بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: LMMC101

نوع پذیرش : رزرو برای ارائه

«کاربرد منحنی‌های رشد در الگوسازی تقاضای انرژی الکتریکی»

(مطالعه موردی: در سطح شبکه توزیع نیروی برق استان چهارمحال و بختیاری)

احمد جمال‌پور*

شرکت برق منطقه‌ای اصفهان

واژه‌های کلیدی: منحنی‌های رشد، تقاضای انرژی الکتریکی، الگوسازی، پیش‌بینی

چکیده:

در این مقاله ابتدا به تجزیه و تحلیل منحنی‌های رشد پرداخته است. سپس به بررسی کاربرد آنها در مطالعات انرژی برای الگوسازی تقاضای انرژی الکتریکی با ارائه یک مثال کاربردی در سطح استان چهارمحال و بختیاری بر اساس روند رشد مصرف بارهای گوناگون (خانگی، تجاری، کشاورزی، صنعتی و عمومی) در طی سالهای گذشته می‌پردازد.

با بکارگیری تحلیل رگرسیون به کمک نرم‌افزار SPSS ، مدلهای رشد (مانند نمایی[۱]، گامپرتز[۲] و نمایی تعدیل شده[۳]) مورد آزمون قرار گرفته و ضرایب و پارامترهای بهترین الگوی رشد برای هر بار مصرفی تخمین زده می‌شود.

سپس به پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت تقاضای انرژی الکتریکی بر اساس بهترین الگوی رشد برای هر بار مصرفی تا پایان برنامه سوم و چهارم دولت جمهوری اسلامی ایران خواهد پرداخت.

می‌توان از این برآورد، در بهبود بخشیدن به نحوه برنامه‌ریزی و تکنیک‌های تحلیل سیستم توزیع نیروی برق، برای تعریف پروژه‌ها و بهره‌برداری بموقع از آنها با توسعه بهینه سیستم همگام با رشد بار و هماهنگ با حفظ قابلیت اطمینان سیستم برای آینده (در سطح استان چهارمحال و بختیاری) استفاده نمود.

---

* - کارشناس دفتر فنی نظارت بر توزیع

۱) *Logstic*, ۲) *Gompertz*, ۳) *Modfied Exponential*

۱- مقدمه:

در این مقاله به بررسی کاربرد منحنی‌های رشد در الگوسازی تقاضای انرژی الکتریکی در بخشهای مختلف مصرف، با مطالعه روند رشد مصرف انرژی الکتریکی بارهای گوناگون (خانگی، تجاری، صنعتی، عمومی و کشاورزی) در طی سالها گذشته در سطح استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد.

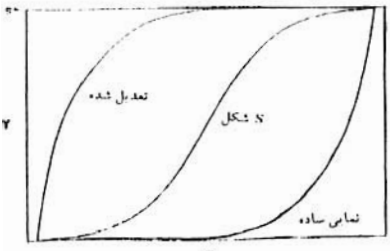
استفاده از منحنی‌های رشد در مطالعات انرژی سابقه‌ای نه چندان طولانی (چند دهه) دارد. اولین بار در سال ۱۹۶۰ به توسط آقای هوبرت (Hubbert)، الگویی بر اساس یک منحنی رشد لگاریتمی برای پیش‌بینی میزان ذخائر و تولید نفت خام و گاز طبیعی معرفی شد. اینگونه مطالعات پس از وقوع بحران جهانی نفت در سال ۱۹۷۳ چند برابر شد و سرعت بیشتری یافت که به عنوان نمونه می‌توان الگوسازی تقاضای برق در بخشهای خانگی و تجاری به کمک یک منحنی لگاریتمی به توسط آقایان پنر (Penner) و آیسرمن (Icerman) اشاره کرد. [۱]

۲- تعریف منحنی‌های رشد:

منحنی‌های رشد دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که روند و الگوی رشد یک کمیت را بر حسب زمان تا رسیدن به حد اشباع بیان می‌کنند. این رشد در نمودار تصویری خود با یک منحنی نمایی مطابقت پیدا می‌کند. الگوی رشد نمایی ممکن است سه گونه متمایز داشته باشد:

۲-۱) منحنی نمایی ساده؛ ۲-۲)منحنی نمایی تعدیل شده؛ ۲-۳) منحنی S شکل. [۲]

در شکل (۱) روند رشد این الگوها ترسیم گردیده است.



شکل (۱): روند رشد الگوهای نمایی

۳ کاربرد منحنی‌های رشد:

به طور کلی منحنی‌های رشد در چهار زمینه از مطالعات انرژی به کار می‌روند که عبارتند از: تجزیه و تحلیل منابع انرژی، الگوسازی برای تقاضای انرژی، جایگزینی سوختها و تکنولوژی انرژی. استفاده از منحنی‌های رشد برای الگوسازی تقاضای انرژی در بخشهای مختلف مصرف به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌گیرد. در روش مستقیم، تقاضای انرژی به شکل تابعی از زمان بیان و فرض می‌شود که با افزایش زمان به حد اشباع خود برسد. در روش غیر مستقیم، تقاضای انرژی بر حسب تعدادی پارامتر که رشد هر یک از آنها با کمک منحنی‌های رشد محاسبه می‌شود، بیان می‌گردد. [۳]

۴- مدلهای ریاضی منحنی‌های رشد:

تا کنون صورتهای گوناگونی از توابع ریاضی منحنی‌های رشد پیشنهاد و ارائه شده است که در اینجا سه تابع را که بیشترین کاربرد را دارند معرفی می‌کنیم.

$$\mathrm{Ln}(\mathrm{Ln}(\frac{S}{Y})) = \mathrm{Ln}(a)\text{-}bT\ ,\ b>0 \qquad (۱)$$

$$\mathrm{Ln}(\frac{S\text{-}Y}{Y}) = a\text{-}bT\ ,\ b>0 \qquad (۲)$$

$$\mathrm{Ln}(S\text{-}Y) = \mathrm{Ln}(a)\text{-}bT\ ,\ b>0 \qquad (۳)$$

روابط (۱) تا (۳) به ترتیب به الگوهای گامپرتز (Gompertz)، نمایی (Logistic) و نمایی تعدیل شده (Modified exponential) معروف هستند که در آنها:

Y : تابع مورد نظر

s : حد اشباع تابع

T : پارامتر زمان

a ، b : ضرایب ثابت و Ln: لگاریتم نپرین می‌باشند.

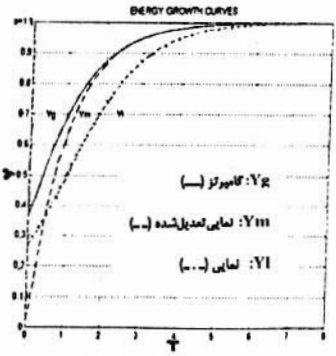
۴-۱- حد اشباع توابع:

انتخاب حد اشباع (S) نکته‌ای است که در به کارگیری صحیح منحنی‌های رشد برای متغیرهای مختلف مؤثر است. در پاره‌ای از موارد می‌توان مقدار S را به درستی تعیین کرد ولی غالباً این کار به سادگی امکان‌پذیر نیست و در این صورت مقدار S را باید تخمین زد.

۴-۲- چگونگی روند رشد الگوها:

با فرض مقادیر واحد برای (S)، (a) و (b) به نحوهٔ تغییرات کمیت (Y) در روند رشد الگوها می‌پردازیم. در الگوی نمایی تغییرات (Y) در ابتدای منحنی بسیار ملایم و سپس با شیب زیادی دنبال می‌شود. در انتها، رشد مجدداً رو به کندی می‌گذرد و مقدار (Y) به حد اشباع می‌رسد و بالاخره رشد آن متوقف می‌شود. در الگوی گامپرتز تغییرات (Y) در ابتدای دوره زمانی کم است، سپس شتاب گرفته و با شیبی که نسبت به الگوی نمایی بیشتر است به حد اشباع می‌رسد. در الگوی نمایی تعدیل شده تغییرات (Y) از ابتدای شروع دوره زمانی بسیار زیاد است و متغیر (Y) خیلی سریع به‌حد اشباع خودمی‌رسد. [۳]

شکل (۲) روند رشد الگوها را نشان می‌دهد.



شکل (۲): روند رشد الگوها

۵- الگوسازی منحنی‌های رشد در پیش بینی تقاضای انرژی برق:

در این بخش از مقاله به بررسی میزان مصرف (روند رشد) انرژی برق بارهای گوناگون (خانگی، تجاری، کشاورزی، صنعتی و عمومی) طی سالهای گذشته در سطح استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد. سپس با انتخاب بهترین الگوی رشد برای هر بار مصرفی به پیش بینی کوتاه مدت و بلند مدت انرژی مورد نیاز این استان بر مبناء سال ۱۳۷۳ با نظر گرفتن سطح اشباع ۴۰۰ هزار مگاوات ساعت می‌پردازد. [۴]

«سال ۱۳۷۳ سال بسیار مناسبی برای مطالعات بار و انرژی بعنوان سال مبناء می‌باشد چون در این سال خاموشی ناشی از عدم توانائی ظرفیت نیروگاهی صفر است و ضریب بار واقعی‌تر و نسبت به سالهای قبل بهبود را نشان می‌دهد. [۵]»

۵-۱- محاسبه ضرایب الگوها:

به منظور تخمین ضرایب a , b (مدلهای نمایی، گامپرتز و نمایی تعدیل شده) از آمار

مصارف								حداکثر توان
سال	زمان(T)	خانگی (H)	عمومی (G)	تجاری (C)	صنعتی (I)	کشاورزی (A)	جمع‌مصارف (E)	همزمان (MW)
۶۵	-۸	۸۵/۵۵۷	۳۶/۰۳۴	۱۸/۱۴۹	۹/۷۲۲	۲۵/۶۸۲	۱۷۵/۱۴۴	۴۶
۷۳	۰	۱۶۷/۲۸۳	۵۲/۳۱	۵۲/۳۲۸	۳۹/۳۰۱	۵۳/۸۸۶	۳۶۶/۲۳۸	۹۴
۷۴	۱	۱۸۸/۷۸۱	۵۵/۰۶۷	۶۵/۶۱۴	۵۰/۴۹۳	۶۴/۱۸۸	۴۲۵/۲۲۷	۱۰۴
۷۵	۲	۱۹۹/۹۹۳	۵۲/۴	۶۵/۷۰۳	۶۱/۴۳۹	۶۵/۶۰۱	۴۴۵/۳۵	۹۵
۷۶	۳	۲۳۵/۶۱۲	۶۳/۶۲۵	۶۴/۷۷۶	۷۰/۲۳۷	۷۳/۹۱۲	۵۰۸/۵۱۲	۱۰۸
۷۷	۴	۲۳۹/۶	۶۵/۴۴۸	۶۱/۰۶۷	۶۸/۶۹	۸۱/۵۳۲	۵۱۶/۴۰۷	۱۱۷
۷۸	۵	۲۵۳/۲۳۵	۶۸/۶۳۶	۷۳/۶۵۳	۷۴/۳۷	۹۴/۵۹۵	۵۶۴/۵	۱۲۴

جدول (۱): روند رشد مصرف انرژی برق بارهای کوناگون بر حسب واحد (GWH)

مربوط به سالهای گذشته برای هر بار مصرفی بشرح جدول (۱) استفاده شده و با بکارگیری تحلیل رگرسیون غیر خطی، ضرایب مورد نظر با کمک نرم‌افزار Spss محاسبه می‌گردد. ضرایب منحنی‌های بدست آمده از رگرسیون در جدول (۲) مشخص شده‌اند.

۵-۲- معیارهای بهترین الگو:

پس از مشخص شدن نتایج رگرسیون هر الگو، معنی‌دار بودن ضرایب تخمین زده شده و معتبر بودن الگو با استفاده از آزمونهای T و F بررسی می‌شوند و در صورت محقق شدن اعتبار نتایج، الگو به منظور مقایسه با سایر الگوها انتخاب می‌گردد.

از آنجائیکه برای هر بار مصرفی سه الگو رشد بررسی می‌شوند باید با توجه به ملاکهای و معیارهایی، الگو بهینه را برگزید. معیارهای مقایسه عبارتند از:

نرمال بودن مانده‌ها (ضرایب چولگی و کشیدگی)، نزدیک به صفر بودن میانگین مانده‌ها، ضریب همبستگی و خود همبستگی بین مانده‌ها «آماره دوربین - واتسون». [۷ و ۶]

الگویی که با معیارهای فوق دارای بهترین وضعیت باشد به عنوان الگو بهینه انتخاب می‌گردد.

در جدول (۳) مقادیر مربوط به معیارهای ذکر شده در هر الگو آمده است.

۵-۳- انتخاب بهترین الگو:

با توجه به جداول (۲) و (۳) الگویی که برای هر بار مصرفی انتخاب می‌شود چنین است:

- بار خانگی: الگوی نمایی با دارا بودن بیشترین سطح معنی‌داری و همچنین با بالاترین مجذور ضریب همبستگی و آماره خود همبستگی مناسب بعنوان بهترین الگوی برگزیده شده است.

- بار عمومی: الگوی نمایی تعدیل شده با داشتن بالاترین مجذور ضریب همبستگی و آماره خود همبستگی مناسب بعنوان الگوی برتر انتخاب

شده است.

- بار تجاری: الگوی نمایی تعدیل شده و گامپرتز کم و بیش یکسان بوده ولی الگوی نمایی تعدیل شده با آماره خود همبستگی مناسبتر، انتخاب شده است.

- بار صنعتی: الگوی برگزیده گامپرتز بوده که دارای درصد خطای پیش بینی بیش از پنج درصد می‌باشد، که بهتر آن است الگوی نمایی تعدیل شده برگزیده گردد.

- بارکشاورزی: الگوی نمایی با دارا بودن بالاترین سطح معنی‌داری و مجذور ضریب همبستگی و آماره خود همبستگی مناسب بعنوان بهترین الگو برگزیده شده است.

الگوی برگزیده برای هر بار مصرفی در جدول (۴) آمده است.

۵-۴- پیش بینی:

۵-۴-۱- کوتاه مدت: پیش بینی کوتاه مدت انرژی برق مورد نیاز هر بار مصرفی با انتخاب بهترین الگوی رشد تا پایان برنامه سوم دولت جمهوری اسلامی ایران، سال ۱۳۸۳ انجام گرفته است.

۵-۴-۲- بلند مدت: پیش بینی بلند مدت تا سال ۱۳۸۸ ، پایان برنامه چهارم می‌باشد.

نتایج پیش بینی بار و انرژی مورد نیاز استان چهارمحال و بختیاری در جدول (۵) آورده شده است.

۵-۵- الگوسازی حداکثر توان همزمان:

الگوی برگزیده بین سه الگوی مورد مقایسه برای الگوسازی حداکثر توان مصرفی، الگوی رشد نمایی بوده است. نتایج الگوسازی حداکثر توان همزمان در جدول (۶) آورده شده است.

۶- تغییر ساختار منحنی‌های رشد از تک متغیره به چند متغیره مستقل:

در این بند از مقاله با تغییر ساختار الگوی رشد نمایی از تک متغیره مستقل به چند متغیره مستقل به بررسی و کاربرد آن در الگوسازی و تجزیه و تحلیل تقاضای انرژی برق با بکارگیری تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی به روش پسرو (Back Ward) با کمک نرم‌افزار Spss می‌پردازد [۸] ، [۷].

۶-۱- کاربرد الگوی رشد نمایی چند متغیره:

کاربرد این الگو را می‌توان در گزینش و انتخاب مهمترین عوامل موثر بر مصرف، از جمله تاثیر همزمان بارهای گوناگون بر کل انرژی مصرفی برق طی سالهای گذشته و با قرار دادن سطح اشباع‌های مختلف برای آینده، مورد بررسی و آزمون قرار داد.

۶-۲- تابع الگوی رشد نمایی چند متغیره مستقل:

تابع الگوی رشد نمایی چند متغیره برای الگوسازی تقاضای انرژی الکتریکی چنین فرض شده است؛

$$Ln(\frac{S-Y}{Y})=Ln(k)-b.T \ , \ b>0 \qquad (۴)$$

$$k=a_0.H^{a1}.C^{a2}.I^{a3}.A^{a4}.G^{a5}$$

که در آن؛

S : سطح اشباع تابع،

T : پارامتر زمان،

Y : تابع مورد نظر (انرژی مصرفی برق (E))،

H : بار خانگی،

C : بار تجاری،

I : بار صنعتی،

A : بارکشاورزی،

G : بار عمومی،

b و a_5 و a_4 و a_3 و a_2 و a_1 و a_0 : ضرایب مدل،

Ln : لگاریتم نپرین می‌باشد.

۶-۳- الگوی‌سازی مدل رشد نمایی چند متغیره:

در الگوسازی مدل رشد نمایی چند متغیره برای

مدل	آزمون t ضرایب				ضرایب مدل		آزمون F		بار مصرفی
	$sing.t$		t		B		$sing.F$	F	
	b	a	b	a	b	a			
۱–گامپرتز *(Gompertz)*									
$Y=S^*exp(-exp(a-b^*T))$; $b>0$	۰	۰	۱۹٫۲۳۵	۱۰٫۰۳۶	۰٫۱۰۲	-۰٫۲۲۹	۰	۳۷۰	خانگی
	۰	۰	۸٫۳۷	۳۶٫۴۳۸	۰٫۰۴۵۵	۰٫۷۲۳	۰	۷۰	تجاری
	۰	۰	۸٫۶۴	۳۱٫۶۶	۰٫۰۵۶۷	۰٫۷۵۷	۰	۷۴٫۶۵	صنعتی
	۰	۰	۲۱٫۴۱۸	۶۸٫۲	۰٫۰۴۸۹	۰٫۶۷	۰	۴۵۸٫۷	کشاورزی
	۰	۰	۷٫۸۶۵	۶۵٫۲۵۶	۰٫۰۲۲۸۴	۰٫۶۹۱	۰	۶۱٫۸۶	عمومی
۲–نمایی *(Logistic)*									
$Y=S/(1+exp(a-b^*T))$; $b>0$	۰	۰	۲۲٫۰۵۸	۸٫۰۶۱	۰٫۱۶۸	۰٫۲۴۹	۰	۴۸۶٫۵۶	خانگی
	۰	۰	۶٫۲۷۸	۳۰٫۰۶۸	۰٫۱۲۸	۱٫۹۷۹	۰	۳۹٫۴۲	تجاری
	۰٫۰۰۱	۰	۵٫۲۶۱	۲۰٫۴۵۶	۰٫۱۶۶	۲٫۰۸۸	۰٫۰۰۱	۲۷٫۶۸	صنعتی
	۰	۰	۲۸٫۲۴۸	۱۰۴٫۴۲۵	۰٫۱۲۳	۱٫۸۴	۰	۷۹۸	کشاورزی
	۰	۰	۷٫۰۶۴	۶۷٫۸	۰٫۰۶۰۱	۱٫۸۶۹	۰	۵۰	عمومی
۳–نمایی تعدیل شده *(Mod. Exp)*									
$Y=S-exp(a-b^*T)$, $b>0$	۰	۰	۱۵٫۲۵۴	۳۰۸٫۳۴۶	۰٫۰۶۷	۵٫۳۶۷	۰	۲۲۲٫۷	خانگی
	۰	۰	۸٫۴۹۹	۱۱۳۵٫۸	۰٫۰۱۲	۵٫۸۴۹	۰	۷۲٫۲۴	تجاری
	۰	۰	۱۰٫۱۶۱	۱۲۰۰٫۵۶	۰٫۰۱۳۶	۵٫۸۵۶	۰	۱۰۳٫۲۴	صنعتی
	۰	۰	۱۳٫۰۲۷	۱۱۹۱٫۵۳	۰٫۰۱۴۸	۵٫۸۳۱	۰	۱۶۹٫۷	کشاورزی
	۰	۰	۷٫۴۱۱	۱۷۲۱٫۹	۰٫۰۰۶۹	۵٫۸۴۴	۰	۵۴٫۹۲	عمومی

توضیح: Sing سطح معنی‌داری آزمون ضرایب را بیان می‌نماید.

جدول (۲) : مقادیر مربوط به آزمون ضرایب مدلها

تجزیه و تحلیل تقاضای انرژی برق،سه سطح اشباع (GWH) ۳۰۰۰ و ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰= S مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است.

در سطح اشباع (GWH) ۱۰۰۰ = S_1 متغیرهای زمان (T) ، بار خانگی (H) و بار عمومی (G) بیشترین تاثیر را بر کل انرژی مصرفی برق (E) در آینده خواهند داشت.

در سطح اشباع (GWH) ۲۰۰۰=S_2 متغیرهای

مدل	ضرایب بین مانده‌ها				بار مصرفی
	کشیدگی	چولگی	میانگین	خود همبستگی	مجذورهمبستگی (R^2)	
۱-کامپرتز *(Gompertz)*						
$Y=S*exp(-exp(a-b*T))$ ،$b>$	-۰٫۳۵۹	-۰٫۳۸	۲٫۸۰ E-۱۷	۲٫۰۹۷	۰٫۹۶۹	خانگی
	-۰٫۱۳۲	-۱٫۲۶۶	-۸٫۹۰ E-۱۷	۱٫۲۱۸	۰٫۸۹۸	تجاری
	-۰٫۱۳۲	-۱٫۲۶۶	۷٫۲۲ E-۱۷	۱٫۵۵۵	۰٫۹۰۳	صنعتی
	۰٫۰۹۷	-۱٫۱۹	-۹٫۴۰ E-۱۷	۰٫۸۳۳	۰٫۹۷۵	کشاورزی
	۱٫۱۵۴	-۰٫۰۵۴	۳٫۱۷ E-۱۷	۱٫۹۹۴	۰٫۸۵۸	عمومی
۲-نمایی *(Logistic)*						
$Y=S/(1+exp(a-b*T))$ ،$b>$	۰٫۳۴	۰٫۲۸۶	۵٫۷۰ E-۱۶	۲٫۰۵۲	۰٫۹۷۶	خانگی
	۰٫۲۵۷	-۱٫۴۲۴	-۶٫۸۸ E-۱۶	۰٫۷۶۵	۰٫۸۱	تجاری
	۰٫۵۴۲	۰٫۶۲۷	۱٫۷۸ E-۱۶	۱٫۴۸۶	۰٫۷۷۶	صنعتی
	۰٫۴۱۸	-۰٫۹۲۳	-۲٫۷۵ E-۱۶	۱٫۸۵۶	۰٫۹۸۵	کشاورزی
	-۰٫۲۹۷	۱٫۴۴۳	-۱٫۵۸ E-۱۵	۱٫۵۸۲	۰٫۸۶۲	عمومی
۳-نمایی تعدیل شده *(Mod. Exp)*						
$Y=S-exp(a-b*T)$ ،$b>$	-۰٫۵۱۱	-۰٫۷۷۹	-۱٫۹۰ E-۱۶	۱٫۰۷۷	۰٫۹۵۱	خانگی
	۰٫۴۶۷	۰٫۱۳	۲٫۶۶ E-۱۶	۱٫۸۷۱	۰٫۹	تجاری
	۱٫۲۵۷	۱٫۸۹۷	-۴٫۴۰ E-۱۶	۱٫۴۴۲	۰٫۹۲۸	صنعتی
	-۰٫۷۱۴	۰٫۱۸۹	-۱٫۶۰ E-۱۵	۰٫۵۳۹	۰٫۹۶۶	کشاورزی
	۰٫۶۳۱	۱٫۶۲۷	-۱٫۸۰ E-۱۶	۲٫۰۳۹	۰٫۸۷۳	عمومی

توضیح: $S = 2 \cdot \cdot G.W.II$ در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) : مقادیر مربوط به معیارهای انتخاب بهترین الگو برای هر بار مصرفی

بار خانگی (H) و بارتجاری (C) بیشترین تاثیر را بر کل تقاضای انرژی برق برای آینده خواهند داشت.

در سطح اشباع (GWH) $S_2 = 3000$: تمام متغیرها بجز بارکشاورزی (A) بیشترین تاثیر را بر مصرف انرژی برق مورد نیاز استان چهارمحال و

مصارف		خانگی	عمومی	تجاری	صنعتی	کشاورزی
الگوی برگزیده		نمایی	نمایی تعدیل شده	نمایی تعدیل شده	گامپرتز	نمایی
ضرایب مدل	a	۰/۲۴۹	۵/۸۴۴	۵/۸۴۹	۰/۷۵۷	۱/۸۴
	b	۰/۱۶۸	۰/۰۰۶۹	۰/۰۱۲	۰/۰۵۶۷	۰/۱۲۳
در صد خطا		-۰/۲۱	۱/۵۲	-۰/۸۵	۵/۰۲۶	-۱/۲۶

جدول (۴): الگوی برگزیده هر بار مصرفی با ضرایب مدل و میزان در صد خطا

مصارف		خانگی	عمومی	تجاری	صنعتی	کشاورزی	جمع مصارف	حداکثر توان همزمان
سال	زمان (T)	(H)	(G)	(C)	(I)	(A)	(E)	(MW)
۷۹	۶	۲۷۲/۴۵۵	۶۸/۸۴۱	۷۷/۲۱۱	۸۷/۷۴	۱۰۰/۱۹۶	۶۰۶/۴۴۳	۱۳۵/۵۴
۸۰	۷	۲۸۶/۵۸۷	۷۱/۱۲	۸۱/۰۶۱	۹۵/۳۹۲	۱۰۹/۷۹۳	۶۴۳/۹۵۳	۱۴۳/۷۳
۸۱	۸	۲۹۹/۷۳	۷۳/۳۸	۸۴/۸۶۵	۱۰۳/۲۳۵	۱۱۹/۹۴۱	۶۸۱/۱۵۱	۱۵۱/۷۷
۸۲	۹	۳۱۱/۸۲	۷۵/۶۲۵	۸۸/۶۲۴	۱۱۱/۲۳۸	۱۳۰/۶۰۵	۷۱۷/۹۱۲	۱۵۹/۵۸
۸۳	۱۰	۳۲۲/۸۲۳	۷۷/۸۵۵	۹۲/۳۳۸	۱۱۹/۳۶۸	۱۴۱/۷۳۷۵	۷۵۴/۱۲۱	۱۶۷/۱
۸۸	۱۵	۳۶۲/۵۸	۸۸/۷۸	۱۱۰/۲۵۵	۱۶۰/۸۹۱	۲۰۱/۹۹۹	۹۲۴/۵۰۶	۱۹۹/۱۸

توضیح: حدود اعتماد پیش بینی ۹۵ درصد می‌باشد

جدول (۵): روند پیش بینی مصرف انرژی برق بارهای گوناگون بر حسب واحد (GWH)

بختیاری برای آینده خواهند داشت.

نتایج این الگوسازی در سه سطح اشباع S_1 و S_2 و S_3 در جداول (۷) و (۸) آورده شده‌اند.

در جدول (۸) ، DEL به معنی حذف متغیر در حین مدلسازی می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری:

در این مقاله ابتدا با انتخاب بهترین الگوی رشد برای هر بار مصرفی به پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلند مدت انرژی مصرفی برق مورد نیاز استان چهارمحال و بختیاری برای سالهای آینده پرداخته شد.

سپس با تبدیل الگوی رشد نمایی از تک متغیره به چند متغیره مستقل با بکارگیری تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی، به گزینش و انتخاب عوامل موثر بر مصرف، از جمله تاثیر همزمان بارهای گوناگون بر کل بار مصرفی طی سالهای

الگوی برگزیده	نمایی		آزمون t		آزمون F		ضریب خودهمبستگی	ضریب همبستگی (R^2)	سطح اشباع (S)
			sing.t	t ضرایب	sing.F	F			
ضرایب	a	۰/۶۲۹	۰	۱۴/۸۸	۰/۰	۱۵۷/۳	۱/۹۷۵	۰/۹۶۳	۲۵۰
	b	۰/۱۳۳	۰	۱۲/۵۴					

جدول (۶): الگوی برگزیده برای حداکثر توان همزمان با ضرایب

ضرایب / سطح اشباع	مجذور ضریب همبستگی	ضریب خودهمبستگی	آزمون F ضرایب	
			F	sing.F
S_1 = ۱۰۰۰	۰/۹۹۷	۲/۵۸۵	۷۵۴/۵۴	۰/۰۰
S_2 = ۲۰۰۰	۰/۹۹۷	۲/۴۰۹	۱۲۴۱/۰۴	۰/۰۰
S_3 = ۳۰۰۰	۱	۲/۹۲	۲۱۹۳/۶	۰/۰۰

جدول (۷): آزمون F و ضرایب الگوی رشد نمایی چند متغیره

ضرایب		ضرایب مدل			آزمون t					
		B			t ضرایب			sing.t		
بار	سطح اشباع	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3	S_1	S_2	S_3
مصرفی	a_0	۶/۷۹۹	۷/۶۵	۵/۸۹۷	۷/۸۶	۳۸/۴۲	۹/۰۵۴	۰/۰	۰	۰/۰۰۱
خانگی (H)	a_1	-۰/۹۴۶	-۱/۰۹۷	-۰/۴۳۹	-۴/۸۸	-۱۴/۱۷۵	-۲/۸۶	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۴۶
عمومی (G)	a_2	-۰/۳۶۷	DEL	-۰/۲۰۳	-۲	—	-۳/۲۷۲	۰/۰۹۲	۰/۰۴۵	۰/۰۳۱
تجاری (C)	a_3	DEL	-۰/۱۴۲	-۰/۱۳۱	—	-۲/۴۳۵	-۴/۵۸۲	—	—	۰/۰۱
صنعتی (I)	a_4	DEL	DEL	-۰/۰۹۹۶	—	—	-۲/۷/۸	—	—	۰/۰۵۳
کشاورزی (A)	a_5	DEL	DEL	DEL	—	—	—	—	—	—
زمان (T)	b	۰/۰۴۷	DEL	۰/۲۹۴	۷/۸۶	—	۳/۱۶۳	۰/۰	—	۰/۰۳۴

توضیح: DEL به معنی حذف متغیر در حین مدلسازی می‌باشد.

جدول (۸): آزمون t و ضرایب مدل رشد نمایی چند متغیره در سه سطح اشباع

گذشته، و با قراردادن سطح اشباع‌های مختلف برای آینده پرداخته شد.

از نتایج بدست آمده، می‌توان در بهبود بخشیدن به نحوه برنامه‌ریزی و تکنیک‌های تحلیل سیستم توزیع نیروی برق برای تعریف پروژه‌ها و بهره‌برداری بموقع از آنها با توسعه بهینه سیستم، همگام با رشد بار و هماهنگ با حفظ قابلیت اطمینان سیستم برای آینده استفاده نمود.

۸- قدردانی:

در پایان از راهنمایی‌ها و مساعدتهای اساتید بزرگوار آقای دکتر شریفی و آقای مهندس حسن‌زاده و سروران محترم در شرکت برق منطقه‌ای اصفهان آقایان مهندسان ناظم‌الرعایا، کریمی، مجیری و حسینی تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع:

1- B.W.Ang , T.T.Ng, "The use of Growth curves in Energy studies", Energy, Vol.17 , No. 1 , PP. 25-36 , 1992.

۲- نواز شریف - " مدیریت انتقال تکنولوژی و توسعه "، ترجمه رشید اصلانی، سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۶۷.

۳- فرخ امینی - " شبیه‌سازی منحنی‌های رشد به منظور تجزیه و تحلیل تقاضای انرژی الکتریکی "، صفحات ۴۲-۳۳، نشریه علمی و پژوهشی برق، شماره ۱۷، مرکز تحقیقات نیرو، سازمان برق ایران، ۱۳۷۴ .

۴- احمد جمال پور - " پیش بینی مصرف انرژی الکتریکی در شبکه توزیع برق استان‌چهارمحال و بختیاری "، پایان نامه کارشناسی مهندسی برق، صفحه ۸۳، دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور تهران)، کد ET-532، بهمن ۱۳۷۷ .

۵- سعدا... روحی لاریجانی، ولی ا... یعقوب گرجی، " نقش ضریب بار در اصلاح منحنی تغییرات بار "، صفحه ۱۴۵ ، جلد اول، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس سراسری شبکه توزیع نیروی برق، مازندران، اردیبهشت ۱۳۷۵ .

۶- پنیدیک، ر، رو بنفلید، د - " الگوهای اقتصادسنجی و پیش بینی‌های اقتصادی "، محمد امین کیانیان، صفحه ۲۳۰ ، چاپ اول، مهر (قم)، زمستان ۱۳۷۰ .

۷- علی خراسانی‌زاده- " مقدمه‌ای بر کاربرد نرم‌افزار Spss در پژوهش‌های آماری "، چاپ اول، انتشارات قائم، ۱۳۷۵ .

۸- مایرز، ریموناچ - " رگرسیون کلاسیک و مدرن با کاربرد آن "، دکتر هوشنگ طالبی، چاپ اول، دانشگاه شهرکُرد، ۱۳۷۷ .

۹- محمد هادی ایزدی، آرمین دباغچی، تینا راجیان - " دیدگاههای مهم برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت در سیستم‌های توزیع "، صفحه ۱۲۲ ، جلد اول، مجموعه مقالات پنجمین کنفراس سراسری شبکه توزیع نیروی برق، خراسان، خرداد ۱۳۷۴ .

۱۰- " کارنامه شرکت برق منطقه‌ای اصفهان سال‌های ۷۸- ۱۳۶۵ ، دفتر اطلاعات مدیریت و آمار، چاپ شرکت خدماتی توانمند برق اصفهان، مهرماه ۱۳۷۸.