

پیش‌بینی مصرف انرژی با تأکید بر ویژگی‌های جمعیتی: مقایسه چشم‌انداز مصرف انرژی ایران با سایر کشورهای عضو اکو^۱

امیر عزیزی*، مهدی نوری**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۲۰

چکیده

پیش‌بینی میزان مصرف انرژی موضوع مهمی در مدیریت مصرف و پاسخگویی به نیازهای انرژی است. هدف این مقاله پیش‌بینی روندهای آتی مصرف انرژی در ایران طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۰ میلادی و مقایسه آنها با کشورهای عضو اکو است. برای این منظور از داده‌های شبکه آماری اکو و بخش جمعیت سازمان ملل و روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده، که در مدل‌سازی آن از شاخص‌های جمعیتی (جمعیت کل و نسبت جمعیت شهرنشین) و اقتصادی (تولید ناخالص داخلی سرانه) بهره گرفته است. برای بررسی تأثیر جمعیت بر روند مصرف انرژی، پیش‌بینی‌ها بر مبنای سه سناریوی جمعیتی جایگزین صورت گرفته است. پیش‌بینی‌های حاصل نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۳۰، سطح مصرف انرژی در ایران به شکل قابل توجهی افزایش خواهد یافت. البته در هر یک از سناریوها، الگوی رشد مصرف انرژی متفاوتی تجربه خواهد شد. اگرچه مصرف انرژی در سایر کشورهای اکو، به‌ویژه پاکستان و ترکیه، نیز افزایش خواهد یافت، ولی رشد مصرف آنها به مراتب کمتر از ایران خواهد بود.

کلید واژه‌ها: مصرف انرژی، جمعیت، شاخص‌های اقتصادی، شبکه عصبی مصنوعی.

۱. این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی مورد حمایت مالی صندوق جمعیت سازمان ملل متحد (UNFPA)، سازمان همکاری اقتصادی (ECO) و مؤسسه مطالعات و مدیریت جامع و تخصصی جمعیت کشور است.

azizi_amir@ut.ac.ir

*. دانشجوی دکترای اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران

m.nouri.7@gmail.com

** دانشجوی دکترای اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران

مقدمه

در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های اقتصادی مرتبط به حوزه انرژی، شناسایی عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی، فهم سازوکارهای تأثیرگذاری آنها، پویایی‌های مصرف انرژی و پیش‌بینی روندهای آتی آنها موضوعات مهمی هستند.

مطالعه و بررسی چنین مباحثی در مورد ایران، که با سطح مصرف بالا و نرخ رشد شتابان انرژی روبه‌رو است، به مراتب اهمیت بیشتری دارد. در یک دهه گذشته، مصرف انرژی سالانه در ایران با بیش از ۶۹ درصد رشد از حدود ۱۳۰ میلیون تن^۱ معادل نفت خام در سال ۲۰۰۰، به اندکی بیش از ۲۰۸ میلیون تن معادل نفت خام رسیده است. با این میزان از مصرف انرژی، کشور در رتبه‌بندی جهانی، در جایگاه‌های بین دهم تا پانزدهم قرار می‌گیرد (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۲).

با عنایت به اینکه آگاهی یافتن از روندهای آتی مصرف انرژی موضوع مهمی در مدیریت مصرف و پاسخگویی به آن است، در این مطالعه به پیش‌بینی روندهای آتی مصرف انرژی در ایران بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۰ میلادی می‌پردازیم. علاوه بر این، ضمن پیش‌بینی مصرف انرژی در کشورهای سازمان همکاری اقتصادی (اکو)^۳ به طرز مشابه، اقدام به مقایسه روندهای مصرف انرژی ایران با سایر اعضای اکو خواهیم کرد. اکو یک سازمان همکاری‌های منطقه‌ای است که اعضای آن^۴ بخشی از کشورهایی هستند که در چشم‌انداز بیست ساله کشور به عنوان محیط پیرامونی ایران در نظر گرفته شده‌اند. از این رو، رصد روند تحولات در این کشورها و مطالعه تطبیقی وضعیت کشور در مقایسه با آنها ضروری است.

در حال حاضر بیش از ۴۲۵ میلیون نفر (حدود ۶ درصد از کل جمعیت جهان) در کشورهای عضو اکو زندگی می‌کنند. این کشورها، پوشش‌های جمعیتی قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. در جدول ۱، آمارهای مربوط به نرخ رشد کل جمعیت، جمعیت شهری و همچنین

1. Million ton

2. International Energy Agency

3. Economic Cooperation Organization (ECO)

۴. ده عضو سازمان اکو عبارت‌اند از: آذربایجان، افغانستان، ازبکستان، ایران، پاکستان، تاجیکستان، ترکمنستان، ترکیه، قرقیزستان و قزاقستان.

آمار مربوط به نرخ شهرنشینی سه دهه اخیر ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی این دوره، جمعیت کشورهای اکو افزایش یافته است. اما در خصوص سطح شهرنشینی، کشورها روند مشابه‌ای را تجربه نکرده‌اند. در حالی که در طول این دوره نسبت جمعیت شهرنشین در ازبکستان، تاجیکستان و قزاقستان روند کاهشی، و در افغانستان، ایران، پاکستان و ترکیه (کشورهای پرجمعیت‌تر منطقه) روند افزایشی داشته است، نسبت جمعیت شهرنشین در آذربایجان، ترکمنستان و قزاقستان تقریباً ثابت باقی مانده است.

جدول ۱. نرخ رشد جمعیت، رشد جمعیت شهری و نرخ شهرنشینی (به درصد)

| کشور | شاخص نرخ رشد کل جمعیت | | | | نرخ رشد جمعیت شهری | | | | نرخ شهرنشینی | | | |
|-----------|-----------------------|------|-------|------|--------------------|------|-------|------|--------------|------|------|------|
| | ۱۹۸۰ | ۱۹۹۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ | ۱۹۸۰ | ۱۹۹۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ | ۱۹۸۰ | ۱۹۹۰ | ۲۰۰۰ | ۲۰۱۰ |
| آذربایجان | ۱/۴۹ | ۱/۰۴ | ۰/۸۲ | ۱/۱۵ | ۱/۸۳ | ۱/۱۱ | ۰/۵ | ۱/۶ | ۵۳ | ۵۳/۷ | ۵۱/۲ | ۵۳/۰ |
| افغانستان | ۲/۴۴ | ۱/۹۷ | ۲/۵۸ | ۲/۶۵ | ۵/۵۵ | ۳/۴ | ۳/۹۹ | ۴ | ۱۵/۷ | ۱۸/۳ | ۲۱/۳ | ۲۳/۰ |
| ازبکستان | ۲/۵۹ | ۲/۳۵ | ۱/۰۲ | ۱/۰۴ | ۳/۴۳ | ۲/۰۵ | ۰/۴۳ | ۲/۶ | ۴۰/۸ | ۴۱/۱ | ۳۷/۳ | ۳۶/۰ |
| ایران | ۳/۴۷ | ۲/۲ | ۱/۶۵ | ۱/۳ | ۵/۱ | ۳/۲ | ۲/۹ | ۱/۵ | ۴۹/۷ | ۵۶/۳ | ۶۴/۲ | ۶۹/۰ |
| پاکستان | ۲/۹۱ | ۲/۵۳ | ۲/۴۱ | ۲/۱۴ | ۴/۲۰ | ۳/۳۹ | ۳/۲۵ | ۲/۶ | ۲۸/۱ | ۳۰/۶ | ۳۳/۲ | ۳۶/۰ |
| تاجیکستان | ۲/۷۶ | ۲/۵۳ | ۱/۲۰ | ۱/۷۴ | ۲/۰۶ | ۱/۵۹ | -۰/۵۹ | ۱/۴ | ۳۴/۳ | ۳۱/۷ | ۲۶/۵ | ۲۷/۰ |
| ترکمنستان | ۲/۴۵ | ۲/۶۹ | ۱/۳۲ | ۱/۲۹ | ۲/۲۴ | ۲/۲۹ | ۱/۵۴ | ۱/۸ | ۴۷/۱ | ۴۵/۱ | ۴۵/۸ | ۴۸/۰ |
| ترکیه | ۲/۱۹ | ۱/۷۴ | ۱/۵۴ | ۱/۱۸ | ۳/۲۰ | ۴/۰۷ | ۲/۳۵ | ۲/۳ | ۴۳/۶ | ۵۹/۲ | ۶۴/۷ | ۷۰/۰ |
| قرقیزستان | ۱/۸۸ | ۱/۸۹ | ۱/۰۳ | ۰/۸۱ | ۲/۰۹ | ۱/۵۷ | ۰/۵۲ | ۱/۲ | ۳۸/۶ | ۳۷/۸ | ۳۵/۴ | ۳۵/۰ |
| قزاقستان | ۱/۱۴ | ۰/۶۰ | -۰/۳۰ | ۲/۴۲ | ۱/۷۰ | ۰/۷۱ | -۰/۱۵ | ۱/۱ | ۵۴/۱ | ۵۶/۳ | ۵۶/۳ | ۵۴/۰ |

مأخذ: شاخص‌های آماری مهم اکو^۱ (۲۰۱۳).

شاخص‌های توسعه جهانی^۲ بانک جهانی (۲۰۱۳) نشان می‌دهد که تقریباً تمام کشورهای عضو اکو، کشورهای در حال توسعه هستند و اقتصادهای در حال رشد دارند. همچنین اغلب کشورهای این منطقه، به‌ویژه سه کشور پرجمعیت منطقه (پاکستان، ایران و ترکیه) تقاضای انرژی بالا و در حال رشدی داشته‌اند (تامکینس و همکاران، ۲۰۰۸).

1. ECO Key Statistical Indicators (ECOKSI)

2. World Development Indicators (WDI)

ما برای پیش‌بینی روندهای آتی مصرف انرژی از روش شبکه عصبی مصنوعی^۱ که از الگوریتم دسته‌بندی گروهی داده‌ها^۲ بهره می‌برد و به اختصار شبکه عصبی GMDH نامیده می‌شود، استفاده کردیم. در بخش روش‌شناسی این مقاله، جزئیات مربوط به ابعاد تکنیکی روش شبکه عصبی GMDH را توضیح خواهیم داد. اما پیش از آن، ادبیات مرتبط به موضوع این مطالعه را به اختصار مرور خواهیم کرد. پس از بخش روش‌شناسی، یافته‌های پژوهش را ارائه می‌کنیم. سرانجام، این مقاله را با نتیجه‌گیری و اشاره به دو مورد از کاربردهای سیاستی مهم این نتایج به پایان خواهیم رساند.

پیشینه تحقیق

ویژگی‌های جمعیتی (مانند جمعیت یک جامعه، نسبت جمعیت شهرنشین یا روستائین، ساختار سنی، توزیع جغرافیایی جمعیت، اندازه خانوارها) تأثیر معناداری بر بسیاری از پدیده‌های اقتصادی دارند. لحاظ کردن این ویژگی‌ها و بررسی تأثیر آنها بر پدیده‌های اقتصادی سبب شکل‌گیری ادبیاتی شده است که با عنوان اقتصاد جمعیتی^۳ شناخته می‌شود. مطالعه حاضر که تأثیر عوامل جمعیتی بر مصرف انرژی را مورد توجه قرار می‌دهد، نیز در این چارچوب قابل طبقه‌بندی است.

بررسی رابطه بین مصرف انرژی و ویژگی‌های اجتماعی - اقتصادی و پیش‌بینی مصرف آتی انرژی بر مبنای لحاظ کردن تأثیر این ویژگی‌ها، موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. در تحقیقات کاربردی این ادبیات، از روش‌شناسی‌های مختلفی چون تحلیل‌های رگرسیونی متعارف، روش‌شناسی باکس - جنکینز^۴ و شبکه عصبی استفاده شده است. معمولاً در سطح کلان (مانند مصرف انرژی در سطح یک کشور)، برای تجزیه و تحلیل کمی و مدل‌سازی از مشاهدات تاریخی مصرف، شاخص‌های جمعیتی (به‌ویژه جمعیت کل، نسبت جمعیت شهرنشین، نسبت گروه‌های سنی) و اقتصادی (به‌ویژه تولید ناخالص داخلی) استفاده شده

-
1. Artificial Neural Network (ANN)
 2. Group Method of Data Handling (GMDH)
 3. Population Demographic Economics
 4. Box-jenkins

است. در این بخش، ابتدا به مطالعات خارجی اخیر که به بررسی رابطه بین مصرف انرژی و متغیرهای جمعیتی و اقتصادی پرداخته‌اند، اشاره می‌کنیم و سپس برخی از مطالعات مرتبطی را که ایران بخشی از مورد مطالعاتی آنها بوده است، معرفی می‌کنیم. در نهایت، به چند مورد از مطالعاتی که اقدام به پیش‌بینی‌های اقتصادی کرده‌اند، به‌ویژه تحقیقاتی که از روش شبکه عصبی بهره برده‌اند، اشاره خواهیم کرد.

کنکل و همکاران^۱ (۲۰۱۰) با به‌کارگیری دو روش شبکه عصبی و تحلیل رگرسیون و استفاده از متغیرهایی چون جمعیت، تولید ناخالص داخلی، واردات و صادرات و اشتغال، اقدام به مدل‌سازی خالص مصرف انرژی در ترکیه می‌نمایند. پس از آن، بر مبنای مدل‌های به دست آمده، میزان مصرف انرژی در ترکیه تا سال ۲۰۱۴ را تحت سناریوهای جمعیتی و اقتصادی مختلف پیش‌بینی کرده‌اند.

لیدل و لونگ^۲ (۲۰۱۰)، با تمرکز بر ساختار سنی جمعیت در کشورهای پیشرفته، اثرات زیست‌محیطی انتشار کربن حاصل از مصرف انرژی در بخش‌های خانگی، برق و حمل و نقل را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این مطالعه که بر اساس چارچوب نظری موسوم به تأثیرات تصادفی با رگرسیون روی جمعیت، ثروت و تکنولوژی (STIRPAT)^۳ و با استفاده از روش رگرسیون داده‌های تابلویی^۴ انجام شده است، شواهدی از تأثیر گروه‌های سنی بر مصرف انرژی ارائه می‌دهد. در این تحقیق نیز نشان داده شده است که شهرنشینی تأثیر مثبتی بر مصرف انرژی داشته است.

یورک^۵ (۲۰۰۷)، رابطه بین تغییرات جمعیتی و مصرف انرژی در ۱۴ کشور اتحادیه اروپا را مورد بررسی قرار داده است. این مطالعه نیز با استفاده از چارچوب نظری تأثیرات تصادفی با رگرسیون روی جمعیت، ثروت و تکنولوژی و تحلیل رگرسیونی داده‌های تابلویی، شواهدی از تأثیرگذاری معنادار و مثبت جمعیت، شهرنشینی، ساختار جمعیتی و رشد اقتصادی بر مصرف

-
1. Kankal et al.
 2. Liddle and Lung
 3. Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology (STIRP-AT)
 4. Panel Data Regression
 5. York

انرژی ارائه می‌دهد. او با استفاده از مدل خود، مصرف انرژی در سال ۲۰۲۵ را در سناریوهای جمعیتی و اقتصادی مختلف پیش‌بینی کرده است.

پژوهشگران داخلی نیز رابطه بین مصرف انرژی و عوامل اجتماعی - اقتصادی در ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌کنیم. قنبری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش خودرگرسیون با وقفه توزیعی^۱ نشان می‌دهند که بین مصرف انرژی و شهرنشینی در ایران، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت، رابطه‌ای مثبت وجود دارد. عیسی‌زاده و مهرانفر (۱۳۸۹) نیز با استفاده از همین روش به بررسی رابطه بین مصرف انرژی و شهرنشینی در ایران پرداخته‌اند و شواهدی از وجود رابطه مثبت و قوی بین مصرف انرژی و شهرنشینی در ایران ارائه کرده‌اند. آنها همچنین با استفاده از آزمون علیت گرانجری^۲ نشان می‌دهند که مسیر ارتباط بین مصرف انرژی و شهرنشینی، یک رابطه یک‌طرفه از شهرنشینی به مصرف انرژی است.

یاوری و احمدزاده (۱۳۸۹) رابطه بین مصرف انرژی و ساختار جمعیتی در کشورهای آسیای جنوب غربی را با بهره‌گیری از روش رگرسیون داده‌های تابلویی مورد ارزیابی قرار داده‌اند و شواهدی از تأثیرگذاری مثبت متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه، اندازه جمعیت، نسبت جامعه شهری و گروه‌های سنی بر مصرف انرژی ارائه کرده‌اند.

پیش‌بینی رفتار آتی متغیرها نیز موضوع بسیاری از تحقیقات اقتصادی بوده است. در اینجا تنها برخی از مطالعاتی را که به پیش‌بینی مصرف انرژی در کشور پرداخته‌اند، معرفی می‌کنیم. موسوی و احمدی (۱۳۸۹) با استفاده از الگوهای خودرگرسیونی میانگین متحرک انباشته^۳ و واریانس ناهمسانی شرطی^۴ اقدام به پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی (فرآورده‌های نفتی و برق) در بخش کشاورزی می‌کنند. دوره مورد مطالعه آنها سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۴ را در بر می‌گیرد. نتایج مطالعه آنها حاکی از آن است که میزان مصرف فرآورده‌های نفتی، برق و میزان کل مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران روند صعودی دارد.

-
1. Auto-Regressive Distributed Lag (ARDL)
 2. Granger causality
 3. Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA)
 4. Auto-Regressive Conditional Heteroscedasticity (ARCH)

فطرس و منصورى گرگرى (۱۳۸۹) با به‌کارگیری مدل‌های رشد لجستیکى، لجستیکى هاروى و هاروى به پیش‌بینى مصرف برق خانگى، غیرخانگى و کل در ایران مى‌پردازند. این مطالعه نتیجه مى‌گیرد که مدل هاروى بهتر از دو مدل دیگر مصرف برق ایران را پیش‌بینى مى‌کند. بغزبان و نصرآبادى (۱۳۸۵) با استفاده از سیستم معادلات هم‌زمان و شبکه‌های عصبى فازی، عوامل مؤثر بر مصرف فراورده‌های نفتى را تحلیل و تقاضای فراورده‌های نفتى طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰ را پیش‌بینى کرده‌اند.

حیدرى (۱۳۸۴)، میزان تقاضا حامل‌های سه‌گانه انرژی در بخش‌های تولیدى اقتصادى ایران شامل بخش صنعت، کشاورزى، خدمات و حمل و نقل را با استفاده از یک الگو تجزیه و برای یک دوره ۱۵ ساله در قالب سه سناریوى (نرخ رشد تولید بالا، پایین و روند) پیش‌بینى مى‌کند. نتایج پیش‌بینى مصرف برق و گاز طبیعى نشان مى‌دهد که اقتصاد ایران در هر سه سناریو در طول سال‌های مورد نظر با تشدید مصرف ناشى از عوامل ساختارى و شدت انرژی مواجه هست.

مزرعتى و پرتوى (۱۳۸۴) با استفاده از یک مدل رگرسیونى، چشم‌اندازهای بلندمدت تقاضای بنزین در تهران تا سال ۱۴۰۰ و تأثیر مترو در کاهش مصرف بنزین را در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار مى‌دهند. آنها نتیجه مى‌گیرند که در هر سه سناریو، مصرف بنزین در تهران طی سال‌های آتی روندى افزایشى خواهد داشت و مترو باعث صرفه‌جویى کمتر از ده درصدى در مصرف بنزین خواهد شد.

در پایان این بخش، ذکر این نکته ضرورى است که بسىارى از مطالعاتى که از ترکیب روش‌های پیش‌بینى استفاده کرده‌اند، نشان داده‌اند که عملکرد روش شبکه عصبى، حداقل برای بازده‌های زمانى کوتاه‌مدت و میان‌مدت، بهتر از سایر روش‌ها (خودرگرسیونى، میانگین متحرک، خودرگرسیونى میانگین متحرک انباشه و ...) است. برای نمونه:

نتایج مطالعه شرزهاى و همکاران (۱۳۸۷) به‌منظور پیش‌بینى تقاضای آب شهر تهران نیز حاکی از آن بود که روش شبکه‌های عصبى نوع GMDH، نسبت به برآوردهای حاصل از الگوهای ساختارى و سری زمانى خودرگرسیونى میانگین متحرک انباشه، کارایى بیشتری دارد. فرجام‌نیا و همکاران (۱۳۸۶)، در مطالعه‌ای به مقایسه روش‌های خودرگرسیونى میانگین متحرک هم‌جمعى و شبکه‌های عصبى، برای پیش‌بینى قیمت روزانه نفت در دوره آوریل ۱۹۸۳

تا ژوئن ۲۰۰۵ پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل شبکه عصبی نسبت به مدل خودرگرسیون میانی متحرک انباشته در پیش بینی قیمت روزانه نفت برتری دارد. خالوزاده و همکاران (۲۰۰۱)، توانایی مدل‌های مختلف، از جمله خودرگرسیون میانی متحرک انباشته، مدل خودرگرسیون با واریانس ناهمسانی شرطی و شبکه عصبی را در پیش بینی بلندمدت شاخص قیمت سهام تهران مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که توانایی مدل شبکه عصبی در پیش بینی بهتر از سایر روش‌ها است.

روش تحقیق و داده‌ها

برای کشف الگوی روابط میان مؤلفه‌های سیستم‌ها و پیش بینی رفتار آنها، روش‌های مختلفی ابداع شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از این روش‌ها است که با الهام از شبکه عصبی انسان طراحی شده است. به بیان ریاضی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجموعه‌ای از مدل‌های غیرخطی تعمیم یافته هستند که می‌توانند با دقت بالایی توابع غیرخطی را تخمین بزنند. در این روش، متغیرهای بالقوه تأثیرگذار به عنوان ورودی شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و الگوریتم با بررسی داده‌های موجود و بدون نیاز به داشتن حدسیات نظری در خصوص قوانین مسلط بر سیستمی که داده‌ها از آن استخراج شده است، روابط بین آنها را کشف می‌کند و یک مدل تعاملی بهینه را ارائه می‌دهد. این روش، به ویژه برای کشف روابط میان مؤلفه‌های سیستم‌های پیچیده که اغلب دانش کافی در مورد ساختار آنها وجود ندارد، بسیار مفید است (جارنی، ۱۹۹۷).

روش مورد استفاده در این مقاله، شبکه عصبی GMDH است. زمانی که رگرسیون‌های استاندارد با فرم حاصل ضرب، به دلیل پیچیدگی محاسبات و مشکل وابستگی خطی به بن بست رسیده بودند، ایواخنکو^۱ (۱۹۶۸) الگوریتم GMDH را برای ساخت یک چندجمله‌ای بسط با مراتب بالا معرفی کرد. در حقیقت، این الگوریتم یک روش هیوریستیک^۲ برای مدل‌سازی دستگاه‌های معادلات پیچیده از نوع رگرسیون با درجات بالا است. این الگوریتم ماهیتاً استقرایی، از طریق دسته‌بندی و گزینش مدل‌های جایگزین و ارزیابی عملکرد آنها، مدل بهینه

1. Ivakhnenko

۲. الگوریتم هیوریستیک (Heuristic) عبارت است از معیار، روش و یا اصولی برای تصمیم‌گیری بین چندین خط‌مشی، به طوری که اثربخش‌ترین آنان برای دستیابی به اهداف مورد نظر، انتخاب گردد.

را می‌یابد. در یک گام مهم دیگر، واسچیکینا و یارین^۱ (۲۰۰۱) برای یافتن مجموعه اتصالات بهینه در شبکه‌ها، الگوریتم ژنتیک را با شبکه عصبی GMDH تلفیق کردند و از این طریق به توسعه این روش‌شناسی کمک کردند.

شبکه GMDH، شبکه‌ای خود سازمان‌ده و یک‌سویه است که از چندین لایه و هر لایه نیز از چندین نرون تشکیل یافته است. تمامی نرون‌ها ساختار مشابه‌ای دارند به طوری که دارای دو ورودی و یک خروجی هستند و هر نرون با ۵ وزن و یک جزء ثابت عمل پردازش را میان داده‌های ورودی و خروجی بر اساس رابطه (۱) برقرار می‌کند:



$$y_{ik}^* \cong N(x_{i\alpha}, x_{i\beta}) \cong b^k \cdot w_1^k x_{i\alpha} \cdot w_2^k x_{i\beta} \cdot w_3^k x_{i\alpha}^2 \cdot w_4^k x_{i\beta}^2 \cdot w_5^k x_{i\alpha} x_{i\beta}$$

در رابطه بالا، $(i \cong 1, 2, 3, \dots, N)$ است که در آن N تعداد داده‌های ورودی و خروجی و

$(K \cong 1, 2, 3, \dots, C_m^2)$ و $\delta, \varepsilon \sim 1, 2, 3, \dots, m$ می‌باشد، که در آنها m تعداد نرون‌های لایه

قبلی است.

وزن‌ها بر اساس روش‌های کمترین مربعات خطا محاسبه و سپس به عنوان مقادیر مشخص ثابت در داخل هر نرون جای‌گذاری می‌شود. ویژگی بارز این نوع شبکه آن است که نرون‌های مرحله قبلی و یا لایه قبلی، عامل و مولد تولید نرون‌های جدید به تعداد $C_m^2 \cong \frac{m(m-1)}{2}$ است و از میان نرون‌های تولید شده، لزوماً تعدادی از آنها حذف می‌شود تا بدین‌وسیله از واگرایی شبکه جلوگیری به عمل آید.

ممکن است نرون‌هایی که برای ادامه و گسترش شبکه باقی می‌مانند، برای ایجاد فرم هم‌گرایی شبکه و عدم ارتباط آنها با نرون لایه آخر حذف شوند که اصطلاحاً به آنها نرون غیرفعال می‌گویند. معیار گزینش و حذف مجموعه‌ای از نرون‌ها در یک لایه، درصد مجموع مربعات خطا (\mathbf{r}_j^2) میان مقادیر خروجی واقعی (y_i) و خروجی نرون j ام (y_{ij}^*) است.

$$r_j^* \equiv \frac{\int_{i=1}^N (y_i - 0 y_{ij}^*)^2}{\int_{i=1}^N y_i^2} \quad (2)$$

در رابطه بالا $j \sim 1, 2, 3, \dots, C_m^r$ می باشد که در آن m تعداد نرون‌های گزینش شده در لایه قبلی است.

نگاشتی که بین متغیرهای ورودی و خروجی توسط این نوع از شبکه‌های عصبی برقرار می‌شود به صورت تابع غیرخطی ولترا^۱ به صورت رابطه زیر است:

$$\hat{y} \equiv a . \int_{i=1}^m a_i x_i . \int_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j . \int_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k . \dots \quad (3)$$

ساختاری را که برای نرون‌ها در نظر گرفته شده، به صورت فرم خلاصه شده دومتغیره درجه دوم زیر است:

$$y_i \equiv f(x_{ip}, x_{iq}) \equiv a . a_1 x_{ip} . a_2 x_{iq} . a_3 x_{ip} x_{iq} . a_4 x_{ip}^2 . a_5 x_{iq}^2 \quad (4)$$

تابع f دارای شش ضریب مجهول است که به ازای تمام نمونه‌های دو متغیره وابسته به سیستم N ، $i \equiv 1, 2, \dots, N$ ، خروجی مطلوب (x_{ip}, x_{iq}) ، $i \equiv 1, 2, \dots, N$ را برآورد می‌کند. تابع f را بر اساس قاعده کمترین مربعات خطا پایه‌ریزی می‌کنیم.

$$\text{Min} \left| \int_{k=1}^N (f(x_{ki}, x_{kj}) - 0 y_i)^2 \right. \quad (5)$$

بر این اساس دستگاه معادله‌ای را که دارای شش مجهول و N معادله است، حل می‌کنیم.

$$\left\{ \begin{array}{l} a . a_1 x_{1p} . a_2 x_{1q} . a_3 x_{1p} x_{1q} . a_4 x_{1p}^2 . a_5 x_{1q}^2 \equiv y_1 \\ a . a_1 x_{2p} . a_2 x_{2q} . a_3 x_{2p} x_{2q} . a_4 x_{2p}^2 . a_5 x_{2q}^2 \equiv y_2 \\ \vdots \\ a . a_1 x_{Np} . a_2 x_{Nq} . a_3 x_{Np} x_{Nq} . a_4 x_{Np}^2 . a_5 x_{Nq}^2 \equiv y_N \end{array} \right.$$

دستگاه معادله فوق را می‌توان به فرم ماتریسی زیر نمایش داد:

$$Aa \cong Y \quad (6)$$

که در آن

$$a \cong \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}^T \quad (7)$$

$$Y \cong \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_N\}^T \quad (8)$$

$$A \cong \begin{Bmatrix} X_{1p} & X_{1q} & X_{1p}X_{1q} & X_{1p}^T & X_{1q}^T \\ X_{2p} & X_{2q} & X_{2p}X_{2q} & X_{2p}^T & X_{2q}^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ X_{Np} & X_{Nq} & X_{Np}X_{Nq} & X_{Np}^T & X_{Nq}^T \end{Bmatrix} \quad (9)$$

برای حل معادله لازم است که شبه‌معکوس ماتریس غیرمربعی A محاسبه گردد. طراحی ساختار شبکه، یکی از موضوعات مهم در زمینه شبکه‌های عصبی مصنوعی است. در این طراحی، باید تعداد لایه‌ها و ساختار نرونی (مانند وزن‌ها و مقادیر اولیه آنها) و همچنین تابع تحریک هر نرون به صورتی انتخاب شوند که بین داده‌های ورودی و خروجی یک نگاشت مناسب برقرار شود. در طراحی شبکه عصبی GMDH هدف، جلوگیری از رشد و آگرایی شبکه و نیز مرتبط کردن شکل و ساختار شبکه به یک یا چند پارامتر عددی است، به گونه‌ای که با تغییر این پارامترها، ساختار شبکه نیز تغییر کند (نریمان‌زاده و همکاران، ۲۰۰۲).

مدل‌سازی شبکه عصبی GMDH

معرفی داده‌ها

ما برای انتخاب ورودی‌های شبکه، از نتایج تحقیق نوری و همکاران^۱ (۲۰۱۲) استفاده کردیم. در این مطالعه با استفاده از تحلیل رگرسیونی داده‌های تابلویی نشان داده شده است که تولید ناخالص داخلی سرانه^۲، جمعیت کل و درصد جمعیت شهرنشین (درصد جمعیت شهرنشین به کل جمعیت) می‌توانند به شکل نسبتاً خوبی الگوی مصرف انرژی در کشورهای اکو طی دوره زمانی ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی را توضیح دهند. بر این اساس، به عنوان ورودی شبکه عصبی از دو شاخص جمعیتی (جمعیت کل و درصد جمعیت

1. Nouri et al.

2. Gross Domestic Product (GDP) per capita

شهرنشین) و شاخص اقتصادی (تولید ناخالص داخلی سرانه) استفاده کرده‌ایم. انرژی مصرفی کل (معادل نفت) نیز خروجی شبکه است.

برای مدل‌سازی شبکه عصبی از نرم‌افزار محاسباتی تحت نرم‌افزار MATLAB مبتنی بر بهینه‌سازی دومنظوره (آتشکاری و همکاران، ۲۰۰۷)، با هدف کمینه کردن خطای الگوسازی و پیش‌بینی، طراحی شده که به طور بهینه (امانی‌فرد و همکاران، ۲۰۰۷) دقت پیش‌بینی و پایداری فرآیند را افزایش می‌دهد، استفاده شده است.

منابع اصلی داده‌های مورد استفاده، شاخص‌های توسعه جهانی و شبکه آماری اکو^۱ هستند. به علاوه، سناریوهای جمعیتی مورد استفاده سه گزینه جمعیتی جایگزین (حد پایین یا یک، متوسط یا دو و حد بالا یا سه) هستند که توسط بخش جمعیتی سازمان ملل متحد^۲ (۲۰۱۰) ارائه شده‌اند. این پیش‌بینی‌های جمعیتی بر مبنای پیش‌بینی‌های احتمالی نرخ باروری اقتباس شده از بازنگری سال ۲۰۱۰ چشم‌اندازهای جمعیت جهانی^۳ است که با استفاده از یک مدل بیزی سلسله‌مراتبی^۴ محاسبه شده‌اند. لازم به ذکر است که پیش‌بینی‌های انجام شده توسط بخش جمعیتی سازمان ملل متحد به صورت پنج‌ساله هستند و ما برای استخراج داده‌های سالانه از آنها، از روش درون‌یابی موسوم به هماهنگ کردن میانگین درجه دو^۵ استفاده کردیم. در این روش، به هر مشاهده از سری پنج‌ساله یک چندجمله‌ای از درجه دو برازش می‌شود، سپس با استفاده از این چندجمله‌ای سری سالانه به دست می‌آید.

سری‌های مورد استفاده برای ایران، پاکستان و ترکیه دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۶۰ میلادی را دربر می‌گیرد. برای سایر کشورها (به جز افغانستان که به دلیل موجود نبودن سری زمانی مصرف انرژی در آن، از تحلیل کنار گذاشته شد) از مشاهدات مربوط به دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۹۵ میلادی استفاده شده است. برای کشورهای باقی‌مانده (آذربایجان، ازبکستان، تاجیکستان، ترکمنستان، قرقیزستان و قزاقستان) سری مربوط به مصرف انرژی از سال‌های ابتدایی دهه نود

-
1. ECO Statistical Network (ECOSTAT)
 2. United Nations Population Division (UNPD)
 3. 2010 Revision of World Population Prospects
 4. Bayesian Hierarchical Model
 5. Quadratic Match Average

میلادی موجود است. اما از آنجا که این سال‌ها هم‌زمان با استقلال این کشورها از اتحاد جماهیر شوروی سابق و بی‌ثباتی‌های سیاسی - اجتماعی ناشی از آن است، تمام این جمهوری‌ها حداقل در نیمه نخست دهه نود میلادی شکست‌های ساختاری را تجربه کرده‌اند که طی آنها مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی سرانه به شدت کاهش یافته‌اند. چون استفاده از مشاهدات این برهه زمانی تأثیر منفی بر تحلیل می‌گذارد و از اعتبار نتایج می‌کاهد، به ناچار مشاهدات پیش از سال ۱۹۹۵ میلادی مورد استفاده قرار نگرفته است.

فروض مورد استفاده در پیش‌بینی مصرف انرژی

به رغم وجود نااطمینانی‌ها و پیچیدگی‌های فراوان در زمینه پیش‌بینی رفتار متغیرها، پیش‌بینی‌های مبتنی بر فروض معقول، آگاهی‌بخش هستند و کاربردهای مهمی دارند. برای اینکه پیش‌بینی‌های قابل اطمینان‌تری داشته باشیم، در مورد روندهای آتی جمعیت و تولید ناخالص داخلی، فروضی را اتخاذ کرده‌ایم.

ما مبنای سناریوهای خود را بر متغیر جمعیت کل قرار داده‌ایم. گذشته از اینکه به بررسی تأثیر سناریوهای جمعیتی جایگزین بر روند مصرف انرژی علاقه‌مند هستیم، یک نکته فنی نیز بر این انتخاب تأثیر گذاشته است. فرآیندهای جمعیتی دارای اینرسی ذاتی هستند. این مسئله پیش‌بینی‌پذیری چشم‌اندازهای جمعیتی کوتاه‌مدت و میان‌مدت را افزایش می‌دهد. از این رو، بر اعتبار پیش‌بینی‌های مبتنی بر سناریوهای جمعیتی افزوده می‌شود.

همچنین برای پرهیز از پیچیدگی‌های بیشتر، فرض کرده‌ایم که تولید ناخالص سرانه این کشورها نیز روند گذشته را ادامه خواهند داد. این فرض مبین تداوم وضعیت جاری است که با توجه به اینکه این کشورها، اقتصادهای در حال توسعه دارند و طول بازده زمانی مورد مطالعه چندان طولانی نیست، نسبتاً قابل پذیرش به نظر می‌رسد.

یافته‌ها

خروجی تحلیل شبکه عصبی در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول، برای هر کشور، ورودی‌ها به ترتیب میزان اثرگذاری مرتب شده‌اند. در مورد هر کشور، متغیرهای با اثر

مضاعف^۱ نیز مشخص شده‌اند. پیش‌بینی‌های صورت گرفته بر مبنای همین نتایج به دست آمده است. مدل‌سازی‌های انجام شده با ۲ لایه پنهان است. برای ۳ کشور ایران، ترکیه و پاکستان که ۵۱ مشاهده تاریخی جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی وجود داشت، ۱۰ مشاهده برای آزمون مدل مورد استفاده قرار گرفت. در مورد ۷ کشور دیگر، به دلیل کم بودن داده‌های تاریخی (۱۵ مشاهده)، برای مرحله آزمون تنها از ۲ مشاهده استفاده شد. بنابراین تنها ۲ مورد پیش‌بینی خارج نمونه صورت گرفته است و ۱۸ مورد پیش‌بینی دیگر، بر اساس میزان اثرگذاری متغیرها و مبتنی بر روند هریک از این متغیرها در سناریوهای تعریف‌شده، برآورد گردید. این روش پیش‌بینی خارج نمونه‌ای برای جلوگیری از واگرایی مسیرهای پیش‌بینی مبتنی بر پیش‌بینی‌های پویا در تعداد کم مشاهدات الگوی اولیه طراحی شده است.

جدول ۲ نحوه اثرگذاری متغیرها بر مصرف انرژی کشورهای اکو بر اساس خروجی تحلیل شبکه عصبی GMDH

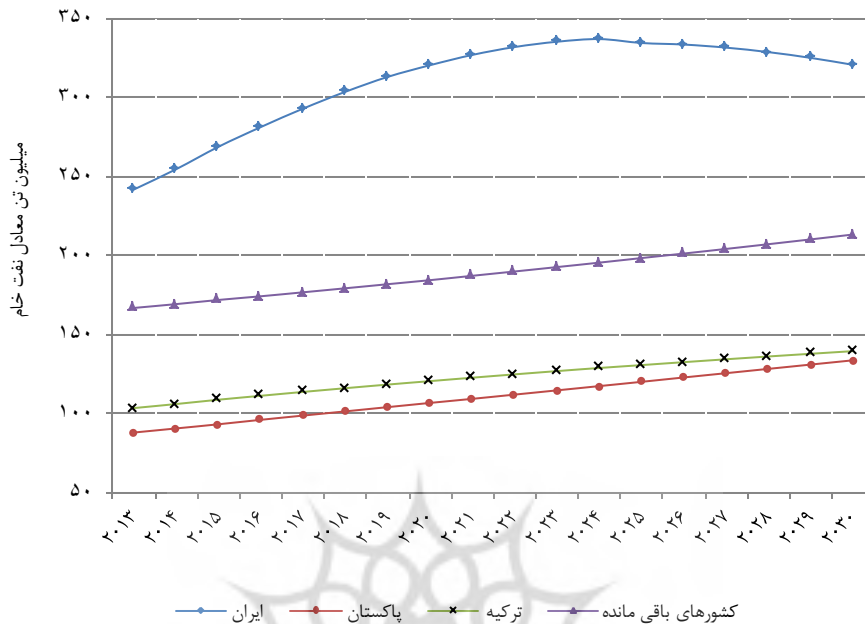
| کشور | متغیرهای مؤثر به ترتیب اهمیت | متغیر دارای اثر مضاعف |
|-----------|------------------------------------|--------------------------|
| ازبکستان | درآمد سرانه، جمعیت کل و جمعیت شهری | درآمد سرانه |
| ترکیه | جمعیت شهری، جمعیت کل و درآمد سرانه | جمعیت شهری |
| ترکمنستان | جمعیت شهری و جمعیت کل | جمعیت شهری و کل |
| تاجیکستان | درآمد سرانه، جمعیت کل و جمعیت شهری | درآمد سرانه و جمعیت کل |
| پاکستان | جمعیت شهری و جمعیت کل | جمعیت شهری و کل |
| قرقیزستان | جمعیت شهری، درآمد سرانه و جمعیت کل | جمعیت شهری |
| قزاقستان | درآمد سرانه، جمعیت شهری و جمعیت کل | درآمد سرانه و جمعیت شهری |
| ایران | جمعیت کل، درآمد سرانه و جمعیت شهری | جمعیت کل |
| آذربایجان | درآمد سرانه، جمعیت کل و جمعیت شهری | درآمد سرانه |

پیش‌بینی مصرف انرژی در کشورهای منطقه اکو در سناریو جمعیتی حد پایین یا یک، متوسط یا دو و حد بالا یا سه به ترتیب در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. نمودارها با این فرض که تمام کشورها سناریوهای جمعیتی مشابه‌ای را تجربه کنند، رسم شده‌اند. بدیهی

۱. در ادبیات شبکه عصبی GMDH، متغیر با اثر مضاعف برای ورودی، متغیری است که در خروجی برنامه شبکه نسبت به سایر متغیرها تعداد تکرار بیشتری داشته باشد یا بتواند از یک لایه پنهان پرش کند (به عبارت دیگر، متغیر با اثر مضاعف، دو برابر سایر متغیرها بر تابع هدف اثرگذار است).

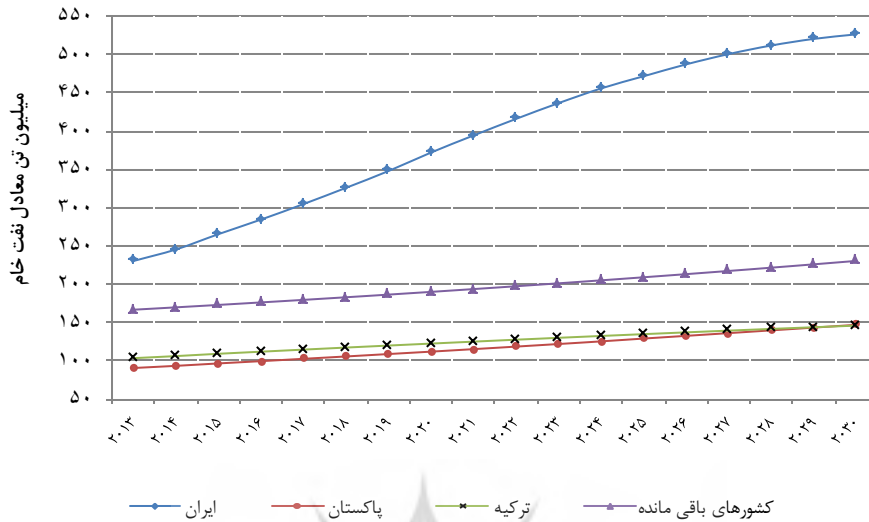
است این امکان وجود دارد که کشورهای مختلف روند جمعیتی متفاوتی را تجربه کنند (به عنوان نمونه، در ایران سناریوی جمعیتی یک محقق شود، در حالی که در کشوری مانند پاکستان سناریوی جمعیتی دو تحقق یابد). بنابراین، با توجه به تعداد سناریوها، فضای ممکن ترکیب روندهای مختلف مصرف انرژی برای این کشورها شامل ۳^۹ حالت می‌شود. این عدد به تنهایی پیچیدگی امر پیش‌بینی مصرف انرژی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، برای کاستن از جزئیات، مجموع مصرف انرژی شش کشور آذربایجان، ازبکستان، تاجیکستان، ترکمنستان، قرقیزستان و قزاقستان به صورت تجمیعی و با عنوان کشورهای باقی‌مانده در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

در سناریوی جمعیتی یک (نمودار ۱)، مصرف انرژی در کل منطقه اکو به شکل کاهنده رشد می‌کند و در سال ۲۰۳۰ با حدود ۳۳ درصد رشد به حدود ۸۰۰ میلیون تن معادل نفت خام می‌رسد. در این سناریو مصرف انرژی ایران، پس از یک دوره رشد در سال‌های پایانی دهه نخست قرن فعلی، در دهه دوم به حدود ۳۵۰ میلیون تن معادل نفت هم‌گرا می‌شود و حتی در سال‌های پایانی این دهه اندکی روندی نزولی پیدا می‌کند. این در حالی است که مصرف انرژی در سایر کشورها، به ویژه دو کشور پرجمعیت پاکستان و ترکیه به شکل نسبتاً خطی رشد خواهد کرد. به دلیل رشد فزاینده مصرف انرژی در سایر کشورهای منطقه اکو و رشد کاهنده مصرف انرژی در ایران، در طول این دوره، سهم مصرف انرژی ایران از کل مصرف در منطقه اکو کاهش خواهد یافت.



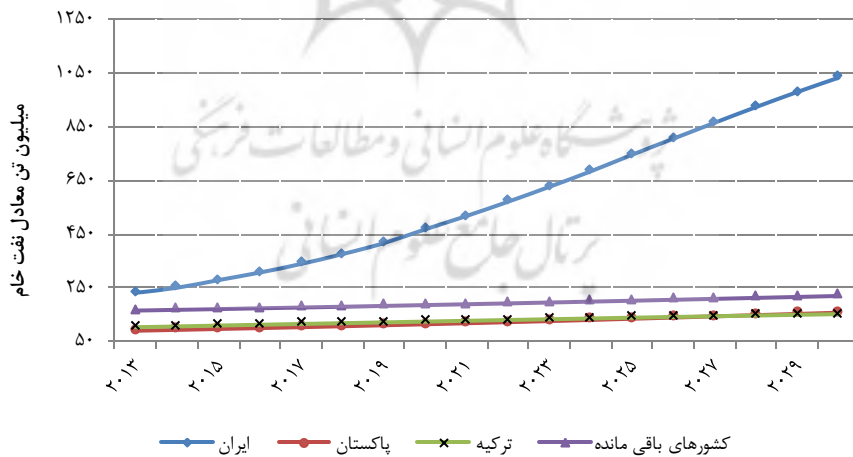
نمودار ۱. پیش‌بینی مصرف انرژی در ایران، پاکستان، ترکیه و سایر کشورهای منطقه اکو در سناریوی جمعیتی یک (حد پایین)

در سناریوی جمعیتی دو (نمودار ۲)، مصرف انرژی در کل منطقه اکو با یک روند نسبتاً خطی، حدود ۶۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. در این سناریو، مصرف انرژی در ایران اندکی کمتر از رشد مصرف انرژی در منطقه اکو خواهد بود و روند اندکی مقعر می‌گردد. این بدان معنی است که به رغم رشد مصرف انرژی ایران در این سناریو، به تدریج از میزان رشد کاسته می‌شود. در این سناریو نیز، همانند سناریو پایین، به تدریج سهم مصرف انرژی ایران از کل مصرف منطقه اکو کاهش می‌یابد و بر سهم مصرف سایر کشورها افزوده می‌شود.



نمودار ۲. پیش‌بینی مصرف انرژی در ایران، پاکستان، ترکیه و سایر کشورهای منطقه اکو در سناریوی جمعیتی دو (حد وسط)

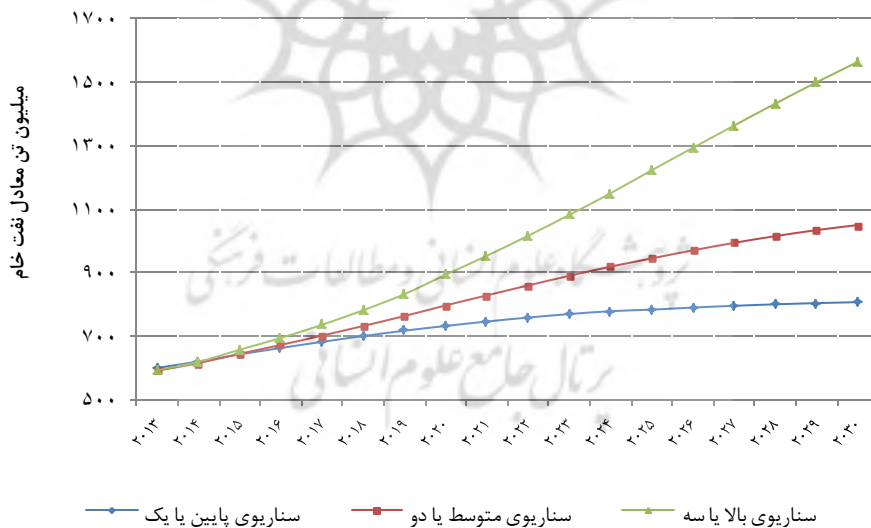
نتایج مربوط به سناریو جمعیتی سه یا حد بالا در نمودار ۳ نشان داده شده است. برخلاف دو سناریوی قبلی، روند مصرف انرژی ایران در این سناریو کاملاً شکل صعودی فزاینده به خود می‌گیرد.



نمودار ۳. پیش‌بینی مصرف انرژی در ایران، ترکیه، پاکستان و سایر کشورهای منطقه اکو در سناریوی جمعیتی سه (حد بالا)

بر این اساس، مصرف انرژی در کشور از حدود ۲۰۰ میلیون تن معادل نفت خام در سال ۲۰۱۳ به حدود ۱۰۰۰ میلیون تن معادل نفت خام در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. در نتیجه چنین رشدی، سهم مصرف ایران از کل مصرف منطقه اکو نیز افزایش خواهد یافت. لازم به ذکر است که مصرف انرژی در کشورهای ترکیه و پاکستان (دو کشور پرجمعیت منطقه، با اقتصادهای قابل مقایسه با اقتصاد ایران) در هر سه سناریو رشد خواهد کرد. اما میزان مصرف انرژی در این کشورها پایین‌تر از ۲۰۰ میلیون تن معادل نفت خام باقی خواهد ماند.

در نمودار ۴، پیش‌بینی مصرف انرژی در کل منطقه اکو در سناریوهای جمعیتی مورد مطالعه در این مقاله نمایش داده شده است. مقایسه نتایج نمایش داده شده در این نمودار با نمودارهای ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهد که مصرف انرژی در ایران سهم قابل توجهی از مصرف انرژی در منطقه اکو را به خود اختصاص خواهد داد. از این رو، روند آتی مصرف انرژی در منطقه اکو به شدت از روند آتی مصرف انرژی در ایران تأثیر می‌پذیرد.



نمودار ۴. پیش‌بینی مصرف انرژی در منطقه اکو در هر یک از سه سناریوی جمعیتی

بحث و نتیجه‌گیری

مدیریت مصرف و پاسخگویی به نیازهای انرژی، مدیریت منابع و تأمین امنیت انرژی، مستلزم پیش‌بینی میزان مصرف آتی انرژی است. در این مقاله، روند آتی مصرف انرژی در ایران و سایر کشورهای عضو اگو طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۰ پیش‌بینی و مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تأثیر میزان جمعیت کل بر روند آتی مصرف انرژی، پیش‌بینی‌ها بر اساس سه سناریوی جمعیتی جایگزین انجام شد. اگرچه در تمام این سناریوها، مصرف انرژی در کشورهای اگو افزایش پیدا می‌کرد، اما الگوی این افزایش در سناریوهای مختلف، متفاوت بود. مهم‌تر از همه اینکه، در سناریوی سه، مصرف انرژی در ایران با روند فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت. با توجه به تأثیر قابل توجه ویژگی‌های جمعیتی بر مصرف انرژی در ایران، ضروری است که مطالعات آتی به تجزیه و تحلیل بیشتر این تأثیرگذاری و پیامدهای احتمالی آنها بپردازند.

علاوه بر این، پیش‌بینی‌های ما کاربردهای سیاستی بسیار مهمی دارد. این پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد، که به شرط تحقق سناریوهای جمعیتی پیش‌گفته و تداوم الگوی مصرف انرژی شناسایی شده از طریق شبکه عصبی، مصرف انرژی در کشور به شکل قابل توجه‌ای افزایش خواهد یافت. از این رو، در آینده بخش بیشتری از منابع انرژی کشور باید صرف پاسخگویی به نیازهای داخلی شود. صرف نظر از پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی چنین مصرفی، این مسئله می‌تواند بر جایگاه سیاسی - اقتصادی منطقه‌ای و جهانی کشور تأثیرات منفی بگذارد. چرا که در صورت عدم اتخاذ تدابیر مقتضی، توان کشور برای صادرات انرژی و سهم آن در بازارهای منطقه‌ای و جهانی انرژی کاهش پیدا خواهد کرد.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار بگیرد آن است که دو شاخص جمعیتی مورد استفاده (به‌ویژه نسبت جمعیت شهرنشین) تا اندازه‌ای بازتاب‌دهنده تأثیر عامل سبک زندگی هستند. سبک زندگی موضوعی کیفی است که می‌تواند اثرات قابل توجه‌ای بر الگوی مصرف داشته باشد. با وجود این، مطالعه کمی آن بسیار دشوار و اغلب نیازمند بهره‌گیری از روش‌های غیرمستقیم و یاری جستن از تفسیرهای نظری است. از این رو، با عنایت به این نکته که شاخص‌های جمعیتی تأثیر سبک زندگی بر الگوی مصرف انرژی را منعکس می‌کنند، ضروری است برای مدیریت و کاستن از رشد مصرف انرژی، سیاست‌ها و برنامه‌های جامع اصلاح الگوی مصرف انرژی، نقش سبک زندگی و اصلاح آن در جهت افزایش کارایی مصرف انرژی را به‌طور جدی مورد توجه قرار دهند.

منابع

- بغزیان، آلبرت و ابراهیم نصرآبادی (۱۳۸۵)، پیش‌بینی مصرف فرآورده‌های نفتی: مقایسه سیستم معادلات اقتصادسنجی و شبکه‌های عصبی، *مطالعات اقتصاد انرژی*، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شماره ۱۰: ۴۷-۶۷.
- حیدری، ابراهیم (۱۳۸۴)، پیش‌بینی تقاضای انرژی در اقتصاد ایران بر اساس روش تجزیه، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران، شماره ۶۹: ۲۷-۵۶.
- شرزهای، غلامعلی، مهدی احراری و حسن فخرایی (۱۳۸۷)، پیش‌بینی تقاضای آب شهر تهران با استفاده از الگوهای ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی نوع GMDH، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران، شماره ۸۴: ۱۷۵-۱۵۱.
- عیسی‌زاده، سعید و جهانبخش مهرانفر (۱۳۸۹)، تأثیر مهاجرت داخلی بر الگوی مصرف انرژی در اقتصاد ایران، *راهبرد یاس*، مرکز پژوهشی مطالعات راهبردی توسعه، شماره ۲۲: ۲۳۷-۲۱۸.
- فرجام‌نیا، ایمان، ناصری، محسن ناصری و سیدمحمد مهدی احمدی (۱۳۸۶)، پیش‌بینی قیمت نفت به دو روش ARIMA و شبکه‌های عصبی مصنوعی، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی، شماره ۳۲: ۱۸۳-۱۶۱.
- فطرس، محمدحسن و حامد منصوری گرگری (۱۳۸۹)، مقایسه مدل لجستیک و مدل‌های هارودی در پیش‌بینی مصرف برق ایران، *مطالعات اقتصاد انرژی*، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شماره ۲۴: ۸۹-۶۳.
- قنبری، علی، امین گلوانی، امین و فرشید جوادنژاد (۱۳۹۱)، بررسی رابطه بین مصرف انرژی و شهرنشینی در ایران با به‌کارگیری روش ARDL، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شماره ۳۵: ۱۱۹-۱۰۱.
- مزرعتی، محمد و بامداد پرتوی (۱۳۸۴)، پیش‌بینی مصرف بنزین تا سال ۱۴۰۰ و نقش مترو تهران در کاهش مصرف آن، *مطالعات اقتصاد انرژی*، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، شماره ۴: ۸۳-۵۷.

موسوی، سید نعمت الله، زینب مختاری، زینب و ذکریا فرج‌زاده (۱۳۸۹)، پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در بخش کشاورزی ایران با الگوهای ARCH و ARIMA، *مطالعات اقتصاد انرژی*، مؤسسه مطالعات بین‌الملل انرژی، شماره ۲۷: ۱۹۵-۱۸۱.

یاوری، کاظم و خالد احمدزاده (۱۳۸۹)، بررسی رابطه مصرف انرژی و ساختار جمعیت (مطالعه موردی: کشورهای آسیای جنوب غربی)، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، مطالعات بین‌الملل انرژی، شماره ۲۵: ۶۲-۳۳.

Amanifard, N., N. Nariman-Zadeh, M. Borji, A. Khalkhali and A. Habibdoust (2007), Modelling and Pareto Optimization of Heat Transfer and Flow Coefficients in Microchannels Using GMDH Type Neural Networks and Genetic Algorithms, *Energy Conversion and Management*, 49(2): 311-325.

Atashkari, K., N. Nariman-Zadeh, M. Gölcü A. and A. Khalkhali Jamali (2007), *Modelling and Multi-Objective Optimization of a Variable Valve-Timing Spark-Ignition Engine Using Polynomial Neural Networks Elsevier*, 48(3): 1029-1041.

ECO Statistical Network (ECOSTAT) (2013), *ECO Key Statistical Indicators available online*: <http://ecosn.org/ECOKSI/ECOKSI.aspx>.

Gurney, K. (1997), *An Introduction to Neural Network*, London; Routledge.

International Energy Agency (2012), *IEA Statistics, available online*; <http://www.iea.org/stats/index.asp>.

Ivakhnenko, A. G. (1968), The Group Method of Data Handling; A Rival of the Method of Stochastic Approximation, *Soviet Automatic Control*, 13: 43-55.

Kankal, M., A. Akpinar, M. I. KoMURCU and T. Ş. Özşahin (2010), Modelling and Forecasting of Turkey's Energy Consumption Using Socio-Economic and Demographic Variables, *Applied Energy*, 88(5): 1927-1939.

Khaloozadeh, H., S. Khaki and L. Caro (2001), *Long Term Prediction of Tehran Price Index (TEPIX) Using Neural Networks*, Proceeding of the 2nd Iran Armenian Workshop on Neural Networks: 139-145.

Liddle, B. and S. Lung (2010), Age-Structure, Urbanization, and Change in Developed Countries: Revisiting STIRPAT for Disaggregated Population and Consumption-Related Environmental Impacts, *Population and Environment*, 31: 317-343.

- Nariman-Zadeh, N. , A. Darvizeh, M. Darvizeh and H. Gharababaei (2002), Modeling of Explosive Cutting Process of Plates Using GMDH-Type Neural Network and singular Value Decomposition, *Journal of Materials Processing Technology*, 128: 80-87.
- Nouri, M. , M. Mohaghegh and A. Azizi (2012), *A Comparative Study on the Relationship Between Energy Consumption and main Demographic and Economic Indicators among ECO Member States*, Formal Report, Population studies and Research Center for Asia and the Pacific.
- Tomkins, R. ,S. Avers, P. Robinson, C. Cameron and C. Groom (2008), *Trading Arrangement and Risk Management in International Electricity Trade*, Formal Report 336/08, Energy Sector Management Assistance Program.
- United Nations Population Division – UNPD (2010), *World Population Prospects: The 2010 Revision*, Available online: <http://esa.un.org/unpp/>.
- Vasechkina, E. F. and V. D. Yarin (2001), *Evolving Polynomial Neural Network by Means of Genetic Algorithm: Some Application Examples*, *Complexity International*, Vol. 9, Paper ID: vasech01, URL: <http://www.complexity.org.au/vol09/vasech01/>.
- World Bank (2013), *World Development Indicators*, Available online: <http://data.worldbank.org/indicator/>.
- York, R. (2007), Demographic Trends and Energy Consumption in European Union Nations, 1960-2025 , *Social Science Research*, 36: 855-872.