مدل‌سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران: رویکرد مدل سری زمانی ساختاری[1]

تیمور محمدی[2] مرتضی خورسندی[3] مهران امیرمعینی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷

چکیده

این مطالعه با توجه به عوامل اقتصادی و عوامل برون‌زای غیراقتصادی، به الگو سازی و تخمین تقاضای انرژی برق در بخش صنعت ایران طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۳ می‌پردازد. با توجه به این‌که عوامل برون‌زای غیراقتصادی عمدتاً غیرقابل مشاهده هستند، رویکرد سری زمانی ساختاری که بر پایه تئوری اقتصادی شکل گرفته و از انعطاف پذیری سری زمانی نیز بهره می‌گیرد، مورد استفاده قرارگرفته است. عوامل غیرقابل مشاهده- روند ضمنی تقاضای انرژی (UEDT)- که احتمالاً ماهیت غیرخطی دارد، نه‌تنها پیشرفت فنی را نشان

---

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری با عنوان " مدل سازی عوامل مؤثر غیرقابل مشاهده بر تقاضای انرژی بخش صنعت در ایران" در دانشگاه علامه طباطبایی است.

۲. دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی؛ mohammadi@atu.ac.ir

۳. استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی؛ Mkhorsandi@atuac.ir

٤. دانشجوی‌دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشگاه علامه طباطبایی و مربی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، (نویسنده مسئول)؛ m_amirmoeini@iies.net

می‌دهد بلکه بیانگر تغییرات ساختاری، اجرای سیاست‌ها و استانداردهای کارایی انرژی و تغییر در رفتار وسلیقهٔ مصرف‌کننده است. بنابراین، با لحاظ این عوامل (UEDT) می‌توان تخمین دقیق‌تری از کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای انرژی برق در بخش صنعت داشت. نتایج تخمین مدل حاکی از وجود ماهیت تصادفی متغیرروند است و نشان می‌دهد که عوامل برون‌زای غیراقتصادی در شکل‌گیری تقاضای برق در بخش صنعت، نقش مؤثری دارند. صعودی بودن روندUEDT نشان می‌دهد که انرژی برق در بخش صنعت به شکل بهینه مصرف نشده است .در حقیقت، نقش عوامل برون‌زایی مانند پیشرفت تکنولوژی، تغییرات ساختاری، اجرای برخی از استاندارهای کارایی و صرفه‌جویی انرژی و همچنین دولتی بودن فعالیت‌ها، در رشد مصرف برق در بخش صنعت تأثیرگذار بوده‌اند. کشش‌های قیمتی و درآمدی (ارزش افزوده) تقاضای برق در بخش صنعت ایران درکوتاه مدت نیز به ترتیب ۰/۱- و ۰/۲۵ برآورد شده است. کشش متقاطع قیمتی‌بسیارکم بوده و حدود ۰/۰۶ تخمین زده شده وهرچند مقدار آن بسیار کم است ولی حاکی از جایگزین بودن گاز طبیعی با برق در این بخش است.

واژگان کلیدی: سری زمانی ساختاری، فیلتر کالمن، حداکثر درست‌نمایی، خودرگرسیون با وقفه توزیعی، روند ضمنی تقاضای انرژی

JEL: Q41, Q43, Q38, C22, C32

۱. مقدمه

شیوهٔ زندگی مردم با پیشرفت‌های فنی، اختراع و نوآوری دست‌خوش تحول شده است. در سال‌های گذشته، با پیشرفت تکنولوژی جایگزینی نیروی مکانیکی (سرمایه) با نیروی کار صورت گرفته و رشد اقتصادی، رشد بهره‌وری و بهبود استانداردهای زندگی و رفاه را در پی داشته است. کمبود انرژی در تأمین نیاز فعالیت‌های اقتصادی، منجر به کند شدن یا توقف رشد اقتصادی و همچنین کاهش استاندارد زندگی می‌شود. وابسته بودن شیوه و سطح زندگی به انرژی سبب شده که دیگر نتوان زندگی را بدون تجهیزات و ماشین‌آلات تصورکرد. به نظر مدلاک[1] (۲۰۰۹) یکی از مهمترین عوامل عقب‌ماندگی کشورهای کمتر توسعه یافته محدودیت دسترسی به خدمات پیشرفته و مدرن انرژی است.

قبل از شوک اول نفتی، بخش انرژی تنها به سمت عرضه توجه داشت و هدف تأمین نیازهای تقاضا از طریق توسعه این بخش بود. در اوائل دهه ۱۹۷۰ میلادی و درپی بحران اول نفتی و افزایش شدید قیمت نفت، انرژی مورد توجه سیاست‌گذاران قرارگرفت. تحقیق در مورد مباحث انرژی نیز به سرعت افزایش یافت و اهمیت پیش‌بینی تقاضا برای پوشش نیازهای آتی آشکار شد. البته نتایج پیش‌بینی روش‌های مختلف دارای انحراف زیاد بود و لذا، مدل‌های بسیاری توسعه یافت تا برآورد بهتری از نیازهای آتی تقاضا ارائه شود. سرمایه‌بر بودن پروژه‌های انرژی و طولانی بودن دوره اجرای آن، سبب گردیده که؛ برآورد تقاضای کل انرژی (تجمیع شده[2])، تقاضای انرژی در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی و به تفکیک حامل‌های انرژی لازم و ضروری[3] باشد.

تحلیل تقاضای انرژی در بخش صنعت، یکی از موضوعات مهم درکشورهای در حال توسعه است. بنابراین، به‌کارگیری روش‌های تحلیلی برای شناخت و درک بیشتر از تقاضای انرژی اهمیت می‌یابد. تحلیل و تفسیر تاریخی تحولات تقاضای انرژی، بخش

1. Medlock
2. Aggregate
3. Disaggregate

مهمی از تحلیل تقاضای انرژی است. چنین تحلیل‌هایی امکان شناسایی عوامل مهم تأثیرگذار بر تقاضای انرژی را فراهم می‌کند. در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی، لازم است تحلیل‌عوامل‌مؤثر و میزان اثر آن بر تقاضای انرژی در سطح کلان، بخش و به تفکیک حامل‌های انرژی صورت پذیرد. داشتن برآوردهایی از کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای انرژی به ویژه برای هریک از حامل‌های انرژی، امکان سیاست‌گذاری به ویژه از طریق ابزار قیمتی را فراهم می‌آورد. با به‌کارگیری ابزار و روش‌های مختلف از جمله اقتصادسنجی می‌توان تقاضای انرژی را تخمین زد و سپس با تحلیل عوامل تأثیرگذار به سباست‌گذاری انرژی کمک کرد. برای این هدف لازم است کلیه عوامل مؤثر بر تقاضا بعنی عوامل اقتصادی که معمولاً قابل مشاهده هستند و همچنین عوامل برون‌زای غیراقتصادی[1] که عمدتاً غیرقابل مشاهده هستند را در تبیین مدل تقاضای انرژی لحاظ کرد. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل عدم وجود سری زمانی بلند مدت معمولاً این عوامل- تأثیرگذار- از مدل حذف شده‌اند. به منظورداشتن تخمین دقیق‌تری از ضرایب لازم است این عوامل در مدل‌سازی تقاضای انرژی لحاظ شوند. قیمت و درآمد (ارزش افزوده) عوامل اقتصادی تأثیرگذار بر تقاضای انرژی هستند ولی عوامل غیراقتصادی مانند ساختار اقتصاد، شیوه زندگی و سلیقه مصرف‌کنندگان و همچنین بهبود تکنولوژی و اقدامات صرفه‌جویی انرژی در طی زمان اثر انکارناپذیری بر تقاضای انرژی داشته‌اند.

یکی از نقاط ضعف مدل‌های اقتصادی آن است که اثر پیشرفت‌های فنی را در مدل تقاضای انرژی لحاظ نمی‌کند. برای حل این مشکل، متغیر روند در مدل معرفی شد ولی برخی از تحلیل‌گران و پژوهشگران براین باورند که با توجه به ماهیت معین[2] (غیرتصادفی) متغیر روند، اثر تغییر و بهبود فنی به خوبی لحاظ نمی‌شود. برای حل این مشکل، مدل سری زمانی ساختاری[3] از سوی هاروی[4] (۱۹۸۹) پیشنهاد شد. در این مدل متغیر روند ساختار تصادفی به خود می‌گیرد و در نتیجه می‌توان اثر متغیرهای برون‌زای غیرقابل مشاهده را با

1. Non-economic exogenous factors
2. Deterministic
3. Structural Time Series Model (STSM)
4. Harvey

استفاده از روش‌های تخمین فیلترکالمن و حداکثر درست‌نمایی[1] برآورد کرد (هاروی[2]، ۱۹۸۹ و هاروی و شپارد[3] ۱۹۹۰و ۱۹۹۳). بنابراین، با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مناسب و با لحاظ عوامل غیراقتصادی می‌توان تخمین دقیق‌تری از تخمین‌ها و کشش‌ها داشت.

مصرف حامل‌های انرژی به ویژه برق، در روند توسعه کشورها نقش اساسی ایفا کرده است. از این‌رو شناخت تقاضای برق و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند نقش مؤثری در فرآیند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی انرژی داشته باشد. بخش صنعت که از مهمترین بخش‌های مصرف‌کننده برق در ایران است در تولید ناخالص داخلی نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی در این بخش لازم است عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی به تفکیک هر یک از حامل‌های انرژی صورت پذیرد. هدف این مطالعه برآورد نقش عوامل برون‌زای غیراقتصادی و ارائه تحلیل و تخمین دقیق‌تری از کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای برق در بخش صنعت است. بنابراین، در بخش دوم چارچوب نظری تقاضای انرژی ارائه شده است. پیشینه و ادبیات موضوع نیز در بخش سوم بررسی می‌گردد. در بخش چهارم روش‌شناسی تحقیق ارائه شده است. تبیین مدل تقاضای برق و نتایج اجرای مدل در بخش‌های پنجم و ششم ارائه می‌گردد و در نهایت نیز جمع‌بندی و پیشنهادات را خواهیم داشت.

۲. چارچوب نظری

۲-۱. پیشرفت‌های فنی و مفهوم روند ضمنی تقاضای انرژی[4] (UEDT)

مدت‌ها مدل‌سازان انرژی اعتقاد داشتند که متغیرهای درآمد و قیمت به تنهایی برای توضیح تحولات تقاضای انرژی کافی است. بنابراین، با فرض این‌که پیشرفت‌های فنی می‌تواند نتیجه افزایش قیمت باشد و کشش بلند مدت تقاضای انرژی تخمینی از آن ارائه

1. Maximum likelihood
2. Harvey
3. Harvey and Shephard
4. Underlying Energy Demand Trend (UEDT)

می‌دهد، این عامل اثرگذار مورد توجه قرار نگرفت، از این رو از مدل حذف شد. برخی از محققین در این فرض تردید نمودند و بر اهمیت پیشرفت‌های تکنولوژی و نقش آن تأکید کردند. لذا، متغیر روند را در مدل معرفی کردند و تلاش نمودند تا اثر پیشرفت تکنولوژی را در مدل لحاظ کنند که البته این روش نیز مورد نقد قرارگرفته است.

پیشرفت‌های فنی تجهیزات و ماشین آلات تقاضای انرژی را متأثر می‌کند، زیرا تقاضای انرژی، تقاضای مشتقه[1] است و در حقیقت به خاطر خودش تقاضا نمی‌شود، بلکه به دلیل تقاضا برای خدماتی است که تجهیزات و وسایل مصرف کننده انرژی در زمان مشخص ارائه می‌دهند. بینستوک و ویلکوکس[2] (۱۹۸۱) اعتقاد داشتند که در مدل سازی تقاضای انرژی لازم است پیشرفت فنی لحاظ گردد، بنابراین از متغیر روند معین (غیرتصادفی) در مدل پیشنهادی خود استفاده کردند. البته کوریس (۱۹۸۳) این‌کار را مورد نقد قرار داد و استدلال نمود که با وجود اهمیت تکنولوژی در تقاضای انرژی راه مناسبی برای شناسایی اثر آن بر تقاضای انرژی وجود ندارد مگر آن‌که بتوان آن را اندازه‌گیری نمود. بنابراین، با توجه به عدم وجود اندازه‌گیری مناسب، وی استدلال کرد که پیشرفت فنی را می‌توان در عکس‌العمل به تغییرات قیمت یعنی کشش قیمتی مشاهده کرد. بینستوک و ویلکوکس (۱۹۸۳) در پاسخ به وی استدلال‌کردند که هرچند استفاده از متغیر خطی روند کفایت نمی‌کند، ولی لازم است اثر برون‌زای پیشرفت فنی را درنظر گرفت و این کار بهتر از چشم‌پوشی‌کردن از آن است.

سطح تکنولوژی تحت تأثیر ترکیبی از عوامل برون‌زا و درون‌زا قرار دارد. هرچند افزایش قیمت انرژی می‌تواند منجر به پیشرفت‌های فنی گردد ولی لازم است تمایزی میان اثرات قیمت (کشش قیمتی) و اثرات مربوط به "پیشرفت‌های درون‌زای فنی"[3] قائل شد. همچنین، عوامل برون‌زایی مانند دستورالعمل استانداردهای کارایی انرژی که توسط دولت تدوین و اجرا می‌شود نیز می‌تواند موجب پیشرفت فنی شود. بنابراین، می‌توان گفت که

1. Derived demand
2. Beenstock and Willcocks
3. Endogenous technical progress

عوامل درون‌زا و برون‌زا در بلندمدت منجر به کاهش مصرف انرژی می‌شوند و در نتیجه منحنی تقاضای بلندمدت انتقال می‌یابد. به‌طورکلی می‌توان گفت که در مدل‌سازی تقاضای انرژی لازم است نقش مستقل برون‌زا و القایی درون‌زای پیشرفت فنی لحاظ شود. این اقدام سبب می‌شود تا تخمین ضرایب و کشش‌ها با دقت بیشتری انجام شود، در نتیجه راه برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی هموار می‌گردد(هانت ۲۰۰۳).

تاکنون تلاش‌های زیادی از سوی اقتصاد دانان برای تصریح مناسب‌ترین توابع تقاضای انرژی و روش‌های اقتصادسنجی برای تخمین ضرایب صورت گرفته است که تابع ترانس‌لوگ[1]، سیستم نقاضای تقریباً ایده‌آل[2] (AIDS)، سیستم مخارج خطی استون-گری، مدل تصحیح خطا[3] و مدل خودرگرسیونی با وقفه توزیعی[4](ARDL) از آن جمله است (بهاتاچاریا و تیمیسلینا،۲۰۰۹). برای آن‌که بتوان اثرسایر متغیرها به جز قیمت و درآمد را درمدل تقاضای انرژی لحاظ کرد، لازم است روش منعطفی را به‌کار گرفت. هانت و همکاران (۲۰۰۳) استدلال می‌کنند که لازم است پیشرفت فنی در مدل تقاضای انرژی لحاظ شود، زیرا به عقیده آنان باید میان اثر درون‌زا و اثرات برون‌زای قیمت و درآمد تمایز قائل شد. همچنین آنان اعتقاد دارند که علاوه بر تغییر تکنولوژی و تغییر در کارایی انرژی تجهیزات و ماشین‌آلات (موجودی سرمایه)، عوامل برون‌زای دیگری نیز وجود دارند که بر تقاضای انرژی اثر می‌گذارند. در نتیجه هانت و همکاران با توسعه این مفهوم، روند ضمنی تقاضای انرژی (UEDT) را پیشنهاد کردند که تغییرات فنی و سایر عوامل برون‌زا را در بر می‌گیرد. هانت و همکاران به این نتیجه رسیدند که اگر UEDT در مدل معرفی نگردد (یا به صورت نامناسب مدل شود)، منجر به اریبی در تخمین کشش‌های قیمتی و درآمدی خواهد شد. لازم به ذکر است ؛ اریبی تخمین به مفهوم تخمین بیشتر از اندازه[5] یا

1. Translog
2. Almost Ideal Demand System (AIDS)
3. Error Correction Model (ECM)
4. Autoregressive Distributed Lag (ARDL)
5. Overestimate

کمتر از اندازه[1] کشش‌ها است. برای مثال اگر UEDT واقعی دارای شیب (روند) منفی باشد و در مدل لحاظ نگردد در این صورت تخمین کشش درآمدی کمتر از حد خواهد بود(هانت و همکاران ۲۰۰۳). همچنین، آنان در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که UEDT نمی‌تواند خطی باشد، بنابراین متغیر روند معین قادر نیست اثر آن را لحاظ کند. بر اساس استدلال آن‌ها UEDT احتمالاً غیرخطی است و می‌تواند در برخی زمان‌ها شیب منفی (صرفه‌جویی انرژی) و در برخی دیگر شیب مثبت (رشد مصرف انرژی) داشته باشد. بنابر نظر هانت و همکاران (۲۰۰۳)، مدل کردن UEDTای که عمومیت داشته و از انعطاف لازم نیز برخوردار باشد، اهمیت دارد و لذا مدل سری زمانی ساختاری (STSM) که توسط هاروی معرفی شد را پیشنهاد کردند.

۳. پیشینهٔ موضوع

تلاش‌های بسیاری از سوی اقتصاددانان انرژی برای تصریح مناسب‌ترین توابع تقاضای انرژی و توسعه روش‌های اقتصاد سنجی برای تخمین ضرایب آن‌ها صورت گرفته است. استفاده از سری‌های زمانی تلاشی برای درک گذشته و حال و ارائه تصویری از آینده است. معمولاً این مطالعات بر پایه تخمین‌های اقتصادسنجی از کشش‌ها و ضرایب متغیرهای اصلی است و لذا تصریح مدل مناسب و به‌کارگیری روش‌های تخمین اهمیت می‌یابد. البته باید گفت که روش واحدی برای مدل‌سازی تقاضای انرژی وجود نداشته و معمولاً اجماعی نیز در مورد روش صحیح انجام کار یافت نمی‌شود. به‌علاوه هنوز هم در مورد مزایای نسبی روش‌های مختلف اقتصاد سنجی بحث‌های فراوان وجود دارد. همانطور که واتکینز[2] (۱۹۹۲) می‌گوید " همیشه یک راه منحصر به فرد وجود ندارد."

هاروی و کوپمن[3] (۱۹۹۳) با استفاده از رویکرد سری زمانی ساختاری و درنظرگرفتن پارامترهای متغیر در زمان[4]، تقاضای ساعتی برق برای شمال غرب آمریکا را بررسی کردند.

1. Underestimate
2. Watkins
3. Koopman
4. Time varying parameters

هانت و همکاران (۲۰۰۰) اولین تلاش را برای استفاده از STSM به منظور تخمین UEDT (روند ضمنی تقاضای انرژی) برای مصرف نهایی زغال سنگ، نفت، گاز، برق و کل انرژی با استفاده از آمارهای فصلی برای دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۲ انجام دادند و نتیجه گرفتند که؛ UEDT ماهیت تصادفی داشته و مانند مدل‌های قبلی ماهیت معین ندارد. به علاوه UEDT تخمین زده شده طی زمان نوسان داشته و بیانگر آن است که تقاضای انرژی تحت تأثیر متغیرهای غیرقابل مشاهده برون‌زا قرار داشته است. هانت و نینومیا[1] (۲۰۰۳) تقاضای نفت بخش حمل و نقل برای بریتانیا و ژاپن را با استفاده از STSM و داده‌های فصلی ۱۹۹۷ـ۱۹۷۱ بررسی کردند و نشان دادند که نتایج این مدل در مقایسه با مدل‌هایی که روند را معین در نظر می‌گیرند، بهتر است. هانت و همکاران (۲۰۰۳) تقاضای کل انرژی بریتانیا را با استفاده از STSM برای بخش‌های مختلف بریتانیا و با استفاده از داده‌های فصلی ۱۹۹۷ـ۱۹۷۲ مدل‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که متغیر روند، ماهیت تصادفی دارد. دیمیتروپولوس و همکاران[2] (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های سالانه برای دوره ۲۰۰۲ـ۱۹۶۷ تقاضای انرژی بخش‌های مختلف بریتانیا را برآورد کردند و نتیجه گرفتند که رویکرد STSM نتایج بهتری ارائه می‌دهد. دیمیتروپولوس، هانت و جاج[3] (۲۰۰۵) با بکارگیری روش سری زمانی ساختاری به اهمیت استفاده از روند تصادفی به جای روند ثابت و معین در تخمین تقاضای انرژی پرداختند و با استفاده از این روش روند ضمنی تقاضای انرژی برای بریتانیا را تخمین زدند.

آماراویکراما[4] و هانت (۲۰۰۸) تقاضای برق سری‌لانکا را طی دوره ۲۰۰۳ـ۱۹۷۰ با استفاده از شش روش مختلف برآورد کردند که یکی از آنها رویکرد STSM بود. نتایج نشان داد که این روش قابل مقایسه با رویکرد هم انباشتی است، ولی به صورت ضمنی حاکی از آن بود که STSM تنها روشی است که اجازه می‌دهد روند برون‌زای غیرخطی

1. Ninomiya
2. Demitropoulos et al.
3. John Dimitropoulos, Lester C, Hunt and Guy Judge
4. Amarawickrama

شناسایی[1] گردد. دورنات و همکاران[2] (۲۰۰۸) به تحقیق در مورد بار- ساعتی- برق فرانسه با استفاده از یک مدل فضا حالت چند متغیره طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۵ پرداختند که شامل روند تصادفی بود. آنان نشان دادند که مدل آنها پیش‌بینی بهتری را برای یک، دو و سه روز آتی ارائه می‌دهد ولی برای پیش‌بینی بلندمدت‌تر نیازمند بهبود بیشتر است.

آگنولوچی[3] (۲۰۱۰) توابع تقاضای انرژی و صنعت را طی دوره ۲۰۰۵ــ۱۹۷۳ و با بکارگیری روش‌های STSM و OLS تخمین زد و عکس‌العمل قیمتی غیرمتقارن را برای این دو رویکرد در نظر گرفت. نتیجه به‌دست آمده نشان داد که رویکرد سری زمانی ساختاری برای تخمین تقاضای انرژی کاراتر است.

الرباعی[4] و هانت (۲۰۰۶) از رویکرد سری‌های زمانی ساختاری برای مدل‌سازی روندهای ضمنی در تقاضای انرژی OECD بهره گرفتند و سپس کشش‌های بلندمدت درآمدی و قیمتی برآورد گردید. ماهیت تصادفی به‌جای شکل معین ترجیح داده شد تا از اریبی تخمین‌ها جلوگیری شود. ادییمی، برودستوک، چیت‌نیس، هانت و جاج[5] (۲۰۰۸) در پژوهشی ایده روندهای ضمنی تقاضای انرژی را توسعه دادند و عکس‌العمل نامتقارن قیمتی و UEDT را برای تقاضای کل انرژی OECD و با به‌کارگیری مدل سری زمانی ساختاری مدل‌سازی کردند.

ادییمی و برودستوک (۲۰۰۹) به بررسی نقش ابزارهای غیرقیمتی برتقاضای انرژی پرداخته و با اشاره به این نکته که تقاضای انرژی تنها تابعی از قیمت و درآمد نیست، نشان دادند که روندهای ضمنی در تقاضای انرژی(UEDT) بر تقاضای انرژی مؤثر است و این متغیر نه‌تنها می‌تواند پاسخ رفتاری به ابزارهای غیرقیمتی که شامل تغییرات فنی است را لحاظ کند، بلکه تغییرات ناشی از آگاهی عمومی در مورد محیط زیست را نیز در نظر می‌گیرد که به نوعی ترجیحات اساسی مصرف‌کننده است. بنابراین، با استفاده از مدل

1. Exogenous non-linear trend
2. Doornat et al.
3. Agnolucci
4. Alrabbaaie
5. Adeyemi, Broadstock, Chitnis, Hunt and Judge

سری‌های زمانی ساختاری می‌توان میزان عکس‌العمل مصرف‌کننده به ابزارهای غیرقیمتی را نیز برآورد کرد.

سلیمان سعد[1] (۲۰۱۱) تخمین توابع تقاضای انرژی برای کره‌جنوبی و اندونزی در سطح کلان (تجمیع شده) و بخش خانگی را با استفاده از رویکرد سری‌های زمانی ساختاری انجام داد. وی با استفاده از این رویکرد اقدام به برآورد روند ضمنی تقاضای انرژی که نه‌تنها پیشرفت‌فنی بلکه سلیقه و ساختار اقتصاد را نشان می‌دهد نمود. دلاور و هانت[2] (۲۰۱۱) با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی ساختاری رابطه کل مصرف برق با ارزش افزوده و قیمت در سطح کلان و بخش صنعت را بررسی‌کرده و تقاضای آتی برق ترکیه را برآورد نمودند.

در ایران امامی‌میبدی، محمدی و سلطان‌العلمایی(۱۳۸۹) تخمین تابع تقاضای فصلی گازطبیعی برای بخش خانگی تهران را با استفاده از فیلترکالمن انجام دادند. در این مطالعه به تأثیرگذاری عوامل‌غیرقابل مشاهده اشاره شده و برای درنظر گرفتن این اثرات و همچنین جلوگیری از اریبی تخمین ضرایب از روش فیلترکالمن استفاده شده است. چیت‌نیس (۱۳۸۴) با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی، کشش قیمتی تقاضای بنزین در ایران را برآورد کرده و نتیجه گرفته است که ماهیت روند در تابع تقاضای بنزین تصادفی است. در نتیجه، اجرای استانداردهای کارایی می‌تواند افزایش راندمان خودروها را در پی داشته باشد و منجر به کاهش تقاضای انرژی گردد. همچنین آماده (۱۳۹۲) با تخمین کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای نفت‌گاز در بخش کشاورزی مقایسه‌ای بین مدل هم انباشتگی و مدل سری زمانی ساختاری انجام داده است.

عسگری(۱۳۸۱) تقاضای برق در بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات را طی دوره ۱۳۷۸-۱۳۵۳ الگو کرده و کشش‌های درآمدی و قیمتی آن‌ها را با استفاده از دو روش حداقل مربعات معمولی و مدل تصحیح خطا، تخمین زده است. سقائیان نژاد و علیپور جدی

1. Suleiman Sa'ad
2. Dilaver and Hunt

(۱۳۷۷) تخمین دو مرحله‌ای از تابع مصرف انرژی در صنعت ایران طی دوره ۱۳۷۳-۱۳۴۶ با استفاده از مدل لاجیت داشته‌اند. صمدی، شهیدی و محمدی (۱۳۸۷) به تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم‌جمعی و مدل ARIMA[1] طی دوره ۱۳۸۳-۱۳۶۳ پرداخته‌اند. آذربایجانی، شریفی و ساطعی تقاضای انرژی برق در بخش صنعت را طی دوره ۱۳۸۱-۱۳۴۶ تخمین زده‌اند. چنگی آشتیانی و جلولی با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی و تکنیک‌های همجمعی به‌ویژه مدل خودرگرسیونی با وقفه توزیعی و مدل تصحیح خطا ضمن برآورد روابط کوتاه و بلندمدت تقاضای انرژی برق، پیش‌بینی تقاضای برق را برای افق ۱۴۰۴ ارائه داده‌اند.

٤. روش شناسی

در مدل سری زمانی ساختاری که توسط هاروی (۱۹۸۹) پیشنهاد شد، یک سری زمانی به اجزای مختلف که هر یک تفسیر مستقیم دارد، تجزیه می‌گردد. در شکل پایه این مدل (سری زمانی ساختاری)، متغیر وابسته با رگرسیون به روند زمانی[2] و متغیر مجازی فصل[3]، تجزیه می‌شود که در حقیقت مدل سری زمانی تک متغیره است. توسعه مدل تک متغیره به مدل سری زمانی چند متغیره با افزودن متغیرهای توضیحی قابل مشاهده امکان‌پذیر است (هاروی، ۱۹۸۹ و هاروی و شپارد، ۱۹۹۳).

در تحلیل سری زمانی کلاسیک که بر پایه مشاهدات یک سری زمانی است، فرض می‌شود که یک فرآیند تصادفی[4]، متغیرهای تصادفی[5] را پدید می‌آورند. مانایی این سری نیز بر اساس ویژگی‌های این فرآیند تصادفی شناسایی می‌گردد. هم‌چنین، برای ساخت یک مدل سری زمانی نیز از تئوری فرآیندهای تصادفی استفاده می‌شود. برای حل مشکل نامانایی از تفاضل‌گیری استفاده می‌شود که فرض مهم متدولوژی ARIMA است که توسط

1. Autoregresive Integrated Moving Average (ARIMA)
2. Time trend
3. Seasonal dummies
4. Stochastic process
5. Random variables

باکس و جنکینز (۱۹۷۶) ارائه شده است. در پیشینه تحقیق مدل سازی تقاضای انرژی، شاهد استفاده از رویکرد هم‌انباشتگی برای حل مشکل نامانایی متغیرها هستیم. توسعه آزمون‌های ریشه واحد که با روش هم‌انباشتگی همراه شد که "انقلاب ریشه واحد"[1] نامیده شد، در نتیجهٔ مدل سازی اقتصادسنجی سری‌های زمانی با به‌کارگیری روش هم‌انباشتگی به سرعت فراگیرشد.

محققین اقتصاد انرژی نیز همچون سایر حوزه‌های اقتصاد، به دنبال یک بردار همجمع برای یافتن روابط بلند مدت تقاضای انرژی می‌باشند. البته، روش هم‌انباشتگی توسط برخی از محققین مورد تردید و سؤال قرار گرفت. برای مثال افرادی مانند هانت و همکاران (۲۰۰۳) و مادلا و کیم (۱۹۹۸)). هاروی و شپارد (۱۹۹۳) استدلال کردند که اغلب سری‌های زمانی اقتصادی نامانا هستند ولی این پدیده دلیل خوبی برای مانا کردن آن‌ها از طریق تفاضل‌گیری نیست. به‌علاوه، هاروی (۱۹۹۷) رویکرد هم‌انباشتگی را به دلیل ویژگی‌های ضعیف آماری آن نقد کرده و استدلال می‌کند که این روش گمراه کننده است. بنابر نظر هاروی، در مدل سری زمانی ساختاری مانایی نقش مهمی را ایفا نمی‌کند، لذا این رویکرد هم انعطاف سری زمانی و هم تفسیر مستقیم رگرسیون را دارد و لذا، می‌توان از روش‌شناسی و رویکردی استفاده کرد که هماهنگ با پیشینه تحقیق اقتصادسنجی استاندارد است (هاروی و شپارد ۱۹۹۳، هاروی ۱۹۹۷). به‌علاوه، هانت و همکاران (۲۰۰۰و ۲۰۰۳) در مطالعات خود نتیجه گرفتند که رویکرد سری زمانی ساختاری بهترین روش برای مدل‌کردن روند ضمنی تقاضای انرژی[2] (UEDT) است؛ زیرا این رویکرد اجازه می‌دهدتا روند غیرقابل مشاهده به صورت تصادفی حرکت کند و با یک مدل خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی تلفیق گردد. بنابراین، می‌توان ضمن مدل کردن متغیرهای اقتصادی و وقفه‌های آن‌ها با لحاظ وقفه متغیر وابسته مدل را نیز پویا نمود و اثر بلند مدت را استخراج کرد. بنابراین داریم:

---

1. Unit root revolution

۲. در روابط زیر با μ_t نمایش داده شده است.

$$A(L)e_t = \mu_t + \gamma_t + B(L)Y_t + C(L)P_t + u_t \quad (۱)$$

که در آن e_t, Y_t و P_t به ترتیب تقاضای انرژی، ارزش افزوده بخش و قیمت انرژی است.

$A(L) = ۱ - \lambda_۱L - \lambda_۲L^۲ - \lambda_۳L^۳ - \lambda_۴L^۴$ (عملگر وقفه چند جمله‌ای)

$B(L) = ۱ + \alpha_۱L + a_۲L^۲ + a_۳L^۳ + a_۴L^۴$

$C(L) = ۱ + \varphi_۱L + \varphi_۲L^۲ + \varphi_۳L^۳ + \varphi_۴L^۴$

$\frac{B(L)}{A(L)}$ = کشش بلندمدت فعالیت (درآمد)

$\frac{C(L)}{A(L)}$ = کشش بلندمدت قیمتی

μ_t : روند تصادفی

γ_t : اختلاف فصلی تصادفی

u_t : جمله پسماند یا اخلال

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \pi_t \quad (۲)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t \quad (۳)$$

و در آن $\eta_t \sim NID(۰, \sigma_\eta^۲)$ و $\xi \sim NID(۰, \sigma_\xi^۲)$ و جمله پسماند نیز دارای توزیع نرمال است.

بطورکلی، می‌توان برای تفکیک اثرات روند، فصل و سیکل از مدل سری زمانی ساختاری کمک گرفت. بنابراین مشاهدات یک سری زمانی را می‌توان به روند، سیکل، فصل و جزء نامنظم[1] تجزیه کرد، از این رو فرمول زیر بدست خواهد آمد:

$$e_t = \mu_t + \psi_t + \gamma_t + \varepsilon_t \qquad t = ۱,...,T \quad (۴)$$

که در آن μ_t روند، ψ_t سیکل، γ_t فصل و ε_t جزء نامنظم (اخلال) بوده و فرض می‌شود که تمام چهار جزء، تصادفی است و باتوجه به بی‌نظمی و اخلال آن‌ها، همبستگی

1. Irregular components

میان آنها وجود ندارد. روند، فصل و سیکل از توابع معین زمان مشتق می‌شوند و جزء نامنظم نیز نوفه سفید[1] است. از آنجاکه در این مطالعه از آمارهای فصلی استفاده نمی‌شود، بنابراین جزء فصل و سیکل حذف می‌گردد. بنابراین معادله (۴) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$e_t = \mu_t + \varepsilon_t \quad , \quad t = ۱,...,T \qquad (۵)$$

لازم به ذکر است که در این مرحله متغیرهای توضیحی وجود ندشته و تنها جزء روند وجود دارد و متغیرهای توضیحی بعداً اضافه خواهد شد.

در یک رگرسیون کلاسیک متغیر روند (μ_t)، ماهیت معین[2] دارد یعنی:

$$\mu_t = a + \beta t \qquad (۶)$$

البته امکان تصریح عمومی‌تر آن نیز وجود دارد، زیرا μ_t را می‌توان از رابطه بازگشتی/عطفی به‌دست آورد.

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \beta \qquad (۷)$$

زمانی که $\mu_0 = a$ باشد. بنابراین با معرفی جزء تصادفی، روند خطی به روند تصادفی تبدیل می‌گردد:

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \qquad \eta_t \sim NID(0, \sigma_\eta^2) \qquad (۸)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \zeta_t \qquad \xi_t \sim NID(0, \sigma_\xi^2) \qquad (۹)$$

که در آن η_t و ξ_t همبستگی متقابل ندارند و دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ_η^2 و σ_ξ^2 هستند. جزء η_t امکان انتقال (به پایین و بالا) سطح روند[3] و جزء ξ_t امکان تغییر شیب آن را فراهم می‌کند. نوسانات تصادفی با افزایش واریانس بیشتر می‌شود. در صورتی که $\sigma_\eta^2 = \sigma_\xi^2 = 0$ باشد، معادله (۷) به معادله (۶) تبدیل می‌شود که نشان دهندهٔ وجود روند معین است که در حقیقت حالت خاصی از روند تصادفی است.

---

۱. متغیری با توزیع نرمال است.

2. Deterministic
3. Level of Trend

هایپرپارامترهای[1] مدل یعنی σ_{η}^{2} و σ_{ξ}^{2} را می‌توان با استفاده از حداکثر درست‌نمایی تخمین زد. پس از تخمین هایپرپارامترها با استفاده از شکل فضا حالت می‌توان اجزاء غیرقابل مشاهده را تخمین زد. هایپرپارامترهای برآورد شده اشکال متفاوتی از جزء روند را ایجاد می‌کنند که در جدول ۱ طبقه‌بندی شده‌اند (هاروی و شپارد[2]، ۱۹۹۳).

جدول ۱. اشکال مختلف تصریح روند

	سطح ثابت	سطح متغیر
بدون شیب	الف ـ مدل رگرسیون متعارف با سطح ثابت بدون روند زمانی	د ـ سطح نسبی
شیب ثابت	ب ـ مدل رگرسیون متعارف با روند معین	هـ ـ سطح نسبی همراه با مدل جابجایی (drift)
شیب تصادفی	ج ـ مدل روند هموار	و ـ مدل روند نسبی

منبع: هانت و همکاران (۲۰۰۳)

شکل و حالت UEDT را هایپرپارامترها یعنی واریانس شیب (σ_{ξ}^{2}) و واریانس سطح (σ_{η}^{2}) و همچنین واریانس جزء پسماند نامنظم $(\sigma_{\varepsilon}^{2})$ تعیین می‌کنند. تخمین هایپرپارامترها و سایر پارامترهای مدل توسط ترکیبی از روش حداکثر درست‌نمایی و فیلترکالمن انجام می‌شود. تخمین معادله پسماندها و پسماندهای کمکی[3] به ارزیابی و تحلیل مدل کمک می‌کند. پسماندهای کمکی شامل تخمین هموارشده جزءاخلال (پسماندهای نامنظم) مدل، تخمین‌های هموار شده جزء اخلال سطح (پسماند سطح) و تخمین‌های هموارشده جزء اخلال شیب (پسماندهای شیب) است.

برای داشتن ماهیت نرمال در پسماندهای کمکی(جزء نامنظم)، لازم است مداخله‌های[4] شیب و سطح شناسایی شود (کوپمن و همکاران[5]، ۲۰۰۷). بطورکلی، این مداخله‌ها اطلاعاتی در مورد شکست‌های مهم و تغییرات ساختاری در یک تاریخ معین در طول دوره تخمین را ارائه می‌دهند. جزء نامنظم را می‌توان به عنوان اثر ضربه[6] / تکانه توصیف کرد،

1. Hyperparameters
2. Harvey and Shephard
3. Auxiliary residuals
4. Interventions
5. Koopman et al.
6. Pulse effect

زیرا تنها اثر موقت و گذرا بر روند دارد و در نتیجه عکس‌العمل کوتاه‌مدت است و معمولاً برای در نظر گرفتن یک شوک یا رخداد غیرمنتظره است. البته مداخله‌های سطح و شیب اثر دائمی بر روند دارند، لذا اثرات آن‌ها تا پایان دوره تخمین تداوم دارد. به‌طور طبیعی این مداخله‌ها در مدل‌سازی تقاضای انرژی، «تغییرات ساختاری» را نشان می‌دهد که ناشی از اثر برخی از عوامل است و در روند تخمین زده شده خود را نشان می‌دهد. اگر هیچ مداخله‌ای وجود نداشته باشد، دراین صورت UEDT را با متغیر روند یعنی μ_t نشان داده می‌شود، ولی زمانی‌که مداخله‌ها وجود داشته باشد، فرمول زیر به‌دست می‌آید:

(۱۰) UEDT= μ_t + مداخله‌های نامنظم + مداخله‌های سطح + مداخله‌های شیب

همانطورکه گفته شد، مهم‌ترین مزیت سری زمانی ساختاری در تحلیل تقاضای انرژی، معرفی روند تصادفی است که در معادله (۲) و (۴) تعریف می‌شود و شناسایی تغییرات ساختاری در طی زمان را امکان‌پذیر می‌سازد. بنابراین متدولوژی STSM در این مطالعه به کار گرفته شده است.

٤-١. تخمین فرآیند توسط فیلترکالمن

مهم‌ترین ابزار برای تخمین مدل سری زمانی ساختاری شکل فضا حالت[1] است که بیانگر حالت سیستم توسط اجزاء غیرقابل مشاهده مانند روندها و فصول است. با در دسترس قرارگرفتن مشاهدات جدید، تخمین اجزاء غیرقابل مشاهده با استفاده از فرآیند فیلترکردن به‌روز می‌شود و می‌توان گفت الگوریتم هموارسازی[2] بهترین تخمین را از حالت در هر نقطه از نمونه ارائه می‌دهد (هاروی و شپارد، ۱۹۹۳).

همچنان‌که در بالا بحث شد، مدل سری‌های زمانی ساختاری شامل تجزیه متغیر وابسته یعنی تقاضای انرژی به اثر متغیرهای توضیحی (مانند قیمت و درآمد)، جزء روند و جزء نامنظم است. البته می‌توان مدلی بر پایه روند معین نیز تبیین کرد ولی همانطور که گفته شد، زمانی انعطاف وجود دارد که اجازه دهیم روند در طول زمان تغییرنماید و شکل تصادفی به

1. State space form
2. Smoothing algorithm

خود بگیرد. چارچوب آماری برای مدلی با اجزا غیرقابل مشاهده[1] شکل فضا حالت[2] است و اشاره به فضایی دارد که در آن محورها، متغیرهای حالت هستند و حالت یک سیستم را نیز می‌توان توسط برداری در فضا نمایش داد. شکل فضا حالت شامل یک معادله ستجش[3] و یک معادله انتقال[4] است، بنابراین خواهیم داشت:

معادله سنجش (۹) $e_t = K_t\alpha_t + G_t\varepsilon_t \quad , \quad t = 1,2,...,T$

معادله انتقال (۱۰) $\alpha_{t+1} = T_t\alpha_t + H_t\varepsilon_t$

در این سیستم امکان تغییر T_t, G_t, K_t و H_t در طول زمان وجود دارد. در شکل معین، ماتریس‌های سیستمی، ثابت هستند. معادله سنجش، بردارحالت غیرقابل مشاهده را به مقادیر اسکالر قابل مشاهدهٔ متغیر وابسته یعنی e_t مرتبط می‌کند. متغیرهای توضیحی K_t نیز اطلاعات اضافی برای توضیح تغییرات متغیر وابسته ارائه می‌دهد. اگر تغییرات متغیر وابسته تنها توسط متغیرهای توضیحی، توضیح داده شوند، آنگاه جزء روند به یک جزء ثابت تقلیل پیدا می‌کند. به‌علاوه معادله انتقال، دینامیک و پویایی در دوره زمانی را شناسایی نموده و متغیرهای غیرقابل مشاهده را تخمین می‌زند. فیلتر کالمن (۱۹۶۰) الگوریتم اصلی برای تخمین سیستم‌های پویا در شکل فضا حالت است. این فیلتر شامل گروهی از معادلات ریاضی است که راه حل بازگشتی بهینه[5] را ارائه می‌دهند و از روش حداقل مربعات استفاده می‌شود تا بهترین تخمین زننده خطی و ناریب از حالت سیستم در زمان t براساس اطلاعات در دسترس در زمان t-۱ و هم‌چنین به روزکردن این تخمین‌ها باتوجه به اطلاعات اضافی مربوط به زمان t بدست آید (کالمن، ۱۹۶۰). بنابراین، می‌توان گفت که راه حل بازگشتی به این مفهوم است که در فرآیند فیلترکردن با اضافه‌شدن مشاهده جدید به سیستم، برای حل مطلوب مجدداً محاسبه صورت می‌گیرد. با معرفی مشاهدات جدید به سیستم، تخمین اجزاء غیرقابل مشاهده با بکارگیری روش فیلترکردن قابل به روز شدن

1. Unobserved components model
2. State space form
3. Measurement equation
4. Transfer equation
5. Optimal recursive solution

است. (هاروی و شپارد ۱۹۹۳، کوپمن و کوماندیر[1]، ۲۰۰۷ و هاروی همکاران، ۲۰۰۵).

نمایش فضا حالت[2] سیستم، توسط گروه متغیرهای حالت انجام می‌شود. حالت، شامل تمام اطلاعات یک سیستم در یک زمان مشخص و مفروض است. این اطلاعات امکان مدل‌سازی رفتار گذشته سیستم را به منظور پیش‌بینی حالت آینده[3] آن فراهم می‌کند. مهم‌ترین ویژگی فیلتر کالمن توانایی آن برای پیش‌بینی گذشته، حال و آینده یک سیستم است. حتی اگر مشخصات دقیق سیستم مدل شده ناشناخته باشد. پارامترها و هایپرپارامترهای یک سیستم پویا را نمی‌توان از طریق اندازه‌گیری مستقیم به دقت شناسایی کرد. بنابراین، اندازه‌گیری شامل درجه‌ای از نااطمینانی است که با فرآیند تصادفی نشان داده می‌شود. (جالیس[4]، ۲۰۰۹).

پس از آن که مدل تعریف شد، شکل فضا حالت با الگوریتم‌های فیلترکردن و هموارسازی به‌دست می‌آید که می‌توان آن را برای حالت و سیستم ماتریس خطاهای شناخته شده نیز به کارگرفت. مقادیر ناشناخته در این ماتریس‌ها همان پارامترهایی هستندکه بایستی برآورد گردند. تخمین پارامترها با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی انجام می‌شود. در تخمین بازگشتی، مشاهده اولیه در نظرگرفته شده و باتوجه به مشاهدات جدیدی که به سیستم اضافه می‌شود، تخمین‌ها به‌تدریج به‌روز می‌شوند. لذا می‌توان گفت که مشاهدات دورتر در یک سری زمانی بر تخمین‌های نزدیک (اخیر) اثر گذارند. البته در صورت وجود تغییر ساختاری، رویکرد معین منجر به تخمین اریب می‌شود. از مزایای فیلترکالمن این است که تخمینی از مسیر تصادفی ضرایب را با استفاده از روش بازگشتی- به جای معین در نظر گرفتن آن‌ها- ارائه می‌دهد. در صورت وجود شکست ساختاری و تغییرات رفتاری، این روش می‌تواند مشکل اریبی تخمین را حل کند. (جالیس، ۲۰۰۹)

1. Commandeur
2. State space representation
3. Forecast the Future state
4. Jalles

۵. تبیین مدل تقاضای برق در بخش صنعت

بخش صنعت در سال‌های اخیر (۱۳۹۱- ۱۳۸۸)، به‌طور متوسط حدود ۲۵ درصد از مصرف انرژی نهایی و حدود ۱۶ درصد از ارزش افزوده کشور را به خود اختصاص داده است. بر اساس اطلاعات ترازنامه انرژی، سهم صنعت در مصرف برق دراین سال ها حدود ۳۶ درصد است که حدود ۲ درصد افزایش نسیت یه سال ۱۳۸۰ را نشان می‌دهد. هرچند سهم برق در طول زمان با تغییراتی مواجه بوده ولی روند تقاضای انرژی برق در بخش صنعت طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۳ حاکی از متوسط رشد سالانه ای معادل ۷/۰۶ درصد است. در حقیقت، مصرف برق در این بخش از ۵۰۰۱ گیگا وات ساعت (۴/۱ میلیون بشکه معادل نفت) در سال ۱۳۵۳ به ۶۶۷۳۶/۴ گیگا وات ساعت (۴۲/۳ میلیون بشکه معادل نفت) در سال ۱۳۹۱ رسید. با توجه به اطلاعات جدول ۲، بیشترین رشد سالانه مصرف برق در دوره ۱۳۸۰-۱۳۷۰ رخ داده که حدود ۱۱ است. در حالی‌که بالاترین رشد تولید (ارزش افزوده) در دوره ۱۳۷۰-۱۳۶۰ با متوسط نرخ سالانه ۷/۲۲ درصد تجربه شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تنها در دوره ۱۳۷۰-۱۳۶۰ شدت مصرف برق روندکاهشی داشته و در سایر دوره‌ها متوسط این شاخص افزایش نشان می‌دهد که حاکی از نیاز بیشتر به مصرف برق (نسبت مصرف به ارزش افزوده) برای ایجاد یک واحد تولید (ارزش افزوده) است. به عبارت دیگر، عدم استفاده بهینه از برق در بخش صنعت را نشان می‌دهد. این پدیده در طول دوره بررسی (۱۳۹۱-۱۳۵۳) نیز مشاهده می شود، یعنی تولید بخش صنعت سالانه به طور متوسط رشد ۶ درصدی را تجربه کرده در حالی که رشد سالانه مصرف برق حدود ۷ درصد بوده است. نمودار۱ نیز روند مصرف انرژی و تغییرات شدت مصرف برق را نمایش می‌دهد.

قیمت واقعی برق با استفاده از شاخص قیمت مصرف‌کننده و متوسط قیمت فروش برق به بخش صنعت برآورد شده است و روند نزولی در بیشتر مقاطع مشاهده می‌شود. دلیل اصلی شکل‌گیری این روند آن است که تنها در برخی از سال‌ها تعدیل قیمت‌ها صورت پذیرفته

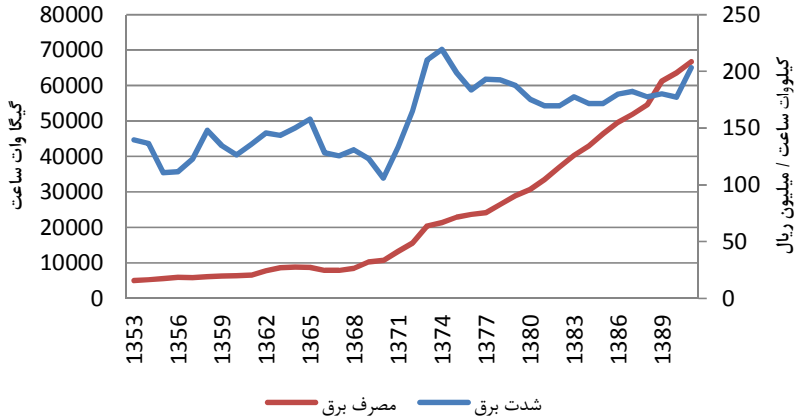
و در سال‌های بعد، ثابت باقی مانده است. لذا، عامل تورم باعث ایجاد روند نزولی قیمت واقعی شده است.

جدول ۲. رشد تولید و مصرف برق در بخش صنعت در دوره‌های مختلف

دوره	رشد تولید (درصد)	رشد مصرف (درصد)
۱۳۵۳-۱۳۶۰	۴/۹	۳/۴۱
۱۳۶۰-۱۳۷۰	۷/۲۲	۵/۳۴
۱۳۷۰-۱۳۸۰	۵/۷۲	۱۱/۱۹
۱۳۸۰-۱۳۹۱	۵/۸۸	۷/۳۱
۱۳۵۳-۱۳۹۱	۶/۰	۷/۰۶

منبع: محاسبات نویسندگان

نمودار ۱. روند مصرف برق و شدت برق طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۳



منبع: ترازنامه انرژی و حساب‌های ملی

همانطورکه بحث شد، عواملی همچون تغییرات تکنولوژیک و تغییرات ساختاری[1] نیز می‌تواند بر سطح مصرف برق بخش صنعت اثرگذار باشد. همچنین می‌توان به نقش

۱. بخش صنعت بر اساس کد ISIC تقسیم بندی می‌شود و برخی از این گروه‌ها مانند گروه فلزات اساسی، گروه مواد معدنی غیرفلزی، کاغذ و صنایع نساجی به شدت انرژی‌بر هستند.

بنگاه‌های دولتی و خصوصی و تغییرات آن در طول زمان اشاره کرد که می‌تواند از دیگر عوامل تأثیرگذار بر سطح مصرف انرژی برق در این بخش باشد. اجرای مقررات و استانداردها از سوی دولت که در راستای سیاست‌های انرژی دولت قرار می‌گیرد نیز می‌تواند از عوامل اثرگذار بر سطح تقاضای برق در بخش صنعت باشد.

مدل سری‌زمانی ساختاری برای تبیین مدل تقاضای انرژی برق در بخش صنعت مورد استفاده قرارگرفته است. بنابراین، با توجه به نقش عوامل اقتصادی همچون سطح تولید بخش صنعت(ارزش افزوده)، قیمت واقعی برق و همچنین قیمت واقعی سایر حامل‌های انرژی همچون قیمت گازطبیعی و فرآورده‌های نفتی در شکل‌گیری تقاضای انرژی از یک‌سو و اثر عوامل برون‌زای غیر اقتصادی (روند ضمنی تقاضای برق) از سوی دیگر، مدل تقاضای برق در بخش صنعت تبیین شده است. هم‌چنین نرم افزار STAMP 8.2 برای تخمین مدل به‌کارگرفته شده است.

٦. تخمین و نتایج مدل

به منظور ارزیابی و پذیرش نتایج حاصل از اجرای مدل، لازم است آزمون‌هایی با استفاده از برخی آماره‌ها انجام شود. به همین منظور برای معیار خوبی برازش از آماره‌های واریانس خطای پیش‌بینی، انحراف میانگین خطای پیش‌بینی و نسبت واریانس‌خطای پیش‌بینی به انحراف میانگین خطای پیش‌بینی و همچنین ضریب تعیین استفاده شده است.

آماره‌های نرمال بودن(بومن-شنتون[1])، کشیدگی[2] و چولگی[3] که برای تشخیص نرمال بودن هایپرپارامترها هستند، به‌کار گرفته شده‌اند. این آماره‌ها به ترتیب دارای توزیع تقریبی $\chi^2_{(2)}$ ، $\chi^2_{(1)}$ و $\chi^2_{(1)}$ می‌باشند.

آماره H(10) نیز نشان دهنده واریانس ناهمسانی است که دارای توزیع F(10,10) است.

r(1) و r(5) ضرایب همبستگی سریالی برای وقفه معادل را نشان می‌دهد که توزیع آن نیز

1. Bouman-Shenton
2. Kurtosis
3. Skweness

تقریباً نرمال است.

D.W آماره دوربین واتسون است و Q(5,4) آماره باکس-لیونگ[1] است که دارای توزیع $\chi^2_{(6)}$ است و در حقیقت همبستگی سریالی وقفه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۳، نتایج تخمین مدل تقاضای برق در بخش صنعت را نشان می‌دهد. در مدل مطلوب، تقاضای انرژی تابع متغیرهای سطح فعالیت بخش (ارزش افزوده)، قیمت واقعی برق و قیمت واقعی گازطبیعی- به عنوان جایگزین برق- است. با توجه به نتیجه آزمون‌ها، ماهیت تصادفی متغیر روند با شکل مدل روند نسبی مورد تأیید قرارگرفت که در آن متغیر روند درسطح و در شیب حالت تصادفی دارد. بر اساس نتایج مدل مطلوب، کشش‌های قیمتی و ارزش افزوده به ترتیب حدود ۰/۱۰- و ۰/۲۵ تخمین زده شده‌اند. با توجه به این‌که مقادیر تخمین مربوط به سال پایانی دوره است می‌توان آن را برآوردی از کشش بلند مدت نیز دانست. کشش متقاطع قیمتی گاز نیز حاکی از جایگزینی بسیار ضعیف برق با گاز است که در این‌جا حدود ۰/۰۶ تخمین زده شده است. در حقیقت گران بودن نسبی برق سبب شده است که این کشش بسیار کم برآورد گردد، ولی نشان می‌دهد که تقاضاکنندگان برق در بخش صنعت با افزایش نسبی قیمت گاز تجهیزات برقی را جایگزین تجهیزات گازسوزی می‌کنند که همان خدمات را ارائه می‌دهند. با توجه به ضریب درست‌نمایی[2] برآورد شده، محدودیت صفر برای هایپر پارامترها تأیید نشد و بنابراین مدل‌سازی تصادفی را نمی‌توان رد کرد.

همان‌طورکه گفته شد علاوه بر جزء اخلال رگرسیون لازم است جملات پسماند مربوط به اجزاء نامنظم، شیب و سطح نیز توزیع نرمال داشته باشند. بنابراین، در صورتی‌که این اجزاء توزیع نرمال نداشته باشند، لازم است با شناسایی مداخله‌ها و مقادیر دور افتاده این ویژگی تأمین گردد. با توجه به آن‌چه که بحث شد از دید آماری این مداخله‌ها در مدل سری‌زمانی ممکن است علامتی از شکست ساختاری و عدم ثبات در طول دوره تخمین باشد. هرچند از دیدگاه اقتصادی این مداخله‌ها اطلاعاتی در مورد وقایع خاص و دوره‌هایی

1. Box-Ljung
2. Likelihood Ratio

که بر رفتار مصرفی بنگاه‌ها اثرگذاشته را آشکار می‌نماید و در نتیجه نیاز به تحقیقات بیشتر را نشان می‌دهد. در مدل تقاضای انرژی مطلوب سال‌های ۱۳۵۷،۱۳۷۲،۱۳۷۰،و ۱۳۷۳ به عنوان مداخله‌شناسایی شده‌اند. لازم به ذکر است که تنها مداخله سال ۱۳۷۳ در سطح اثر گذاشته و منجر به انتقال تابع تقاضای برق در بخش صنعت شده است. سایر مداخله‌ها ماهیت شوک داشته‌اند و اثر آن در سال بعد خنثی شده و روند گذشته تداوم یافته است. بر اساس جدول ۳ و با توجه به آماره مربوط به آزمون‌های تشخیص، نتایج مدل برآوردشده تأیید می‌شود.

جدول۲. نتایج تخمین مدل و آزمون‌های آماری

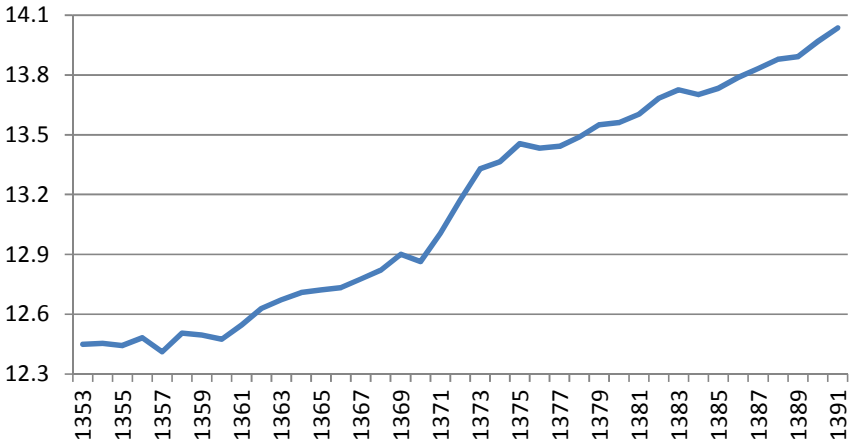
متغیر وابسته: LNGAS		
تخمین کشش‌های درآمدی و قیمتی:	**کشش کوتاه مدت**	**کشش بلندمدت**
LVADI	۰/۲۴۹ (۳/۲۶)	۰/۲۴۹
LPELEC	-۰/۰۹۹ (۲/۳۶)	-۰/۰۹۹
LPNGAS	۰/۰۶۲ (۱/۸۸)	۰/۰۶۲
مداخله‌ها	Irr 1357, Irr1370,Irr1372,Lev1373	
تخمین هایپرپارامترها:		
(Irregular) واریانس جزء نامنظم	۰/۰۰	
(Level) واریانس جزء سطح	۰/۰۰۱۶	
(Slope) واریانس جزء شیب	۰/۰۰۰۰۴۵	
ماهیت مدل	**مدل روند نسبی** *(Local Trend Model)*	
خوبی برازش:		
$p.e.v$	۰/۰۰۱۴۷	
$p.e.v/m.d^2$	۱/۲۱۶	
R^2	۰/۹۹۸	
R_d^2	۰/۷۴۵	
AIC	-۶/۰۶	
BIC	-۵/۶۷	
آماره‌های تشخیص:		
۱- جزء خطا		
خطای استاندارد	۰/۰۳۸۳	

نرمال بودن	۰/۸۰۲
H(10) واریانس ناهمسانی	۰/۸۱۱
r(1)	-۰/۰۰۷۹
r(6)	-۰/۱۳۳
D.W	۱/۸۸
Q(6,4)	۲/۱۸
نرمال بودن (بومن-شنتون)	**۲- اجزای خطای کمکی**
نامنظم	۰/۲۷۹
سطح	۱/۲۵
شیب	۰/۲۲۴
محدودیت صفر برای هایپرپارامترهاLR(a)	۱۲/۴۲
محدودیت صفر برای هایپرپارامترهاLR(b) (تنها سطح معین)	۲۷/۷۴
Failure	۴/۳۹
CUSUM	-۰/۲۴۹

منبع: یافته های تحقیق

نمودار۲ نشان می‌دهد که روند UEDT برآورد شده صعودی همراه با برخی نوسانات است. لذا، می‌توان گفت که با ثابت بودن سطح تولید و قیمت، مصرف برق افزایش می‌یابد. این پدیده حاکی از آن است که طی دوره تخمین میزان برق‌بری بخش صنعت افزایش یافته است. ازسوی دیگر با فرض‌ثابت بودن سایر عوامل و شرایط، افزایش درشدت برق که در این‌جا با UEDT صعودی نشان داده شده ، منعکس کننده انتقال منحنی تقاضای برق به راست است. بنابراین، می‌توان گفت که نقش عوامل برون‌زای غیر قابل مشاهده مانند بهبود فنی و تغییرات ساختاری از یک سو و دولتی بودن فعالیت‌های صنعتی از سوی دیگر در افزایش مصرف برق تأثیرگذار بوده‌اند.

نمودار۲. روند ضمنی تقاضای انرژی برق طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۵٤



۷. جمع‌بندی و پیشنهادات

تحلیل تقاضای انرژی در بخش صنعت یکی از موضوعات مهم درکشورهای در حال توسعه است. بنابراین، به‌کارگیری روش‌های تحلیلی برای شناخت و درک بیشتر از تقاضای انرژی، اهمیت می‌یابد. در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی لازم است تحلیل‌عوامل‌مؤثر و میزان اثر آن بر تقاضای انرژی در سطح کلان، بخش و به تفکیک حامل‌های انرژی صورت پذیرد. بنابراین، با داشتن برآوردهایی از کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای انرژی به ویژه برای هریک از حامل‌های انرژی و همچنین اثر عوامل مؤثر برون‌زای غیر اقتصادی، امکان سیاست‌گذاری به ویژه از طریق ابزار قیمتی فراهم می‌آید. با به‌کارگیری ابزار و روش‌های مختلف از جمله اقتصادسنجی، می‌توان تقاضای انرژی را تخمین زده و با تحلیل عوامل تأثیرگذار به سیاست‌گذاری انرژی کمک کرد.

مصرف حامل‌های انرژی به ویژه برق در روند توسعه کشورها نقش اساسی ایفا کرده است. از این‌رو شناخت تقاضای برق و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند نقش مؤثری در فرآیند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی انرژی داشته باشد. بخش صنعت از مهمترین بخش‌های مصرف‌کننده برق در ایران است و نقش مهمی نیز در تولید ناخالص داخلی ایفا می‌کند.

بنابراین، برای تحلیل عوامل مؤثر بر تقاضای برق در بخش صنعت لازم است مدل‌سازی و تخمین تقاضای برق، با لحاظ عوامل اقتصادی و عوامل برون‌زای غیراقتصادی انجام شود. مهمترین عوامل برون‌زای غیراقتصادی که عمدتاً غیرقابل مشاهده نیز هستند، شامل بهبود فنی، تغییر در ساختار اقتصاد، نقش دولت و بخش خصوصی در بخش صنعت و همچنین سیاست‌گذاری انرژی و اجرای استانداردهای کارایی انرژی است که هر یک می‌توانند در تعیین سطح تقاضای انرژی مؤثر باشند. با به‌کارگیری مدل سری زمانی‌ساختاری که از سوی هاروی پیشنهاد شد و توسط هانت و همکاران در بخش تقاضای انرژی توسعه یافت، می‌توان تقاضای انرژی برق در بخش صنعت را مدل کرده و اثر عوامل اقتصادی و همچنین عوامل غیرقابل مشاهده را نیز تخمین زد.

با استفاده از این رویکرد مدل‌سازی، تقاضای انرژی برق در بخش صنعت ایران انجام گرفت تا ضمن برآورد اثر عوامل غیرقابل مشاهده، تخمین دقیق‌تری از کشش‌های قیمتی و درآمدی داشت. نتایج نشان می‌دهد که متغیر روند ماهیت تصادفی داشته و در دوره مورد بررسی (۱۳۹۱-۱۳۵۳) اثر یکسان و ثابتی برای سال‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. ضمن آن‌که مدل سطح نسبی با توجه به آزمون‌های مختلف مورد تأیید قرار گرفته است. هم‌چنین عوامل غیرقابل مشاهده نقش تعیین‌کننده‌ای در تقاضای برق بخش صنعت داشته‌اند. کشش‌های قیمتی و درآمدی به ترتیب حدود ۰/۱- و ۰/۲۵ تخمین زده شدند همچنین کشش متقاطع قیمتی نیز ۰/۰۶ برآورد شده که حاکی از جایگزینی برق با گاز طبیعی است.

ذکر این نکته ضروری است که درگذشته سیاست‌های اقتصادی ایران بر مبنای دسترسی آسان به انرژی و قیمت‌های نازل بنا گردیده بود که مانعی برای درک اهمیت انرژی و حامل‌های آن ازسوی مصرف‌کنندگان شد. بنابراین، می‌توان گفت که تا قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، انگیزه مالی لازم برای اجرای سیاست‌های صرفه‌جویی انرژی از سوی عاملین اقتصادی یا مصرف‌کنندگان انرژی وجود نداشت. از آن‌جا که طی سه دهه گذشته، هزینه انرژی نقش مهمی در تصمیم‌گیری و انتخاب تکنولوژی ماشین‌آلات و

تجهیزات نداشته است، بنگاه‌های اقتصادی در بخش صنعت، ماشین‌آلات و تجهیزاتی را به‌کار گرفته‌اند که راندمان انرژی آن‌ها پایین‌تر است که به مفهوم هزینه‌سرمایه‌گذاری کمتر و هزینه عملیاتی[1] بیشتر است. به علاوه باید به این نکته نیز اشاره کرد که توسعه صنایع انرژی‌بر که تغییر در ساختار صنعت را منجر می‌شود نیز می‌تواند در ایجاد این شرایط اثرگذار باشد. از سوی دیگر به دلیل ساختار غیر رقابتی در اقتصاد، افزایش هزینه به راحتی به قیمت کالا انتقال می‌یابد و در نتیجه سودآوری اکثر فعالیت‌ها حفظ شده و انگیزه‌ای برای افزایش کارایی انرژی تجهیزات و ماشین‌آلات و هم‌چنین جایگزینی آن‌ها وجود نداشته است.

با توجه به پایین بودن کشش قیمتی برآورد شده، نمی‌توان انتظار داشت که رشد مصرف برق در این بخش به سرعت کاهش یابد مگر آن‌که از یک‌سو در ساختار صنعت تغییرات اساسی ایجاد شود و از سوی دیگر صنایع ملزم به رعایت ضوابط و استانداردهای کارایی تجهیزات و ماشین‌آلات شوند و دولت نیز اجرا و نظارت آن را به خوبی انجام دهد. در این‌صورت لازم است صنایع با برق‌بری کمتر و تکنولوژی پیشرفته‌تر جایگزین صنایع برق‌بر فعلی شوند که به مفهوم ارزش افزوده بیشتر و مصرف برق کمتر است.

با توجه به ساختار فعلی بخش صنعت، سیاست صرفه‌جویی و بهینه‌سازی انرژی که تنها به دنبال افزایش قیمت برق است به تنهایی نمی‌تواند منجر به کاهش مصرف برق در این بخش شود. لذا، لازم است دولت با توجه به سیاست‌های غیرقیمتی در این بخش، استانداردهای مربوط به کارایی انرژی[2] دستگاه‌ها و تجهیزات را تدوین نموده، سپس اجرا نظارت آن را به یک نهاد مستقل واگذار کند. از سوی دیگر دولت می‌تواند با اتخاذ یک سیاست قیمتی مناسب، انگیزه لازم را برای اقدامات صرفه‌جویی برق توسط صنایع ایجاد کند. همچنین، دولت می‌بایست با حمایت از شرکت‌های خدمات انرژی و ایجاد بسترمناسب، انگیزه‌های مالی لازم برای اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت را تسهیل و تسریع نماید.

---

۱. بخشی از هزینه عملیاتی را هزینه انرژی تشکیل می‌دهد.

۲. برخی از این استانداردها تدوین شده است.

منابع و مآخذ

- آذربایجانی، کریم؛ شریفی، علیمراد و ساطعی، مهسا ؛ (۱۳۸۵). "تقاضای انرژی الکتریکی در بخش صنعت"؛ مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۳، خرداد و تیر، صص. ۱۶۶-۱۳۳.
- آماده، حمید؛ (۱۳۹۲). "تحلیل اقتصاد سنجی تقاضای نفت گاز در زیربخش حمل ونقل جاده‌ای- مقایسه رهیافت هم‌انباشتگی وSTSM"؛ فصل‌نامه اقتصاد انرژی، شماره۳۹، سال دهم، صص. ۷۵-۵۱.
- اداره حساب‌های اقتصادی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، "حساب‌های ملی"، (۱۳۹۲و ۱۳۸۳).
- امامی میبدی، علی؛ محمدی، تیمور و سلطان‌العلمایی، سیدمحمدحسین؛ (۱۳۸۹). "تخمین تابع تقاضای گازطبیعی به روش کالمن فیلتر (مطالعه موردی تقاضای بخش خانگی شهر تهران)"؛ فصل‌نامه اقتصاد مقداری، شماره ۳، دوره ۷، صص. ۴۱-۲۳.
- چنگی آشتیانی، علی و جلولی، مهدی؛ (۱۳۹۱)."برآورد تابع تقاضای برق و پیش‌بینی آن برای افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ ایران و نقش آن در توسعه کشور با توجه به هدفمند شدن یارانه‌های انرژی"؛ پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، شماره ۷، سال دوم، تابستان، صص. ۱۹۱-۱۶۹.
- دفتر برنامه‌ریزی انرژی، معاونت امور انرژی، وزارت نیرو، "ترازنامه انرژی"، (سال‌های مختلف).
- صدرزاده مقدم، سعید؛ زین‌العابدین، صادقی و قدس‌الهی، احمد؛ (۱۳۹۲). "تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به ظاهر نامرتبط SUR"؛ فصل‌نامه اقتصاد محیط زیست و انرژی، شماره ۶، سال دوم، بهار، صص. ۱۲۷-۱۰۷.
- صمدی، سعید؛ شهیدی، آمنه و محمدی، فرزانه؛ (۱۳۸۷). "تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم جمعی و مدل ARIMA طی ۱۳۶۳تا ۱۳۸۷"، مجلهٔ دانش و توسعه، شماره ۲۵، سال پانزدهم، صص. ۱۳۶-۱۱۳.

- سهیلی،کیومرث؛ (۱۳۸۶). "الگوهای تقاضا و تحلیل دینامیک تقاضای انرژی در ایران"؛ پژوهش‌های اقتصادی، تابستان، شماره ۲، سال هفتم، صص.۸۶-۶۷.
- شریفی، علیمراد و شاکری، ابوذر؛ (۱۳۹۰). "هدفمند کردن یارانه حامل‌های انرژی و تحلیل تقاضای پویای نهاده انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۳، سال یازدهم، پاییز، صص. ۲۵-۱.
- شکیبایی، علیرضا؛ زین‌العابدین، صادقی و اعمی‌بنده‌قرائی، حسن؛ (۱۳۸۸). "تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش نهاده انرژی در بخش صنعت در بلند مدت"؛ دو فصل‌نامه جستارهای اقتصادی، شماره ۱۱، سال ششم، بهار و تابستان، صص. ۱۵۵-۱۳۳.
- چیت‌نیس، مونا؛ (۱۳۸۴). "برآورد کشش قیمتی تقاضای بنزین با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی"، شماره ۳، سال پنجم، صص. ۱۶-۱.
- عسکری، علی؛ (۱۳۸۱). "تخمین تقاضای برق در بخش صنعت، کشاورزی و خدمات و برآورد کشش‌های قیمتی و درآمدی"، مجله برنامه و بودجه، شماره ۶ ، دوره ۷، صص.۵۷-۴۷.
- مدیریت تأمین و توزیع، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی،"آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا"، (۱۳۹۲).
- Beenstock, M. and Willcocks, P. (1983). “Energy and Economic Activity: A reply to Kouris” Energy Economics; 5; pp. 212.
- Beenstock, M. and Willcocks, P. (1983). “Energy Consumption Economic Activity in Industrialized Countries” Energy Economics; 3; pp. 225-232.
- Broadstock, David C. and Lester C. Hunt (2010), “Quantifying the Impact of Exogenous Non-economic Factors on UK Transport Oil Demand”, Energy Policy, Vol. 38, pp. 1669-1565.
- Broadstock, David C. and Alan Collins (2010), “Measuring Unobserved Prices Using the Structural Time-series Model: The Case of Cycling, Transportation Research Part A, 44, pp. 195–200.
- Bhattacharyya, Subhes C. and Govinda R. Timilsina (2009), “Energy Demand Models for Policy Formulation: A Comparative Study of Energy Demand Models “, Policy Research Working Paper, The World Bank.
- Chitnis, Mona and Lester C. Hunt (2011) “ Modelling UK household expenditure: economic versus noneconomic drivers”Applied Economic Letters, vol. 18, pp. 753-766.
- Chitnis, Mona and Lester C. Hunt (2009) “What drivers the change in UK household energy expenditure and CO_2 emission: economic or noneconomic

factors" RESOLVE Working Paper Series, 07-09 , University of Surrey, Guilford.

- Dimitropoulos, John, Lester C. Hunt and Guy Judge (2005), "Estimating Underlying Energy Demand Trends Using UK Annual Data", Applied Economics Letters, 12, pp. 239-244.
- Dilaver, Zafer and Lester C. Hunt (2011), "Industrial Electricity Demand for Turkey: A Structural Time Series Analysis", Energy Economics, 33, pp. 426-436.
- Dilaver, Zafer and Lester C. Hunt (2011), "Turkish Aggregate Electricity Demand: An Outlook to 2020" Energy Economics, 36, pp. 6686-6696.
- Harvey, A. C. (1989), "Forecasting, Structural Time Series Model and the Kalman Filter, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Harvey, A. C. and S. Peters (1990), "Estimation Procedures for Structural Time Series Models" Journal of Forecasting, Vol. 9, pp. 89-108.
- Harvey, A.C. and S, J. Koopman (1992), "Diagnostic Checking of Unobserved-components Time Series Models", Journal of Business and Economics Statistics, 10, pp. 377–389.
- Harvey, Ac. And Shephard, N. 1993, "Structural time series models" In: Maddala GS. Rao, CR. And Vinod. HD. (Eds). Handbook of statistics, Vol. 11 North Holland, Amsterdam, pp. 261-302.
- Hunt, L.C., G. Judge and Y. Ninomiya (2003), "Underlying Trends and Seasonality in UK Energy demand: A Sectoral Analysis", Energy Economics, 25, pp. 93–118.
- Hunt, L.C and Y. Ninomiya (2003), "Unraveling Trends and seasonality: A Structural Time Series Analysis of Transport Oil Demand in the UK and Japan", The Energy Journal, 24, pp. 63–96.
- Jalles, JT. 2009, "Structural time series model and kalman filter. Amconcise review. "FEUNL working paper series wp 541.
- Jones, C. T., 1994, "Accounting for technical progress in aggregate energy demand", Energy Economics, 16, pp. 245-52.
- Kalman, RE. 1960, " A new approach to linear filtering and prediction problems", Journal of Basic Engineering. 82, pp. 35-54.
- Medlock, KB. (2009), "Energy Demand Theory" in International Handbook on the Economics of Energy, Evans, J. and Hunt LC (Edt), Edward Elgar Publishing, UK.
- Sa'ad, Suleiman (2011), "Underlying Energy Demand Trends in South Korean and Indonesian Aggregate Whole Economy and Residential Sectors", Energy Policy, 39, pp. 40-46.