستند، تمایل بیش‌تری به همگرایی برآوردها در این مدل وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مباحث مهم در سیاستگذاری انرژی، مدلسازی تقاضای انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی با هدف آگاهی از کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع تقاضاست. در حقیقت، شناسایی نوع ارتباط حامل‌ها (جانشینی و مکملی) و برآورد میزان کشش‌ها می‌تواند نقش اساسی در پیش‌بینی میزان تاثیرگذاری سیاست‌ها ایفا کند. با وجود رویکردهای متعددی که در مدلسازی تقاضای انرژی وجود دارد، دو رویکرد مدلسازی تک‌معادله‌ای که به‌اصطلاح «تک‌معادله تقاضای واقعی» نامیده می‌شود و مدلسازی سیستمی که تعاملات بین حامل‌های انرژی را مد نظر قرار می‌دهد، به‌کرات در پژوهش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پژوهش می‌کوشد با بررسی ادبیات موضوع موجبات آگاهی پژوهشگران را از نقاط ضعف و قوت این مدل‌ها و انتخاب روش مدلسازی مناسب فراهم سازد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که رویکردهای تک‌معادله‌ای با وجود سادگی در برآورد پارامترها، از مبانی نظری قدرتمندی برخوردار نیستند و با مشکلاتی ازجمله درون‌زایی و بی‌ثباتی پارامترها مواجه هستند. همچنین در این رویکرد، امکان برآورد کشش‌های خودی و متقاطع به دلیل نبود پایبندی آن‌ها به شالوده‌های اقتصاد خرد وجود ندارد، زیرا تک‌معادله مورد نظر به صورت تقریبی در نظر گرفته می‌شود و از حل شرایط مرتبه اول یک مسئله بهینه‌یابی بیشینه‌سازی مطلوبیت حاصل نمی‌شود. پس پارامترهای موجود در آن با پارامترهای عمیق[3] حاصل از یک مسئله بهینه‌یابی یکسان نیستند. در مقابل در رویکرد سیستمی، ساختار معادلات تقاضا بر اساس مبانی اقتصاد خرد استخراج

1. Re-Parameterizing
2. Cholesky Factorization
3. Deep Parameters

می‌گردد، از این‌رو به‌سهولت می‌توان کشش‌های خودی و ارتباط جانشینی و مکملی بین یک حامل انرژی را با سایر حامل‌ها ـ با محاسبه کشش‌های متقاطع ـ استخراج نمود. ولی همان‌طور که اشاره شد، ازجمله مشکلات این رویکرد، وجود حساسیت بالای کشش‌های قیمتی برآوردی به انتخاب فرم‌های تبعی هزینه و مطلوبیت است، به‌طوری که انتخاب فرم تبعی می‌تواند تاثیر بسیار مهمی در برآوردهای کشش‌های تقاضای انرژی داشته باشد.

بسیاری از پژوهش‌هایی که به‌طور مبسوط به آن‌ها پرداخته شد، به این موضوع اشاره دارند که فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیری مانند فرم تبعی ترانسلوگ کریستنسن و همکاران (۱۹۷۳)، که اغلب در مدلسازی جانشینی بین حامل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، تنها برای طیف محدودی از قیمت‌های نسبی «خوش‌رفتار» است و به محض این‌که دامنه نوسان قیمت حامل افزایش می‌یابد «شرایط منظم بودن نظری» یعنی کشش‌های خودقیمتی منفی ـ شبه‌مقعر بودن ـ و سهم‌های مثبت ـ غیرمنفی بودن ـ احراز نمی‌شوند. در حقیقت، ویژگی‌های مهمی مانند سهم‌های هزینه‌ای کوچک، امکان جانشینی محدود، و نوسان‌های زیاد در قیمت‌های نسبی که بیش‌تر از خصیصه‌های متغیرهای انرژی است، باعث می‌گردد که اندازه منطقه منظم به‌طور قابل‌توجهی کوچک شود و به علامت‌های نادرست در کشش‌های خودقیمتی منجر شود. همین موضوع سبب می‌شود که مدل‌هایی با فرم تبعی ترانسلوگ در بحث‌های پیش‌بینی یا تحلیل سیاستی عملکرد ضعیفی از خود به نمایش بگذارند.

در سوی دیگر کانسیداین (۱۹۸۹الف؛ ۱۹۸۹ب)، به ارزیابی فرم‌های تبعی مختلفی که توسط پژوهشگران در طول سال‌ها مورد استفاده قرار گرفته بود، می‌پردازد و مدل لاجیت خطی سهم‌های مخارج را معرفی می‌کند. وی ادعا می‌کند که مدل لاجیت خطی یک مدل دارای امساک با خصوصیات مطلوب سراسری است. اولین نکته در مورد رویکرد لاجیت این است که نیازی به تصریح تابع هزینه ندارد، اما این ویژگی رویکرد لاجیت را به یک رویکرد تقریبی تبدیل نمی‌کند. در این مدل می‌توان یک فرم تبعی برای مشتقات جزئی وزنی تصریح کرد. در واقع، به‌جای یک فرمول خطی از یک فرم نمایی استفاده می‌شود و با گرفتن لگاریتم از تابع لجستیک، مدل لاجیت خطی سهم‌های هزینه به‌دست می‌آید. توزیع لجستیک، تقریبی نزدیک به توزیع نرمال تجمعی دارد و محاسبات را بسیار ساده‌تر می‌سازد. همچنین، این مدل تضمین می‌کند که برای مجموعه خاصی از سهم‌های هزینه که «تقارن» در آن تحمیل می‌شود، تمامی سهم‌های هزینه مثبت و تمامی کشش‌های خودقیمتی منفی برآورد شوند. اما «تقارن» تنها برای مجموعه‌ای از سهم‌های هزینه برقرار است، بنابراین در این مدل‌ها «تقارن سراسری» برای احراز «تقعر سراسری» کنار گذاشته می‌شود. در مجموع، ویژگی‌های مدل لاجیت خطی سهم‌های

هزینه برای تحلیل تقاضای تجربی به‌طور کامل مطلوب است و این مدل حجم انعطاف‌پذیری قابل‌توجهی را برای کاربردهای تجربی ارائه می‌دهد. برای مثال، انواع متغیرهای توضیحی می‌توانند در مدل گنجانده شوند، بدون این‌که بر محدودیت‌های ناشی از نظریه اقتصادی تاثیری بگذارند.

به دنبال شناسایی کاستی‌ها در فرم ایستای این مدل‌ها نظیر فرض تعدیل آنی همه نهاده‌ها به مقادیر تعادلی بلندمدت، ممکن نبودن تخمین نرخ تعدیل پویا هنگام تخمین‌های مجزای کشش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت و همچنین احراز نشدن محدودیت‌های اقتصادی نظیر همگنی و تقارن یا شواهدی از خطای تصریح همچون نبود ثبات پارامترها یا باقیمانده‌های دارای همبستگی سریالی، پژوهشگران به معرفی مدل‌های پویای تقاضای نهاده‌ها با هدف مقابله با این مشکلات پرداختند. یکی از مدل‌هایی که به‌طور گسترده در ادبیات تجربی جانشینی بین حامل‌ها بکار برده شد، مدل لاجیت خطی پویا کانسیداین و مونت (۱۹۸۴) بود. آن‌ها استفاده از سازوکارهای تعدیل پویا را با فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیری نظیر ترانسلوگ شامل مشکلات تجربی و نظری می‌دانند و مدلی ارائه می‌کنند که می‌تواند مجموعه‌ای از توابع تقاضا «خوش‌رفتار» را ارائه دهد و به‌طور همزمان شرایط منظم بودن ـ با قیود مناسب بر پارامترها ـ را تحقق بخشد. این مدل به‌گونه‌ای تصریح می‌شود که به‌طور صریح اثرهای پویا را با وارد کردن مقادیر وقفه‌ای به‌جای سهم‌های هزینه وقفه‌ای ـ مانند ترانسلوگ پویا ـ منعکس می‌کند و همین فرایند تعدیلِ مبتنی بر مقدار، اصل لوشاتلیه را تضمین می‌کند.

در پایان مشاهده می‌شود که پژوهش‌های مختلف با مقایسه تصریح پویای مدل‌های ترانسلوگ و لاجیت خطی به این نتیجه رسیده‌اند که مدل لاجیت خطی به دلیل ویژگی‌های مطلوب خود، سبب ایجاد علامت صحیح کشش‌های خودقیمتی برای طیف گسترده‌ای از سهم‌های هزینه شده و نتایج استوارتری را نسبت به سایر مدل‌ها به همراه آورده است.

منابع

الف) انگلیسی

Altinay, G., & Yalta, A. T. (2016). Estimating the Evolution of Elasticities of Natural Gas Demand: The Case of Istanbul, Turkey. *Empirical Economics, 51*(1), 201-220. https://doi.org/10.1007/s00181-015-1012-1

Andrews, D. W. (1986). Stability Comparison of Estimators. *Econometrica: Journal of the Econometric Society, 54*(5), 1207-1235. https://doi.org/10.2307/1912329

Arnberg, S., & Bjørner, T. B. (2007). Substitution between Energy, Capital and Labour Within Industrial Companies: A Micro Panel Data Analysis. *Resource and Energy Economics, 29*(2), 122-136. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2006.01.001

Asche, F., Nilsen, O. B., & Tveteras, R. (2008). Natural Gas Demand in the European Household Sector. *The Energy Journal, 29*(3), 27-46. http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=2267

Banks, J., Blundell, R., & Lewbel, A. (1997). Quadratic Engel Curves and Consumer Demand. *Review of Economics and Statistics, 79*(4), 527-539. https://doi.org/10.1162/003465397557015

Bardazzi, R., Oropallo, F., & Pazienza, M. G. (2015). Do Manufacturing Firms React to Energy Prices? Evidence from Italy. *Energy Economics, 49*(1), 168-181. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.014

Barnett, W. A. (1983). New Indices of Money Supply and the Flexible Laurent Demand System. *Journal of Business & Economic Statistics, 1*(1), 7-23. https://doi.org/10.2307/1391766

Barnett, W. A. (2002). Tastes and Technology: Curvature Is Not Sufficient for Regularity. *Journal of Econometrics, 108*(1), 199-202. https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00131-2

Barnett, W. A., & Lee, Y. W. (1985). The Global Properties of the Minflex Laurent, Generalized Leontief, and Translog Flexible Functional Forms. *Econometrica: Journal of the Econometric Society, 53*(6), 1421-1437. https://doi.org/10.2307/1913216

Barnett, W. A., Lee, Y. W., & Wolfe, M. (1987). The Global Properties of the Two Minflex Laurent Flexible Functional Forms. *Journal of Econometrics, 36*(3), 281-298. https://doi.org/10.1016/0304-4076(87)90003-0

Barnett, W. A., Lee, Y. W., & Wolfe, M. D. (1985). The Three-Dimensional Global Properties of the Minflex Laurent, Generalized Leontief, and Translog Flexible Functional Forms. *Journal of Econometrics, 30*(1-2), 3-31. https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90129-0

Bello, M. O., Solarin, S. A., & Yen, Y. Y. (2018). Hydropower and Potential for Interfuel Substitution: The Case of Electricity Sector in Malaysia. *Energy, 151*(1), 966-983. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.055

Berkson, J. (1944). Application of the Logistic Function to Bio-Assay. *Journal of the American Statistical Association, 39*(227), 357-365. https://doi.org/10.1080/01621459.1944.10500699

Berndt, E. R., & Wood, D. O. (1975). Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. *The Review of Economics and Statistics, 57*(3), 259-268. https://doi.org/10.2307/1923910

Bernstein, R., & Madlener, R. (2011). Residential Natural Gas Demand Elasticities

in OECD Countries: An ARDL Bounds Testing Approach. *FCN Working Paper No.* 15/2011. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2078036

Bölük, G., & Koç, A. A. (2010). Electricity Demand of Manufacturing Sector in Turkey: A Translog Cost Approach. *Energy Economics, 32*(3), 609-615. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.01.007

Burke, P. J., & Yang, H. (2016). The Price and Income Elasticities of Natural Gas Demand: International Evidence. *Energy Economics, 59*(1), 466-474. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.08.025

Caves, D. W., & Christensen, L. R. (1980). Global Properties of Flexible Functional Forms. *The American Economic Review, 70*(3), 422-432.

Cho, W. G., Nam, K., & Pagan, J. A. (2004). Economic Growth and Interfactor/Interfuel Substitution in Korea. *Energy Economics, 26*(1), 31-50. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2003.04.001

Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., & Lau, L. J. (1973). Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *The Review of Economics and Statistics, 55*(1), 28-45. https://doi.org/10.2307/1927992

Considine, T. J. (1989a). Estimating the Demand for Energy and Natural Resource Inputs: Trade–Offs in Global Properties. *Applied Economics, 21*(7), 931-945. https://doi.org/10.1080/758518234

Considine, T. J. (1989b). Separability, Functional Form and Regulatory Policy in Models of Interfuel Substitution. *Energy Economics, 11*(2), 82-94. https://doi.org/10.1016/0140-9883(89)90001-7

Considine, T. J. (1990). Symmetry Constraints and Variable Returns to Scale in Logit Models. *Journal of Business & Economic Statistics, 8*(3), 347-353. https://doi.org/10.2307/1391971

Considine, T. J. (2000). The Impacts of Weather Variations on Energy Demand and Carbon Emissions. *Resource and Energy Economics, 22*(4), 295-314. https://doi.org/10.1016/S0928-7655(00)00027-0

Considine, T. J. (2018). Estimating Concave Substitution Possibilities with Non-Stationary Data Using the Dynamic Linear Logit Demand Model. *Economic Modelling, 72*(1), 22-30. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2017.12.021

Considine, T. J., & Manderson, E. (2014). The Role of Energy Conservation and Natural Gas Prices in the Costs of Achieving California's Renewable Energy Goals. *Energy Economics, 44*(1), 291-301. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.011

Considine, T. J., & Manderson, E. J. (2015). The Cost of Solar-Centric Renewable Portfolio Standards and Reducing Coal Power Generation Using Arizona as a Case Study. *Energy Economics, 49*(1), 402-419. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.03.003

Considine, T. J., & Mount, T. D. (1984). The Use of Linear Logit Models for Dynamic Input Demand Systems. *The Review of Economics and Statistics, 66*(3), 434-443. https://doi.org/10.2307/1924999

Considine, T. J., & Rose, A. (2001). The Future Role of Natural Gas in the World Energy Market: An Overview. *The Future Role of Natural Gas in the World Energy Market, Markaz, ed,* 9-23.

Dagher, L. (2012). Natural Gas Demand at the Utility Level: An Application of Dynamic Elasticities. *Energy Economics, 34*(4), 961-969. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.05.010

Dargay, J. M., & Gately, D. (2010). World Oil Demand's Shift toward Faster Growing and Less Price-Responsive Products and Regions. *Energy Policy, 38*(10), 6261-6277. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.014

Denny, M., & Fuss, M. (1977). The Use of Approximation Analysis to Test for Separability and the Existence of Consistent Aggregates. *The American Economic Review, 67*(3), 404-418.

Diewert, W. E., & Wales, T. J. (1988). Normalized Quadratic Systems of Consumer Demand Functions. *Journal of Business & Economic Statistics, 6*(3), 303-312. https://doi.org/10.2307/1391882

Diewert, W. E., & Wales, T. J. (1989). Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions. *NBER Technical Working Paper No*. 40.

Dumagan, J. C., & Mount, T. D. (1992). Measuring the Consumer Welfare Effects of Carbon Penalties: Theory and Applications to Household Energy Demand. *Energy Economics, 14*(2), 82-93. https://doi.org/10.1016/0140-9883(92)90001-T

Dumagan, J. C., & Mount, T. D. (1993). Welfare Effects of Improving End-Use Efficiency: Theory and Application to Residential Electricity Demand. *Resource and Energy Economics, 15*(2), 175-201. https://doi.org/10.1016/0928-7655(93)90003-D

Erdogdu, E. (2010). Natural Gas Demand in Turkey. *Applied Energy, 87*(1), 211-219. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.006

Fuss, M. A. (1977). The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs. *Journal of Econometrics, 5*(1), 89-116. https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90036-7

Ghassan, H. B., & Banerjee, P. K. (2015). A Threshold Cointegration Analysis of Asymmetric Adjustment of OPEC and Non-OPEC Monthly Crude Oil Prices. *Empirical Economics, 49*(1), 305-323. https://doi.org/10.1007/s00181-014-0848-0

Griffin, J. M., & Schulman, C. T. (2005). Price Asymmetry in Energy Demand Models: A Proxy for Energy-Saving Technical Change? *The Energy Journal, 26*(2), 1-21. http://www.iaee.org/en/publications/ejarticle.aspx?id=2082

Guilkey, D. K., & Lovell, C. K. (1980). On the Flexibility of the Translog Approximation. *International Economic Review, 21*(1), 137-147. https://doi.org/10.2307/2526244

Guilkey, D. K., Lovell, C. K., & Sickles, R. C. (1983). A Comparison of the Performance of Three Flexible Functional Forms. *International Economic Review, 24*(3), 591-616. https://doi.org/10.2307/2648788

Hall, V. B. (1986). Major OECD Country Industrial Sector Interfuel Substitution Estimates, 1960–1979. *Energy Economics, 8*(2), 74-89. https://doi.org/10.1016/0140-9883(86)90032-0

Hausman, J. A. (1975). Project Independence Report: An Appraisal of US Energy Needs Up To 1985. *The Bell Journal of Economics, 6*(2), 517-551. https://doi.org/10.2307/3003242

He, Y., & Lin, B. (2019). Heterogeneity and Asymmetric Effects in Energy Resources Allocation of the Manufacturing Sectors in China. *Energy, 170*(1), 1019-1035. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.191

Hossain, A. N., & Serletis, A. (2017). A Century of Interfuel Substitution. *Journal of Commodity Markets, 8*(1), 28-42. https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2017.09.001

Huntington, H. G. (2007). Industrial Natural Gas Consumption in the United States: An Empirical Model for Evaluating Future Trends. *Energy Economics, 29*(4), 743-759. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.12.005

Inglesi-Lotz, R. (2011). The Evolution of Price Elasticity of Electricity Demand in South Africa: A Kalman Filter Application. *Energy Policy, 39*(6), 3690-3696. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.078
Jones, C. T. (1995). A Dynamic Analysis of Interfuel Substitution in US Industrial Energy Demand. *Journal of Business & Economic Statistics, 13*(4), 459-465. https://doi.org/10.2307/1392391
Jones, C. T. (1996). A Pooled Dynamic Analysis of Interfuel Substitution in Industrial Energy Demand by the G-7 Countries. *Applied Economics, 28*(7), 815-821. https://doi.org/10.1080/000368496328254
Karimu, A., & Brännlund, R. (2013). Functional Form and Aggregate Energy Demand Elasticities: A Nonparametric Panel Approach for 17 OECD Countries. *Energy Economics, 36*(1), 19-27. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.026
Layard, P. R. G., & Walters, A. A. (1978). *Microeconomic Theory*: McGraw-Hill.
Liddle, B., & Huntington, H. (2020). Revisiting the Income Elasticity of Energy Consumption: A Heterogeneous, Common Factor, Dynamic OECD & Non-OECD Country Panel Analysis. *The Energy Journal, 41*(3), 207- 229. https://doi.org/10.5547/01956574.41.3
Lin, B., & Tian, P. (2017). Energy Conservation in China's Light Industry Sector: Evidence from Inter-Factor and Inter-Fuel Substitution. *Journal of Cleaner Production, 152*(1), 125-133. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.099
Lin, B., Ankrah, I., & Manu, S. A. (2017). Brazilian Energy Efficiency and Energy Substitution: A Road to Cleaner National Energy System. *Journal of Cleaner Production, 162*(1), 1275-1284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.011
Liu, K., Bai, H., Yin, S., & Lin, B. (2018). Factor Substitution and Decomposition of Carbon Intensity in China's Heavy Industry. *Energy, 145*(1), 582-591. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.151
Ma, C., & Stern, D. I. (2016). Long-Run Estimates of Interfuel and Interfactor Elasticities. *Resource and Energy Economics, 46*(1), 114-130. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2016.09.003
Madlener, R. (1996). Econometric Analysis of Residential Energy Demand. *Journal of Energy Literature, 2*(1), 3-32.
Madlener, R., Bernstein, R., & González, M. Á. A. (2011). *Econometric Estimation of Energy Demand Elasticities:* E. ON ERC Aachen.
Miljkovic, D., Dalbec, N., & Zhang, L. (2016). Estimating Dynamics of US Demand for Major Fossil Fuels. *Energy Economics, 55*(1), 284-291. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.02.018
Morana, C. (2007). Factor Demand Modelling: The Theory and the Practice. *Applied Mathematical Sciences, 1*(31), 1519-1549.
Moschini, G. (1998). The Semiflexible Almost Ideal Demand System. *European Economic Review, 42*(2), 349-364. https://doi.org/10.1016/S0014-2921(97)00060-3
Oum, T. H. (1979). A Warning on the Use of Linear Logit Models in Transport Mode Choice Studies. *The Bell Journal of Economics, 10*(1), 374-388. https://doi.org/10.2307/3003339
Pindyck, R. S. (1979a). Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. *The Review of Economics and Statistics, 61*(2), 169-179. https://doi.org/10.2307/1924584
Pindyck, R. S. (1979b). *The Structure of World Energy Demand* (Vol. 22): MIT Press Cambridge, MA.

Polemis, M. L. (2012). Competition and Price Asymmetries in the Greek Oil Sector: An Empirical Analysis on Gasoline Market. *Empirical Economics, 43*(2), 789-817. https://doi.org/10.1007/s00181-011-0507-7

Rentschler, J., & Kornejew, M. (2017). Energy Price Variation and Competitiveness: Firm Level Evidence from Indonesia. *Energy Economics, 67*(1), 242-254. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.015

Rothman, D. S., Hong, J. H., & Mount, T. D. (1994). Estimating Consumer Energy Demand Using International Data: Theoretical and Policy Implications. *The Energy Journal, 15*(2), 67-88.

Serletis, A., Timilsina, G. R., & Vasetsky, O. (2010). Interfuel Substitution in the United States. *Energy Economics, 32*(3), 737-745. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.01.013

Steinbuks, J. (2012). Interfuel Substitution and Energy Use in the UK Manufacturing Sector. *The Energy Journal, 33*(1), 1-29.

Steinbuks, J., & Narayanan, B. G. (2015). Fossil Fuel Producing Economies Have Greater Potential for Industrial Interfuel Substitution. *Energy Economics, 47*(1), 168-177. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.11.001

Urga, G. (1999). An Application of Dynamic Specifications of Factor Demand Equations to Interfuel Substitution in US Industrial Energy Demand. *Economic Modelling, 16*(4), 503-513. https://doi.org/10.1016/S0264-9993(99)00012-7

Urga, G., & Walters, C. (2003). Dynamic Translog and Linear Logit Models: A Factor Demand Analysis of Interfuel Substitution in US Industrial Energy Demand. *Energy Economics, 25*(1), 1-21. https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00022-1

Uri, N. D. (1979). Energy Substitution in the UK, 1948–64. *Energy Economics, 1*(4), 241-244. https://doi.org/10.1016/0140-9883(79)90006-9

Uzawa, H. (1962). Production Functions with Constant Elasticities of Substitution. *The Review of Economic Studies, 29*(4), 291-299. https://doi.org/10.2307/2296305

Wadud, Z., Dey, H. S., Kabir, M. A., & Khan, S. I. (2011). Modeling and Forecasting Natural Gas Demand in Bangladesh. *Energy Policy, 39*(11), 7372-7380. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.066

Wang, X., & Lin, B. (2017). Factor and Fuel Substitution in China's Iron & Steel Industry: Evidence and Policy Implications. *Journal of Cleaner Production, 141*(1), 751-759. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.133

Xie, C., Du, K., Zhao, Y., & Brandon, N. P. (2016). Possibilities of Coal–Gas Substitution in East Asia: A Comparison among China, Japan and South Korea. *Natural Gas Industry B, 3*(4), 387-397. https://doi.org/10.1016/j.ngib.2016.12.004