DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.1.8.2

سال هشتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ص ص ۶۳- ۶۹

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۷

بررسی عوامل موثر بر تقاضای انرژی به‌منظور برنامه‌ریزی توسعه پایدار در کشور

شیوا انصاریپور[۱]، یونس نوراللهی[*۲،۳]، حسین یوسفی [۲]، امین عباس گلشن فرد[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته مهندسی سیستم‌های انرژی، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲- دانشیار، گروه مهندسی انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳- آزمایشگاه تحقیقاتی مدلسازی انرژی و توسعه سیستمهای انرژی پایدار (متساپ)، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

* تهران، صندوق پستی:۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Noorollahi@ut.ac.ir

چکیده

در طول تاریخ، تأمین انرژی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر بوده و خواهد بود. امروزه، این تأمین انرژی بصورت هوشمندانه‌تری انجام می‌پذیرد. برنامه‌ریزی مناسب برای تأمین انرژی از اهداف هر جامعه می‌باشد. مقدمه‌ی برنامه‌ریزی صحیح برای توسعه پایدار، وجود دید واقع بینانه‌ایی نسبت به آینده می‌باشد. در بخش انرژی نیز این دید نسبت به آینده در میزان تقاضا برای انرژی و همچنین وضعیت منابع موجود می‌باشد. در این مقاله، سعی بر مطالعه‌ی تقاضا انرژی در بخش های مختلف مصرفی شامل بخش‌های کشاورزی، حمل ونقل، صنعتی، حرارتی و در نهایت نیروگاهی شده تا به دید درست و قابل اطمینانی نسبت به آینده دست پیدا کنیم. برای این کار، به بررسی مقالات با موضوع های مشابه در ایران و کشورهای دیگر پرداخته‌ایم تا عواملی که در نظر گرفته شده اند را با هم مقایسه کنیم و به مدلی مناسب برای میزان تقاضای انرژی در کشور ایران دست پیدا کنیم. با استفاده از دسترسی به افق آینده مصرف، که این مدل در اختیارمان قرار می‌دهد، قادر به برنامه‌ریزی توسعه پایدار و اجرای طرح تأمین میزان انرژی مورد نیاز با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر خواهیم شد.

کلیدواژگان: تقاضای انرژی، مدلسازی تقاضا، برنامه‌ریزی انرژی، توسعه پایدار، رشد بهره‌وری از انرژی‌های تجدیدپذیر

An investigation on effective factors of energy demand utilized in sustainable development planning

Shiva Ansaripour[1], Younes Noorollahi[2,3*], Hossein Yousefi [2], Aminabbas Golshanfard[1]

1- Master of Science (MSc) Student, Renewable Energies Engineering, Department of Reneawable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Iran

3- Energy Modelling and Sustainable Energy System Research Lab, , Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Noorollahi@ut.ac.ir

Received: 26 October 2019 Accepted: 17 March 2020

Abstract

Energy supply was one of the most important concerns of mankind Throughout history that recently is done more consciously. Proper planning to supply energy is from the goals of every society. The introduction of proper planning is the existence of a realistic view of the future. In the energy sector, there is also a view of the future in terms of demand for energy as well as the status of available resources. In this paper, the demand for energy in different sectors of consumption is investigated to achieve an accurate and reliable view of the future. The energy consuming sectors can be defined as agricultural, transportation, industrial, thermal and finally the electrical power generation sector. To do so, articles on similar topics case study of Iran and other countries were studied to compare the factors that have been considered to achieve a suitable model for energy demand in the country of Iran. Using the future horizon of consumption, which the model shows, make us be able to plan sustainable development and implement the amount of energy needed using renewable energy sources.

Keywords: energy demand, demand modeling, energy planning, sustainable development, renewable energy growth

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است

۱- مقدمه

پیش بینی تقاضای انرژی، برای فعالیت هایی چون برنامه ریزی انرژی، سیاست‌گذاری و اجرای پروژه های پیشنهادی و همچنین تعیین روش تامین انرژی مورد نیاز با توجه به محدودیت های مربوط به کنترل و کاهش انتشار، کاری بسیار ضروری می‌باشد[۱]. برنامه‌ریزی انرژی، شامل شناسایی معیارهای مختلف و اهداف در یک محیط تعاملی می‌باشد[۲]. از اصلی‌ترین ابزارهای فعالیت‌های ذکرشده، روش‌های پیک‌سایی و استفاده و افزایش بهره‌وری از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند.

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت جهان که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۸.۵ میلیارد نفر برسد، افزایش مصرف انرژی نیز رو به فزونی می‌باشد. همچنین با افزایش وابستگی به تکنولوژی و توسعه اقتصادی، میزان تقاضا برای انرژی افزایش می‌یابد. تأمین این انرژی، بطور معمول از طریق منابعی چون گاز طبیعی و مشتقات نفتی انجام می‌پذیرد. این منابع دو مشکل اساسی دارند، یکی محدود بودن و رو به کاهش بودن ذخایر آنها و دیگری، انتشار گازهای گلخانه‌ایی می‌باشد که باعث آلودگی محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی می‌شود[۱،۳].

در کشور ایران نیز، مشکل آلودگی محیط زیست و همچنین ارزیابی عمر منابع و نیاز به سیاست‌گذاری در حوزه‌های مختلف انرژی، ضرورت انجام مطالعات پیش‌بینی تقاضا برای آینده دور و نزدیک را چندین برابر می‌کند.

برنامه‌ریزی صحیح مبتنی بر اطلاعات قابل اطمینانی از آینده‌ی مصرف انرژی، می‌تواند منجر به اجرای سیستمی اقتصادی با حداکثر بهره‌وری و پایدار شود[۱].

با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله سعی بر شناخت روش‌های مدلسازی و تخمین تقاضای انرژی در آینده، و عوامل موثر بر تغییرات میزان تقاضای انرژی شده است. لذا در بخش۲، به بررسی متدهای موجود در منابع مطالعه شده در رابطه با مدلسازی و در نتیجه تخمین تقاضای انرژی پرداخته می‌شود. در بخش ۳ نیز، با مطالعه موردی سکتورهای مصرفی انرژی یعنی بخش‌های حمل‌ونقل، کشاورزی، صنعتی، حرارتی و نیروگاهی، فاکتورهای مهم و تأثیرگذار برروی مصرف در این بخش‌ها مشخص شده‌اند. در بخش ۴ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری انجام می‌شود.

۲- روش‌های مدلسازی

دراین بخش به معرفی چند روش مرسوم مدلسازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی پرداخته می‌شود.

با توجه به نمودار شکل۱، بطورکلی ابزارهای مدلسازی و پیش‌بینی تقاضا به مدل‌های آماری، هوش ماشین، مدل مصرف کننده نهایی و روش‌های ترکیبی و... قابل تقسیم‌اند.

۲-۱- مدل های آماری[1]

شامل روش‌های کلاسیک و بیزی می‌باشد که اساس این روش‌ها ارزیابی داده‌ها بر اساس اطلاعات و روابط آماری می‌باشد.

شبکه‌های بیزین از سال ۱۹۸۰ ارائه و توسعه یافت. این شبکه‌ها یک گراف جهت‌دار است که ارتباط بین متغیرها را بیان می‌کند[۴].

از پرکاربردترین روش‌های کلاسیک، روش هموارسازی نمایی با استفاده از ضرائب تصحیح، تحلیل روند[2]و سری‌های زمانی[3]را می‌توان نام برد.

۲-۱-۱- تحلیل روند

تحلیل روند یک روش غیر علّی است که توضیح می‌دهد چگونه مقادیر متغیر پیش‌بینی شده، تعیین می‌شود [۱]. در تحلیل روند به نحوه برازش داده های سری زمانی توجه می‌شود. روندهایی چون خطی، درجه دوم، درجه سوم، لگاریتمی، معکوس، توانی، ترکیبی، لجستیک، توانی، نمایی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند که درستی آن‌ها با توجه به مقدار R^2 و MSE مشخص می‌شود [۵].

در بین روش‌های تحلیل روند، تابع کاب‌داگلاس در مدلسازی تقاضا بسیار پرکاربرد می‌باشد. این تابع برای اولین بار در سال ۱۹۲۸برای مدلسازی تابع تولید به‌کار گرفته شد تا اینکه امروزه برای فرمولاسیون تقاضا نیز از آن استفاده می‌کنند. کاربرد آن نیز به این صورت است که طبق رابطه۱ ، هر تعداد متغیر بعنوان X_n در نظر گرفته می‌شوند و متغیر تقاضا نیز Y می‌باشد. با گرفتن لگاریتم عدد طبیعی از هر دو طرف معادله، معادله ۲ حاصل می‌شود که بصورت خطی می‌باشد. برای بدست آوردن مدل مورد نظر، کافی است با استفاده از یکی از روش‌های رگرسیون‌گیری، ضرائب معادله را بدست آورده و همبستگی هرکدام از متغیر هارا با مقادیر R و p ارزیابی کرده و آن متغیرهایی که همبستگی مناسبی ایجاد نمی‌کنند را حذف نمود.

$$Y = k(X_1)^{a_1} \times (X_2)^{a_2} \times \dots \quad (1)$$

$$lnY = C + a_1 lnX_1 + a_2 lnX_2 + \cdots \quad (2)$$

در این تابع ضرائب منفی نشان دهنده رابطه معکوس بین متغیر و تقاضا می‌باشد.

۲-۱-۲- سری زمانی

روش‌های سری زمانی در واقع زیر مجموعه‌ای از مدل‌های اقتصادسنجی می‌باشند که در آن رفتار یک متغیر تنها با مقادیر متأخر خود توضیح داده می‌شود. سادگی و عدم نیاز به جمع‌آوری داده‌ها بر روی متغیرهای چندگانه از جمله مزایای اصلی این روش هستند [۱].

سری‌های زمانی به سری‌های ایستا و ناایستا تقسیم می‌شوند. یک سری زمانی وقتی ایستاست که تغییر منظمی در میانگین و واریانس آن وجود نداشته و تغییرات دوره‌ایی اکید در آن حذف شده باشد. سری های ناایستا را می‌توان با تفاضلی نمودن یا پایدار نمودن واریانس آن به سری‌های ایستا تبدیل نمود [۶].

تغییراتی که در سری‌های زمانی به دست می‌آید، می‌تواند بر اثر عوامل طبیعی یا عوامل دیگر باشد. بنابراین بایستی اجزای تشکیل دهنده‌ی آن را شناخت و آن‌ها را اندازه‌گیری کرد.

انواع مدل‌های سری زمانی عبارتند از: مدل اتورگرسیون[4]، مدل میانگین متحرک[5] و ... .

[1] Statistical Methods
[2] Trend analysis
[3] Time series
[4] Auto regression (AR)
[5] Moving average (MA)

برخی از فرآیندها وجود دارند که دارای چند ویژگی می‌باشند که جزء مدل‌های ترکیبی محسوب می‌شوند. مدل‌های اتورگرسیون و میانگین متحرک(آرما) و مدل اتورگرسیون و میانگین متحرک تجمعی(آریما) از جمله مدل‌های ترکیبی می‌باشند [۶].

روش آریما نوعی رگرسیون‌گیری و سری زمانی می باشد که پیش‌بینی مقادیر آینده با توجه به الگوی گذشته سری‌های زمانی بدون استفاده از متغیرهای مستقل دیگر را انجام می‌دهد [۱].

مدل آریما نیز بصورت ARIMA(p, q, d) توصیف می‌شود که p مرتبه خود رگرسیو، q مرتبه میانگین متحرک و پارامتر d معرف مرتبه تفاضلی می‌باشند [۵].

۳-۲- ابزارهای یادگیری ماشین

شامل روش‌هایی چون شبکه‌های عصبی، روش منطق فازی، الگوریتم ژنتیک، عصبی_فازی، و متدهای جدیدتر مثل رگرسیون بردار پشتیبان[۳] می‌باشد [۷].

شبکه‌های عصبی مصنوعی، از شبکه‌های عصبی مغز انسان الهام‌گرفته‌اند و محققان در زمینه‌های مختلف به دلیل توانایی آن در یافتن راه‌حل‌ها در مجموعه داده‌های چندبعدی، غیرخطی و پیچیده از آن استفاده می‌کنند. این روش به راحتی با مدل‌های غیرخطی و تحت ساختار داده‌های ناقص انطباق داشته و نتایج موفقی را ارائه می‌کند. شبکه عصبی شامل تعداد زیادی از عناصر محاسباتی(نورون ها) هستند که با یکدیگر در تعامل هستند و پس از یادگیری الگوهای شناخت پیچیده، این دانش را در موقعیت‌های مختلف تعمیم می‌دهند[۸].

شبکه عصبی سه بخش اصلی دارد. در بخش اول، نورون‌هایی وجود دارند که تعدادی ورودی را دریافت می‌کنند و لایه ورودی نامیده می‌شوند. بخش دوم و سوم به ترتیب لایه پنهان و لایه خروجی نامیده می‌شوند. فرآیند آموزش توسط این لایه‌ها انجام می‌شود و در نهایت، خروجی در لایه خروجی با توجه به ورودی و چگونگی آموزش آن‌ها به دست خواهد آمد[۱].

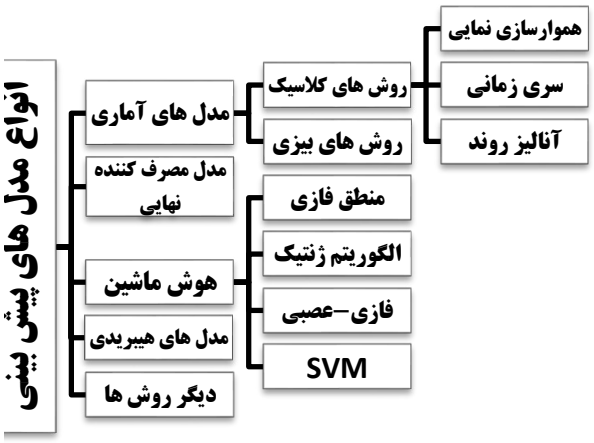
روش رگرسیون بردار پشتیبان به دلیل موفقیت خود در حل مشکلات تبدیل به یک روش داده کاوی عمومی شناخته شده‌است. زیربنای مفهومی آن ناشی از نظریه یادگیری آماری است. این روش یک تکنیک یادگیری نظارت شده است که توابع نقشه‌برداری ورودی- خروجی را از مجموعه داده‌های آموزشی تولید می‌کند و برای غلبه بر برخی کاستی‌های شبکه عصبی، مانند مسائل ساخت شبکه، مشکلات بیش برازش، و تعیین تعدادی از نقاط داده برای آموزش مدل توسعه داده شده است[۸].

۳-۳-مدل مصرف‌کننده نهایی و روش‌های ترکیبی

استفاده از تحلیل مصرف کننده نهایی نیازمند داده‌های تفصیلی در مورد هر یک از کاربردهای نهایی (برای مثال در بخش کشاورزی تعداد تراکتورها، پمپ‌ها و غیره) است که معمولاً اطلاعات لازم در کشورهای در حال توسعه موجود نیست[۳].

معمولاً روش های ترکیبی یا هایبرید به علت جبران نقطه ضعف‌های هر روش و صحت بیشتر در پیش‌بینی، از جمله روش‌های مورد توجه می‌باشند [۲]. بطور مثال بدست آوردن ضرائب تابع غیرخطی با استفاده از مدل رگرسیون توزیع شده متأخر خودکار[۴] و یا الگوریتم ژنتیک از جمله روش‌های هیبرید می‌باشند.

Auto regression and moving average (ARMA)[۱]
Auto regressive integrated moving average (ARIMA)[۲]



شکل۱ نمودار درختی برخی از روش‌های مدلسازی و پیش‌بینی

۳- عوامل موثر در تعیین تقاضای انرژی دربخش های مصرفی

در این زمینه مقالات و مراجع متعددی وجود دارند که به بررسی این موضوع می‌پردازند. تحقیقات انجام شده مدلی برای تخمین تقاضای انرژی در دوره‌های کوتاهی چون ساعتی، روزانه و ماهیانه و دوره طولانی مدت یعنی سالیانه و در برخی موارد ماهیانه ارائه می‌دهند به این دلیل که عوامل تاثیرگذار در دوره‌های بلند و کوتاه ممکن است متفاوت باشند. لذا هر بخش جداگانه مورد بررسی قرارگرفته است.

۳-۱- بخش حمل و نقل

یکی از فعالیت های جدایی‌ناپذیر زندگی اجتماعی بشری حمل‌ونقل می‌باشد. این بخش از آلاینده‌ترین بخش‌های مصرفی است. بیشترین حجم سوخت‌های مصرفی در این بخش مربوط به بنزین، گازوئیل و گازمایع می باشد[۹].

تقاضا در بخش حمل و نقل، قابل تقسیم به دو دسته کلی شخصی یا مسافربری و حمل بار یا ترابری می‌باشد. می‌توان گفت بخش شخصی و مسافربری بیشتر از ترابری تحت تاثیر عوامل محیطی و اقتصادی قرار می‌گیرد و به تغییرات پاسخ سریع‌تری می‌دهد[۱۰]. متغیرهای تقاضا در بخش مسافربری عواملی چون پارامترهای زیر می‌باشند:

- قیمت استفاده از هر نوع وسیله که شامل قیمت سوخت، بلیط وسائل نقلیه و هزینه نگهداری از وسائل نقلیه شخصی.
- کیفیت مطلوب در طول زمان سفر، امنیت و راحتی آن با توجه به تکرر عبور از یک مسیر
- سطح درآمد افراد جامعه
- نرخ بیکاری
- عادات و ترجیحات مصرف‌کنندگان (استفاده اکثریت جمعیت از وسائل نقلیه عمومی یا شخصی، متوسط زمانی که افراد جامعه حاضرند در طول روز در حال سفر باشند[۱۰].

در بین عوامل ذکر شده، عادات مصرف‌کنندگان متغیری نسبتاً ثابت می‌باشد. مثلاً متوسط زمانی که اشخاص حاضرند در طول روز در حال سفر باشند مقداری برابر۱٫۱ساعت برای هر نفر در ۲۴ساعت و در تمامی دوران

support vector regression (SVR)[۳]
Auto Regressive Distributed Lag Model (ARDL)[۴]

های تاریخی بین ۰.۸ تا ۱.۲ تغییر کرده است. عوامل دیگر نیز معرّف و وابسته موقعیت اقتصادی یک کشور می‌باشند.

مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی بخش ترابری، تولید ناخالص داخلی می‌باشد. با افزایش تولید ناخالص داخلی، میزان حمل و نقل نیز افزایش می‌یابد. این رابطه تقریبا در تمام کشورهای جهان صادق بوده است. در برخی از کشورها مثل ایالات متحده آمریکا، روسیه، ژاپن و چین این رابطه بعد از سال ۲۰۰۰ میلادی ضعیف‌تر شد بطوری‌که با افزایش تولید ناخالص داخلی، لزوماً حمل و نقل ترابری افزایش نیافته. تأثیر اینترنت در کاهش حمل‌ونقل در کار مدیریت و یادگیری، انجام کار در منزل[1] یا برگزاری جلسات اینترنتی و همچنین تجارت اینترنتی[2]ملموس می‌باشد[۱۰].

در [۲]، با در نظر گرفتن عواملی چون جمعیت بخش شهرنشین و روستایی و همچنین تعداد وسائل نقلیه به بهترین همبستگی در پاسخ مدلسازی رسیده. همچنین نتیجه نشان داده است که تعداد جمعیت روستایی تأثیر منفی روی میزان تقاضا دارد. علت این رابطه معکوس می‌تواند ناچیز بودن مسافرت‌های بین شهر و روستا در مقابل کم بودن مسافت حمل‌ونقل در نواحی روستایی باشد. بین دو عامل جمعیت شهرنشین و تعداد وسائل نقلیه، ضریب جمعیت بزرگتر و در نتیجه اثر بیشتری روی تقاضا دارد[۳].

میرحسین موسوی و همکاران در [۱۱]، تقاضای مشتریان بنزین و گازوئیل را در بخش حمل‌ونقل مدلسازی کرده‌اند. در این تحقیق، با استفاده از روش سری زمانی، بوسیله‌ی ترند مصرفی ۳۶سال گذشته، روند مصرف برای آینده را مدل کرده و با استفاده از الگوریتم فیلتر کالمن پارامترها تعیین شده‌اند. توابع بدست آمده بیانگر این هستند که تقاضای بنزین و گازوئیل کشش خیلی کمی دارند. کشش بنزین در تغییر قیمت بین ۰.۱۷- و ۰.۲۳- می‌باشد و برای گازوئیل بسیار ناچیز می‌باشد. کشش بنزین و گازوئیل در تغییر درآمد به ترتیب بین ۰.۳۴تا ۰.۴۸و ۰.۳۳ تا ۰.۵۲ می‌باشند. با این وجود در [۱۱] به این مهم اشاره شده که قیمت سوخت در کشور ایران در مقایسه با دیگر کشورها بسیار پایین‌تر می‌باشد و روند افزایش قیمت باید سرعت بیشتری داشته باشد.

همانطور که در جدول۱ نیز مشخص شده، [۱۲] نیز عواملی چون جمعیت،تولید ناخالص داخلی و تعداد وسائل نقلیه را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار برشمرده است.

۲-۳- بخش کشاورزی

کشاورزی، کم‌مصرف‌ترین بخش مصرفی می‌باشد. از موارد مصرفی انرژی می‌توان به پمپاژ آب از چاه و آبیاری، سوخت مصرفی ماشین‌آلات مورد استفاده و همچنین روشنایی می‌باشند که مصرف‌کننده بنزین، گازوئیل و نفت سفید و الکتریسیته می‌باشد [۹].

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، کشاورزی بخش غالب در توسعه اقتصادی است. کشاورزی در ایران نیز، یک فعالیت مرکزی در اقتصاد است که حدود ٪۱۰ از تولید ناخالص داخلی و ٪۲۰ اشتغال و همچنین ٪۲۰صادرات غیرنفتی را تشکیل می‌دهد اما متوسط مصرف انرژی در این بخش در ایران حدود سه برابر مصرف جهانی می‌باشد[۱].

رضا مقدسی و همکاران در[۱۳] با استفاده از تابع لگاریتمی کاب-داگلاس مصرف انرژی در قسمت کشاورزی را در کشور ایران مدلسازی کرده‌اند. نتایج این مدلسازی حاکی از این‌اند که یک درصد تغییر در نیروی کار، هزینه اولیه و انرژی مصرفی، به ترتیب منجر به ۴.۰۷، ۰.۰۹و ۰.۴۹درصد تغییر در تولید محصولات کشاورزی می‌شود. همچنین در بلند مدت، در کشور ایران، بین فاکتور کلی تولید و مصرف انرژی رابطه منفی وجود دارد. علت این رابطه می‌تواند ارزان بودن قیمت انرژی و استفاده غیربهینه از آن باشد.

در [۱]، با در نظر گرفتن ۴ حوزه مصرف انرژی این بخش و استفاده از متدولوژی آریما و داده‌های ۲۴سال گذشته، تخمین تقاضا از سال۲۰۱۵ تا ۲۰۲۶ انجام شده است. نتایج حاکی از کاهش مصرف سه نوع سوخت رایج و افزایش مصرف برق می‌باشد. همچنین، در این مقاله به تأثیر وجود یارانه و دور بودن قیمت حامل های انرژی از قیمت های جهانی و همچنین رشد تکنولوژی، اشاره شده‌است.

در جدول۲ به مقالات دیگر بررسی شده نیز اشاره شده. [۱۴] تقاضای انرژی بخش کشاورزی در کشور پاکستان را به عواملی چون:

- میزان تولیدات بخش کشاورزی در کشور
- تکنولوژی مورد استفاده در کشاورزی
- یارانه سوخت این بخش
- تعداد کشاورزی‌های غیردیمی

وابسته دانسته است. برای این کار از روند لگاریتمی استفاده شده است.

۳-۳- بخش صنعت

بخش صنعت، از مهم‌ترین بخش‌های انرژی‌بر و همچنین موثر بر رشد اقتصادی است بطوری‌که نزدیک به یک سوم تولیدات انرژی به مصرف این بخش می‌رسند[۱۵]. این بخش شامل زیرشاخه های زیادی چون کارگاه‌ها و کارخانه‌ها، پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی و... می‌باشد[۹].

مقاله [۱۵] به بررسی کشش تقاضا در بخش صنعتی، باتوجه به تغییر درآمد و قیمت در اتحادیه اروپا می‌پردازد. روش استفاده شده یک مدل چند مرحله‌ای پویا می‌باشد که ورودی آن اطلاعات مصرفی مربوط به سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ می‌باشد. در نتیجه این تحقیق، اگر قیمت حامل‌های سوخت و درآمد صنعت هرکدام ٪۱۰ افزایش پیدا کنند، در دراز مدت، تقاضای انرژی این بخش به ترتیب ٪۸,۱ افزایش و ٪۶,۸ کاهش می‌یابد.

تأثیر تغییرات قیمت بخش صنعتی بر روی بازدهی مصرف انرژی بخش پتروشیمی کشور ایران در [۱۶] بررسی شده‌است. این مدلسازی بوسیله تابع کاب-داگلاس انجام شده است. البته برخی از پارامترهای تعیین کننده بازدهی برای ساده‌سازی در نظر گرفته نشده‌اند. پارامترهایی چون نسبت نیروی کار به انرژی، نسبت سرمایه به کل مصرف انرژی، هزینه نیروی‌کار و هزینه سرمایه و تکنولوژی. نتیجه این تحقیق بیانگر تأثیر مثبت افزایش قیمت در بازدهی انرژی یا به عبارت دیگر، در بهبود شدت انرژی دارد.

در نتیجه مدلسازی مصرف انرژی بخش صنعتی با پارامترهای اقتصاد کلان در کشور نپال در[۳] قابل انجام نبوده است. باتوجه به اینکه از روش کاب-داگلاس استفاده شده و ضرائب با استفاده از رگرسیون بدست آمده‌اند، نبودن رابطه توصیف کننده ارتباط مصرف با متغیر های مورد نظر با مقدار p در رگرسیون تشخیص داده میشود.اگر مقدار p از ۰.۰۵ بیشتر باشد نشان دهنده‌ی عدم ارتباط مناسب بین دو پارامتر است. دلیل این اتصال ضعیف مصرف انرژی در صنعت و تولید ناخالص داخلی ممکن است به دلیل فقدان در نظر گرفتن مصرف سوخت در شرکت‌ها و کارخانه ها همراه خروجی اقتصادی آن‌ها باشد.

[1] Teleworking

[2] e-commerce

در بررسی انجام شده در کشور ژاپن[۱۷] کشش تقاضای انرژی نسبت به تغییرات قیمت و درآمد مشخص شد مصرف‌کنندگان بخش صنعتی و خانگی بعد از نابسامانی توزیع برق و بحران اقتصادی حساسیت کمتری نسبت به قیمت داشته و بعد از حادثه فوکوشیما این کشش بیشتر شده است اما کشش درآمد در طول دوره مورد مطالعه ثابت بوده است.

جدول۱ بررسی مقالات و منابع مربوط به تقاضای بخش حمل‌ونقل

سال انتشار	منطقه	روش	تعداد داده	معیارها	شماره منبع
۲۰۱۴	نپال	کاب داگلاس	۱۴	تعداد وسایل نقلیه جمعیت شهری جمعیت روستایی	[۳]
۲۰۱۹	-	-	-	قیمت درآمد کیفیت وسایل جمعیت و میانگین سنی	[۱۰]
۲۰۱۷	ترکیه	کلونی زنبور	۴۴	جمعیت تولید ناخالص داخلی تعداد وسایل نقلیه	[۱۲]
۲۰۱۹	ایران	فیلتر کالمن	۳۶	درآمد قیمت تکنولوژی	[۱۱]

جدول۲ بررسی مقالات و منابع مربوط به تقاضای بخش کشاورزی

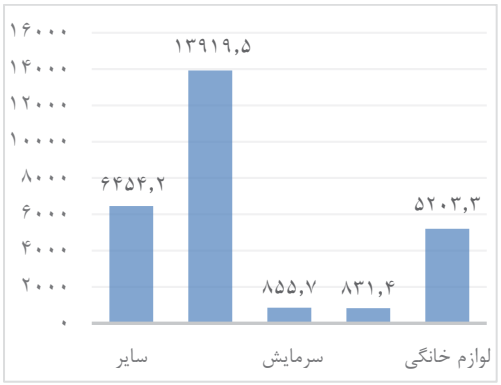
سال انتشار	منطقه	روش	تعداد داده	معیارها	شماره منبع
۲۰۱۴	نپال	کاب داگلاس	۱۴	تولید ناخالص داخلی بخش کشاورزی	[۳]
۲۰۱۸	ایران	آریما	۱۶	ترند مصرفی گذشته	[۱]
۲۰۱۶	ایران	کاب داگلاس	۳۸	تعداد کشاورزان میزان سرمایه‌گذاری ترند مصرف	[۱۳]
۲۰۱۲	پاکستان	روند لگاریتمی	۳۵	میزان تولید غلات میزان کشاورزی غیردیمی یارانه تکنولوژی	[۱۴]

۴-۳- بخش حرارتی

انرژی مصرف شده برای ایجاد گرمایش در این بخش قرار می‌گیرد. شکل ۱ تقاضای انرژی بخش خانگی را به تفکیک اهداف و میزان مصرف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، نیاز به گرمایش بالاترین میزان تقاضا را دربرمی‌گیرد. از آنجایی که بیشترین نیاز به گرمایش بین مشتریان بخش‌های مسکونی می‌باشد، این بخش به خانگی، تجاری و عمومی یا به اختصار خانگی نیز شناخته می‌شود. این بخش بزرگترین مصرف کننده‌ی نفت سفید می‌باشد. از دیگر سوخت های مصرفی می‌توان گاز طبیعی و درصد کمتری نیز گازوئیل را نام برد[۹].

در مدلسازی انجام شده در[۳]، عوامل موثر بر تقاضای بخش خانگی جمعیت شهرنشین، روستانشین و تعداد مصرف‌کنندگان خصوصی در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که تولید ناخالص داخلی نیز در نظر گرفته شده اما به دلیل بالا بودن مقدار p و نابستگی آن به مصرف خانگی از فرمول حذف شده است. در فرمول بدست آمده جمعیت شهرنشین ضریب منفی دارد که نشان‌دهنده‌ی رابطه معکوس آن با تغییرات تقاضای انرژی می‌باشد.

ماتیاس برگر و همکاران در [۱۸] به رابطه کاملاً مستقیم بخش خانگی با دمای محیط اشاره کرده‌اند. همچنین بیان می‌کنند در این بخش ترند مصرفی گذشته اثرسودبخشی بر مدلسازی درازمدت نخواهد داشت به این علت که تکنولوژی‌ها و وسائل گرمایشی نقطه تعادل مشخصی دارد که نسبت به محیط و سطوح سنجیده می‌شود و مصرف انرژی متفاوت نیز دارند.



شکل۲ مصرف انرژی بخش خانگی کشورهای عضو IEA در سال ۲۰۱۵ – واحد بر حسب پتاژول[۹]

ترکیب نقشه های تراکم جمعیت با پروفایل متوسط دمایی منطقه به همراه روزهای نیازمند به گرمایش[۱] یک معیار مناسب برای سنجش تقاضای حرارتی منطقه می‌تواند باشد. البته در صورت تمایل به انجام مطالعات دقیق‌تر، معیار های دیگری چون موقعیت‌های زندگی فردی جامعه (نرخ بیکاری، بازنشستگان)، روزهای تعطیل یک دوره مشخص، ... را نیز می‌توان در نظر گرفت[۱۸].

در مطالعه‌ایی مربوط به کشورهای عرب حوزه خلیج فارس، موضوع مصرف‌گرایی جامعه به علت پایین بودن قیمت سوخت بیان شده و برای بررسی تقاضای انرژی در بخش خانگی، تعداد روزهای نیازمند گرمایش و سرمایش[۲] تولید ناخالص داخلی که افزایش آن موجب رفاه و مصرف بیشتر می‌شود مورد بررسی قرار گرفته‌اند[۱۹].

در [۲۰] و [۲۱] نیز کشش درآمد و قیمت سوخت بررسی شده و بیان شده است که قیمت در بلندمدت کشسان نمی‌باشد به علت رواج مصرف بهینه و استفاده از وسایل با بازدهی بالاتر[۲۱].

جدول۳ بررسی مقالات و منابع مربوط به تقاضای بخش صنعتی

سال انتشار	منطقه	روش	تعداد داده	معیارها	شماره منبع
۲۰۱۴	نپال	کاب داگلاس	۱۴	تولید ناخالص داخلی مصرف کنندگان خصوصی جمعیت	[۳]
۲۰۱۸	اروپا	مدل دینامیک چندلایه	۱۵	قیمت سوخت درآمد	[۱۵]
۲۰۱۸	ایران	کاب داگلاس	۱۸	قیمت نیروی کار سرمایه	[۱۶]
۲۰۱۷	ژاپن	فیلترکالمن	۲۳	قیمت سوخت درآمد	[۱۷]

[۱] Heating Degree Days (HDD)

[۲] Cooling Degree Days (CDD)

جدول۴ بررسی مقالات و منابع مربوط به تقاضای بخش خانگی

سال انتشار	منطقه	روش	تعداد داده	معیارها	شماره منبع
۲۰۱۴	نپال	کاب داگلاس	۱۴	جمعیت شهر نشین جمعیت روستایی	[۳]
۲۰۱۹	-	متدولوژی بالا به پایین	-	تعداد ساختمان ها عادت زندگی مردم روزهای گرم‌تر از میانگین دما	[۱۸]
۲۰۱۶	حوزه خلیج فارس	سری زمانی	۲۷	قیمت جمعیت تولید ناخالص داخلی روزهای گرم و سردتر از میانگین دما	[۱۹]
۲۰۱۴	ترکیه	فیلترکالمن	۴۸	قیمت سوخت درآمد	[۲۰]
۲۰۰۹	کره جنوبی	سری زمانی	۳۴	قیمت سوخت درآمد	[۲۱]

۵-۳- بخش نیروگاهی

مهم‌ترین بخش مصرفی انرژی، تولید برق می‌باشد به دلیل اینکه محصول این بخش به مصرف چهار سکتور دیگری که در قسمت های قبل به آن‌ها اشاره شد می‌رسد. لذا اختصاص ۳۹٪ از کل مصرف جهانی انرژی به این بخش تعجب برانگیز نمی‌باشد[۱]. به همین علت، مطالعات توسعه پایدار و بهینه سازی بیشتر در این بخش مقرون به صرفه هستند.

حجم سوخت‌های مصرفی کشور ایران در این بخش در سال ۱۳۹۵، بر اساس ترازنامه انرژی در شکل۳ آمده است. همانطور که مشخص است، گاز طبیعی بیشترین سهم را دارد.

سوخت‌های فسیلی سهم عمده‌ایی در تامین انرژی مورد نیاز نیروگاهی و همچنین زندگی بشری را دارند اما رویکرد تأمین انرژی ازین منابع به علت عدم اطمینان در دسترسی و ارتقای امنیت انرژی و همچنین مسائل زیست محیطی، رو به کاهش است[۲۲].

مدلسازی تقاضا در صنعت برق را می‌توان معادله‌ایی هیبریدی از شاخص های ۴ بخش دیگر دانست اما بصورت کلی نیز می‌توان آن را بررسی کرد.

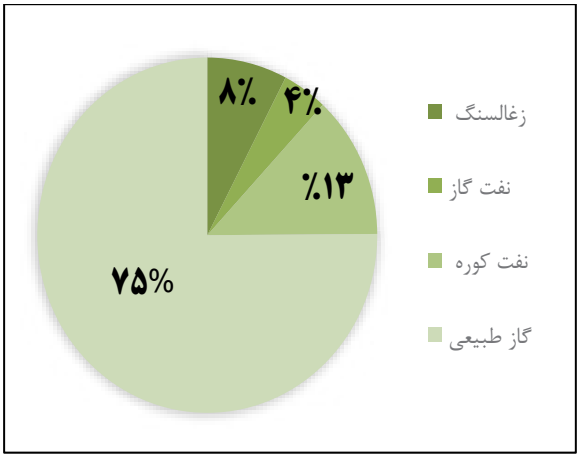
رشد شهرنشینی، پارامترهای اقتصادی مثل قیمت برق و تولید ناخالص داخلی، رفتار و ترجیحات مصرف‌کنندگان و همچنین عوامل آب و هوایی مخصوصاً متوسط دمایی فصل‌های گرم سال می‌توانند باعث تغییر در مصرف برق و در نتیجه افزایش مصرف سوخت بخش نیروگاهی شوند[۲۳].

عواملی که در [۳] بیشترین میزان همبستگی را برای مدلسازی بلندمدت نتیجه دادند، تولید ناخالص داخلی و جمعیت می‌باشند. فرمول حاصله در رابطه ۳ نشان داده شده. همانطور که مشخص است هردو شاخص اثر فزاینده روی تقاضای برق دارند.

$$\ln(elec-grid) = -۳۸.۱۳۴ + ۰.۸۲۲\ln(GDP) + ۱.۱۸۵\ln(Total\ pop) \quad (۳)$$

مطالعات انجام شده برای پیش بینی تقاضای انرژی در واحدهای نیروگاهی در چین تنها با در نظر گرفتن تولید ناخالص داخلی انجام شده است[۲۴].

همچنین برای پیش‌بینی و مدلسازی تقاضای الکتریسیته در ترکیه عواملی چون قیمت برق و تولید ناخالص داخلی در نظر گرفته شده‌اند[۲۵].



شکل۳ حجم سوخت های مصرفی نیروگاه های کشور در سال ۱۳۹۵[۹]

۴- نتیجه گیری

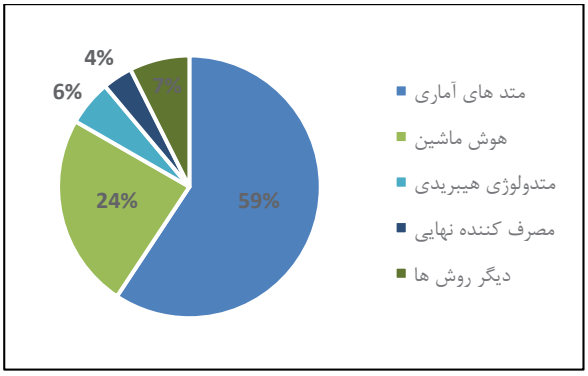
با توجه به نقش بسیار مهم بخش نیروگاهی، می‌توان روی تأمین انرژی این بخش متمرکز بود و به دلیل این که ۴ بخش دیگر یعنی کشاورزی، صنعتی، حرارتی و حمل و نقل نیز مصرف برق دارند، تأثیر تقاضای آن بخش‌ها را در بخش نیروگاهی اثر داد و برنامه‌ریزی را در این بخش انجام داد.

انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، با مزایایی چون در دسترس بودن، پایین بودن هزینه‌های متغیر و تولید آلودگی زیست محیطی ناچیز، گزینه‌ی بسیار مناسبی برای تامین انرژی هستند امّا هزینه اولیه زیاد، فضای موردنیاز زیاد نسبت به توان تولیدی و دیگر مسائل استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند[۲۶]. با استفاده از مدل مناسب از تقاضای بلنددوره، می‌توان با توجه به محدودیت‌های استفاده از منابع تجدیدپذیر، برنامه‌ریزی بهینه انجام داد.

از ۱۷مقاله‌ی بررسی شده در این تحقیق تنها ۴مقاله از روش‌های غیرآماری استفاده نموده اند و در تحقیقی با ابعاد بزرگ‌تر در[۷]، ۵۳مقاله مرتبط با این موضوع بررسی شده اند. شکل۴ بیانگر نتیجه‌ی این تحقیق می‌باشد که حدود ۶۰ درصد مقالات متدهای آماری را مورد استفاده قرار داده‌اند و بعد از آن بیشتر از روش های هوش ماشین استفاده شده‌است.

جدول۳ بررسی مقالات و منابع مربوط به تقاضای بخش برق و نیروگاهی

سال انتشار	منطقه	روش	تعداد داده	معیارها	شماره منبع
۲۰۱۴	نپال	کاب داگلاس	۱۴	تولید ناخالص داخلی جمعیت	[۳]
۲۰۱۶	-	-	-	قیمت سوخت تغییرات دما تکنولوژی جمعیت تولید ناخالص داخلی	[۲۲]
۲۰۱۶	چین	تحلیل روند	۲۰	تولید ناخالص داخلی	[۲۳]
۲۰۱۱	ترکیه	سری زمانی	۴۸	قیمت سوخت تولید ناخالص داخلی	[۲۴]



شکل ۴ متدهای استفاده شده در۵۳ مقاله بررسی شده در [۷]

۵- مراجع

[1] L. Farajian, R. Moghaddasi, and S. Hosseini, "Agricultural energy demand modeling in Iran: Approaching to a more sustainable situation," *Energy Reports*, vol. 4, pp. 260–265, Nov. 2018.

[۲] باقری، محسن، زارع علی آبادی، احسان، انضباطی، امیرحسین. بررسی تاثیر استفاده از منابع تجدیدپذیر در تامین تقاضای شبکه‌ی برق با ارائه‌ی یک مدل ریاضی دو هدفه. دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۱۳۹۸؛ ۶(۱): ۳۸-۴۶.

[3] R. Parajuli, P. A. Østergaard, T. Dalgaard, and G. R. Pokharel, "Energy consumption projection of Nepal: An econometric approach," *Renew. Energy*, vol. 63, pp. 432–444, Mar. 2014.

[4] Wei Zhang, Jun Yang, "Forecasting natural gas consumption in China by Bayesian Model Averaging", *Energy Reports*,Volume 1, 2015, Pages 216-220.

[۵] سلطانی گردفرامرزی سمیه، صابری عارف، قیصوری مرتضی. تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش بینی بارندگی سالانه ایستگاه های منتخب استان آذربایجان غربی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳۹۶؛ ۱۷ (۴۴): ۱۰۵-۸۷

[۶] آذر عادل، افسر امیر، احمدی پرویز. مقایسه روشهای کلاسیک و هوش مصنوعی در پیش‌بینی شاخص قیمت سهام و طراحی مدل ترکیبی. پژوهش های مدیریت در ایران. ۱۳۸۵؛ ۱۰ (۴): ۱۶-۱

[7] Gheisa R. T Esteves, Bruno Q. Bastos, Fernando L. Cyrino, Rodrigo F. Calili, Reinaldo C. Souza, "Long Term Electricity Forecast: A Systematic Review", Procedia Computer Science, Volume 55, 2015, Pages 549-558.

[8] O. F. Beyca, B. C. Ervural, E. Tatoglu, P. G. Ozuyar, and S. Zaim, "Using machine learning tools for forecasting natural gas consumption in the province of Istanbul," *Energy Econ.*, vol. 80, pp. 937–949, May 2019.

[۹] وزارت نیرو، ترازنامه آماری انرژی ایران، سال ۱۳۹۵

[10] V. A. Profillidis, G. N. Botzoris, V. A. Profillidis, and G. N. Botzoris, "Transport Demand and Factors Affecting It," *Model. Transp. Demand*, pp. 1–46, Jan. 2019.

[11] M. H. Mousavi and S. Ghavidel, "Structural time series model for energy demand in Iran's transportation sector," *Case Stud. Transp. Policy*, vol. 7, no. 2, pp. 423–432, Jun. 2019.

[12] Mustafa Sonmez, Ali Payıdar Akgüngör, Salih Bektaş, Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm, *Energy*,Volume 122, 2017, Pages 301-310

[13] R. Moghaddasi and A. A. Pour, "Energy consumption and total factor productivity growth in Iranian agriculture," *Energy Reports*, vol. 2, pp. 218–220, Nov. 2016.

[14] Khalid Zaman, Muhammad Mushtaq Khan, Mehboob Ahmad, Rabiah Rustam,The relationship between agricultural technology and energy demand in Pakistan, Energy Policy,Volume 44,2012,Pages 268-279.

[15] A. Sharimakin, A. J. Glass, D. S. Saal, and K. Glass, "Dynamic multilevel modelling of industrial energy demand in Europe," *Energy Econ.*, vol. 74, pp. 120–130, Aug. 2018.

[16] J. Valizadeh, E. Sadeh, H. Javanmard, and H. Davodi, "The effect of energy prices on energy consumption efficiency in the petrochemical industry in Iran," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 2241–2256, Dec. 2018.

[17] Nan Wang, Gento Mogi, Industrial and residential electricity demand dynamics in Japan: How did price and income elasticities evolve from 1989 to 2014?, Energy Policy, Volume 106, 2017, Pages 233-243.

[18] R. E. Hedegaard, M. H. Kristensen, T. H. Pedersen, A. Brun, and S. Petersen, "Bottom-up modelling methodology for urban-scale analysis of residential space heating demand response," *Appl. Energy*, vol. 242, pp. 181–204, May 2019.

[19] Tarek N. Atalla, Lester C. Hunt, Modelling residential electricity demand in the GCC countries, Energy Economics, Volume 59, 2016, Pages 149-158.

[20] Ibrahim Arisoy, Ilhan Ozturk, Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey: A time varying parameter approach, Energy,Volume 66, 2014, Pages 959-964.

[21] Suleiman Sa'ad, Electricity demand for South Korean residential sector, Energy Policy,Volume 37, Issue 12, 2009, Pages 5469-5474.

[۲۲] جنگاور، حسن، نوراللهی، یونس، یوسفی، حسین. بررسی امکان‌پذیری تحقق اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق تولید برق از منابع تجدیدپذیر در ایران. *دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو*۱۳۹۸؛ ۶ (۲): ۶۲-۷۰.

[23] T. Hong and S. Fan, "Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review," *Int. J. Forecast.*, vol. 32, no. 3, pp. 914–938, Jul. 2016.

[24] Jiang Lin, Gang He, Alexandria Yuan, Economic rebalancing and electricity demand in China, The Electricity Journal,Volume 29, Issue 3,2016, Pages 48-54.

[25] Zafer Dilaver, Lester C. Hunt, Turkish aggregate electricity demand: An outlook to 2020, Energy,Volume 36, Issue 11, 2011, Pages 6686-6696.

[۲۶] کاظمی فرد، شعله، ناجی، لیلا، افشار طارمی، فرامرز. مروری بر نقش منابع انرژی تجدیدپذیر در توسعه پایدار. دو فصلنامه انرژی های تجدیدپذیر و نو، ۱۳۹۶؛ ۴(۱): ۴۳-۳۴.