



بررسی پارامترهای مؤثر و پیش‌بینی مصرف برق در ایران به کمک یک مدل رگرسیون چندگانه خطی

۱. مقدمه

اهمیت انرژی برق در زندگی امروز و نقش حیاتی و بدون جایگزین این انرژی مهم در صنعت، کشاورزی و سایر فعالیت‌های اقتصادی بر کسی پوشیده نیست. از طرفی رشد روز افزون مصرف و لزوم تأمین مداوم برق و جلوگیری از هرگونه وقفه در تأمین این انرژی مهم، اهمیت برنامه‌ریزی مناسب برای توسعه سیستم قدرت را دوچندان می‌نماید. یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین بخش‌های مطالعات برنامه‌ریزی توسعه، پیش‌بینی میزان مصرف برق در بازه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت می‌باشد.

روش‌های متنوعی برای پیش‌بینی وجود دارد، اما در یک دسته‌بندی کلی می‌توان این روش‌ها را به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- روش‌های مبتنی بر دانش فرد خبره
- روش‌های تحلیل سری‌های زمانی^۱
- روش‌های مبتنی بر تحلیل روابط علیّ بین کمیت موردنظر و پارامترهای مؤثر بر آن

در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی برای شناسایی پارامترهای مؤثر در رشد مصرف برق و همچنین میزان تأثیرگذاری هر کدام انجام شده است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ در مورد عوامل مؤثر بر مصرف برق در ۱۵ کشور اروپایی و همچنین تولید در بلندمدت انجام شده عوامل زیر به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها بیان گردیده است. همچنین در گزارش گروه EPRG در سال ۲۰۱۱ نیز بر نقش این عوامل تأکید شده است [۱-۲].

- (۱) فاکتورهای اقتصادی (مثلاً میزان درآمد ملی و یا خانوار)
- (۲) فاکتورهای قیمتی (قیمت برق و سایر انرژی‌ها و یارانه‌های انرژی)
- (۳) تغییرات روزانه، هفتگی و فصلی پیک‌بار
- (۴) سیاست‌های کنترل مصرف

علیرضا صارمی / دانش‌آموخته کارشناسی ارشد / دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی / saremi831@gmail.com

مهدی صمدی / استادیار گروه برق دانشگاه حکیم سبزواری / ma.samadi@hsu.ac.ir

حمید شهرباف تیریزی / دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد / h_sht@yahoo.com

چکیده

پیش‌بینی مناسب مصرف برق جزء مهمترین پارامترها در برنامه‌ریزی برای یک سیستم قدرت می‌باشد. یکی از متداول‌ترین ابزارها برای انجام پیش‌بینی، روش‌های مبتنی بر رگرسیون می‌باشد. در این مقاله ابتدا پارامترهای علی مؤثر در میزان مصرف انرژی الکتریکی در بازه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سپس با تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات مصرف انرژی الکتریکی در ایران در سال‌های گذشته، یک مدل رگرسیون خطی چند پارامتری جدید برای پیش‌بینی مصرف برق پیشنهاد شده است. همچنین حساسیت نتایج به تعداد داده‌های آماری و همچنین به هر یک از عامل‌های مؤثر در نظر گرفته‌شده، به‌طور کامل تجزیه و تحلیل شده است. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی، دقت و کارایی مدل پیشنهادی را به‌خوبی نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی، رگرسیون خطی چندگانه، مصرف برق

نوسانات قیمت نفت تأثیر فراوانی بر میزان GDP کل کشور می‌گذارد. از طرفی قیمت نفت تأثیر مستقیم و معناداری با مصرف برق ندارد. بنابراین انتظار می‌رود ارتباط معنادارتری بین GDP بدون نفت و مصرف برق وجود داشته باشد. مطابق رابطه (۱) ضریب همبستگی برای ارزیابی وابستگی یک متغیر نسبت به متغیر دیگر بکار می‌رود. این ضریب جهت و مقدار رابطه‌ی بین دو متغیر را توصیف می‌کند.

$$r_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{var(x)var(y)}} \quad (1)$$

جدول ۱: ضریب همبستگی بین مصرف برق کل و پارامترهای مؤثر

سرانه ملی	درآمد ملی	ناخالص کل	ناخالص بدون نفت	جمعیت
۰.۸۷۹۵	۰.۸۷۹۶	۰.۸۸۱۴	۰.۸۸۵۲	۰.۹۱۰۵

جدول ۲: ضریب همبستگی بین مصرف صنعتی و پارامترهای مؤثر

سرانه ملی	درآمد ملی	ناخالص کل	ناخالص بدون نفت	جمعیت
۰.۸۷۳۷	۰.۸۶۵۱	۰.۸۹۴۱	۰.۸۹۴۸	۰.۸۹۰۴

جدول ۳: ضریب همبستگی بین مصرف خانگی و پارامترهای مؤثر

سرانه ملی	درآمد ملی	ناخالص کل	ناخالص بدون نفت	جمعیت
۰.۸۵۱۹	۰.۸۳۷۶	۰.۸۱۰۹	۰.۸۲۴۳	۰.۹۴۳۸

با توجه به جداول فوق می‌توان گفت: جمعیت، تولید ناخالص داخلی بدون نفت، درآمد سرانه و تولید ناخالص داخلی کل، به ترتیب بیشترین تأثیر در میزان مصرف برق را دارند. همچنین مقایسه تولید ناخالص داخلی بدون نفت و تولید ناخالص کل در هر سه جدول، صحت مطالب ذکر شده در زمینه ارتباط قوی تر بین GDP بدون نفت با مصرف برق را نشان می‌دهد. در مورد مصارف صنعتی میزان تأثیر پارامتر GDP بدون نفت پررنگ‌تر از سایر مصارف است که این نیز ناشی از ارتباط مستقیم و مثبت بین رشد صنعتی و GDP می‌باشد. در مورد مصرف خانگی نیز میزان جمعیت و میزان درآمد سرانه هر نفر تأثیر گذارتر از سایر پارامترها دیده می‌شود؛ بنابراین سه پارامتر مؤثرتر از بین این پارامترها عبارت‌اند از:

- میزان جمعیت کل کشور
- میزان تولید ناخالص داخلی بدون در نظر گرفتن فروش نفت
- میزان درآمد سرانه ملی

۳. مدل رگرسیون خطی چندگانه پیشنهادی

رابطه کلی رگرسیون خطی چندگانه به صورت زیر است:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \xi \quad (2)$$

در مدل پیشنهادی سه پارامتر به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده لذا رابطه Y به صورت زیر خواهد بود:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \xi \quad (3)$$

(۵) ساختار صنعت جامعه مورد مطالعه
 (۶) پیشرفت فناوری و توسعه شبکه‌های هوشمند
 (۷) سایر سیاست‌ها (مانند سیاست‌های جلوگیری از گرم شدن زمین) مطابق مرجع [۳]، عوامل مؤثر در رشد مصرف برق کشور چیندر بلندمدت عبارت‌اند از: تولید ناخالص داخلی (GDP)، قیمت الکتریسیته، رشد جمعیت، تغییرات ساختاری در اقتصاد و بهبود راندمان (سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف). در گزارش مجمع جهانی انرژی در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ که در مورد پارامترهای کلی مؤثر بر رشد مصرف انرژی در جهان ارائه گردیده نیز، تأکید فراوانی بر نقش GDP بر میزان رشد مصرف انواع انرژی‌ها شده است [۴-۵]. تحقیقات گسترده انجام شده در کشورهای مختلف در زمینه نقش تولید ناخالص داخلی در رشد مصرف برق بیانگر یک ارتباط مثبت و مؤثر بین افزایش GDP و رشد مصرف برق می‌باشد. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۶، تحقیق جامعی توسط مرکز SEEC^۵ در کشور انگلستان، برای بررسی میزان ارتباط بین GDP و رشد مصرف برق صورت گرفت. در این تحقیق از داده‌های آماری ۳۸ کشور توسعه یافته و ۷۸ کشور توسعه نیافته و در حال توسعه استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که مصرف انرژی و GDP در کشورهای توسعه یافته ارتباط قوی تری نسبت به کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته دارند [۶-۷].

در مرجع [۸]، چگونگی تأثیر GDP بر رشد مصرف برق در ایران بررسی شده است. در این راستا سعی شده با استفاده از آنالیز منحنی GDP از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۲، تحلیلی بر روند تأثیر این پارامتر بر رشد مصرف برق صورت پذیرد. نتایج این مقاله نشان می‌دهد، میزان رشد صنعتی استان‌ها با میزان مصرف برق آن‌ها مرتبط می‌باشد. اهمیت موضوع پیش‌بینی مناسب مصرف برق در کشور، همچنان محققان را به تلاش در این زمینه ترغیب می‌کند. در این مقاله، به بررسی و مدل‌سازی چند پارامتر مهم و تأثیرگذار بر مصرف برق (صنعتی، خانگی و کلی) پرداخته شده است. این پارامترها عبارت‌اند از: جمعیت، تولید ناخالص داخلی کلی، تولید ناخالص داخلی بدون نفت و سرانه درآمد خانوار در کشور. در این راستا با تشکیل ماتریس همبستگی عوامل مهم‌تر و مؤثرتر در میزان رشد مصرف برق شناسایی شده است. در ادامه، یک مدل رگرسیون خطی چندگانه جدید برای نشان دادن ارتباط پارامترهای مؤثر ذکر شده بر میزان مصرف برق در بلندمدت پیشنهاد گردیده است. سپس برآورد پارامترهای مدل پیشنهادی به کمک آمارهای موجود در بانک‌های اطلاعاتی مرکز آمار ایران، بانک مرکزی و نشریه آمار تفصیلی وزارت نیرو انجام و نتایج شبیه‌سازی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. (لازم به ذکر است تهیه آمارهای مورد نیاز از منابع معتبر، یکی از چالش‌های انجام این تحقیق بوده است).

۲. بررسی پارامترهای مؤثر بر مصرف برق

در این بخش از مقاله، پارامترهای زیر که اساسی‌ترین موارد مؤثر در مصرف برق می‌باشند، به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

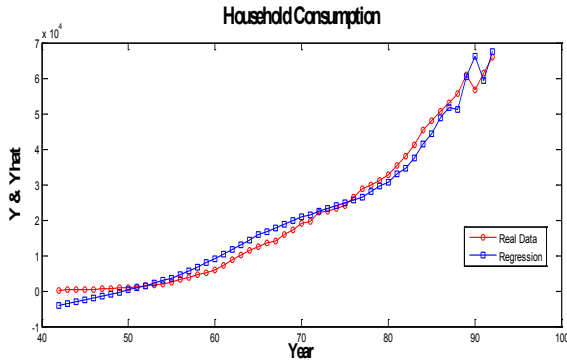
- جمعیت کل کشور
 - تولید ناخالص داخلی
 - تولید ناخالص داخلی بدون نفت
 - درآمد کل ملی
 - سرانه ملی هر نفر
- علت در نظر گرفتن تولید ناخالص داخلی کل و تولید ناخالص داخلی بدون نفت، به شرح زیر می‌باشد: تولید ناخالص داخلی کل کشور، وابستگی زیادی به میزان فروش و همچنین قیمت نفت دارد، لذا

که در فرم ماتریسی به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \vdots \\ \xi_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

با استفاده از اطلاعات آماری موجود در مراجع [۱۱-۹]، برآورد تخمینی ضرایب مجهول β_0 تا β_3 محاسبه شده که مقادیر به صورت زیر است:

$$\beta = \begin{bmatrix} -60350 \\ 2.1201 \\ 0.0345 \\ 0.0496 \end{bmatrix}$$

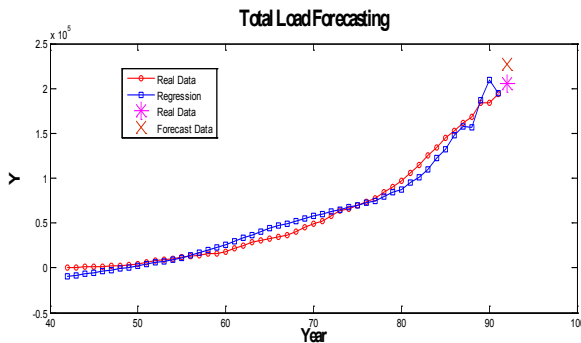


شکل (۳): مصرف بخش خانگی (اطلاعات واقعی و نتایج مدل پیشنهادی)

۴. پیش بینی مصرف با استفاده از مدل پیشنهادی

در بخش قبل با استفاده از کل داده‌ها (اطلاعات سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۲) ضرایب β_0 تا β_3 محاسبه گردیدند. در این بخش مدل پیشنهادی و خطای آن در پیش‌بینی مصرف سال‌های آینده مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور، تعدادی از داده‌های موجود به عنوان داده‌های تعلیم^۷ برای تشکیل مدل رگرسیون و اطلاعات چند سال انتهایی برای آزمودن مدل استفاده شده‌اند. به این ترتیب با مقایسه داده‌های واقعی و نتایج پیش‌بینی سال‌های آخر می‌توان مقدار خطای مدل را ارزیابی کرد. همچنین با تغییر تعداد داده‌های تعلیم می‌توان حساسیت دقت پیش‌بینی نسبت به تعداد داده‌ها را بررسی نمود.

در ابتدا با انتخاب ۵۰ داده ابتدایی (سال‌های ۴۲ تا ۹۱) مصرف برق در سال ۹۲ پیش‌بینی شده و نتایج با مقدار واقعی مقایسه شده است (شکل ۴). مصرف برق در سال ۱۳۹۲ مقدار ۲۰۶۰۰۰ میلیون کیلووات ساعت بوده که با توجه به مدل پیشنهادی، پیش‌بینی مصرف در سال ۱۳۹۲ مقدار ۲۲۷۲۰۰ میلیون کیلووات ساعت می‌باشد.



شکل (۴): پیش‌بینی مصرف برق کل

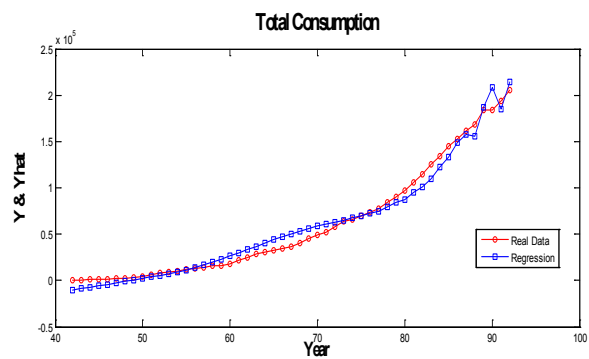
همان‌طور که از شکل مشخص است مقادیر پیش‌بینی شده (آبی‌رنگ) و مقادیر واقعی (قرمز رنگ) - به‌عنوان مثال - از سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۸ و همچنین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۷ بسیار به هم نزدیک‌اند.

الف. شاخص اعتبار سنجی (R^2)

یکی از معیارهای بررسی خوبی برازش، R^2 می‌باشد که مطابق رابطه (۵) تعریف می‌گردد:

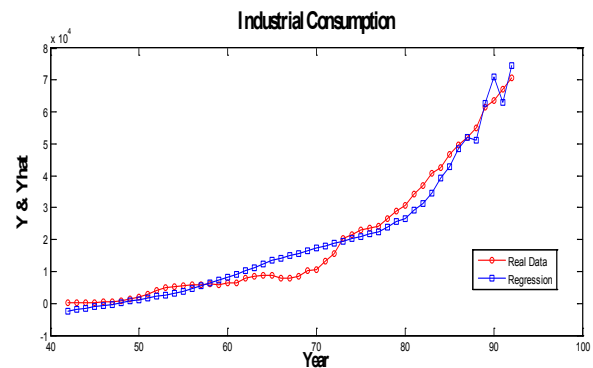
$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (5)$$

با داشتن ماتریس ضرایب β می‌توان مقادیر به‌دست‌آمده از رگرسیون و مقادیر واقعی را با هم مقایسه نمود. به این ترتیب میزان خطای محاسبات قابل ارزیابی خواهد بود. در شکل (۱)، اطلاعات واقعی مصرف برق کل کشور بین سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۲ در کنار نتایج به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون پیشنهادی رسم شده است. (مقادیر واقعی با رنگ قرمز و مقادیر به‌دست‌آمده از رگرسیون آبی‌رنگ است).



شکل (۱): مصرف برق کل (اطلاعات واقعی و نتایج مدل پیشنهادی)

مشاهده می‌شود اگر ضرایب رگرسیون با استفاده از همه اطلاعات موجود محاسبه شود، مقادیر به‌دست‌آمده از رگرسیون بسیار نزدیک به اطلاعات واقعی است. در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب، مصارف برق صنعتی و خانگی رسم شده‌اند.



شکل (۲): مصرف بخش صنعتی (اطلاعات واقعی و نتایج مدل پیشنهادی)

مقاله، با تشکیل یک مدل رگرسیون چندگانه و استفاده از اطلاعات آماری سال‌های گذشته کشور، روشی جدید برای پیش‌بینی مصرف برق پیشنهاد شده است. شبیه‌سازی‌های این مقاله نشان می‌دهد به دلیل وابستگی شدید اقتصاد ایران به نفت و نوسانات قیمتی آن، استفاده از اطلاعات تولید ناخالص داخلی بدون درآمدهای نفتی، جهت تجزیه و تحلیل رشد مصرف برق، نتایج دقیق‌تری را به همراه دارد.

لازم به ذکر است عوامل دیگری همچون قیمت برق، قیمت سایر انرژی‌ها، دسترس پذیری انواع انرژی و سیاست‌های انرژی نیز می‌توانند در رشد مصرف مؤثر باشند که به دلیل شرایط قیمت‌گذاری دولتی، واقعی نبودن قیمت حامل‌های انرژی و همچنین نبودن آمار دقیق بعضی پارامترها در کشور، در این تحقیق به آن‌ها پرداخته نشد. با اجرایی شدن کامل طرح هدفمندی یارانه‌ها و واقعی شدن قیمت‌های انرژی، می‌توان اثر سیاست‌های قیمتی و حتی سیاست‌های اصلاح الگوی مصرف بر رشد مصرف را نیز به‌خوبی ارزیابی نمود.

پی‌نوشت‌ها:

1. Time series
2. Casual
3. Electricity Policy Research Group
4. Grossdomesticproduct
5. Surrey Energy Economics Centre
6. Multiple Linear Regression
7. Training data

منابع:

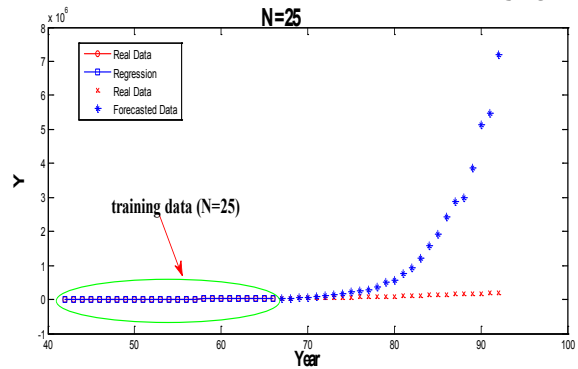
- [1] "The Drivers of Electricity Demand And Supply", ObservatoireMéditerranée de l'Energie, Version April 2007
- [2] The Economics of Energy (and Electricity) Demand Laura M. Platchkov and Michael G. Pollitt April 2011
- [3] Electricity Demand In The Peoples Epublic Of China: Investment Requirement And Environmental Impact. Bo Q. Lin March 2003
- [4] Policies for the future 2011 Assessment of country energy and climate policies
- [5] World Energy Council Project Partner OLIVER WYMAN World Energy Resources WORLD ENERGY COUNCIL 2013 Survey
- [6] "Causality between Energy Consumption and GDP: Evidence from 30 OECD and 78 Non-OECD Countries", Jaruwan Chontanawat, Lester C. Hunt, and Richard Pierse, Department of Economics University of Surrey, 2006 ژوئن.
- [7] بررسی تحلیلی رابطه‌ی بین مصرف انرژی الکتریکی ورود اقتصادی در ایران، امید ضیائی، امید علیزاده موسوی، حبیب رجیب مشهدی، اولین اجلاس بین‌المللی مدیریت ویر نامه ریزی انرژی ۲۰۰۶
- [8] شرکت توانیر-آمار تفصیلی صنعت برق
- [9] بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران -بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی - بخش‌های انرژی، امور اجتماعی، نیروی انسانی و اشتغال، حساب‌های ملی
- [10] اطلاعات مرکز آمار ایران، سرپه‌های زمانی

SSE: مجموع مربعات خطا
SSR: مجموع مربعات رگرسیون
SST: مجموع مربعات کل

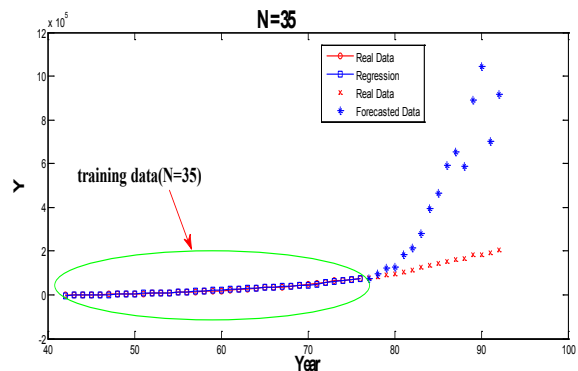
مقدار مناسب برای R^2 عبارت است از: $1 \geq R^2 \geq 0.9$. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقدار R^2 برابر ۰,۹۷۹۹ است، یعنی نزدیک به ۹۸ درصد تغییرات توسط خط رگرسیون بیان می‌گردد.

ب. بررسی حساسیت رگرسیون به داده‌های تعلیم

برای بررسی اثر تعداد داده‌های مورد استفاده، برای محاسبه پارامترهای رگرسیون در دقت مدل، شبیه‌سازی برای تعداد ۲۵ و ۳۵ داده تعلیم نیز انجام شده است که نتایج در شکل‌های (۵) و (۶) به نمایش درآمده است.



شکل (۵): نتایج شبیه‌سازی با توجه به تعداد داده‌های تعلیم N=۲۵



شکل (۶): نتایج شبیه‌سازی با توجه به تعداد داده‌های تعلیم N=۳۵

با دقت در دو شکل فوق مشاهده می‌شود که در سالهای ۷۲ تا ۷۵ تغییر عمده‌ای در مقادیر رخ می‌دهد و روند نمودار عوض می‌شود و خطای مقادیر به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین باید داده‌های سال‌های ۷۲ تا ۷۵ حتماً جزء داده‌های تعلیم در نظر گرفته شوند و گرنه خطا فاحش خواهد بود. به نظر می‌رسد که یکی از ایرادات رگرسیون خطی حساسیت بیش از حد آن به تعداد داده‌ها و همچنین تغییرات روند داده‌ها است.

۵. نتیجه‌گیری

پیش‌بینی مصرف برق یکی از مهم‌ترین پارامترها در برنامه‌ریزی برای صنعت برق هست. با توجه به تحقیقات صورت گرفته مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در رشد مصرف برق کل کشور به ترتیب جمعیت، تولید ناخالص داخلی و سپس درآمد سرانه ملی می‌باشند. در این