Archive of SID

فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هفتم / شماره‌ی ۲۴/ بهار ۱۳۸۹/ صفحات ۸۹ - ۶۳

مقایسه‌ی مدل لجیستیک و مدل‌های‌هاروی در پیش‌بینی مصرف برق ایران

محمد حسن فطرس

دانشیار دانشکده‌ی اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بوعلی سینا همدان fotros@basu.ac.ir

حامد منصوری گرگری

کارشناس بررسی‌های اقتصادی بازار برق، برق منطقه‌ای آذربایجان hamed.mansoori@gmail.com

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۱۱

چکیده

برخی از مدل‌های پیش‌بینی بر پایه‌ی صورت‌های گوناگونی از منحنی رشد لجیستیکی قرار دارند. این مقاله با به‌کارگیری مدل لجیستیکی، مدل لجیستیکی هاروی و مدل هاروی به پیش‌بینی مصرف برق در ایران می‌پردازد. مدل‌های رشد "لجیستیک"، " لجیستیک هاروی" و "هاروی"، برای پیش‌بینی مصرف برق در ایران برای بخش‌های خانگی، غیر خانگی و کل برق به‌کار رفته و کارآمدی این مدل‌ها برای پیش‌بینی ارزیابی شده است. مقایسه نشان می‌دهد که مدل هاروی بهتر از مدل‌های دیگر مصرف برق ایران را پیش‌بینی می‌کند.

طبقه‌بندی **JEL**: Q40, O53, Q49

کلید واژه: لجستیک، لجستیک هاروی، هاروی، پیش‌بینی مصرف برق ایران

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

بین رشد اقتصادی یک کشور و مصرف انرژی آن رابطه‌ی مستحکمی وجود دارد. از این رو، برای تداوم رشد اقتصادی که از اهداف کلان هر اقتصادی می‌باشد، لازم است که به کم وکیف تولید، توزیع و مصرف انرژی نیز پرداخته شود. انرژی برق سهمی مهم و فزاینده در کل مصرف انرژی کشورها دارد و در بسیاری از کشورها عمده‌ترین شکل انرژی مصرفی است. به دلیل انعطاف پذیری بالای آن، به ویژه در توزیع و مصرف، سهم این حامل در کل انرژی مصرفی کشورها - به ویژه در کشورهای رو به رشد، هم‌چنان رو به گسترش است.

وابستگی رو به تزاید کشور به برق ایجاب می‌کند که مسایل تولید، توزیع و مصرف آن مورد توجه قرارگیرد و برای تخصیص منابع در جهت تأمین مصرف آتی، برنامه‌ریزی درخور انجام پذیرد. بنابراین، پیش‌بینی روند مصرف آتی، در تهیه و تدوین سیاست‌های انرژی جای مهمی دارد. مدل‌های گوناگونی برای پیش‌بینی و از جمله پیش‌بینی مصرف برق، طی زمان، طراحی و ارایه شده است. این مدل‌ها برحسب تحول در میزان شناخت موضوع مورد مطالعه و تدقیق و تولید داده‌های آماری از یک سو، بهبود در ابزار تحلیلی (مانند روش‌های آماری - ریاضی) و با توجه به نوع و تعداد متغیرهای انتخابی از سوی دیگر، طی زمان متحول شده‌اند.

گزینش یک مدل از میان انواع مدل‌های پیش‌بینی هم به موضوع مورد مطالعه، هم به ماهیت و نوع پیش‌بینی و هم به کمیت وکیفیت داده‌های موجود و قابل دسترس بستگی دارد. در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی مصرف برق ایران، سه مدل لجیستیک، لجیستیک هاروی و هاروی، گزینش و از نظر دقت پیش‌بینی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

بدین منظور، در بخش دوم، پیشینه تحقیق، بخش سوم، مبانی نظری تحقیق و بخش چهارم، تئوری مدل مرور می‌شوند. در بخش پنجم، با استفاده از داده‌های سری زمانی سالانه‌ی مصرف برق در سه بخش خانگی، غیرخانگی و کل سه مدل مذکور برای ایران برآورد می‌شوند. در بخش ششم مقاله، کاربرد مدل ها برای پیش‌بینی مصرف برق در ایران بررسی می‌شوند. در بخش پایانی، نتیجه‌گیری مقاله ارایه می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- پیشینه‌ی تحقیق

در علوم مختلف برای پیش‌بینی متغیرها، بنا به ماهیت مسئله، نوع داده‌ها و هدف پیش‌بینی، مدل‌های گوناگونی تدوین و پیشنهاد شده است (مارتینو[1]، ۲۰۰۲). انواع رگرسیون‌های تک متغیره، چند متغیره، مدل‌های منحنی رشد، مدل باکس- جنکینز، ARIMA، توابع رشد و مدل‌های رشد لجیستیکی، هاروی و لجستیک هاروی، از جمله مدل‌هایی هستند که برای پیش‌بینی مصرف برق مورد استفاده قرار گرفته‌اند (محمد و باجر[2]، ۲۰۰۴).

رانجان و جین[3] (۱۹۹۹)، برای تدوین الگوی مصرف برق دهلی، با داده‌های ماهانه‌ی دوره‌ی زمانی ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۳، از رگرسیون‌های چند متغیره‌ی خطی استفاده کردند. بنا به رگرسیون برآوردی، مصرف برق دهلی تابعی از جمعیت و درجه‌ی حرارت این شهر بود.

اجلی اُغلو و همکاران[4](۱۹۹۹)، در مطالعه‌ای برای تبیین متغیرهای اقتصادی مؤثر بر مصرف برق در قبرس شمالی، با به‌کارگیری تحلیل رگرسیون چند متغیره، مصرف برق قبرس را تابعی از قیمت برق و تعداد مشترکان در نظر گرفتند. بر اساس یافته‌های آن‌ها، مدل رگرسیون چند متغیره قدرت پیش‌بینی بالایی برای مصرف برق قبرس به دست می‌داد.

سامر و همکاران[5](۲۰۰۰)، برای پیش‌بینی مصرف برق در لبنان از رگرسیون تک متغیره استفاده کردند و سه مدل تک متغیره‌ی اتورگرسیو، ARIMA، AR(1) را برآورد کرده و مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که مدل تک متغیره AR(1) برای شرایط لبنان و نوع داده‌های در دسترس، پیش‌بینی بهتری ارایه می‌کند.

محمد و باجر (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای برای پیش‌بینی مصرف برق نیوزیلند از داده‌های سالانه‌ی ۱۹۹۹-۱۹۶۵ و مدل رگرسیون چند متغیره‌ی خطی استفاده کرده‌اند. این محققان مصرف برق را تابعی از متغیرهای اقتصادی نظیر تولید ناخالص داخلی و قیمت برق و متغیر جمعیتی هم‌چون تعداد جمعیت در نظر گرفته‌اند. در این مقاله مصرف برق به سه بخش خانگی، غیر خانگی و مصرف کل تقسیم و نتایج به دست آمده

1- Martino.
2- Mohamed and Bodger.
3- Ranjan and Jain.
4- Egelioglu et al.
5- Samer et al.

www.SID.ir

Archive of SID

با نتایج پیش‌بینی‌های بین‌المللی مقایسه شده است. هم‌چنین در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۰۶، برای مقایسه‌ی هر چه بهتر دقت پیش‌بینی مدل‌های به کار رفته در کشور نیوزیلند، از شش مدل پیش‌بینی هم‌چون مدل لجستیک، مدل ترکیبی چند متغیره‌ی خطی، ARIMA، لجستیک هاروی، هاروی و مدل مجانبی لجستیک (VAL[1]) استفاده کردند. در این مقاله، محققان به منظور مقایسه‌ی مدل‌ها معیارهای جذر میانگین خطاها[2] و درصد قدرمطلق میانگین خطاها[3] را ملاک عمل قرار داده‌اند. در مجموع آن‌ها نشان دادند که مدل هاروی در پیش‌بینی مصرف برق نیوزیلند از دقت بالایی نسبت به سایر مدل‌های دیگر برخوردار است.

سکیاداس وهمکاران[4](۱۹۹۳)، با استفاده از توابع رشد، برای پیش‌بینی پارامترهای سیستم‌های بزرگ مقیاس، مدل‌های رشد مرتبط با سیستم انرژی برق یونان را به‌کار گرفتند. در این مقاله امکان همبستگی بین سطح اشباع تقاضای برق، در یونان با متغیرهای اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی، سرمایه‌گذاری و قیمت نسبی برق بررسی شد و با استفاده از این همبستگی‌ها توان پیش‌بینی تابع لجیستیکی، بهبود یافت. هم‌چنین نتایج حاصل از تابع لجیستیکی تغییر یافته با توابع رشد مرسوم، مورد مقایسه قرار گرفت.

۳- مبانی نظری تحقیق

مدل‌های لجیستیک از پراستفاده‌ترین فنون تحلیل داده‌ها هستند. این مدل‌ها بیش‌ترین موارد استفاده را در رشته‌های گوناگون، به ویژه برای پیش‌بینی در زمینه‌ی تکنولوژی، داشته‌اند. مدل‌های لجیستک بر اساس تابع لجیستیکی یا منحنی لجیستیکی بنا شده‌اند. تابع یا منحنی لجیستیکی منحنی S شکلی است که برای الگوسازی مجموعه‌هایی (مانند جمعیت) به‌کار می‌رود که در وهله‌ی نخست به آهستگی، سپس در مرحله‌ی میانی، به سرعت و در مرحله‌ی بعد، دوباره، به آهستگی رشد می‌کنند تا به نقطه‌ی بیشینه (حداکثر، یعنی به نقطه‌ی مجانبی و یا نقطه‌ی اشباع برسند. تابع لجیستیکی در رشته‌های گوناگونی مانند شبکه‌ی عصبی مصنوعی، زیست‌شناسی،

1- Variable Asymptote Logistic.
2- Mean Squared Error.
3- Mean Absolute Percentage Error.
4- Skiadas et al.

www.SID.ir

Archive of SID

جمعیت نگاری، اقتصاد، شیمی، روان‌شناسی، احتمالات، جامعه شناسی و آمار به کار گرفته شده است.

تعدادی از محققان با استفاده از مدل‌های لجیستیک ساده و گاه با انجام برخی اصلاحات فنی لازم، به انجام برخی پیش‌بینی‌ها در زمینه‌های گوناگون پرداخته‌اند. برای مثال بولی و فیبیگ[1](۱۹۸۸)، ازمدل رشد لجیستیکی برای پیش‌بینی در زمینه‌های ارتباطات راه دور استفاده کردند. هم‌چنین، مار- مولینو[2](۱۹۸۰)، از تحلیل لجیستیکی برای پیش‌بینی تعداد تراکتور در اسپانیا استفاده کرده است.

در ادامه، جیووانیس و سکیاداس[3] (۱۹۹۹)، الگویی تصادفی[4] برای تبیین انتشار نوآوری معرفی می‌کنند که از مدل رشد لجیستیکی اصلی اخذ شده است، با این فرض که فرآیند رشد آتی با اطمینان شناخته نیست، بلکه توسط فرآیندی تصادفی قابل تبیین است. در این تحقیق با استفاده از نظریه‌ی معادلات دیفرانسیل تصادفی، تعبیری تصادفی از مدل لجیستیکی، مشهور به صورت تحلیلی حل می‌شود. آن‌گاه، این مدل را برای مطالعه‌ی سیر رشد مصرف برق در یونان و ایالات متحده‌ی آمریکا به‌کار می‌برند.

مدل لجستیکی (و سایر مدل‌های برگرفته از مدل یا تابع لجیستیک)، با روند رو به رشدی که داشته، توانسته است نسبت به سایر مدل‌های به کاربرده شده‌ی قبلی پیش‌بینی‌های بهتری را ارائه کند، با این وجود این مدل با محدودیت‌هایی مواجه بوده است.

همان‌طور که در قبل اشاره شد، این مدل‌ها به یک سطح آستانه‌ای نزدیک می‌شوند که برای تعیین آن می‌توان از روش جستجوی فیبوناچی استفاده کرد (باجر و تای، ۱۹۸۷). دراین مدل‌ها، پیش از این‌که پارامترها تخمین زده شوند، نخست باید مقدار سطح اشباع برآورد شود. پیش‌بینی‌های حاصل از توابع لجیستیک از پیش‌بینی‌های بین‌المللی کم‌تر بوده است. علت این امر، وجود محدویت‌هایی در منحنی‌های توابع لجیستیک است (محمد و باجر، ۲۰۰۵). در هرحال، مقدار پیش‌بینی کم‌تر از حد آستانه‌ای (اشباع)، همیشه ویژگی و امتیازی برای مدل رشد لجیستیکی محسوب نمی‌شود، به‌ویژه زمانی که مقدار رشد اولیه، بالاتر از سطح اشباع یا سطح آستانه‌ای

1- Bewley and Fiebig.
2- Mar-Molineo.
3- Giovanis and Skiadas.
4- Stochastic.

www.SID.ir

Archive of SID

باشد. بر این اساس، هاروی[1](۱۹۸۴و۱۹۹۳) برای پیش‌بینی سری‌های زمانی و رفع محدودیت توابع لجیستیکی مدلی پیشنهاد کرده است. در مدل پیشنهادی هاروی نیازی به تعیین سطح اشباع قبل از تخمین پارامترهای مدل نیست، با این وجود، مدل مذکور نیز طی زمان به یک سطح آستانه‌ای نزدیک می‌شود.

مدل‌های هاروی (۱۹۸۴) بر دو نوع‌اند: مدل لجیستیک هاروی و مدل هاروی. مدل اول بر اساس مدل لجیستیک معمولی بنا شده است. مدل دوم، بر پایه‌ی مدل تعدیل یافته‌ی مدل لجیستیک معمولی استوار است که ترکیبی از رشد نمایی و لجیستیکی می‌باشد.

مطالعات انجام شده حاکی از آن است که در زمینه‌ی پیش‌بینی و از جمله پیش‌بینی مصرف برق، مدل لجیستیکی و مدل‌های هاروی در کل بهترین پیش‌بینی‌ها را به دست می‌دهند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، می‌توان به مطالعه‌ی محمد و باجر (۲۰۰۴)، که در آن به پیش‌بینی و دقت مدل لجیستیک و مدل‌های هاروی برای مصرف برق در کشور نیوزیلند پرداخته‌اند اشاره کرد. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که مدل هاروی در مقایسه با سایر مدل‌ها پیش‌بینی دقیق‌تری ارایه می‌کند.

۴- تئوری مدل

۴-۱- مدل لجیستیک و مدل لجیستیک هاروی

مدل‌های سری زمانی تک متغیره بیش‌تر دارای روند موضعی[2] هستند تا روند کلی[3] (هاروی، ۱۹۸۴). در پیش‌بینی سری زمانی‌هایی که روند موضعی دارند، به مشاهدات جدید نسبت به مشاهدات گذشته وزن بیش‌تری داده می‌شود، اما در مدل‌های دارای روند کلی، تلقی این است که مسیر زمانی داده‌ها از تابعی قطعی تبعیت می‌کند که به آن جزء اخلال افزوده شده است.

مصرف برق $f(t)$ را با توجه به یک تابع لجیستیکی می‌توان به صورت زیر نوشت:

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

1- Harvey.
2- Local Trend.
3- Global Trend.

www.SID.ir

Archive of SID

α : سطح اشباع (در مدل لجیستیک، α به وسیله‌ی روش جستجوی فیبوناچی برآورد می‌شود.)

β, γ : پارامترهای تخمین

t : زمان بر حسب سال.

اگر از معادله‌ی (۱) نسبت به زمان مشتق گرفته و سپس از دو طرف معادله لگاریتم طبیعی گرفته شود، معادله‌ی زیر به‌دست می‌آید (باس، ۱۹۶۹):

$$Ln\frac{df(t)}{dt} = ۲Lnf(t) + \delta + \gamma t \quad , \quad \delta = Ln(\frac{-\beta\gamma}{\alpha}) \qquad (۲)$$

با توجه به معادله‌ی (۲)، مدل پیشنهادی لجیستیک هاروی چنین بیان شده است (هاروی، ۱۹۸۴):

$$Lny_t = ۲LnY_{t-۱} + \delta + \gamma t + \varepsilon_t, y_t = Y_t - Y_{t-۱} \ , \ t = ۲,۳,\ldots,T \qquad (۳)$$

Y_t : مصرف برق در سال t

ε_t : جمله‌ی خطا با میانگین صفر و واریانس ثابت σ

δ, γ: مقادیر ثابتی هستند که از تخمین معادله‌ی فوق به‌دست می‌آیند.

می‌توان معادله‌ی (۳) را به صورت زیر مرتب کرد:

$$Ln(\frac{y_t}{Y_{t-۱}^۲}) = \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (۴)$$

که در آن δ, γ از تخمین $Ln(\frac{y_t}{Y_{t-۱}^۲})$ بر حسب t محاسبه می‌شوند.

هم‌چنین، معادله‌ی (۴) را می‌توان به صورت معادله‌ی (۵) نوشت. در معادله‌ی (۵) برای ساده کردن مدل از نوشتن جمله‌ی خطا صرف‌نظر شده است. البته، خطاهای ایجاد شده توسط عبارت $Ln(\frac{y_t}{Y_{t-۱}^۲})$ روی خط رگرسیونی $(\delta + \gamma t)$، با توجه به آماره‌ی دوربین واتسون مورد مطالعه قرار می‌گیرد(محمد و باجر، ۲۰۰۵). جزئیات بیش‌تر در بخش سوم ارائه خواهد شد.

$$y_t = Y_{t-۱}^۲ e^{(\delta+\gamma t)} \qquad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

با قرار دادن مقدار $y_t = Y_t - Y_{t-1}$ خواهیم داشت:

$$Y_t = Y_{t-1} + Y_{t-i}^{2} e^{(\delta+\gamma t)} \qquad (۶)$$

و با در نظر گرفتن گام h برای پیش‌بینی مصرف برق، $\hat{Y}_t$ را می‌توان با استفاده از معادله‌ی (۷) به‌دست آورد:

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^{2} e^{(\delta+\gamma(t+h))} \qquad (۷)$$

پیش‌بینی مصرف برق با توجه به معادله‌ی (۷)، منحنی لگاریتمی است که به تدریج به سطح اشباع α نزدیک می‌شود.

۴-۲- مدل هاروی

تابع نمایی کلی اصلاح شده به شکل معادله‌ی (۸) است:

$$f(t) = \alpha(1+\beta e^{\gamma t})^{k} \qquad (۸)$$

با در نظر گرفتن مقادیر مختلفی برای k، این تابع می‌تواند به تابع نمایی و تابع لجیستیکی تبدیل شود، یعنی اگر k مقدار ۱- را اختیار کند، به تابع لجیستیک و اگر برابر با ۱ باشد به تابع نمایی تبدیل می‌شود(هاروی، ۱۹۸۴).

با مشتق‌گیری از معادله‌ی (۸) نسبت به زمان و خطی کردن معادله با استفاده از لگاریتم طبیعی، معادله‌ی (۹) به‌دست خواهد آمد:

$$Lny_t = \rho LnY_{t-1} + \delta + \gamma t + \varepsilon_t \qquad (۹)$$

$$\delta = Ln(k\beta\alpha^{\frac{1}{k}}\gamma) \ , \ \rho = \frac{(k-1)}{k}$$

ρ, β, γ : پارامترهای تخمین هستند.

برای پیش‌بینی، معادله‌ی (۹) را می‌توان به صورت معادله‌ی (۱۰) نشان داد:

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{Y}_{t+h-1} + \hat{Y}_{t+h-1}^{\rho} e^{(\delta+\gamma(t+h))} \qquad (۱۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID

برای مقایسه‌ی مدل‌های ارائه شده، از معیار "ریشه‌ی میانگین مربع خطاها"[1] و آماره‌ی "دوربین واتسون" استفاده می‌شود (سکیاداس وهمکاران، ۱۹۹۳). ریشه‌ی میانگین مربع خطاها معیار مناسبی برای مقایسه‌ی داده‌های برازش شده[2] و داده‌های واقعی ارائه می‌دهد. هم‌چنین، آماره‌ی دوربین واتسون خطاهای موجود را از نظر خود هم‌بستگی (مستقل از هم بودن ε_tها) بررسی می‌کند.

۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از نوع داده‌های سری زمانی مربوط به سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۵، برگرفته از شرکت مادر تخصصی توانیر است. در مطالعات مبتنی بر این‌گونه از داده‌ها فرض می‌شود که داده‌ی سری زمانی مورد استفاده ساکن یا ایستا[3] است. با این حال، این داده‌ها در صورتی ایستا هستند که دارای میانگین و واریانس ثابتی در طول زمان باشند و مقدار کوواریانس بین هر دوره‌ی زمانی آن‌ها تنها به فاصله‌ی زمانی یا وقفه‌ی بین آن دو دوره‌ی بستگی داشته باشد. در غیراین‌صورت، متغیرهای مورد مطالعه ناایستا هستند و به دلیل مواجه بودن با پدیده‌ی رگرسیون کاذب[4]، آزمون‌های مرسوم از جمله t و F دارای اعتبار لازم نیستند. دلیل عمده‌ی این امر تمایل شدید متغیرهای سری زمانی، به نوسان‌های صعودی و نزولی زمان است که سبب می‌شود نتیجه‌ی رابطه‌ی آماری مشخص شده بین این متغیرها و هم‌چنین میزان R^2 تعیین شده قابل اعتماد نباشد، لذا هنگام استفاده از داده‌های سری زمانی لازم است چگونگی ایستایی متغیرها آزمون شود (گجراتی، ۱۳۷۷).

در این تحقیق برای بررسی ایستایی متغیرهای به کار رفته از آزمون ریشه‌ی واحد دیکی فولر تعمیم یافته و آزمون فیلیپس- پرون استفاده شده است. نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم یافته و فیلیپس پرون نشان می‌دهد که فرض صفر مبنی بر غیرایستا بودن متغیرها، در سطح معنی‌داری ۵٪ رد می‌شود، بنابراین، متغیرهای مصرف برق خانگی، غیرخانگی و کل، در سطح مانا هستند (جدول (۱) و (۲))، در نتیجه در به‌کارگیری این متغیرها مشکل رگرسیون کاذب وجود نخواهد داشت.

1- Root Mean Square Error (RMSE).
2- Fitted.
3- Stationary.
4- Spurious Regression.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- نتایج آزمون ریشه‌ی واحد روی داده‌ها Augmented Dickey-Fuller test statistic

متغیر		آماره‌ی آزمون	مقادیر بحرانی مکینتون در سطوح معنی‌داری			عرض از مبدأ**	روند**	نتیجه
			٪۱	٪۵	٪۱۰			
خانگی	$Ln(y_t)$	-۵/۵۴۰۱	-۴/۲۲۶۸	-۳/۵۳۶۶	-۳/۲۰۰۳	*	*	I(0)
غیر خانگی	$Ln(y_t)$	-۴/۴۱۶۸	-۴/۲۲۶۸	-۵۳۶۶.۳	-۳/۲۰۰۳	*	*	I(0)
کل	$Ln(y_t)$	-۴/۴۱۶۸	-۴/۲۲۶۸	-۵۳۶۶.۳	-۳/۲۰۰۳	*	*	I(0)

**. علامت‌های * و -، به ترتیب نشان‌دهنده‌ی وجود و عدم وجود عرض از مبدا یا روند می‌باشند.

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۲ - نتایج آزمون ریشه‌ی واحد روی داده‌ها Phillips-Perron test statistic

متغیر		آماره‌ی آزمون	مقادیر بحرانی مکینتون در سطوح معنی‌داری			عرض از مبدأ**	روند**	نتیجه
			٪۱	٪۵	٪۱۰			
خانگی	$Ln(y_t)$	-۵/۱۱۰۲	-۳/۶۱۵۶	-۲/۹۴۱۱۲	-۲/۶۰۹۰	*	-	I(0)
غیر خانگی	$Ln(y_t)$	-۳/۸۸۶۵	-۳/۶۱۵۵۸۸	-۲/۹۴۱۱۴۵	-۲/۶۰۹۰۶۶	*	-	I(0)
کل	$Ln(y_t)$	-۵/۳۳۶۷	-۳/۶۱۵۶	-۲/۹۴۱۱	-۲/۶۰۹۱	*	-	I(0)

**. علامت‌های * و- به ترتیب نشان دهنده‌ی وجود و عدم وجود عرض از مبدا یا روند می‌باشند.

مأخذ: نتایج تحقیق

۶- کاربرد مدل‌ها برای پیش بینی مصرف برق در ایران

با به‌کارگیری مدل‌های لجیستیک، لجیستیک هاروی و هاروی، برای پیش‌بینی مصرف برق برای دوره‌ی کوتاه‌مدت از داده‌های سالانه‌ی مصرف برق ایران در دوره‌ی زمانی ۱۳۸۵-۱۳۴۷ استفاده شده (وزارت نیرو، سال‌های مختلف) و برای برآورد پارامترها از نرم‌افزار Eviews 5 استفاده شده است. در تمامی مدل‌ها برای برآورد، مصرف برق در سه شکل خانگی، غیر خانگی و کل در نظر گرفته شده است. مصرف کل، مجموع مصرف بخش خانگی و غیر خانگی است. سیاست‌گذاران بخش انرژی برای پیش‌بینی مصرف برق از چنین تقسیم‌بندی‌ای استفاده می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۱- نتایج مدل لجیستیک

همان‌طور که در مباحث بالا اشاره شد، مدل رگرسیونی که به عنوان مدل لجیستیک برای پیش‌بینی مورد توجه قرار می‌گیرد بر اساس معادله‌ی $Ln(\frac{y_t}{Y_{t-1}^{2}}) = \delta + \gamma t$ می‌باشد. نتایج برآورد برای بخش خانگی، غیرخانگی و کل مصرف برق در معادلات (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) آورده شده است.[۱]

مصرف خانگی :
$$Ln(y_t) = 2LnY_t - 8/7619 - 0/1462 * t \quad (-39.59) \quad (-14.78) \qquad (11)$$

مصرف غیرخانگی :
$$Ln(y_t) = 2LnY_t - 10/1561 - 0/1161 * t \quad (-43.66) \quad (-11.17) \qquad (12)$$

مصرف کل :
$$Ln(y_t) = 2LnY_t - 10/2575 - 0/1265 * t \quad (-59/58) \quad (-16.43) \qquad (13)$$

۶-۲- نتایج مدل لجیستیک هاروی

همانند مدل لجیستیک، برازش روی بخش‌های خانگی، غیر خانگی و کل انجام می‌گیرد. نتایج به‌دست آمده به قرار زیر است:

مصرف خانگی :
$$Ln(y_t) = 2LnY_{t-1} - 8/3752 - 0/1543 * t \quad (-33/88) \quad (-13/97) \qquad (14)$$

مصرف غیرخانگی :
$$Ln(y_t) = 2LnY_{t-1} - 9/7502 - 0/1253 * t \quad (-35/06) \quad (-10/08) \qquad (15)$$

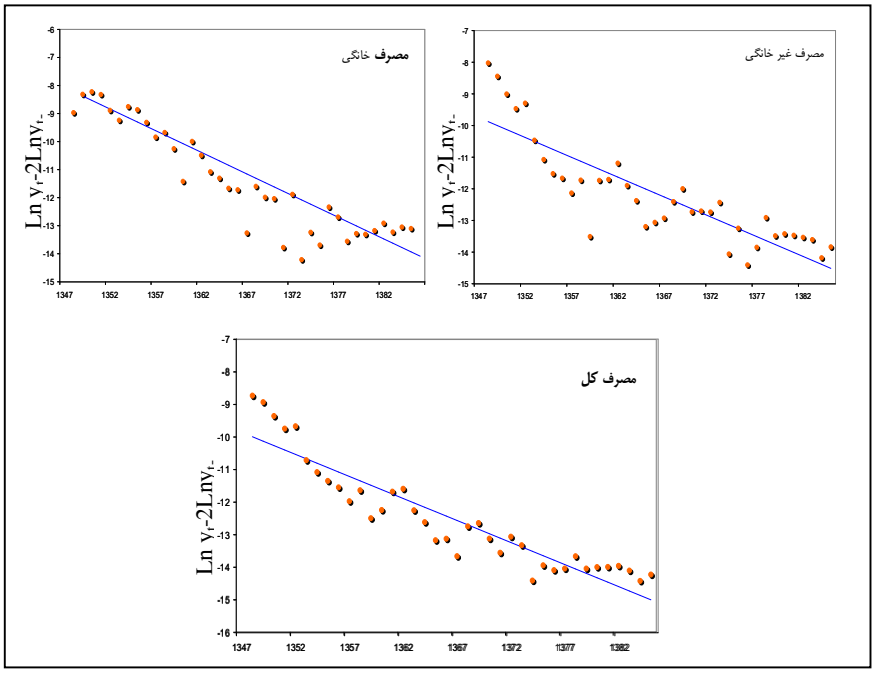
مصرف کل :
$$Ln(y_t) = 2LnY_{t-1} - 9/8544 - 0/1355 * t \quad (-48/05) \quad (-14/78) \qquad (16)$$

نمودار $Ln(\frac{y_t}{Y_{t-1}^{2}})$ همراه با خط رگرسیونی به‌دست آمده برای مصرف خانگی، غیرخانگی و کل، در شکل (۱) نشان داده شده است.

۱- مقادیر داخل پارانتز آماره‌ی t را برای هر یک از پارامترها نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



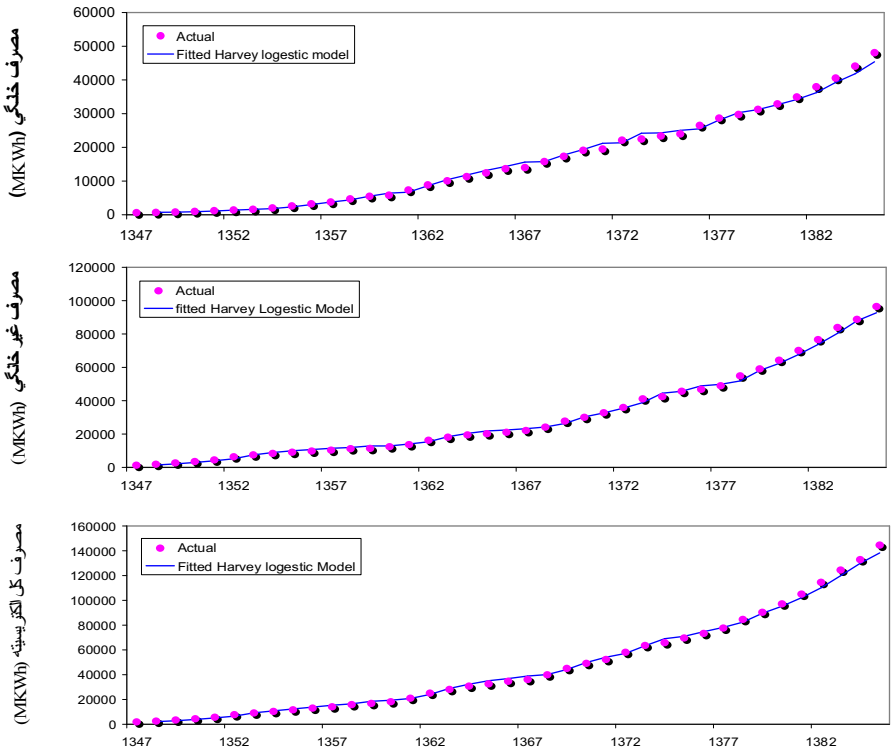
شکل ۱- خط رگرسیونی به‌دست‌آمده از مدل لجستیک هاروی و مشاهدات واقعی

خطاهای به‌دست آمده از تخمین مصرف خانگی با DW =۱/۳۵، هم‌بستگی سریالی مثبت خیلی ضعیفی را نشان می‌دهند، در حالی که هم‌بستگی سریالی در مصرف غیرخانگی (DW =۰/۷۱) و کل (DW =۰/۵۰) نسبت به مصرف خانگی شدیدتر است. بنابراین، می‌توان گفت که خطاهای موجود در مصرف خانگی، رفتار خوبی را نسبت به مصرف غیرخانگی و کل نشان می‌دهند.

شکل (۲)، نمودار مشاهدات واقعی و برآورد شده توسط مدل لجیستیک هاروی را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، این مدل توانسته است داده‌های به کار رفته در برازش مدل را به خوبی برآوردکند. البته این برازش نمی‌تواند معیار مناسبی برای بررسی کارایی این مدل باشد. در مباحث بعدی، این موضوع به تفصیل توضیح داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نمودار مشاهدات واقعی و برآورد شده با استفاده از مدل لجستیک هاروی

۶-۳- نتایج مدل هاروی

تخمین مدل هاروی با استفاده از داده‌های مصرف برق در بخش‌های خانگی، غیرخانگی و کل، نتایج زیر را در بردارد:

مصرف خانگی :
$$\underset{(+۲/۱۲)}{Ln(y_t)} = \underset{(+۳/۳۴)}{۰/۶۶۷۰ LnY_{t-۱}} + \underset{(+۳/۳۴)}{۰/۷۴۱۲} - \underset{(-۲/۰۱)}{۰/۰۰۲۹} * t \qquad (۱۷)$$

مصرف غیرخانگی:
$$\underset{(-۱/۹۷)}{Ln(y_t)} = \underset{(-۱/۹۷)}{-۰/۶۷۰۳ LnY_{t-۱}} + \underset{(+۳/۶۷)}{۱۱/۵۷۳۰} + \underset{(+۴/۰۴)}{۰/۱۲۷۳} * t \qquad (۱۸)$$

مصرف کل :
$$\underset{(-۳/۹۳)}{Ln(y_t)} = \underset{(-۳/۹۳)}{-۰/۰۸۷۴ LnY_{t-۱}} + \underset{(+۳/۲۱)}{۷/۴۰۸۷} + \underset{(+۴/۰۲)}{۰/۰۷۳۱} * t \qquad (۱۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

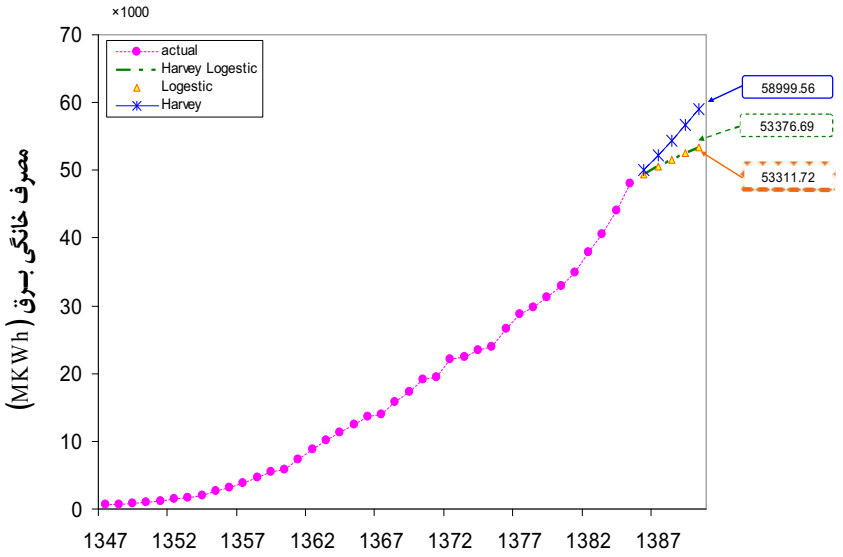
داشتن ریشه‌ی میانگین مربع خطای کم در مدل هاروی بیانگر برازش خوب مدل است. هم‌چنین، این مدل با R^2 بالای ۸۰ درصد توانسته است مقادیر واقعی مصرف برق در بخش‌های خانگی، غیرخانگی و کل را با میزان خطای کم‌تری توضیح دهد.

۶-۴- مقایسه‌ی مدل لجیستیک و مدل‌های هاروی

میزان انطباق و مصرف‌های آینده

پیش‌بینی‌های به‌دست آمده از مدل لجیستیک و مدل‌های هاروی برای مصرف خانگی، غیرخانگی و کل برق در شکل‌های (۳)، (۴)، (۵) به صورت مجزا و در شکل (۶) یک‌جا نشان داده شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود، مقادیر پیش‌بینی برای مصرف برق در هر سه مدل به صورت نمایی افزایش می‌یابند.

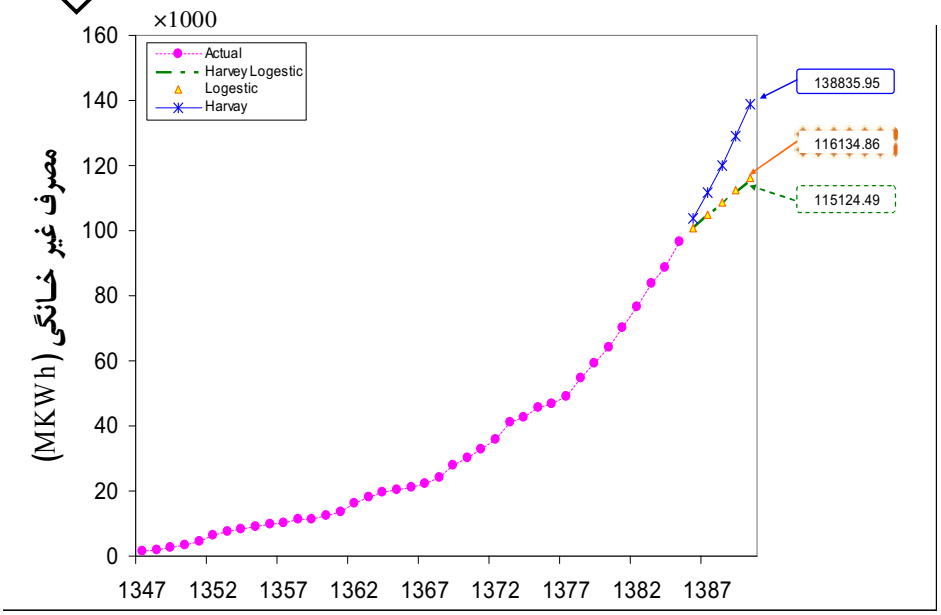
مدل هاروی مقدار بیش‌تری را نسبت به سایر مدل‌ها در پیش‌بینی مصرف برق نشان می‌دهد؛ کم‌ترین پیش‌بینی را مدل لجیستیک و لجیستیک هاروی با مقادیر نزدیک به هم نشان می‌دهند.



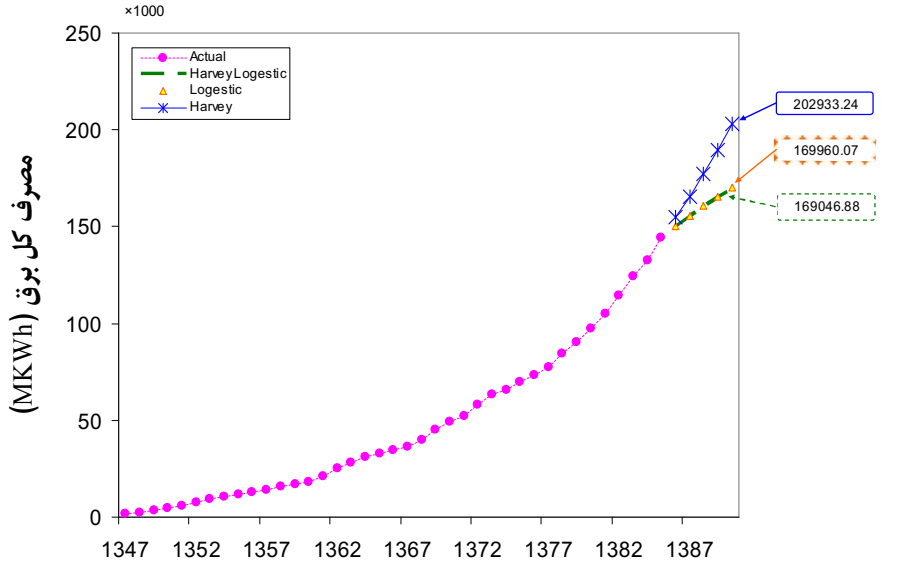
شکل ۳- نمودار پیش‌بینی مصرف خانگی برق با استفاده از مدل‌های لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی، از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰

www.SID.ir

Archive of SID



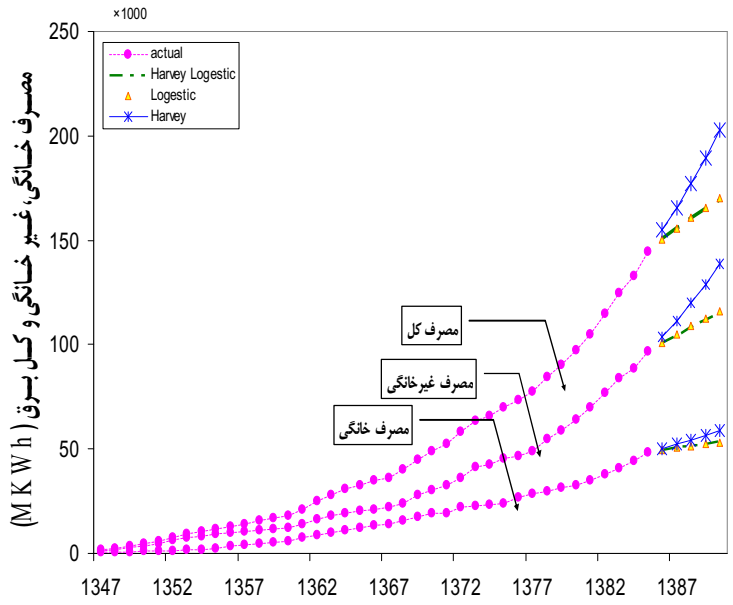
شکل ۴- نمودار پیش‌بینی مصرف غیرخانگی برق با استفاده از مدل‌های لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی، از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰



شکل ۵- نمودار پیش‌بینی مصرف غیرخانگی برق با استفاده از مدل‌های لجستیک، لجستیک هاروی و هاروی از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- نمودار پیش‌بینی مصرف خانگی، غیرخانگی و کل برق از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰

مقادیر RMSE و DW مدل‌های برآورد شده در جدول (۳) آورده شده است. RMSE و DW به‌دست آمده از مدل‌های لجیستیک و لجیستیک هاروی خیلی به هم نزدیک هستند. هم‌چنین، کم‌ترین مقدار RMSE، برای مدل هاروی به دست آمده است. این امر نشان می‌دهد که مدل هاروی، در مقایسه با مدل‌های دیگر، برازش خوبی را ارائه می‌کند.

آماره‌ی دوربین واتسون ۱/۸۷، ۱/۵۰ و ۱/۴ برای مصرف خانگی، غیرخانگی و مصرف کل در مدل هاروی، رفتار خطاهای برآورد را در این مدل نشان می‌دهد، که دال بر هم‌بستگی سریالی مثبت ضعیفی بین خطاهاست. ولی این هم‌بستگی سریالی در سایر مدل‌ها بیش‌تر از مدل هاروی می‌باشد. علّت پیش‌بینی ضعیف مدل‌های لجیستیک و لجیستیک هاروی را می‌توان در وجود سطح اشباع دانست. سطح اشباع در مدل‌های لجیستیک پیشنهادی باید قبل از تخمین و محاسبه‌ی پارامترهای مدل به وسیله‌ی جستجوی فیبوناچی تقریب زده شود، اما در مدل هاروی نیازی به تقریب زدن قبل از تجزیه و تحلیل رگرسیونی نیست. این موضوع سبب می‌شود که مدل هاروی قدرت

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌بینی بالاتری را نسبت به مدل‌های لجیستیک و لجیستیک هاروی نشان دهد (باجر و تای، ۱۹۸۷ و ۲۰۰۵).

جدول ۳- مقادیر ریشه‌ی میانگین مربع خطا و آماره‌ی دوربین واتسون برای مدل‌های به کار رفته

مدل	ریشه‌ی میانگین مربع خطا (**RMSE**)			آماره‌ی دوربین واتسون (**DW**)		
	مصرف خانگی	مصرف غیرخانگی	مصرف کل	مصرف خانگی	مصرف غیرخانگی	مصرف کل
لجیستیک	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۵۱	۱/۲۹	۰/۷۷	۰/۵۰
لجیستیک هاروی	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۶۱	۱/۳۵	۰/۷۱	۰/۵۰
هاروی	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۳۲	۱/۸۷	۱/۵۰	۱/۴

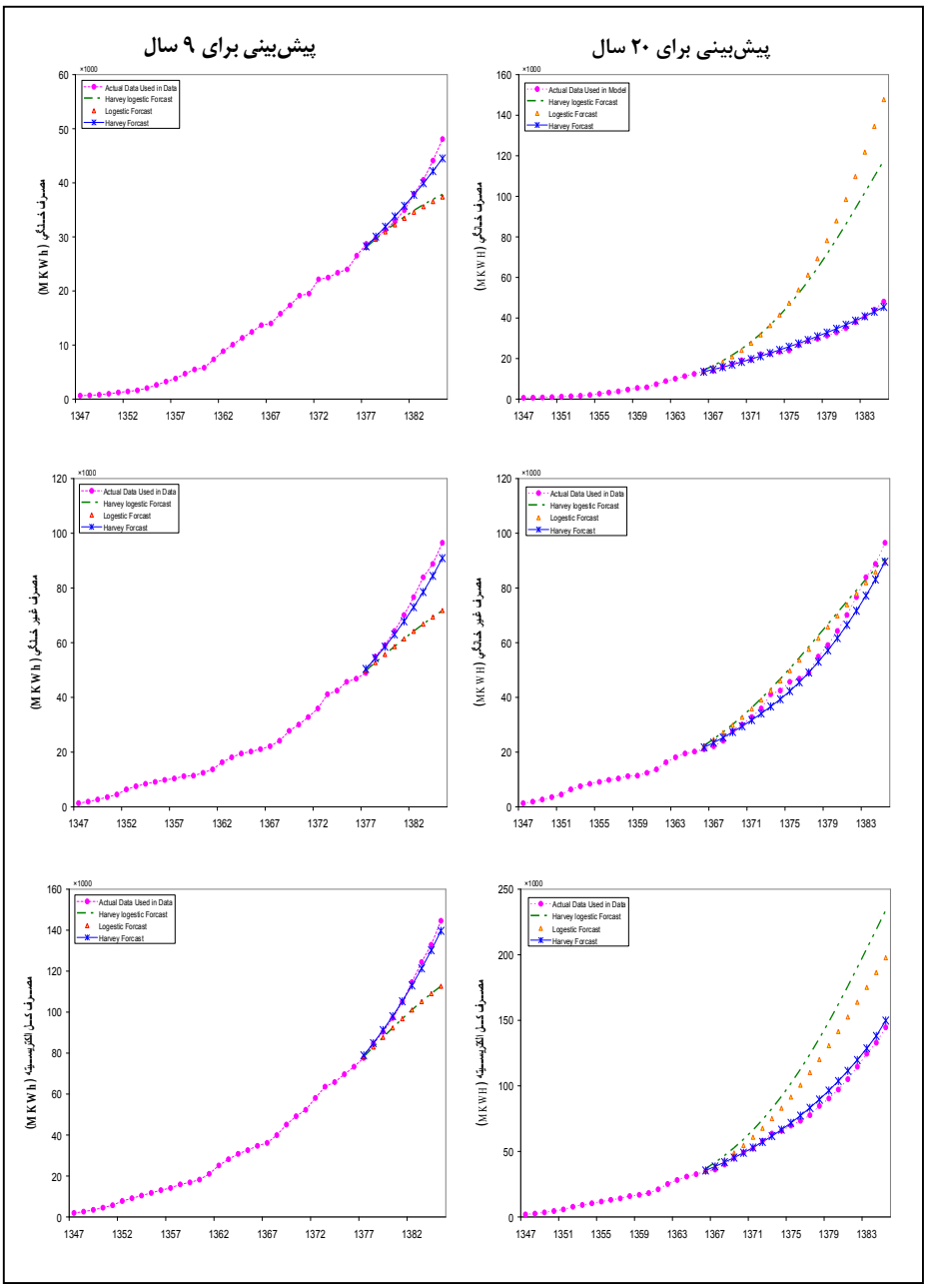
مدل هاروی به دلیل وجود پارامتر اضافی ρ، که از تخمین و تجزیه و تحلیل رگرسیونی به‌دست می‌آید، از دو مدل دیگر متمایز است. مقادیر به‌دست آمده برای ρ، همان‌طور که در معادلات (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) دیده می‌شود، مانند مدل‌های لجیستیک مقدار ۲ به خود نمی‌گیرد، به این دلیل مدل هاروی توانسته است نسبت به مدل‌های دیگر برآورد بهتری را نشان دهد.

۶-۵- دقت و صحت پیش‌بینی

مدل لجیستیک و مدل‌های هاروی، برای پیش‌بینی دقیق‌تر و درست‌تر به کار می‌روند. همان‌طور که دیدیم، نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها از هم متمایزند. دانستن این‌که کدام یک از این مدل‌ها می‌توانند برآورد دقیقی را درباره‌ی موضوع پیش‌بینی مورد نظر ارائه دهند، حائز اهمیت فراوانی است. چون در این مقاله واحدهای به کار برده شده برای تخمین و محاسبات بر حسب MKWh است، اگر مدل مورد نظر پیش‌بینی دقیقی از مقادیر آینده حتی با وجود این‌که مشاهدات گذشته را به خوبی برآورد می‌کند، نداشته باشد، خطای پیش‌بینی فاحش خواهد بود و نمی‌توان برنامه‌ریزی‌های کلان را بر اساس یافته‌های آن پایه‌ریزی کرد. برای دانستن این موضوع که کدام مدل برآورد بهتری از مقادیر آینده دارد، مدل‌های مورد نظر برای دوره‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۴۷ و ۱۳۶۵-۱۳۴۷ برازش شد. سپس، پیش‌بینی‌هایی برای ۹ سال و ۲۰ سال (تا سال ۱۳۸۵) به‌دست آوردیم (یعنی داده‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۷ و ۱۳۸۵-۱۳۶۶). شکل (۷)،

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- نمودار پیش‌بینی ۹ و ۲۰ ساله مشاهدات واقعی تا سال ۱۳۸۵ برای مصارف خانگی

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج پیش‌بینی‌ها را برای مصرف خانگی، غیر خانگی و کل نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در هر شش نمودار رسم شده، با کم شدن تعداد مشاهداتی که در برازش مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند، خطای برآورد مدل‌های لجیستیک و لجیستیک هاروی بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود، در حالی که در مدل هاروی، در تمامی حالت‌ها، پیش‌بینی نزدیک به مشاهدات واقعی حرکت می‌کند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل هاروی نسبت به سایر مدل‌ها پیش‌بینی دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. پس، می‌توان به دقت و درستی پیش‌بینی‌های این مدل اطمینان بیش‌تری داشت.

ریشه‌ی میانگین مربع خطاها (RMSE) معیار دیگری برای تعیین قدرت و دقت پیش‌بینی است. هرچه قدر در مدل تخمین زده شده RMSE کم‌تر باشد، بیانگر خوبی برازش و پیش‌بینی بهتر مشاهدات است. شکل (۸) اندازه‌ی ریشه‌ی میانگین مربع خطاهای هر سه مدل را در بخش‌های خانگی، غیر خانگی و مصرف کل برق نشان می‌دهد. در طی فرایند تخمین و پیش‌بینی مشاهدات، مدل هاروی کم‌ترین میزان معیار RMSE را به خود اختصاص داده است، بنابراین، پیش‌بینی‌های مدل هاروی بهتر از مدل‌های لجیستیک بوده است. با توجه به مطالب بالا، در این جا فقط مقادیر پیش‌بینی مدل هاروی را می‌آوریم. جدول (۴)، مقادیر پیش‌بینی مدل هاروی برای بخش‌های خانگی، غیر خانگی و کل مصرف برق را نشان می‌دهد. مطابق این مدل، رشد سالانه‌ی مصرف برق خانگی رفته رفته کاهش می‌یابد و از مقدار ۴/۲۴ درصد در سال ۱۳۸۶، به ۴/۱۰ درصد در سال ۱۳۹۰ خواهدرسید، در حالی که رشد سالانه‌ی مصرف غیرخانگی برق، از ۷/۴۹ درصد در سال ۱۳۸۶، به ۷/۵۹ درصد در سال ۱۳۹۰ می‌رسد. این موضوع بیانگر فزاینده بودن رشد مصرف برق غیر خانگی است. به طورکلی، مدل هاروی رشد متوسط سالانه‌ی ۴/۱۸، ۷/۵۴ و ۷/۰۱ درصدی را به ترتیب برای مصرف خانگی، غیرخانگی و کل پیش‌بینی کرده است[۱].

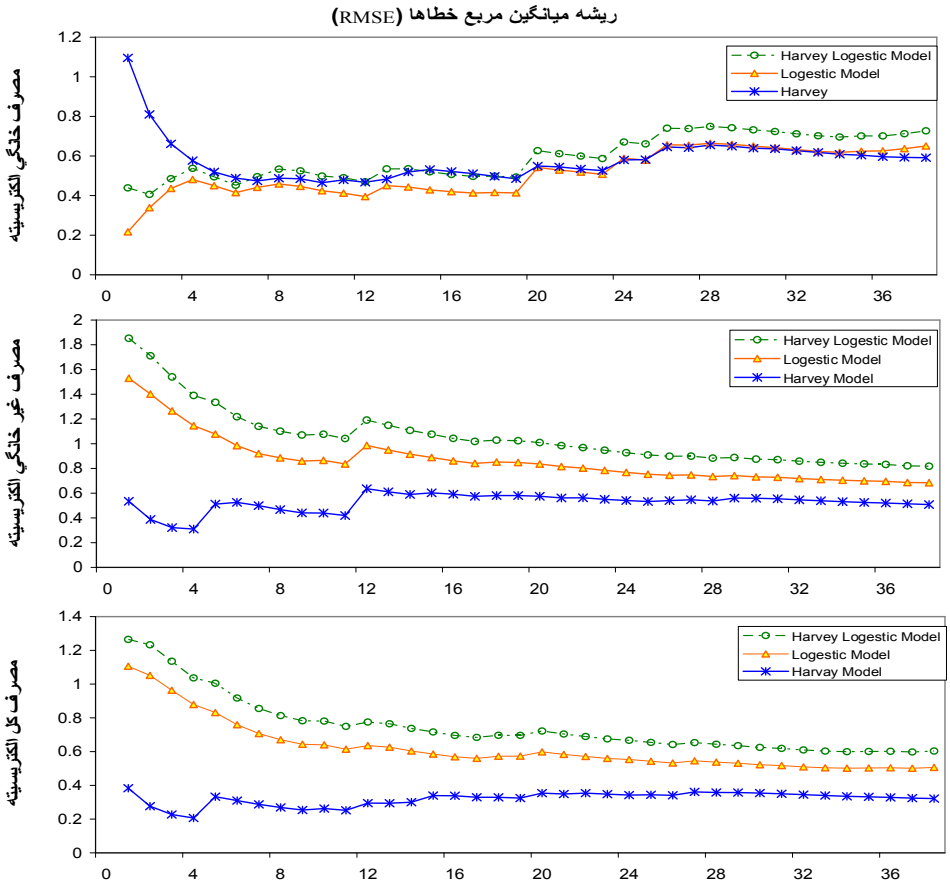
۱- نتایج پیش‌بینی‌ها، به منظور مقایسه و مطالعه‌ی بیش‌تر دانشجویان درجداول پیوست این مقاله آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی مدل هاروی برای مصرف برق در ایران (MKWh)

سال	مصرف خانگی	رشد سالانه‌ی مصرف خانگی	مصرف غیرخانگی	رشد سالانه‌ی مصرف غیر خانگی	مصرف کل	رشد سالانه‌ی مصرف کل
۱۳۸۶	۵۰۱۲۴/۵۱	۴/۲۴	۱۰۳۷۴۲/۷۴	۷/۴۹	۱۵۴۷۵۷/۰۹	۷/۰۳
۱۳۸۷	۵۲۲۳۴/۹۴	۴/۲۱	۱۱۱۵۴۲/۸۰	۷/۵۲	۱۶۵۶۱۹/۴۷	۷/۰۲
۱۳۸۸	۵۴۴۱۷/۰۷	۴/۱۸	۱۱۹۹۵۸/۴۷	۷/۵۴	۱۷۷۲۳۴/۱۱	۷/۰۱
۱۳۸۹	۵۴۴۱۷/۶۹	۴/۱۴	۱۲۹۰۳۸/۶۱	۷/۵۶	۱۸۹۶۵۳/۳۷	۷/۰۰
۱۳۹۰	۵۸۹۹۹/۵۶	۴/۱۰	۱۳۸۸۳۵/۹۵	۷/۵۹	۲۰۲۹۳۳/۲۴	۷/۰۰
متوسط رشد سالانه		۴/۱۸		۷/۵۴		۷/۰۱



شکل ۸- مقادیر ریشه‌ی میانگین مربع خطاها در مدل‌های برازش شده

www.SID.ir

Archive of SID

۷- نتیجه‌گیری

این مقاله مدل‌های لجیستیک، لجیستیک هاروی و هاروی را مورد بررسی و مقایسه قرار داده است. هم‌چنین، با مقایسه‌ی این مدل‌ها تلاش شده است تا مدل مناسبی برای پیش‌بینی دقیق‌تر مصرف برق ارائه شود. همان‌طور که دیده شد، مدل هاروی نسبت به مدل‌های لجیستیکی مقدار مصرف بالاتری را پیش‌بینی می‌کند. اگر چه این پیش‌بینی در مقایسه با سایر مدل‌ها اختلاف زیادی را در هر سه بخش خانگی، غیرخانگی و کل مصرف برق ارائه می‌دهد، ولی با توجه به ریشه‌ی میانگین مربع خطای پایین و ارائه پیش‌بینی نزدیک برای ۹ و ۲۰ ساله‌ی مقادیر گذشته‌ی برق، این مدل از دقت و صحت بیش‌تری برخوردار می‌باشد (شکل‌های ۷ و ۸). چون مدل هاروی نسبت به مدل‌های دیگر پیش‌بینی دقیق‌تری را ارائه می‌دهد، بنابراین می‌تواند در سیاست گذاری از اهمیت بیش‌تری برخوردار باشد.

فهرست منابع

وزارت نیرو (۱۳۸۶)، ترازنامه‌ی انرژی ایران، معاونت امور انرژی دفتر برنامه‌ریزی انرژی.

گجراتی، دامودار(۱۳۷۷)، مبانی اقتصاد سنجی (جلد دوم)، ترجمه‌ی ابریشمی، حمید، انتشارات دانشگاه تهران.

Bass, F.M. (1969), A New Product Growth for Model Consumer Durables, Manage. Sci. 15, 215–227.

Bewley, R. and D.G. Fiebig (1988), A Flexible Logistic Growth Model with Applications in Telecommunications, Int. J. Forecast. 4, 177–192.

Bodger, P.S. and H.S. Tay (1987), Logistic and Energy Substitution Models for Electricity Forecasting: a Comparison Using New Zealand Consumption Data, Technological Forecasting & Social Change 31, 27–48.

Egelioglu, F., A.A. Mohammad, and H. Guven (2001), Economic Variables and Electricity Consumption in Northern Cyprus, Energy 26, 355-362.

Giovanis, A.N. and C.H. Skiadas (1999), Stochastic Logistic Innovation Diffusion Model Studying the Electricity Consumption in Greece and the United States, Technological Forecasting & Social Change 61, 235–246.

Harvey, A.C. (1984), Time series Forecasting Based on the Logistic Curve, J. Oper. Res. Soc. 35 (7), 641–646.

www.SID.ir

Archive of SID

Harvey, A.C. (1993), Time Series Models, 2nd ed., the MIT Press, Cambridge MA, 149–152.

Mar-Molineo, C. (1980), Tractors in Spain: A Logistic Analysis, J. Oper. Res. Soc. 31, 141–152.

Martino, J.P. (2003), A review of Selected Recent Advances in Technological Forecasting and Social Change, Technological Forecasting & Social Change70, 719-733.

Mohamed, Z. and P. Bodger (2005), A comparison of Logistic and Harvey Models for Electricity Consumption in New Zealand, Technological Forecasting & Social Change 72, 1030–1043.

Mohamed, Z. and P. Bodger (2006), Forecasting Electricity Consumption: A Comparison of Models for New Zealand, Technological Forecasting & Social Change 73, 362-375.

Mohamed, Z. and P. Bodger **(**2004**)**, Forecasting Electricity Consumption: a Comparison of Models for New Zealand, Australian Universities Power Engineering Conference Brisbane (Australia), 26-29.

Perron, P. (1989), The Great Crash, the Oil Price Shock, and the Unit Root Hypothesis. Econometrica 57, 1361– 1401.

Ranjan, M. and V.K. Jain (1999), Modeling of Electrical Energy Consumption in Delhi, Energy 24, 351-361.

Samer, S., B. Elie, and G. Naser (2001), Univariate Modeling and Forecasting of Energy Consumption: the Case of Electricity in Lebanon, Energy, 26, 1-14.

Skiadas, C.H., L.L. Papayannakis, and A.G. Mourelatos (1993), An Attempt to Improve Forecasting Ability of Growth Functions: the Greek Electric System, Technological Forecasting & Social Change 44, 391–404.

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست

پیوست ۱- مقادیر پیش‌بینی الگوی هاروی، لجستیک هاروی و لجیستیک برای مصرف برق خانگی در ایران (MKWh)

سال	مصرف خانگی			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۴۷	۶۳۹	-----	-----	------
۱۳۴۸	۶۹۱	۷۹۴/۵۳	۷۱۹/۶۶	۶۹۴/۲۴
۱۳۴۹	۸۰۸	۸۵۴/۴۰	۷۷۱/۸۳	۷۴۶/۸۱
۱۳۵۰	۹۸۳	۹۸۸/۸۳	۹۰۲/۷۱	۸۷۳/۹۴
۱۳۵۱	۱۲۱۸	۱۱۸۸/۵۰	۱۱۰۳/۱۳	۱۰۶۷/۳۲
۱۳۵۲	۱۴۲۳	۱۴۵۴/۴۱	۱۳۷۶/۰۶	۱۳۲۹/۸۵
۱۳۵۳	۱۶۲۰	۱۶۸۴/۵۰	۱۶۰۷/۸۸	۱۵۵۴/۹۰
۱۳۵۴	۲۰۳۴	۱۹۰۴/۲۹	۱۸۲۵/۳۵	۱۷۶۷/۷۱
۱۳۵۵	۲۶۲۰	۲۳۶۳/۹۴	۲۳۱۱/۴۱	۲۲۳۵/۱۸
۱۳۵۶	۳۲۳۸	۳۰۰۹/۵۱	۳۰۱۴/۴۶	۲۹۰۸/۴۰
۱۳۵۷	۳۷۹۷	۳۶۸۵/۳۱	۳۷۵۴/۳۲	۳۶۱۸/۵۹
۱۳۵۸	۴۷۰۲	۴۲۹۳/۰۱	۴۴۰۵/۴۴	۴۲۴۹/۱۷
۱۳۵۹	۵۴۷۹	۵۲۷۲/۳۸	۵۵۰۱/۵۹	۵۳۰۱/۱۰
۱۳۶۰	۵۸۰۹	۶۱۰۸/۸۱	۶۴۰۹/۴۱	۶۱۸۱/۸۴
۱۳۶۱	۷۳۵۰	۶۴۶۱/۹۸	۶۷۰۵/۲۸	۶۴۹۱/۶۱
۱۳۶۲	۸۸۵۷	۸۱۱۱/۷۳	۸۵۷۹/۶۵	۸۲۹۴/۱۹
۱۳۶۳	۱۰۰۶۹	۹۷۱۷/۱۵	۱۰۳۸۴/۲۱	۱۰۰۴۱/۶۰
۱۳۶۴	۱۱۳۱۶	۱۱۰۰۳/۲۷	۱۱۷۶۳/۸۰	۱۱۳۹۱/۷۸
۱۳۶۵	۱۲۴۱۶	۱۲۳۲۳/۰۳	۱۳۱۵۰/۴۳	۱۲۷۵۹/۵۰
۱۳۶۶	۱۳۶۶۸	۱۳۴۸۴/۲۲	۱۴۳۰۸/۵۵	۱۳۹۱۷/۴۵
۱۳۶۷	۱۳۹۹۴	۱۴۸۰۳/۶۳	۱۵۶۳۳/۴۵	۱۵۲۴۰/۰۷
۱۳۶۸	۱۵۷۹۱	۱۵۱۴۴/۳۱	۱۵۷۵۹/۵۶	۱۵۴۱۷/۸۴
۱۳۶۹	۱۷۳۴۴	۱۷۰۳۴/۲۴	۱۷۷۱۷/۶۸	۱۷۳۵۷/۴۴
۱۳۷۰	۱۹۱۲۸	۱۸۶۶۳/۷۰	۱۹۳۳۳۵/۸۵	۱۸۹۷۶/۷۰
۱۳۷۱	۱۹۵۰۹	۲۰۵۳۲/۷۰	۲۱۲۰۴/۱۹	۲۰۸۴۳/۷۹
۱۳۷۲	۲۲۱۴۳	۲۰۹۲۸/۲۱	۲۱۳۵۹/۸۳	۲۱۰۵۱/۰۹
۱۳۷۳	۲۲۴۷۳	۲۳۶۸۲/۸۵	۲۴۱۸۶/۳۳	۲۳۸۵۹/۴۴

www.SID.ir

Archive of SID

سال	مصرف خانگی			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۷۴	۲۳۳۷۴	۲۴۰۲۳/۶۴	۲۴۲۷۶/۶۶	۲۴۰۰۰/۵۴
۱۳۷۵	۲۳۹۹۳	۲۴۹۶۱/۲۶	۲۵۰۴۶/۱۲	۲۴۸۰۱/۷۵
۱۳۷۶	۲۶۵۲۳	۲۵۶۰۳/۵۲	۲۵۵۰/۸۷	۲۵۲۹۲/۷۹
۱۳۷۷	۲۸۶۸۶	۲۸۲۳۹/۹۳	۲۸۱۰۴/۱۹	۲۷۸۹۵/۳۵
۱۳۷۸	۲۹۷۵۴	۳۰۴۸۹/۸۹	۳۰۲۷۱/۰۷	۳۰۰۷۲/۹۹
۱۳۷۹	۳۱۲۶۶	۳۱۵۹۷/۰۹	۳۱۲۱۵/۴۰	۳۱۰۴۳/۲۶
۱۳۸۰	۳۲۸۹۱	۳۳۱۶۵/۵۶	۳۲۶۴۸/۹۰	۳۲۴۹۶/۰۲
۱۳۸۱	۳۴۹۴۶	۳۴۸۵۰/۲۰	۳۴۲۰۲/۵۰	۳۴۰۶۷/۰۸
۱۳۸۲	۳۷۹۶۷	۳۶۹۸۰/۱۴	۳۶۲۱۴/۷۶	۳۶۰۹۳/۰۸
۱۳۸۳	۴۰۵۶۴	۴۰۱۱۰/۶۱	۳۹۲۵۰/۴۱	۳۹۱۳۶/۸۴
۱۳۸۴	۴۴۱۰۸	۴۲۷۹۷/۸۸	۴۱۸۱۹/۴۶	۴۱۷۱۷/۷۵
۱۳۸۵	۴۸۰۸۵	۴۶۴۶۳/۴۳	۴۵۳۸۰/۱۱	۴۵۲۸۶/۶۳

پیوست ۲- مقادیر پیش‌بینی الگوی هاروی، لجستیک هاروی و لجیستیک برای مصرف برق غیرخانگی در ایران (MKWh)

سال	مصرف غیر خانگی			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۴۷	۱۳۲۱	----	----	----
۱۳۴۸	۱۸۹۳	۲۲۹۷/۲۴	۱۴۱۰/۷۳	۱۳۸۱/۳۵
۱۳۴۹	۲۶۶۴	۲۷۶۴/۲۰	۲۰۵۵/۵۵	۲۰۰۳/۳۴
۱۳۵۰	۳۵۳۶	۳۴۵۰/۹۵	۲۹۴۷/۹۹	۲۸۵۸/۵۷
۱۳۵۱	۴۵۰۵	۴۲۷۵/۲۸	۳۹۷۷/۴۱	۳۸۴۱/۲۲
۱۳۵۲	۶۳۷۳	۵۲۱۸/۸۳	۵۱۳۷/۰۹	۴۹۴۶/۱۲
۱۳۵۳	۷۵۳۲	۷۰۱۵/۵۵	۷۴۸۸/۹۵	۷۱۵۹/۰۳
۱۳۵۴	۸۴۱۲	۸۱۸۴/۴۶	۸۹۰۷/۱۴	۸۵۰۹/۵۷
۱۳۵۵	۹۱۱۴	۹۱۰۰/۱۳	۹۹۲۵/۱۹	۹۴۹۷/۶۹
۱۳۵۶	۹۸۲۸	۹۸۵۴/۶۷	۱۰۶۸۱/۰۵	۱۰۲۴۸/۷۶
۱۳۵۷	۱۰۳۴۸	۱۰۶۲۷/۷۵	۱۱۴۳۵/۵۵	۱۱۰۰۲/۸۸
۱۳۵۸	۱۱۲۱۴	۱۱۲۲۵/۴۷	۱۱۹۲۰/۲۴	۱۱۵۰۷/۷۲

www.SID.ir

Archive of SID

سال	مصرف غیر خانگی			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۵۹	۱۱۳۸۵	۱۲۱۵۸/۳۲	۱۲۸۴۲/۹۱	۱۲۴۲۶/۶۷
۱۳۶۰	۱۲۴۲۵	۱۲۴۴۶/۷۰	۱۲۸۶۶/۱۹	۱۲۴۹۷/۹۲
۱۳۶۱	۱۳۷۰۳	۱۳۵۶۲/۲۱	۱۳۹۸۱/۳۵	۱۳۶۰۵/۲۴
۱۳۶۲	۱۶۲۹۶	۱۴۹۱۲/۵۶	۱۵۳۷۵/۰۰	۱۴۹۸۱/۱۷
۱۳۶۳	۱۸۱۰۸	۱۷۵۱۹/۱۱	۱۸۳۷۹/۶۱	۱۷۹۰۵/۵۲
۱۳۶۴	۱۹۴۹۶	۱۹۴۰۲/۳۷	۲۰۳۷۷/۶۸	۱۹۸۷۷/۵۲
۱۳۶۵	۲۰۲۰۳	۲۰۸۹۵/۰۹	۲۱۸۱۷/۰۶	۲۱۳۲۲/۳۵
۱۳۶۶	۲۱۰۷۲	۲۱۷۵۴/۵۳	۲۲۴۰۱/۸۵	۲۱۹۴۹/۲۴
۱۳۶۷	۲۲۱۵۳	۲۲۷۸۵/۱۲	۲۳۱۸۲/۳۱	۲۲۷۶۳/۴۶
۱۳۶۸	۲۴۱۶۵	۲۴۰۳۴/۵۲	۲۴۲۱۰/۶۴	۲۳۸۱۷/۵۴
۱۳۶۹	۲۷۷۶۳	۲۶۱۸۰/۹۹	۲۶۳۲۴/۹۷	۲۵۹۲۸/۵۲
۱۳۷۰	۳۰۰۴۷	۲۹۸۴۹/۲۷	۳۰۲۷۸/۲۲	۲۹۸۳۵/۶۲
۱۳۷۱	۳۲۷۹۷	۳۲۲۹۴/۲۱	۳۲۶۴۶/۰۶	۳۲۲۰۸/۵۶
۱۳۷۲	۳۵۹۷۱	۳۵۲۰۳/۷۸	۳۵۵۲۸/۸۲	۳۵۰۹۰/۰۴
۱۳۷۳	۴۱۱۵۲	۳۸۵۴۰/۴۰	۳۸۸۷۰/۰۷	۳۸۴۲۶/۹۹
۱۳۷۴	۴۲۴۸۰	۴۳۸۱۸/۵۴	۴۴۴۹۹/۳۸	۴۴۰۱۴/۰۸
۱۳۷۵	۴۵۶۷۸	۴۵۴۴۴/۷۴	۴۵۶۲۶/۷۵	۴۵۱۹۵/۴۹
۱۳۷۶	۴۶۸۳۵	۴۸۸۸۵/۳۳	۴۸۸۸۷/۸۰	۴۸۴۷۳/۵۸
۱۳۷۷	۴۸۹۶۰	۵۰۴۱۷/۱۸	۴۹۸۱۱/۹۷	۴۹۴۵۱/۸۴
۱۳۷۸	۵۴۹۰۲	۵۲۹۰۹/۲۶	۵۱۸۳۰/۰۳	۵۱۵۰۶/۲۳
۱۳۷۹	۵۹۱۰۰	۵۹۰۵۵/۹۲	۵۸۰۸۵/۸۳	۵۷۷۵۲/۸۲
۱۳۸۰	۶۴۲۸۰	۶۳۵۹۰/۵۰	۶۲۳۵۴/۷۵	۶۲۰۴۱/۳۵
۱۳۸۱	۷۰۱۳۰	۶۹۱۰۰/۸۵	۶۷۶۷۶/۷۶	۶۷۳۷۸/۱۵
۱۳۸۲	۷۶۶۵۷	۷۵۲۹۴/۸۰	۷۳۶۹۶/۹۰	۷۳۴۱۳/۵۰
۱۳۸۳	۸۳۹۰۴	۸۲۱۸۳/۳۰	۸۰۴۱۶/۷۳	۸۰۱۵۰/۱۱
۱۳۸۴	۸۸۷۸۹	۸۹۸۱۱/۷۸	۸۷۸۷۷/۶۳	۸۷۶۳۰/۰۸
۱۳۸۵	۹۶۵۱۳	۹۵۲۴۹/۰۷	۹۲۷۱۴/۶۴	۹۲۵۰۴/۲۲

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست ۳- مقادیر پیش‌بینی الگوی هاروی، لجستیک هاروی و لجیستیک برای مصرف کل برق در ایران (MKWh)

سال	مصرف کل			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۴۷	۱۹۶۰	------	----	------
۱۳۴۸	۲۵۸۴	۲۸۷۵/۴۲	۲۱۳۶/۱۷	۲۰۷۸/۸۰
۱۳۴۹	۳۴۷۲	۳۵۴۵/۳۶	۲۸۵۱/۳۹	۲۷۶۵/۹۶
۱۳۵۰	۴۵۱۹	۴۴۷۹/۹۴	۳۸۹۳/۵۶	۳۷۶۱/۴۸
۱۳۵۱	۵۷۲۳	۵۵۷۸/۷۲	۵۱۴۲/۶۳	۴۹۵۱/۱۴
۱۳۵۲	۷۷۹۶	۶۸۳۹/۸۳	۶۵۹۶/۴۴	۶۳۳۳/۷۵
۱۳۵۳	۹۱۵۲	۸۹۶۵/۵۳	۹۲۱۱/۳۷	۸۷۹۴/۷۰
۱۳۵۴	۱۰۴۴۶	۱۰۳۹۲/۷۵	۱۰۸۵۵/۳۴	۱۰۳۶۴/۸۳
۱۳۵۵	۱۱۷۳۴	۱۱۷۶۵/۵۵	۱۲۳۸۳/۸۱	۱۱۸۳۸/۳۵
۱۳۵۶	۱۳۰۶۶	۱۳۱۳۹/۳۰	۱۳۸۶۹/۲۴	۱۳۲۸۲/۱۶
۱۳۵۷	۱۴۱۴۵	۱۴۵۶۳/۷۸	۱۵۳۷۷/۹۶	۱۴۷۵۷/۵۶
۱۳۵۸	۱۵۹۱۶	۱۵۷۴۵/۲۷	۱۶۵۱۱/۱۶	۱۵۸۹۱/۹۷
۱۳۵۹	۱۶۸۶۴	۱۷۶۲۰/۰۲	۱۸۵۳۲/۰۶	۱۷۸۶۵/۰۶
۱۳۶۰	۱۸۲۳۴	۱۸۶۸۸/۰۶	۱۹۴۲۸/۷۴	۱۸۷۹۲/۲۱
۱۳۶۱	۲۱۰۵۳	۲۰۱۸۳/۰۹	۲۰۸۵۲/۳۶	۲۰۲۲۰/۴۴
۱۳۶۲	۲۵۱۵۳	۲۳۱۲۳/۷۸	۲۴۱۰۱/۱۴	۲۳۳۸۶/۵۵
۱۳۶۳	۲۸۱۷۷	۲۷۳۴۶/۵۱	۲۸۹۵۲/۵۲	۲۸۰۸۸/۲۵
۱۳۶۴	۳۰۸۱۲	۳۰۵۱۳/۶۳	۳۲۳۴۰/۷۲	۳۱۴۲۲/۸۸
۱۳۶۵	۳۲۶۱۹	۳۳۳۰۶/۳۴	۳۵۱۵۹/۸۴	۳۴۲۳۲/۲۷
۱۳۶۶	۳۴۷۴۰	۳۵۲۸۹/۲۴	۳۶۸۷۴/۱۸	۳۵۹۹۶/۸۴
۱۳۶۷	۳۶۱۴۷	۳۷۵۹۷/۰۵	۳۸۹۵۲/۸۱	۳۸۱۱۶/۲۵
۱۳۶۸	۳۹۹۵۶	۳۹۲۱۰/۱۵	۴۰۱۳۱/۷۹	۳۹۳۶۸/۰۵
۱۳۶۹	۴۵۱۰۷	۴۳۲۲۲/۸۲	۴۴۲۰۷/۷۵	۴۳۴۲۴/۱۲
۱۳۷۰	۱۹۱۷۵	۴۸۵۸۴/۶۱	۴۹۸۳۸/۸۸	۴۹۰۰۱/۸۹
۱۳۷۱	۵۲۳۰۶	۵۲۸۸۸/۳۲	۵۴۰۸۶/۰۸	۵۳۲۵۴/۱۹
۱۳۷۲	۵۸۱۱۴	۵۶۲۷۶/۵۴	۵۷۱۵۸/۱۴	۵۶۳۷۲/۹۲
۱۳۷۳	۶۳۶۲۵	۶۲۳۴۹/۸۴	۶۳۳۴۴/۳۹	۶۲۵۳۷/۸۶
۱۳۷۴	۶۵۸۵۴	۶۸۱۴۶/۲۶	۶۹۰۹۹/۸۳	۶۸۲۹۷/۷۵

www.SID.ir

Archive of SID

سال	مصرف کل			
	واقعی	پیش‌بینی		
		هاروی	لجیستیک هاروی	لجیستیک
۱۳۷۵	۶۹۶۷۱	۷۰۷۰۳/۶۶	۷۰۹۷۵/۷۹	۷۰۲۶۵/۲۲
۱۳۷۶	۷۳۳۵۸	۷۴۸۶۲/۹۵	۷۴۶۷۷/۱۵	۷۴۰۲۱/۸۷
۱۳۷۷	۷۷۶۴۶	۷۸۹۱۸/۷۳	۷۸۲۰۴/۶۰	۷۷۶۰۸/۵۴
۱۳۷۸	۸۴۶۵۶	۸۳۵۹۸/۹۷	۸۲۳۸۷/۵۷	۸۱۸۴۲/۲۸
۱۳۷۹	۹۰۳۶۶	۹۱۰۱۲/۴۱	۸۹۵۷۸/۰۰	۸۹۰۵۱/۶۱
۱۳۸۰	۹۷۱۷۱	۹۷۱۶۵/۷۵	۹۵۲۶۳/۵۵	۹۴۷۷۹/۵۹
۱۳۸۱	۱۰۵۰۷۶	۱۰۴۴۴۰/۳۱	۱۰۲۱۱۶/۲	۱۰۱۶۶۸/۱
۱۳۸۲	۱۱۴۶۲۵	۱۱۲۸۴۳/۶۰	۱۱۰۱۲۵/۶	۱۰۹۷۰۹/۹
۱۳۸۳	۱۲۴۴۶۶	۱۲۲۹۱۸/۶۱	۱۱۹۸۷۲/۵	۱۱۹۴۸۴/۳
۱۳۸۴	۱۳۲۸۹۷	۱۳۳۳۲۴/۸۰	۱۲۹۸۶۹/۱	۱۲۹۵۱۴/۸
۱۳۸۵	۱۴۴۵۹۸	۱۴۲۳۷۳/۴۰	۱۳۸۲۷۶/۱	۱۳۷۹۶۹/۲

www.SID.ir