فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی کاربردی/ سال اول/ شماره سوم/ صفحات ۸۰-۵۷

مقایسه الگوهای رشد لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی در پیش‌بینی مصرف برق بخش‌های اقتصادی در ایران

محمدرضا لطفعلی‌پور
استاد دانشگاه فردوسی مشهد، lotfalipour@um.ac.ir
علی چشمی
استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، ali.cheshmi@gmail.com
بهنام پاکرو*
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد، behnampakroo@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۷ تاریخ پذیرش ۹۲/۸/۱۴

چکیده

با توجه به نقش انرژی برق در فرایند رشد اقتصادی و روند افزایشی مصرف آن به ویژه در کشورهای در حال توسعه، پیش‌بینی مصرف آتی برق، در تدوین سیاست‌های انرژی نقش مهمی دارد. مطالعات تجربی در زمینه پیش‌بینی مصرف برق، از الگوهای گوناگونی بهره گرفته‌اند. در این مقاله دقت الگوهای منحنی رشد (الگوهای لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی) در پیش‌بینی مصرف برق بخش‌های اقتصادی ایران بررسی شده است. برای این منظور مصرف برق بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و کل طی دوره 90-1346 و با بکارگیری سه الگوی مذکور برآورد شده و از نتایج این برآوردها جهت پیش‌بینی مصرف برق در این بخش‌ها و در سال‌های 1400- 1391استفاده شده است. به منظور ارزیابی کارایی برآوردها، از آماره دوربین واتسون و معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوی هاروی از دو الگوی دیگر کاراتر و دقیق‌تر بوده و در مجموع پیش‌بینی‌های نزدیک به واقعیت و مطمئن‌تری را ارائه می‌دهد. به طور کلی الگوی هاروی رشد متوسط سالانه 3/96، 5/76، 7/34، 5/02 و 4/58 درصدی را به ترتیب برای مصارف خانگی، کشاورزی، صنعتی، خدمات و کل پیش‌بینی کرده است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی مصرف برق، الگوهای منحنی رشد، رشد لجستیک، رشد هاروی
طبقه‌بندی JEL : Q40، Q49، Q53.

---

* نویسنده مسئول

1- مقدمه

امروزه انرژی برق به عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی کشور، نهاده‌ای موثر در تولید و کالایی حیاتی در مصرف به شمار می‌رود. آگاهی از میزان تقاضای انرژی الکتریکی در هر دوره به منظور برنامه‌ریزی دقیق و اعمال سیاست‌های مناسب امری مهم و درخور توجه می‌باشد. پیش‌بینی تقاضای برق در مقاطع بلندمدت جهت یافتن نیازهای آتی برای توسعه نیروگاه‌های کشور و همچنین پیش‌بینی کوتاه‌مدت آن جهت تنظیم میزان بار برق در بخش‌های مختلف پرمصرف و کم مصرف ضروری است. در رابطه با پیش‌بینی مصرف برق الگوهای گوناگونی ارائه شده است. انتخاب یک الگوی مناسب از میان انواع الگوهای موجود بستگی به ماهیت مسأله، موضوع و هدف تحقیق و همچنین به کمیت و کیفیت داده‌های موجود و قابل دسترس دارد. نتایج به دست آمده از کارهای تای[1](1985)، باجر و تای[2] (1987)، جیوانیس و اسکی‌آداس[3] (1999)، محمد و باجر[4] (2003)، محمد[5] (2004)، محمد، باجر و هیوم[6] (2004) و محمد (2005)، نشان می‌دهد که در پیش‌بینی مصرف برق، انواع الگوهای رشد لجستیک[7]، از بسیاری از الگوهای اجتماعی و فنی کاراتر بوده و نتایج بهتر و دقیق‌تری را به دست می‌دهند. در مطالعه حاضر به منظور پیش‌بینی مصرف برق در بخش‌های مختلف مصرفی ایران، از سه الگوی لجستیک، لجستیک هاروی[8] و هاروی[9] بهره گرفته شده و سپس این الگوها از نظر دقت و قدرت پیش‌بینی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. ابتدا با استفاده از این سه الگو، مصرف برق بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و کل در دوره 90-1346 برآورد شده و سپس مصرف برق در این بخش‌ها طی 1400- 1391 پیش‌بینی شده است. در این الگوها به دلیل غیرخطی بودن روابط، برای تخمین پارامترها از روش حداقل مربعات غیرخطی (NLS[10])، استفاده شده است.

---

[1] Tay
[2] Bodger and Tay
[3] Giovanis and Skiadas
[4] Mohamed and Bodger
[5] Mohamed
[6] Mohamed, Bodger and Hume
[7] Logestic Growth Models
[8] Harvey Logestic
[9] Harvey
[10] Nonlinear least squares

در ادامه پس از ارائه پیشینه و مبانی نظری تحقیق، به معرفی روش تحقیق و الگوهای پیش‌بینی به کار رفته در این مطالعه پرداخته می‌شود. سپس با توجه به داده‌های سری زمانی سالانه مصرف برق در چهار بخش خانگی، کشاورزی، صنعت و خدمات و کل اقتصاد، الگوهای فوق‌الذکر برای ایران برآورد و پیش‌بینی‌ها انجام می‌شوند. در نهایت نتیجه‌گیری مقاله ارائه می‌گردد.

2- پیشینه تحقیق

در تحقیقات موجود برای پیش‌بینی مصرف برق روش‌های گوناگونی به کار گرفته شده است. الگوهای ARIMA[1]، الگوهای رگرسیون تک متغیره و چندمتغیره، الگوهای منحنی رشد[2] (شامل الگوی لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی)، الگوی VAL[3] (الگوی لجستیکی لجستیکی با سطح اشباع متغیر)، از انواع الگوهایی هستند که برای پیش‌بینی تقاضای برق مورد استفاده قرار می‌گیرند (محمد، باجر و هیوم، 2004). همچنین برخی محققین نیز به منظور پیش‌بینی تقاضای برق از الگوی شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوهای VAR [4] و الگوهای معادلات هم‌زمان بهره گرفته‌اند (صمدی و دیگران، 1387). در این بخش به برخی از این مطالعات داخلی و خارجی اشاره می‌شود.

2-1- مطالعات داخلی

صفاری‌پور اصفهانی(1376) در مطالعه خود با استفاده از آمار و اطلاعات سال‌های 77-1346 و با هدف پیش‌بینی تقاضای برق در برنامه سوم توسعه، تقاضای برق در بخش خانگی و غیر خانگی را به صورت جداگانه برآورد نموده است. بر اساس پیش‌بینی وی تا پایان برنامه سوم توسعه متوسط رشد سالانه مصرف برق کل کشور تقریباً بین 5/4 تا 6/2 درصد خواهد بود.

رمضانی و رمضانی (1384) در مقاله‌ای به پیش‌بینی تقاضای برق در ایران با استفاده از دو روش ARIMA و الگوی شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته‌اند. بدین منظور از داده‌های ماهیانه تقاضای برق طی سال‌های 1370 تا 1381 استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی مصنوعی عملکردی بهتر از الگوهای ARIMA در خصوص پیش‌بینی مقادیر سری‌های زمانی دارند.

---

[1] Autoregressive Integrated Moving Average
[2] Growth Curve Models
[3] Variable Asymptote Logistic
[4] Vector Autoregressive

صمدی و همکاران (1387) در مقاله‌ای پس از برآورد تابع تقاضای برق در ایران، با استفاده از داده‌های سری زمانی سال‌های 83- 1363، به پیش‌بینی تقاضای برق در دوره 88- 1384 با استفاده از روش ARIMA پرداخته‌اند. نتایج پیش‌بینی مربوط به تقاضای برق سال‌های ذکر شده نشان می‌دهد که تقاضای سرانه برق با نرخ رشد سالانه 4/4 درصد افزایش می‌یابد که حاکی از رشد بسیار بالای مصرف برق در ایران می‌باشد.

فُطرُس و گرگری (1389) در مقاله‌ای به ارزیابی کارآمدی سه الگوی رشد لجستیک، هاروی و لجستیک هاروی در پیش‌بینی مصرف برق در سه بخش خانگی، غیر خانگی و کل برق پرداخته‌اند. بدین منظور از داده‌های سری زمانی مصرف برق دوره 1385- 1347 استفاده شده و نرم افزار ایویوز[1] نسخه 5 برای برآورد پارامترها به کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوی هاروی نسبت به الگوهای دیگر پیش‌بینی دقیق‌تری را ارائه می‌دهد.

در مقاله حاضر، همانند مطالعه انجام گرفته توسط فطرس و گرگری (1389) از سه الگوی رشد لجستیک، هاروی و لجستیک هاروی برای پیش‌بینی مصرف برق استفاده شده است، با این تفاوت که در این مطالعه به جای مطالعه دو بخش خانگی و غیر خانگی، به پیش‌بینی و برآورد مصرف برق بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت و خدمات پرداخته می‌شود که وجه تمایز این مطالعه با مطالعات مشابه قبلی است.

2-2- مطالعات خارجی

محمد و باجر (2003) در مقاله‌ای به بررسی کارایی الگوی لجستیک برای پیش‌بینی مصرف برق در نیوزلند پرداخته‌اند. در این تحقیق داده‌های سالانه مصرف برق برای سال‌های 1943 تا 1999 استفاده شده و این داده‌ها را به سه دسته مصرف بخش خانگی، مصرف غیر خانگی و مصرف کل تقسیم کرده‌اند.. پیش‌بینی‌ها با استفاده از الگوی رشد لجستیک تا سال 2017 انجام شده است و با پیش‌بینی‌های صورت گرفته در سال 1982 توسط کمیتهٔ پیش‌بینی مصرف برق (EDFC[2]) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های صورت گرفته توسط الگوی لجستیک به مراتب نتایج دقیق‌تری را نسبت به پیش‌بینی‌های انجام شده توسط EDFC ارائه می‌دهد.

---

[1] Eviews
[2] Electricity Sector Forecasting Committee (ESFC)

محمد (2004) در رسالهٔ دکترای خود، به پیش‌بینی مصرف برق با استفاده از الگوی لجستیک، الگوی هاروی و لجستیک هاروی، الگوی رگرسیون خطی چند متغیره (الگوی ترکیبی)، الگوی ARIMA، الگوی لجستیکی با سطح اشباع متغیر (VAL) می‌پردازد. این رساله، الگوهای ذکر شده را برای پیش‌بینی مصرف برق کشوری (کشورهای نیوزلند، مالدیو، انگلیس و ایالات متحده آمریکا) و ناحیه‌ای (مثل اروپای غربی، آفریقای جنوبی و مرکزی، خاورمیانه و ...) و همچنین پیش‌بینی مصرف برق جهانی استفاده کرده و آن‌ها را باهم مقایسه می‌کند. علاوه بر آن به بررسی و مطالعه الگوی مصرف برق و ارتباط آن با رشد اقتصادی و جمعیت می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهند که الگوی هاروی تنها الگویی است که هم در کوتاه‌مدت، هم میان‌مدت و هم بلندمدت بهترین پیش‌بینی‌ها را ارائه می‌دهد.

محمد، باجر و هیوم (2004) به مقایسه شش الگوی پیش‌بینی کنندهٔ تقاضای برق در نیوزلند و مالدیو پرداخته‌اند. برای نیوزلند از داده‌های سال‌های 1999-1943 و برای مالدیو از داده‌های 2002-1980 استفاده شده است. الگوهای استفاده شده در این پژوهش عبارتند از الگوی لجستیک، الگوی هاروی و لجستیک هاروی، الگوی رگرسیون خطی چند متغیره (الگوی ترکیبی)، الگوی ARIMA، الگوی لجستیکی با خط مجانبی متغیر (VAL). این الگوها مصرف برق را برای سه بخش خانگی، غیر خانگی و کل، در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت مورد تحلیل قرار دادند. پس از تجزیه و تحلیل الگوهای ذکر شده در دو کشور نیوزلند و مالدیو نتایج نشان داد که برای نیوزلند، الگوی هاروی و لجستیک هاروی بهترین نتایج را ارائه می‌دهد و برای مالدیو نیز بهترین پیش‌بینی‌ها را الگوی هاروی و الگوی ARIMA انجام می‌دهند. بنابراین نتایج نشان می‌دهد با اینکه الگوهایی مانند ARIMA در اقتصاد بسیار مشهور بوده و در تحقیقات برای پیش‌بینی مصرف برق استفاده‌های فراوانی از آن می‌شود اما الگوهای ناشناخته و ساده‌ای همانند الگوهای رشد ممکن است در برخی موارد حتی نتایج بهتری را نسبت به الگوهای دیگر ارائه دهند.

محمد و باجر (2005)، در پژوهشی کارایی الگوهای لجستیک و هاروی و لجستیک هاروی را در پیش‌بینی مصرف برق برای 9 و 19 سال آتی نیوزلند با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. داده‌های مصرف برق برای سه بخش خانگی، غیرخانگی و مصرف کل برای بازه زمانی 1999- 1943 جمع‌آوری شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که الگوی هاروی یک الگوی بسیار مناسب و کارآمد برای پیش‌بینی مصرف برق نیوزلند است.

هانگ و باجر (2010)، در مطالعه‌ای به بررسی شدت برق برای کشورها و مناطق منتخب جهان برای بازه زمانی 2009- 1985 و همچنین پیش‌بینی مصرف برق برای دوره‌های 10 و 20 سال با استفاده از الگوهای ARIMA، الگوهای رشد لجستیک، لجستیک هاروی، هاروی و همچنین الگوی لجستیکی با خط مجانبی متغیر (VAL) برای این کشورها پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که الگوی هاروی برای اغلب کشورها و مناطق نتایج بهتر و نزدیک به واقع‌تری را نسبت به الگوهای دیگر ارائه می‌دهد.

3- مبانی نظری تحقیق

در سال‌های اخیر، پدیدهٔ رشد و انتشار[1] در بسیاری از رشته‌های علمی نظیر زیست‌شناسی، جمعیت‌شناسی، اقتصاد و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اصطلاح رشد به طور معمول در مطالعات جمعیت‌شناسی، زیست‌شناسی و یا شیمی استفاده می‌شود درحالی‌که واژه انتشار در مطالعات بازاریابی و تکنولوژیکی بیشتر کاربرد دارد (کاریلو و گونزالس[2]، 2002). منحنی‌های رشد به عنوان یک ابزار در تمام مطالعاتی که در آن سرانجام فرآیند مورد نظر به یک سطح اشباع[3] می‌رسد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طیف گسترده‌ای از الگوهای رشد وجود دارد که از میان آنها، الگوی لجستیک بیشتر از همه مورد توجه قرار گرفته است (کاریلو و گونزالس، 2002). تابع لجستیک یا منحنی لجستیک یک تابع از خانواده توابع سیگموئید[4] است که اولین بار در سال 1845 توسط ورهالست[5] به منظور مطالعه رشد جمعیت، مورد استفاده قرار گرفت. تابع رشد لجستیک با معادله عمومی زیر مشخص می‌شود:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \qquad (1)$$

که در آن e عدد اولر است. محدوده x نیز اعداد حقیقی است و می‌توان منحنی لجستیک را از ∞- تا ∞+ رسم نمود. در عمل با توجه به ماهیت تابع نمایی (e^{-x})، اغلب برای محاسبه x یک محدوده کوچک‌تر همانند بازه] 6+ و 6-[را در نظر می‌گیریم. تابع لجستیک در رشته‌های زیست‌شناسی، جمعیت‌شناسی، اقتصاد، شیمی، روان‌شناسی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ریاضیات، احتمالات، جامعه‌شناسی، علوم سیاسی و آمار، کاربرد دارد (هان و

---

[1] Diffusion
[2] Carrillo and Gonzalez
[3] Saturation Level
[4] Sigmoid
[5] Verhulst

موراق[1]، 1995). تعدادی از محققان با استفاده از الگوهای لجستیک ساده و گاه با انجام برخی اصلاحات فنی لازم، به انجام برخی پیش‌بینی‌ها و تخمین‌ها در زمینه‌های گوناگون پرداخته‌اند. باس[2] (1969) یک الگوی رشد را برای زمان‌بندی خرید اولیه محصولات جدید، بسط داد. الگوی باس ترکیبی از الگوهای لجستیک و تابع نمایی تغییر داده شده است و بنابراین به طور گسترده در مطالعات مربوط به فناوری و بازاریابی مورد استفاده قرار گرفته است.

در سال‌های اخیر، برخی از الگوهای رشد برای تخمین تقاضای برق به کار برده شده‌اند. جیوانیس و اسکی‌آداس[3] (1999) استفاده از یک الگوی تصادفی تبیین انتشار نوآوری را برای پیش‌بینی مصرف برق در یونان و ایالات متحده آمریکا پیشنهاد کردند. الگوی پیشنهادی، که از الگوی رشد لجستیک اصلی اخذ شده بود، نتایج تقریباً خوبی را برای داده‌های به کار برده شده نشان می‌دهد. باجر و تای[4] (1987) نیز الگوی لجستیک را برای مصرف برق نیوزلند به کار بسته‌اند. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در زمینه تخمین و پیش‌بینی مصرف برق، انواع الگوی رشد لجستیک، از بسیاری از الگوهای اجتماعی و تکنولوژیکی کاراتر بوده و نتایج بهتری را به دست می‌دهند. کارهایی که باجر و تای (1987) در مورد پیش‌بینی برق نیوزلند انجام داده‌اند موید این مطلب است.

فرض می‌شود یک حد بالا یا ارزش مجانبی[5] برای منحنی رشد مصرف انرژی وجود دارد، که که باعث می‌شود منحنی S شکل عمومی لجستیک، چولگی به راست داشته باشد. ارزش داده‌های مربوطه در ابتدا به آرامی و به صورت نمایی افزایش می‌یابد و در نقطه خمیدگی به حداکثر نرخ رشد می‌رسد. از این نقطه به بعد، نرخ رشد به تدریج کاهش می‌یابد تا این که منحنی به نقطه مجانب نزدیک شود که آنجا همان نقطه اشباع است.

همان طور که اشاره شد الگوهای لجستیک به یک سطح آستانه‌ای (اشباع) نزدیک می‌شوند که برای تعیین آن می‌توان از روش جستجوی فیبوناچی[6] استفاده کرد (باجر و تای، 1987). 1987). در این الگوها قبل از تخمین پارامترها، نخست باید مقدار سطح اشباع برآورد شود. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که در زمینه پیش‌بینی و از جمله پیش‌بینی مصرف

---

[1] Han and Morag
[2] Bass
[3] Skyadas
[4] Bodger and Tay
[5] Asymptotic Value
[6] Fibonacci search method

برق، الگوهای لجستیکی در کل بهترین پیش‌بینی‌ها را به دست می‌دهند با این وجود، این الگوها نیز با محدودیت‌هایی مواجه‌اند علت آن نیز برآورد سطح اشباع قبل از انجام پیش‌بینی است (محمد و باجر، 2005). پیش‌بینی‌های حاصل از توابع لجستیک در کل کمتر از پیش‌بینی‌های بین‌المللی است. علت این امر، وجود محدودیت‌هایی است که به واسطه سطح اشباع به منحنی رشد لجستیک تحمیل می‌شود. در هر حال مقدار پیش‌بینی کمتر از حد اشباع، همیشه امتیازی برای الگوی رشد لجستیکی محسوب نمی‌شود، به ویژه زمانی که مقدار رشد اولیه، بالاتر از سطح اشباع باشد (محمد و باجر، 2005).

بر این اساس هاروی[1] (1933 و 1884) برای پیش‌بینی سری‌های زمانی و رفع محدودیت‌های توابع لجستیکی الگویی پیشنهاد کرده است. در الگوی پیشنهادی هاروی نیازی به تعیین سطح اشباع قبل از تخمین پارامترهای الگو نیست. الگوهای هاروی خود بر دو نوع‌اند، الگوی هاروی و الگوی لجستیک هاروی که الگوی نخست بر اساس الگوی لجستیک عمومی[2] بوده و الگوی دوم نیز بر پایه الگوی لجستیک عمومی تعدیل یافته[3] استوار است. الگوهای هاروی، نوعی ترکیب الگوی لجستیکی و الگوی نمایی هستند.

مطالعات انجام شده حاکی از آن است که در زمینه پیش‌بینی و از جمله پیش‌بینی مصرف برق، الگوی لجستیکی و الگوهای هاروی در کل بهترین پیش‌بینی‌ها را به دست می‌دهند (فطرس و گرگری، 1389). این مقاله کارایی دو نوع الگوی هاروی (الگوی لجستیک هاروی و الگوی هاروی) را در بخش‌های مختلف ایران بررسی کرده و آن‌ها را با الگوی رشد لجستیکی مقایسه می‌کند.

4- معرفی الگو

4-1- الگوی لجستیک و الگوی لجستیک هاروی

الگوهای سری زمانی تک متغیره بیشتر دارای روند موضعی[4] هستند تا روند کلی[5]. در پیش‌بینی سری‌های زمانی که روند موضعی دارند، به مشاهدات جدید نسبت به مشاهدات گذشته وزن بیشتری داده می‌شود، اما در الگوهای دارای روند کلی، تلقی کلی این است که مسیر زمانی داده‌ها از تابعی قطعی تبعیت می‌کند که به آن جزء اخلال افزوده شده است

---

[1] Harvey
[2] General logestic model
[3] Modified general logistic model
[4] Local Trend
[5] Global Trend

(محمد و باجر، 2005). مصرف برق در زمان t را با f(t) نشان داده و با توجه به یک تابع لجستیکی می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$f(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{\gamma t}} \qquad ۱ \le t \le T \tag{2}$$

که در آن f(t) مصرف برق، α سطح اشباع، t زمان و β و γ پارامترهایی هستند که باید تخمین زده شوند. در الگوی لجستیک مقدار α با استفاده از تکنیک فیبوناچی برآورد می‌شود و نشان دهنده مقداری است که f(t) در بینهایت به آن سطح میل می‌کند.

با مشتق گرفتن نسبت به زمان t از معادله (2) و سپس گرفتن لگاریتم طبیعی از دو طرف معادله به دست آمده و ساده‌سازی آن و جایگذاری Y_t به جای f(t) به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\ln y_t = ۲ \ln Y_t + \delta + \gamma t \quad \rightarrow \quad \delta = \ln\left(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}\right) \tag{3}$$

$$y_t = Y_t - Y_{t-1}$$

با استفاده از معادله (3)، الگوی لجستیک هاروی به صورت زیر خواهد بود:

$$\ln y_t = ۲\ln Y_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad t = ۲, ۳ \dots, T \tag{4}$$

که در آن ε_t جزء خطا با میانگین صفر و واریانس ثابت σ و γ و δ پارامترهایی هستند که باید تخمین زده شوند.

معادله (4) را می‌توان به صورت زیر مرتب کرد:

$$\ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right) = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \tag{5}$$

که در آن پارامترهای γ و δ از تخمین $\ln\left(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}\right)$ بر حسب t به دست می‌آیند. می‌توان معادله (5) را به صورت زیر نوشت:

$$y_t = Y_{t-1}^2 e^{(\delta+\gamma t)} \tag{6}$$

در معادله (6) به منظور ساده‌سازی از نوشتن جزء خطای ε_t صرف نظر شده است. با قرار دادن مقدار $y_t = Y_t + Y_{t-1}$ در معادله (6) خواهیم داشت:

$$Y_t - Y_{t-1} = Y_{t-1}^2 . e^{(\delta+\gamma t)} \quad \rightarrow \quad Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-1}^2 . e^{(\delta+\gamma t)} \tag{7}$$

برای پیش‌بینی مصرف برق می‌توان با در نظر گرفتن h گام به جلو[1]، معادله فوق را به صورت زیر نوشت:

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}^2_{t+h-1}.e^{[\delta+\gamma(t+h)]} \quad (8)$$

با استفاده از معادله (8) می‌توان مصرف برق را با توجه به الگوی لجستیک هاروی پیش‌بینی نمود. با توجه به این معادله ، معادله لجستیک برای پیش‌بینی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}^2_{t+h}.e^{[\delta+\gamma(t+h)]} \quad (9)$$

2-4- الگوی هاروی

تابع نمایی عمومی اصلاح شده به صورت زیر تعریف می‌شود (محمد و باجر، 2005)

$$f(t) = \alpha(1+\beta e^{\gamma t})^k \quad (10)$$

مقادیر مختلف k ، شکل نهایی تابع f(t) را تعیین می‌کند: به طوری که اگر k = -1 باشد، f(t) تبدیل به تابع لجستیک شده و اگر k = 1 آنگاه تبدیل به تابع نمایی می‌شود.
مشتق‌گیری از رابطه (10) و لگاریتم‌گیری از طرفین رابطهٔ به دست آمده، معادله خطی شده (11) را به دست می‌دهد:

$$\ln y_t = \theta \ln Y_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon_t \quad (11)$$

که در آن $\delta = \ln(k\beta\alpha^{\frac{1}{k}}\gamma)$ و $\theta = \frac{(k-1)}{k}$ و θ ،β و γ پارامترهایی هستند که باید تخمین زده شوند. معادله (11) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\ln\left(\frac{y_t}{Y^{\theta}_{t-1}}\right) = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \quad (12)$$

معادله (12) را می‌توان به صورت زیر تبدیل کرد:

$$y_t = Y^{\theta}_{t-1} e^{(\delta+\gamma t)} \quad (13)$$

با قرار دادن مقدار $y_t = Y_t + Y_{t-1}$ در معادله (13) و با در نظر گرفتن گام h برای پیش‌بینی، معادله (13) به فرم زیر تبدیل می‌شود:

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}^{\theta}_{t+h}.e^{[\delta+\gamma(t+h)]} \quad (14)$$

[1] hstep ahead

برای مقایسه الگوهای ارائه شده از معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)[1] و آماره دوربین واتسون (D.W) استفاده می‌شود (محمد، باجر و هیوم، 2004).

معیار MAPE به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MAPE = \frac{100 \sum_{t=T+1}^{T+M} \left| \frac{X_t^f - X_t}{X_t} \right|}{m} \qquad (15)$$

که در آن، X_t بیانگر مقادیر واقعی، X_t^f مقادیر پیش‌بینی و m نیز طول دوره پیش‌بینی است که از $T + 1$ تا $T + m$ می‌باشد. مزیت معیار MAPE این است که تحت تأثیر واحد اندازه‌گیری X قرار نداشته و بزرگ و کوچک بودن مقادیر X موجب بزرگ و کوچک شدن MAPE نمی‌شود (سوری، 1391). آماره دوربین واتسون (D.W) نیز خطاهای موجود را از نظر خود همبستگی مورد آزمون قرار می‌دهد، به طوری که آماره D.W نزدیک به 2 بیانگر این است که هیچ نوع خود همبستگی بین خطاهای الگو وجود ندارد.

5- برآورد الگوی و پیش‌بینی مصرف برق در بخش‌های مختلف

داده‌هایی که در فرآیند پیش‌بینی در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، سری زمانی سالانه مربوط به مصرف واقعی برق (به قیمت ثابت سال 1376) در بخش‌های صنعت، خدمات، کشاورزی، خانگی و کل هستند که برای دوره 1346 تا 1390 از ترازنامه انرژی سال‌های مختلف[2] جمع‌آوری شده است. لازم به توضیح است که مصرف برق بخش خدمات از جمع مصرف برق دو بخش عمومی و تجاری به دست آمده است. الگوهای لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی برای هر پنج بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای برآورد پارامترها و تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم افزار ایویوز نسخه 7 بهره گرفته شده است.

5-1- نتایج الگوی لجستیک

الگوی رگرسیونی مورد استفاده در این بخش که برای پیش‌بینی به کار برده می‌شود بر اساس معادله $\ln(\frac{y_t}{Y_t^2}) = \delta + \gamma t$ می‌باشد. نتایج برآورد برای بخش‌های خانگی، صنعت، خدمات، کشاورزی و کل در معادلات (16) تا (20) آورده شده است.[3]

مصرف خانگی: $Lny_t = 2 \ln Y_t - 0/1403 - 8/6516\ t$ (16)

(-40/95) (-17/16)

[1] Mean Absolute Percentage Error

[2] ترازنامه انرژی سال‌های 1379، 1383، 1386 و 1390.

[3] مقادیر داخل پرانتز، آماره t را برای هر یک از پارامترهای تخمینی نشان می‌دهد.

مصرف کشاورزی: $Lny_t = 2\ lnY_t - 0/1764 - 6/1519\ t$ (17)

(-16/04) (-11/89)

مصرف صنعت: $Lny_t = 2\ lnY_t - ۰/0981 - 9/9938\ t$ (18)

(-25/56) (-6/48)

مصرف خدمات: $Lny_t = 2\ lnY_t - 0/1256 - 8/7276\ t$ (19)

(-29/62) (-11/02)

مصرف کل: $Lny_t = 2\ lnY_t - 0/1311 - 9/9979\ t$ (20)

(-52/05) (-17/63)

5-2- نتایج الگوی لجستیک هاروی

رگرسیون مورد استفاده بر اساس الگوی لجستیک هاروی که برای پیش‌بینی به کار برده می‌شود، بر اساس معادله $\ln(\frac{y_t}{Y_{t-1}^2}) = \delta + \gamma t$ می‌باشد. نتایج برآورد برای بخش‌های خانگی، صنعت، خدمات، کشاورزی و کل در معادلات (21) تا (25) آورده شده است.

مصرف خانگی: $Lny_t = 2\ LnY_{t-1}\ 0/1485 - 8/2467 - t$ (21)

(-34/94) (-16/26)

مصرف کشاورزی: $Lny_t = 2LnY_{t-1}\ 0/1858 - 5/6317 - t$ (22)

(-13/17) (-11/23)

مصرف صنعت: $Lny_t = 2LnY_{t-1}\ 0/1063 - 9/5964 - t$ (23)

(-21/47) (-6/15)

مصرف خدمات: $Lny_t = 2LnY_{t-1}\ 0/1355 - 8/2793 - t$ (24)

(-24/70) (-10/44)

مصرف کل: $Lny_t = 2LnY_{t-1}\ 0/1398 - 9/5819 - t$ (25)

(-43/61) (-16/44)

5-3- نتایج الگوی هاروی

رگرسیون مورد استفاده بر اساس الگوی هاروی که برای پیش‌بینی به کار برده می‌شود، بر اساس معادله $\ln(\frac{y_t}{Y^{\theta}_{t-1}}) = \delta + \gamma t$ می‌باشد. برآورد الگو برای بخش‌های خانگی، صنعت، خدمات، کشاورزی و کل نتایج زیر را در بر دارد:

مصرف خانگی: $Lny_t = 0/6862\ LnY_{t-1} + 0/0076 - 0/6666\ t$ (26)
(+2/65) (+3/37) (-2/26)

مصرف کشاورزی: $Lny_t = 0/2888\ LnY_{t-1} + 0/0553 + 1/9123\ t$ (27)
(+1.57) (+2/25) (+4/76)

مصرف صنعت: $Lny_t = -0/8535\ LnY_{t-1} + 0/1490 + 11/0805\ t$ (28)
(-1/65) (+2/95) (+3/100)

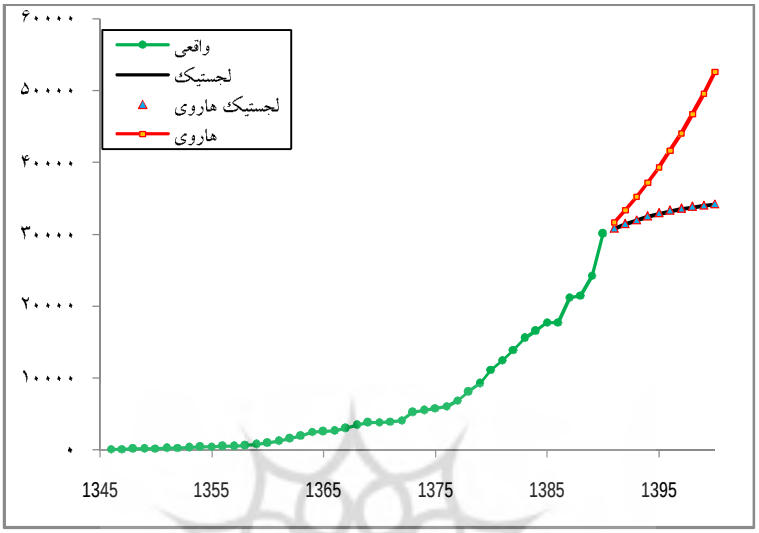
مصرف خدمات: $Lny_t = -۰/1006\ LnY_{t-1} + 0/0619 + 5/8274\ t$ (29)
(+5/33) (+2/84) (+2/07)

مصرف کل: $Lny_t = 0/3550\ LnY_{t-1} + 0/0209 + 3/8335\ t$ (30)
(+2/30) (+1/71) (+2/23)

5-4- پیش‌بینی مصرف برق با استفاده از الگوی لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی برای 10 سال آتی

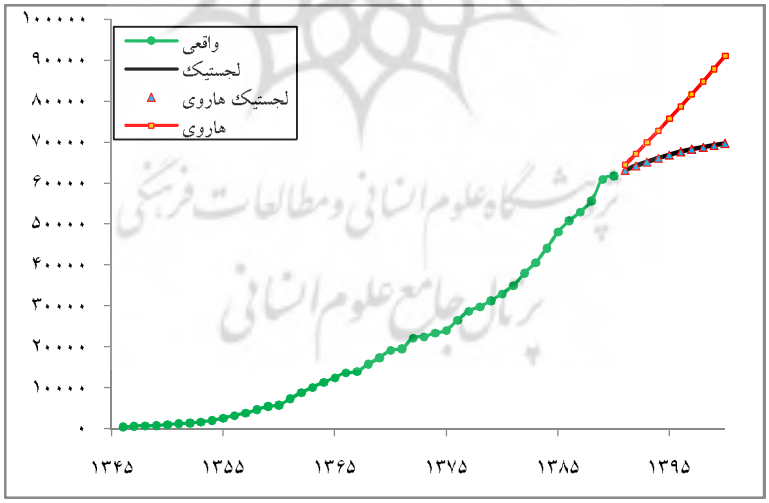
پیش‌بینی به دست آمده با استفاده از الگوی لجستیک و الگوهای هاروی برای مصرف برق خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و مصرف کل در نمودارهای (1) تا (5) به صورت مجزا آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، مقادیر پیش‌بینی برای مصرف برق در هر سه الگو به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده در شکل‌های (1) تا (5) مشخص است الگوی هاروی مقدار بیشتری را نسبت به دو الگوی دیگر در پیش‌بینی هر پنج

بخش نشان می‌دهد، الگوهای لجستیک و لجستیک هاروی نیز مقادیر کمتر و بسیار نزدیک به هم را نشان می‌دهند.



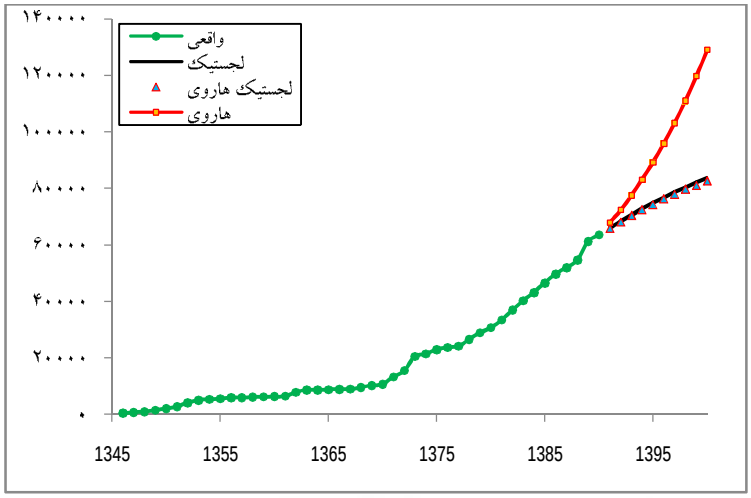
نمودار (1): پیش‌بینی مصرف برق برای بخش کشاورزی برای دوره 1400- 1391

منبع: محاسبات تحقیق



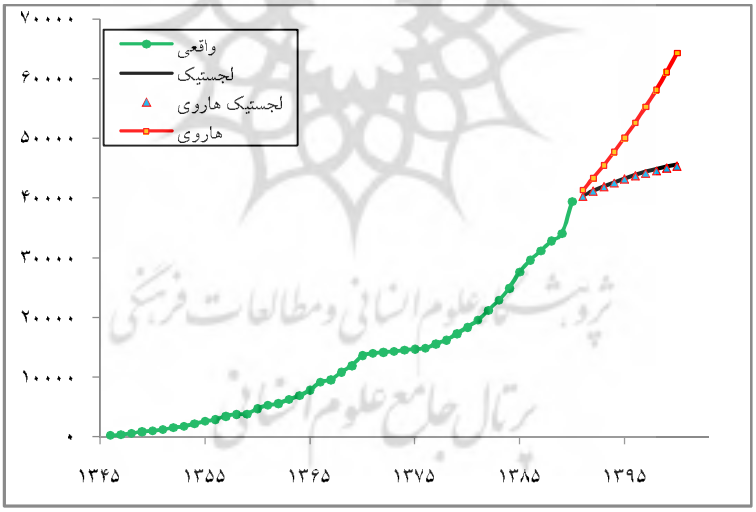
نمودار(2): پیش‌بینی مصرف برق برای بخش خانگی برای دوره 1400- 1391

منبع: محاسبات تحقیق



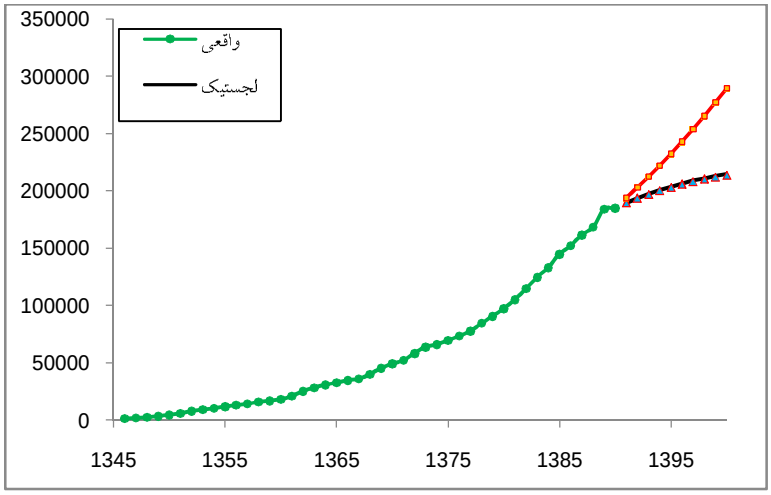
نمودار(3): پیش‌بینی مصرف برق برای بخش صنعت برای دوره 1400- 1391

منبع: محاسبات تحقیق



نمودار(4): پیش‌بینی مصرف برق برای بخش خدمات برای دوره 1400- 1391

منبع: محاسبات تحقیق



نمودار(5): پیش‌بینی مصرف کل برق برای دوره 1400- 1391

منبع: محاسبات تحقیق

جدول شماره (1)، الگوهای لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی را با استفاده از معیار MAPE و آماره دوربین واتسون، برای بخش‌های پنج‌گانه (خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و کل) با یکدیگر مقایسه می‌کند.

جدول (1): مقادیر MAPE و DW برای الگوهای لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی

آماره	MAPE					DW				
بخش / الگو	خانگی	کشاورزی	صنعت	خدمات	کل	خانگی	کشاورزی	صنعت	خدمات	کل
لجستیک	8/01	24/80	18/80	12/59	7/58	1/28	1/80	0/70	0/56	0/87
لجستیک هاروی	9/03	26/84	21/51	14/43	6/48	1/36	1/76	0/65	0/61	0/82
هاروی	7/28	23/82	15/87	9/51	4/39	2/03	2/08	1/97	1/11	1/43

منبع: محاسبات تحقیق

مقایسه الگوهای فوق نشان می‌دهد که کمترین MAPE و بیشترین آماره DW مربوط به الگوی هاروی است. آماره دوربین واتسون 2/03، 2/08، 1/97، 1/11 و 1/43 به دست آمده از الگوی هاروی به ترتیب برای بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت و خدمات و بخش کل نشان می‌دهد که در کل در الگوی هاروی، همبستگی سریالی وجود ندارد و یا بسیار ضعیف است ولی همبستگی سریالی در دو الگوی دیگر بیشتر از الگوی هاروی می‌باشد. بر اساس آماره میانگین قدر مطلق درصد خطا نیز الگوی هاروی نتایج بهتری را ارائه داده است و در هر پنج بخش، مقدار میانگین قدر مطلق درصد خطا از معیار مشابه الگوهای لجستیک و لجستیک هاروی کمتر می‌باشد. الگوهای لجستیک و لجستیک هاروی نیز تقریباً مقادیر نزدیکی از نظر دو معیار MAPE و دوربین واتسون دارند. در کل نتایج بیانگر آن است که الگوی هاروی در مقایسه با دو الگوی دیگر برازش خوبی را ارائه می‌کند. علت پیش‌بینی ضعیف الگوهای لجستیک و لجستیک هاروی را می‌توان در وجود سطح اشباع دانست. سطح اشباع در الگوی لجستیک و لجستیک هاروی باید قبل از تخمین و محاسبه پارامترهای الگو به کمک روش جستجوی فیبوناچی تقریب زده شود، اما در الگوی هاروی نیازی به برآورد سطح اشباع قبل از تجزیه و تحلیل رگرسیونی نیست. این موضوع سبب می‌شود که الگوی هاروی قدرت پیش‌بینی بالاتری را نسبت به دو الگوی دیگر نشان دهد (فطرس و گرگری، 1389). از طرفی الگوی هاروی به دلیل وجود پارامتر اضافی θ، که از تخمین و تجزیه و تحلیل رگرسیونی به دست می‌آید، از دو الگوی دیگر متمایز است. مقادیر به دست آمده برای θ، همان طور که در معادلات (26) تا (30) دیده می‌شود، مانند الگوی لجستیک و لجستیک هاروی ارزش 2 را اختیار نمی‌کند. به این دلیل الگوی هاروی توانسته نسبت به دو الگوی دیگر برآورد بهتری را نشان دهد (فطرس و گرگری، 1389). نتایجی که در این بخش گرفته شده است با مطالعات خارجی و داخلی انجام شده هم‌خوانی دارد. به بیان دیگر در مطالعات پیشین نیز الگوی هاروی نسبت به دو الگوی لجستیک و لجستیک هاروی نتایج دقیق‌تری نشان داده بود که در اینجا نیز کارایی و دقیق بودن الگوی هاروی در بخش‌های مورد مطالعه به اثبات رسید.

5-5- دقت و صحت پیش‌بینی

با توجه به اینکه هر یک از الگوها پیش‌بینی متمایزی را از مصرف برق برای 10 سال آتی ارائه می‌دهند، دانستن اینکه کدام الگو پیش‌بینی دقیق‌تری را انجام می‌دهد بسیار حائز اهمیت است زیرا که برنامه‌ریزی‌های کلان اقتصادی بر اساس مقادیر به دست آمده تدوین می‌شوند. لذا در این تحقیق برای پاسخ به این سوال که کدام یک از الگوهای سه‌گانه برآورد بهتری از مقادیر آتی مصرف برق دارد، الگوهای مورد نظر برای دوره زمانی 1346تا 1380 برازش شد، سپس پیش‌بینی برای دوره 10 ساله 1381 تا 1390 انجام گرفت. با توجه به اینکه داده‌های 1380تا 1390 در دسترس است؛ لذا با پیش‌بینی برای سال‌های 1390-1381 مشخص می‌شود که پیش‌بینی با استفاده از کدام الگو به نتایج واقعی نزدیک‌تر است. همان طور که از جداول (2) تا (6) مشخص است، خطای برآورد الگوی هاروی نسبت به دو الگوی دیگر کمتر است. بنابراین الگوی هاروی در تمامی بخش‌ها پیش‌بینی نزدیک‌تر به مشاهدات واقعی را ارائه می‌دهد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که الگوی هاروی نسبت به سایر الگوها، پیش‌بینی دقیق‌تری را انجام می‌دهد. پس می‌توان به دقت و درستی پیش‌بینی‌های این الگو اطمینان بیشتری داشت.

جدول (2): پیش‌بینی مصرف برق بخش کشاورزی برای دوره 1381 تا 1390

سال	بخش کشاورزی			
	مقادیر واقعی	لجستیک	لجستیک هاروی	هاروی
1381	12435	11677/93	11736/89	11770/69
1382	13858/6	12253/05	12350/01	12514/63
1383	15489/1	12770/97	12913/79	13914/96
1384	16469/4	13240/19	13425/54	114871/1
1385	17666/2	13660/86	13884/9	15102/88
1386	17670	14034/5	14292/9	16100/47
1387	21178/7	14363/61	14651/91	18174/49
1388	21405/1	14651/4	14965/2	18331
1389	21188/8	14901/45	15236/59	19576/54
1390	30020/3	15117/52	15470/2	24918/2

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (3): پیش‌بینی مصرف برق بخش خانگی برای دوره 1381 تا 1390

سال	بخش خانگی			
	مقادیر واقعی	لجستیک	لجستیک هاروی	هاروی
1381	34946	34416/25	34475/25	34764/23
1382	37967/1	35858/17	35938/95	36695/15
1383	40564	37210	37328/33	38683/7
1384	44108/3	38467/5	38620/32	41729/82
1385	48085/5	39628/8	39812/4	42833/38
1386	50776/7	40694/12	40904/35	45994/24
1387	52896/1	41695/43	41897/92	48212/22
1388	55629/6	42546/11	42796/46	49487/12
1389	60970/7	43540/62	43604/55	51818/71
1390	61773/7	44054/17	44327/65	55206/72

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (4): پیش‌بینی مصرف برق بخش صنعت برای دوره 1381 تا 1390

سال	بخش صنعت			
	مقادیر واقعی	لجستیک	لجستیک هاروی	هاروی
1381	33456	32258/66	32284/49	32490/08
1382	36937/1	33789/94	33836/89	34447/72
1383	40247/8	35306/82	35370/06	37609/38
1384	43014/6	36801/59	36876/22	39691/52
1385	46403/2	38267/06	38448/15	42611/76
1386	49601/9	39696/62	39779/26	44488/98
1387	51863/9	41084/41	41163/75	49643/47
1388	54605/4	42425/34	42496/66	51697/12
1389	61183/4	43715/17	43773/89	54873/5
1390	63590/7	44950/49	44992/27	59798/15

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (5): پیش‌بینی مصرف برق بخش خدمات برای دوره 1381 تا 1390

سال	بخش خدمات			
	مقادیر واقعی	لجستیک	لجستیک هاروی	هاروی
1381	19555	19071/67	19089/01	18449/82
1382	21175	19760/65	19792/51	20618/34
1383	22883/3	20409/5	20452/97	21854/24
1384	24891/7	21016/72	21068/87	21161/43
1385	27648/1	21581/65	21639/59	25443/03
1386	29600/6	22104/39	22165/36	27006/42
1387	31169/8	22585/66	22647/07	28553/22
1388	32841/9	23026/72	23086/23	29189/3
1389	34034/9	23429/25	23484/75	31919/85
1390	39415/1	23795/22	23884/88	35950/33

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (6): پیش‌بینی مصرف برق کل برای دوره 1381 تا 1390

سال	بخش کل			
	مقادیر واقعی	لجستیک	لجستیک هاروی	هاروی
1381	105076	101988/1	102051/9	102846/7
1382	114909/5	106609/8	106733	108760/4
1383	124461/8	111009	111185/3	114920/4
1384	132897/8	115164/6	115386/4	121335
1385	144581/7	119062/5	119320/6	128012/8
1386	152329	122694/3	122987/7	134962/9
1387	141445/1	126057/2	126357/6	140094/6
1388	168438/3	129153/6	129459/2	149717/4
1389	184181/8	131989/5	132290/2	157541/3
1390	184905/4	134574/6	134860/6	165676/6

منبع: محاسبات تحقیق

حال با توجه به دقت بیشتر پیش‌بینی الگوی هاروی می‌توان در مورد رشد مصرف برق با استفاده از پیش‌بینی‌های انجام شده توسط این الگو برای بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و برق کل اظهار نظر کرد. در جدول (7) پیش‌بینی مصرف برق برای دوره 1400- 1391 برای بخش‌های فوق، به همراه نرخ رشد سالانه مصرف برق هر بخش آورده شده است.

مطابق جدول (7)، از بین بخش‌های مورد مطالعه، رشد سالانه مصرف برق بخش خانگی و کل از سال 1391 تا سال 1400 رفته رفته کاهش می‌یابد و به ترتیب از مقدار 4/33 و 4/76 درصد در سال 1391 به 3/62 و 4/42 درصد در سال 1400 خواهد رسید، در حالی که رشد سالانه مصرف برق برای سه بخش کشاورزی، صنعت و خدمات به مرور زمان افزایش می‌یابد و به ترتیب از 5/34، 6/64 و 4/82 درصد در سال 1391 به 6/16، 7/86 و 5/19 درصد در سال 1400 خواهد رسید. به طور کلی الگوی هاروی رشد متوسط سالانه 3/96، 5/76، 7/34، 5/02 و 4/58 درصدی را به ترتیب برای مصرف خانگی، کشاورزی، صنعتی، خدمات و کل پیش‌بینی کرده است.

جدول (7): مقادیر پیش‌بینی الگوی هاروی برای مصرف برق در ایران

سال	خانگی	رشد سالانه خانگی	کشاورزی	رشد سالانه کشاورزی	صنعت	رشد سالانه صنعت
1391	64447/15	4/33	31624/67	5/34	67812/26	6/64
1392	67178/42	4/24	33346/03	5/44	72450/87	6/84
1393	69967/09	4/15	35193/41	5/54	77539/51	7/02
1394	72812/75	4/07	37176/56	5/64	83113/69	7/19
1395	75714/95	3/99	39306/02	5/73	89211/7	7/34
1396	78673/24	3/91	41593/14	5/82	95874/9	7/47
1397	81687/13	3/83	44050/23	5/91	103148/1	7/59
1398	84756/11	3/76	46690/55	5/99	111079/6	7/69
1399	87879/68	3/69	49528/44	6/08	119722/1	7/78
1400	91057/28	3/62	52579/36	6/16	129132/4	7/86
متوسط رشد سالانه	3/96		5/76		7/34	

ادامه جدول (7): مقادیر پیش‌بینی الگوی هاروی برای مصرف برق در ایران

سال	خدمات	رشد سالانه خدمات	مصرف کل	رشد سالانه کل
1391	41315/55	4/82	193698/9	4/76
1392	43327/87	4/87	202827/9	4/71
1393	45458/55	4/92	212303/7	4/67
1394	47714/44	4/96	222138/2	4/63
1395	50102/8	5/01	232343/5	4/59
1396	52631/31	5/05	242932/3	4/56
1397	53308/08	5/09	253917/7	4/52
1398	58141/69	5/12	265313	4/49
1399	61141/25	5/16	277132/3	4/45
1400	64316/35	5/19	289389/9	4/42
متوسط رشد سالانه	5/02		4/58	

منبع: محاسبات تحقیق

6- نتیجه‌گیری

در این مقاله دو شکل از الگوهای هاروی بررسی شده و با یک الگوی رشد لجستیک تعمیم یافته به منظور پیش‌بینی مصرف برق در بخش‌های خانگی، کشاورزی، صنعت، خدمات و کل مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در کل هر سه الگوی لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی در پیش‌بینی برق بخش‌های ذکر شده مناسب هستند با این وجود، الگوی هاروی نتیجه بهتری چه از نظر برازش و چه از نظر پیش‌بینی مصرف برق برای همه بخش‌ها ارائه می‌دهد دلیل آن نیز عدم نیاز الگوی هاروی به برآورد سطح اشباع است. با مقایسه سه الگوی فوق در هر بخش به این نتیجه رسیدیم که الگوی هاروی علاوه بر پیش‌بینی‌های نزدیک به واقعیت، دارای آماره دوربین واتسون بزرگ‌تر و مقدار MAPE کوچک‌تر می‌باشد.

با توجه به معیارهای فوق مشخص می‌باشد که الگوی هاروی عملکرد بهتری از الگوی لجستیک و لجستیک هاروی در خصوص پیش‌بینی مقادیر سری زمانی مصرف برق دارد. در نتیجه می‌توان از الگوی هاروی به عنوان ابزاری دقیق‌تر برای پیش‌بینی مصرف برق به منظور برنامه‌ریزی‌های کلان اقتصادی در کنار دیگر روش‌ها بهره جست.

فهرست منابع

1. ترازنامه انرژی، 1379، 1383، 1386 و 1390.
2. رمضانی، ر.، و رمضانی، م. (1384)، پیش‌بینی تقاضای ماهیانه برق با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی و ARIMA در ایران، بیستمین کنفرانس بین‌المللی برق.
3. سوری، ع. (1391)، اقتصادسنجی همراه با کاربرد Eviews 7، تهران، نشر فرهنگ شناسی و نشر نور علم.
4. صفاری‌پور اصفهانی، م. (1376)، بررسی و پیش‌بینی تقاضای برق در ایران، فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه، سال دوم، شماره 13 و 14.
5. صمدی، س.، شهیدی، آ.، و محمدی، ف. (1387)، تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم‌جمعی و مدل ARIMA (88- 1363)، مجله دانش و توسعه، سال پانزدهم، شماره 25، زمستان 1387.
6. فطرس، م. ح .، و منصوری گرگری، ح.(1389)، مقایسه مدل لجستیک و مدل‌های هاروی در پیش‌بینی مصرف برق ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره 24

1. Bass, F.M. (1969), A New Product Growth for Model Consumer Durables, Management Science, Vol. 15, No.5, pp. 215- 227.
2. Bodger, P.S., & Tay, H.S. (1987), Logistic and Energy Substitution Models for Electricity Forecasting: A Comparison Using New Zealand Consumption Data, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 31, pp. 27-48.
3. Carrillo, M., & Gonzalez, J.M. (2002), A New Approach to Modelling Sigmoid Curves, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 69, pp. 233-241.
4. Giovanis, A.N., & Skiadas, C.H. (1999), A Stochastic Logistic Innovation Diffusion Model Studying the Electricity Consumption in Greece and the United States, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 61, pp.235-246.
5. Harvey, A.C. (1984), Time Series Forecasting Based on the Logistic Curve, Journal of the Operational Research Society, 35(7), pp. 641-646.
6. Han, J., & Morag, C. (1995), The Influence of the Sigmoid Function Parameters on the Speed of Backpropagation Learning. In Mira, José; Sandoval, Francisco. From Natural to Artificial Neural Computation. pp. 195–201.
7. C.-Y Hung., & P.S. Bodger. (2010), Comparasion of Electricity Intensity Patterns Selected Countries and World Regions and Forecasting ,

Proceedings of the IEEE PES Power Systems Conference & Exhibition (PSCE) 2011.

8. Mohamed, Z., & Bodger, P. (2003), Analysis of the Logistic Model for Predicting New Zealand Electricity Consumption, Proceedings of the Electricity Engineer's Association (EEA) of New Zealand 2003 Conference, EEA Annual Conference & Trade Exhibition, Christchurch, NZ,pp. 20-21.
9. Mohamed, Z., & Bodger, P. (2005), A Comparison of Logistic and Harvey Models for Electricity Consumption in New Zealand. Technological Forecasting & Social Change, 72(2), pp. 1030-1043.
10. Mohamed, Z., Bodger, P., & Hume, D.J. (2004), Forecasting Electricity Consumption: A comparison of Models for New Zealand and the Maldives, Proceedings of the International Conference on Power Systems (ICPS) 2004, Vol. 2, Kathmandu, Nepal, 3-5, pp. 613 – 618.
11. Mohamed, Z. (2004), Forecasting Electricity Consumption: A Comparison of Growth Curves, Econometric and ARIMA Models for Selected Countries and WorId Regions, A thesis presented for the degree of Doctor of Philosophy m Electrical and Electronic Engineering at the University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی