

## توقع استهلاك الكهرباء في مكة المكرمة باستخدام نماذج رياضية

أ.د. احمد بن علي الخماش  
قسم العلوم الرياضية - كلية العلوم التطبيقية  
جامعة ام القرى  
e-mail: [aakhammash@uqu.edu.sa](mailto:aakhammash@uqu.edu.sa)  
[prof.khammash@gmail.com](mailto:prof.khammash@gmail.com)

### ملخص البحث

يتم استخدام نموذج رياضي يعتمد على المعادلات التفاضلية والاحتمالات ونظرية المجموعات وذلك من أجل تحليل ودراسة البيانات المتعلقة بكمية استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة في السنوات الماضية للوصول الى توقع الاستهلاك في السنوات القادمة. وسيتم تبويب البيانات بحيث تمثل دالة Function في الزمن Time-Series Model دون النظر في المتغيرات الاقتصادية والديموغرافية الأخرى التي قد تؤثر في كمية الاستهلاك. وسنعمد في هذه الدراسة منهجاً مسحياً تحليلياً استقرائياً Inductive تنبؤياً ، وقد ذيل البحث بعدد من النتائج والتوصيات المتعلقة بكمية الاستهلاك المتوقعة وكيفية الحد من الهدر في الطاقة الكهربائية.

**كلمات مفتاحية:** توقع ، نمذجة رياضية، كهرباء ، استهلاك ، معدل الزيادة ، دالة الزيادة الأسية

### SUMMARY

We use a mathematical model based on differential equations to analyze the data of electricity consumption in the city of Makkah in the previous years in order to forecast the consumption during the coming years. The data will be represented as function in time (time-series model) irrespective of the other variables, which could affect the consumption such as the standard of living and demographic distribution. The methodology applied is analytic-inductive- forecasting and towards the end, we list a number of conclusions and recommendations concerning the expected amount of consumption and how to limit the energy waste.

**Keywords:** Forecasting, Mathematical model, Electricity, Consumption, Growth rate, Exponential growth function

## مقدمة

مع الزيادة المُطردّة في أعداد الوافدين إلى مكة المكرمة سواء لأداء مناسك الحج والعمرة أو من المهاجرين الراغبين في الاستقرار بمكة المكرمة، وما يصاحب تلك الزيادة من تنامي مظاهر المدنية ومشاريع التنمية، يتزايد الطلب على استهلاك الكهرباء في مدينة مكة المكرمة، وتتفاوت كمية الاستهلاك من جزء (أو حي) إلى آخر من أجزاء المدينة تبعاً لطبيعة ذلك الجزء ونوع النشاط التنموي فيه. هذه الزيادة المطردة في استهلاك الكهرباء تقتضي البحث عن وسيلة للتنبؤ (أو التوقع Forecasting) بكمية الاستهلاك في مستقبل الأيام نظراً لأهمية توفر معلومات من هذا النوع تساعد أصحاب القرار على التخطيط الاستراتيجي لتلبية احتياج المدينة من الطاقة الكهربائية.

ويعتبر توقع الاستهلاك علماً وفناً في ذات الوقت، وتتعدد الأساليب والمناهج المتبعة في الدراسات المعنية بالتوقع فهناك من الدراسات ما يُعنى بالتجهيزات اللازمة ومنها ما يعنى بالاستهلاك ومن تلك الدراسات ما يأخذ في الاعتبار العوامل والمتغيرات الاقتصادية الأخرى المؤثرة في الاستهلاك مثل أسعار التكلفة، دخل الفرد، الزيادة السكانية، والمتغيرات الديموغرافية... وغيرها.

والطاقة بجوانبها المختلفة: الاحتياج Demands، إنتاج الطاقة المتجددة Renewable energy production، مخاطر التشغيل Operational risks والسعر Price تعتبر من أكثر الموضوعات حساسية وتأثراً بعوامل الطقس Weather والمناخ Climate من جهة والمواسم من جهة أخرى فمثلاً خلال فترة الصيف عند ارتفاع درجة الحرارة إلى ما يقرب من 50 درجة يزداد الطلب على الكهرباء لغرض التكييف كما أنه خلال الذروة في موسم الحج أو رمضان وكذلك العطل والاجازات يزداد الطلب على الكهرباء حيث بلغت القراءة العظمى لكمية الاحتياج من الطاقة الكهربائية في شهر اغسطس (الشهر الأكثر حرارة) من عام 2010 (شعبان 1432) على سبيل المثال 757، هذا الاستهلاك الكبير في الطاقة الكهربائية الذي مرده -في الغالب- الحاجة إلى تكييف المباني يجعل معدل استهلاك الفرد من الطاقة الكهربائية في المملكة تعادل -وقد تفوق- استهلاك الفرد في الكثير من الدول الصناعية (3).

ومن أهم العوامل المؤثرة على الطلب في استهلاك الكهرباء في مدى زمني يتراوح طوله من ساعة واحدة إلى عام كامل العوامل التالية

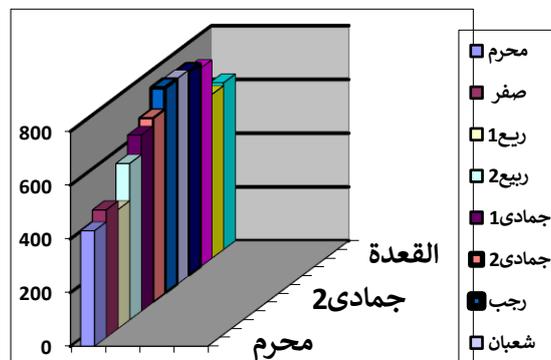
(١) البيانات الزمنية Calendar Data: أي ساعة من اليوم، أي يوم من الاسبوع، فترة الاجازات، المواسم الدينية

(٢) بيانات الأحوال الجوية: درجة الحرارة، الرطوبة، سرعة الرياح... الخ

(٣) العوامل الاقتصادية: النمو الاقتصادي، خطط الإنتاج للشركات والمؤسسات

وبالرغم من أن أثر العوامل الاقتصادية على كمية الطلب على الطاقة لا يظهر إلا على مدى زمني طويل فإن العاملين الأولين الزماني والمناخي يمكن مقارنتهما

الرسم البياني التالي - مثلاً - يمثل القراءات العظمى للاستهلاك خلال الأشهر القمرية لعام 1432 (2010)



MAX READINGS 2010



في هذا البحث يتم استخدام نموذج رياضي يعتمد على المعادلات التفاضلية والاحتمالات ونظرية المجموعات وذلك من أجل تحليل ودراسة البيانات المتعلقة بكمية استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة في السنوات الماضية للحصول على توقع لما ستكون عليه طبيعة الاستهلاك في العقود القريبة القادمة. وسيتم تبويب البيانات بحيث تمثل دالة Function في الزمن Time-Series Model دون النظر في المتغيرات الاقتصادية والديموغرافية الأخرى المؤثرة المذكورة في المقدمة أعلاه. وسنستخدم في هذه الدراسة منهجاً مسحياً تحليلياً استقرائياً Inductive تنبؤياً.

### هدف البحث Research Aim

دراسة وتحليل البيانات الإحصائية لكمية الاستهلاك في الطاقة الكهربائية لتحديد معامل الزيادة في استهلاك الكهرباء ومن ثم الوصول إلى نموذج MODEL لتوقع استهلاك الطاقة الكهربائية خلال العقود القادمة.

### تساؤلات البحث Questions

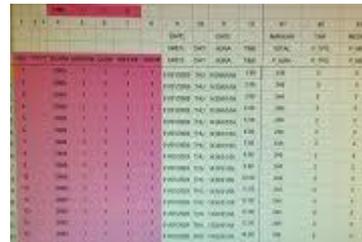
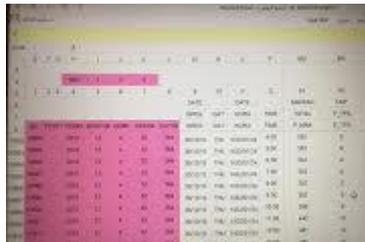
- (1) ما كمية استهلاك الطاقة الكهربائية خلال السنوات الماضية في مدينة مكة المكرمة؟
- (2) ما معدل الزيادة (التقريبي) في استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة خلال السنوات الماضية؟
- (3) ما هو ثابت الزيادة (التقريبي) لاستهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة خلال السنوات الماضية؟
- (4) ما النموذج الذي يمكن أن يحدد توقع استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة في العقود القادمة؟

### حدود البحث LIMITATIONS

مكانياً مدينة مكة المكرمة، وزمانياً ثلاث سنوات 2008-2010 من حيث الاستهلاك الفعلي للطاقة، والعقود الأربعة القادمة من حيث توقع الاستهلاك.

### المهام TASKS

تم إعداد أدبيات المقترح البحثي والخلفية الرياضية للبحث المتعلقة بالمعادلات التفاضلية التي ستستخدم وكيفية تطويع هذه المعادلات لتطبيقها في مسألة توقع استهلاك الطاقة الكهربائية (انظر بنود التقرير أدناه) كما تمت مخاطبة شركة كهرباء مكة المكرمة للحصول على البيانات الإحصائية المطلوبة للبحث (انظر صورة الخطاب المرفقة). وقد تسلم الباحث البيانات الإحصائية لثلاث سنوات فقط مع بعض التأخير في تسليمها مما أدى إلى تأخر إجراء البحث.



عينة من بيانات استهلاك الكهرباء لعامي 2009 و 2010

يصاحب التوسع في النطاق العمراني للمدن والزيادة المطردة في أعداد السكان الى جانب الأنشطة التنموية الصناعية والخدمية المختلفة زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية مما يجعل القدرة على التنبؤ بكمية الطاقة الكهربائية المطلوبة ضرورة تخطيطية يحتاج إليها صناع القرار عند التخطيط الاستراتيجي لمستقبل الاستهلاك في الطاقة الكهربائية.

وقد تعددت الأساليب العلمية المستخدمة في التوقع (التكهن) **Forecasting** بصورة عامة وتوقع كمية الاستهلاك في الطاقة الكهربائية بخاصة، وقد تضمنت كثير من الدراسات التنبؤية عدداً من الأساليب أخذت في الاعتبار المتغيرات الاقتصادية والاجتماعية والديموغرافية التي قد تؤثر على عملية التنبؤ، كما جمعت بعض تلك الدراسات بين عدد من تلك الأساليب واستخلصت النتائج منها بشكل تكاملي. والنماذج الرياضية **Mathematical Models** المستخدمة في هذا الاتجاه متعددة (انظر S.MAKRIDAKIS (8)، وقد أسهمت تلك النماذج الرياضية إن بصورة مباشرة (كما في البحث (3) مثلاً) أو بصورة غير مباشرة (كما في البحثين H.Choon ,L. Yan and Ong (11)، Al-Sahlawi, M. A. (10) **FORECASTING METHODOLOGIES** في بناء أساليب التنبؤ.

والدراسة التي بين أيدينا تعزز هذا الدور للعلوم الرياضية، حيث تستخدم المعادلات الرياضية (المعادلات التفاضلية على التحديد) والأساليب الإحصائية والمجموعات من أجل مسح ودراسة وتحليل بيانات استهلاك مدينة مكة المكرمة من الطاقة الكهربائية خلال الأعوام 2008، 2009، 2010 (وهي الأعوام التي تسلم الباحث ممتناً بياناتها من شركة كهرباء المنطقة الغربية - مكة المكرمة) وذلك من أجل تحديد معامل (ثابت) **الزيادة Growth Constant** (التقريبي) في استهلاك الطاقة على المدى اليومي والاسبوعي والشهري والسنوي، وكذلك معامل الزيادة في الفترات المتناظرة من الأعوام الثلاثة المذكورة، تمهيداً لطرح عدد من التوقعات حول الاستهلاك في الطاقة الكهربائية في العقود القادمة في ظل الزيادة المطردة في أعداد الوافدين إلى مكة المكرمة سواء للحج أو العمرة أو ممن رغب الهجرة والاستقرار في مكة المكرمة. ستعتمد الدراسة على تحليل بيانات استهلاك الطاقة الكهربائية، حيث سيتم تبويب تلك البيانات في سلاسل زمنية بحيث يمكن تطبيق النموذج الرياضي المقترح على تلك البيانات لاستخلاص النتائج المرجوة من البحث.

### الخلفية النظرية لموضوع البحث **THEORETICAL BACKGROUND**

هناك العديد من الظواهر الطبيعية والاجتماعية يمكن التعبير عنها باستخدام نماذج رياضية **Mathematical Models**، من أمثلة تلك الظواهر النمو السكاني وحجم الاستيراد والتصدير وكذلك كمية الاستهلاك من سلعة معينة حيث أن تلك الكميات عادة ما يكون معدل التغير فيها (زيادة أو نقصاناً) متناسباً مع الكمية الأصلية ذاتها (أنظر على سبيل المثال البحث (5))، وهنا سنستعرض الخلفية النظرية لموضوع استخدام المعادلات التفاضلية لبناء نموذج رياضي لتوقع كمية استهلاك الكهرباء في مدينة مكة المكرمة للعقود الأربعة القادمة بناء على استقصاء وتحليل كمية الاستهلاك خلال العشر سنوات الماضية.

$$N(t) = N_0 e^{at} \text{ المعادلة}$$

تستخدم دالة الزيادة (أو النمو) الأسية **Exponential Growth Function** بفاعلية في الدراسات التوقعية **Forecasting** وتتص هذه الدالة على الآتي

**دالة النمو الأسية Exponential Growth Function:** إذا كانت  $N_0$  هي الكمية المنتجة عند الزمن  $t = 0$ ، فإنه تحت شروط محددة

يُحسب المنتج عند الزمن  $t$  وفق المعادلة  $N(t) = N_0 e^{at}$  حيث  $a > 0$  عدد ثابت يمثل معدل (أو ثابت) **الزيادة Growth Rate**

(اختصاراً **GR**) في الإنتاج و  $e$  أساس اللوغاريتم الطبيعي **Natural Logarithm**، وهكذا فإن كمية المنتج عند الزمن  $t$  سيكون مضاعف

للكمية المنتجة  $N_0$  عند الزمن  $t=0$  بمقدار  $e^{at}$ . لاحظ انه من حيث المبدأ قد يكون العدد الثابت  $a$  سالباً (وحينئذ تسمى الدالة بدالة الاضمحلال (Decay Function) إلا أن هذا الأمر مستبعد في حالة الدراسة التي بين أيدينا لكون الزيادة في استهلاك الكهرباء مطردة.

### العدد الحقيقي $e$

يعرف أساس اللوغاريتم الطبيعي  $e$  باستخدام النهايات Limits على النحو الآتي  $e = \lim_{m \rightarrow \infty} (1 + \frac{1}{m})^m$  ، وهو عدد حقيقي غير نسبي Irrational يساوي تقريباً العدد 2.718281828. وقد استخدم هذا التعريف من قبل العالم الرياضي السويسري أوليهر Leonhard Euler (1707-1783) (الذي استعير الحرف الأول من اسمه لرمز العدد) لتقريب العدد  $e$  إلى 23 منزلة عشرية.

**مثال:** إذا كان استهلاك مدينة من الكهرباء يزيد بمعدل (Growth Rate)  $a = 2\%$  سنوياً ، وكانت كمية الاستهلاك حالياً تساوي  $N_0 = 10000000$  فإنه بعد عشرين عاماً  $t = 20$  ستصبح كمية استهلاك المدينة من الطاقة الكهربائية  $10,000,000 \times e^{0.02 \times 20} = 10,000,000 \times e^{0.4} = 14918246.98$

### خطة العمل المقترحة WORK PLAN

سيتركز العمل على تحليل البيانات الاحصائية لكميات الاستهلاك من أجل تحديد معامل الزيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية في مكة المكرمة وذلك بتوظيف المعادلات التفاضلية لهذا الغرض وفق ما هو موضح سلفاً

### كيف نحسب معدل الزيادة ؟ How To Determine GR?

ستتم الاستفادة من المعادلة  $N(t) = N_0 e^{at}$  لحساب معدل (ثابت) الزيادة GR في استهلاك الطاقة الكهربائية بمكة المكرمة، وبالتالي معدل الزيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة. يمثل المتغير  $t$  هنا الزمن وسيتوقف اختياره على نوعية بيانات استهلاك الطاقة الكهربائية المتوفرة ووحداتها الزمنية (ساعة، يوم، اسبوع ، شهر، عام). سيتم حساب معدل الزيادة على مدى الفترات الزمنية التالية:

**أولاً: على مدى اليوم الواحد** (أي خلال السلسلة الزمنية التي تبدأ بساعة أقل قراءة للجمل الكهربائي (التي سنعتبرها الزمن الابتدائي  $t = t_0$ ) وتنتهي بساعة الذروة في الاستهلاك للطاقة الكهربائية) وذلك لعينة من أيام العام مكونة من 4 أيام بواقع يوم واحد من كل فصل على ان تمثل اثنان (أي يومان) منهم القراء الصغرى على مدى العام (Minimum reading of the year (MINY) والقراءة العظمى Maximum reading of the year (MAXY) في احمال الطاقة الاستهلاكية للكهرباء (القراءة من العمود 61 من جدول ال EXCEL المرفق) ) انظر جدول1)، أخذاً في الاعتبار التوزيع التالي للفصول على اشهر العام :

فصل الصيف	من 21 يونيو الى 22 سبتمبر	21/6 – 22/9/
فصل الخريف	من 23 سبتمبر الى 20 ديسمبر	23/9 – 20/12

21/12 – 20/3	من 21 ديسمبر إلى 20 مارس	فصل الشتاء
21/3 – 21/6	من 21 مارس إلى 21 يونيو	فصل الربيع

**ثانياً: على مدى الاسبوع** بدءاً بيوم السبت الذي سيمثل الزمن الابتدائي  $t = t_0$  في السلسلة الزمنية التي تمثل ايام الاسبوع (تؤخذ من بيانات كل يوم القراءة في ساعة الذروة) وذلك لعدد 4 اسابيع بواقع اسبوع من كل فصل من فصول العام على أن يبدأ واحد من تلك الأسابيع باليوم الذي يمثل القراء الصغرى MINY وآخر ينتهي بالقراءة العظمى MAXY (جدول 2).

**ثالثاً: على مدى الشهر** (جدول 3) من خلال بيانات عينة مكونة من أربعة شهور يمثل كل شهر فصلاً من فصول السنة وهي يناير JAN (الشتاء)، أبريل APRIL (الربيع)، يوليو JULY (الصيف)، أكتوبر OCTOBER (الخريف)

**رابعاً: على مدى السنة** (جدول 4) وذلك من خلال بيانات استهلاك الطاقة الكهربائية التي تم التحصل عليها من الشركة السعودية للكهرباء للأعوام الثلاثة 2008 ؛ 2009 ؛ 2010 (الملف المرفق)

**مثال على طريقة حساب معدل الزيادة  $a$ :** في جدول ومن بيانات اليوم الأول حيث  $N(t_0) = 423$  ،  $N(t_{11}) = 720$  وبالتعويض في المعادلة  $N(t) = N_0 e^{at}$  عند الزمن  $t = 11$  نجد أن  $720 = 423 e^{11a}$  أي أن

$$e^{11a} = 720/423 = 1.702 \Rightarrow 11a = \ln 1.702 = 0.5318 \Rightarrow a = 0.0483$$

**أولاً: جدول 1:** معدل الزيادة GR ( $a$ ) خلال ساعات اليوم للأعوام الثلاثة 2008-2010

	$a = 0.0483$	$720 = 423e^{11a}$	$N(t_{11}) = 720$ max reading of the day	$N(t_0) = 423$ min reading of the day	اليوم 1 MIN OF YEAR FRI	2008
--	--------------	--------------------	---	--	----------------------------------	------



					1/2/2008 WINTER	
	$a = 0.0318$	$1711 = 1285e^{9a}$	$N(t_9) = 1711$ 15:00 max reading of the day	$N(t_0) = 1285$ 8:00 min reading of the day	اليوم 2 TUE6/5/ 2008 SPRING	
	$a = 0.0145$	$1804 = 1538 e^{11a}$	$N(t_{11}) = 1804$ 15:30 max reading of the day	$N(t_0) = 1538$ 7:00 min reading of the day	اليوم 3 THU 7/8/2008 SUMMA R	
	$a \approx 0.01$	$2461 = 2146e^{14a}$	$N(t_{14}) = 2461$ 15:00 max reading of the day	$N(t_0) = 2146$ min 1:00 reading of the day	اليوم 4 MAX OF YEAR WED 24/9/200 8 AUTMN	
	$a = 0.026$	$854 = 563e^{16a}$	$N(t_{16}) = 854$ 2/3/2009 19:30	$N(t_0) = 563$ 2/3/2009 8:00	اليوم 1 MIN OF YEAR MON 2/3/2009 8:00 5/11/143 0 WINTER	2009
	$a = 0.024$	$1994 = 1532e^{11a}$	$N(t_{11}) = 1994$ 6/5/2009 15:30	$N(t_0) = 1532$ 6/5/2009 7:00	اليوم 2 WED 6/5/2009 SPRING	
	$a = 0.0114$	$1988 = 1753e^{11a}$	$N(t_{11}) = 1988$ 7/8/2009 15:30	$N(t_0) = 1753$ 7/8/2009 7:00	اليوم 3 FRI 7/8/2009 16/8/143 0 SUMME R	
	$a = 0.0173$	$2451 = 2098e^{9a}$	$N(t_9) = 2451$ 13/9/2009 14:30	$N(t_0) = 2098$ 13/9/2009 7:00	اليوم 4 MAXY SUN 13/9/200 9 /9/23 1430H 14:30 AUTUM	



The time sequence is short as it reaches the maximum of the day after 3 steps	$a = 0.185$	$990 = 556e^{3a}$	$N(t_3) = 990$ 9/2/2010 20:00	$N(t_0) = 556$ 9/2/2010 17:00	N اليوم 1 MIN Y TUE 9/2/2010 25/2/143 1 17:00 WINTER	2010
	$a = 0.036$	$1734 = 1400e^{8a}$	$N(t_{11}) = 1734$ 6/5/2010 15:30	$N(t_0) = 1400$ 6/5/2010 7:00	اليوم 2 6/5/2010  THU 22/5/31 SPRING	
	$a = 0.016$	$2380 = 1958e^{12a}$	$N(t_{12}) = 2380$ 7/8/2010 16:00	$N(t_0) = 1958$ 7/8/2010 7:00	اليوم 3 7/8/2010 SAT 26/8/31 SUMMER	
There is a sudden drop in the day reading at 13:00 which we ignore	$a = 0.0126$	$2781 = 2483e^{9a}$	$N(t_9) = 2781$ 20/8/2010 15:00	$N(t_0) = 2483$ 20/8/2010 8:00	اليوم 4 MAX Y 20/8/2010 0 FRIDAY 10/9/143 1 15:00 AUTUMN	

ثانياً: جدول 2: معدل الزيادة GR الاسبوعي في القراءات  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$

$a_1 = 0.26$	$422 = 90e^{6a_1}$	WED 6/2/2008 at 11:00 MIN Y $N(t_0) = 90$	TUE 12/2/2008 MIN 11:00 $N(t_6) = 422$	الاسبوع 1 MIN Y WINTER	2008
$a_2 = 0.27$	$444 = 361e^{6a_2}$	MON 12/5/2008 at 6:00 $N(t_0) = 361$	SUN 18/5/2008 at 6:00 $N(t_6) = 444$	الاسبوع 2 SPRING	
$a_3 = 0.028$	$740 = 700e^{6a_3}$	MAX Y is $N(t_0) = 740$	$N(t_6) = 700$	الاسبوع 3	

		On SUN 13/7/2008 ; 15:30	On MON 7/7/2008; 15:30	MAXY SUMMER	
$a_4 = 0.049$	$614 = 457e^{6a_4}$	19/10/2008 at 15:30 TUE $N(t_0) = 457$	13/10/2008 at 15:30 WED $N(t_6) = 614$	الاسبوع 4 AUTUMN	
$a_1 = 0.080$	$255 = 158e^{6a_1}$	MON 2/2/2009 at 8:00 MINY = $N(t_0) = 158$	SUN 8/2/2009 at 8:00 $N(t_6) = 255$	الاسبوع 1 MINY WINTER	2009
$a_2 = 0.008$	$396 = 377e^{6a_2}$	TUE 12/5/2009 at 6:00 $N(t_0) = 377$	MON 18/5/2009 at 6:00 $N(t_6) = 396$	الاسبوع 2 SPRING	
$a_3 = 0.032$	$753 = 622e^{6a_3}$	TUE 26/5/2009 at 14:30 $N(t_0) = 622$	MON 1/6/2009 at 14:30 MAXY $N(t_6) = 753$	الاسبوع 3 MAXY SUMMER	
$a_4 = 0.016$	$680 = 617e^{6a_4}$	19/10/2009 at 15:30 MON $N(t_0) = 617$	13/10/2009 at 15:30 TUE $N(t_6) = 680$	الاسبوع 4 AUTUMN	
$a_1 = 0.19$	$460 = 144e^{6a_1}$	Mon 11/1/2010 at 24:00 MINY $N(t_0) = 144$	SUN 17/1/2010 at 24:00 $N(t_6) = 460$	الاسبوع 1 MIN WINTER	2010
$a_2 = 0.02$	$543 = 480e^{6a_2}$	12/5/2010 at 6:00 WED $N(t_6) = 543$	18/5/2010 at 6:00 TUE $N(t_0) = 480$	الاسبوع 2 SPRING	
$a_3 = 0.036$	$765 = 618e^{6a_3}$	SUN 4/07/2010 at 13:30 $N(t_0) = 618$	SAT 10/07/2010 at 13:30 MAXY $N(t_6) = 765$	الاسبوع 3 MAXY SUMMER	
$a_4 = 0.025$	$556 = 480e^{6a_4}$	19/10/2010 at 15:30 TUE $N(t_0) = 480$	13/10/2010 at 15:30 WED $N(t_6) = 556$	الاسبوع 4 AUTUMN	

ثالثاً: جدول 3 معدل الزيادة GR الشهري (عينة من 4 شهور تمثل الفصول الأربعة)

$a_2$	EQUATION	MAX	MIN	MONTH	YEAR
$a_1 = 0.104$	$482 = 189e^{9a_1}$	SUN 20/1 18:00 482	FRI 11/1 4:00 189	Jan	2008
$a_2 = 0.037$	$556 = 248e^{22a_2}$	WED 23/4 16:00 556	TUE 1/4 15:00 248	Apr	
$a_3 = 0.062$	$740 = 329e^{13a_3}$	TUE 15/7 13:00 740	MON 28/7 2:00 329	July	
$a_4 = 0.106$	$568 = 196e^{10a_4}$	MON 20/10 14:30 568	THU 30/10 5:00 196	Oct	
$a_1 = 0.302$	$488 = 197e^{3a_1}$	SAT 17/1 18:00 488	WED 14/1 22:00 197	Jan	2009
$a_2 = 0.069$	$687 = 174e^{20a_2}$	TUE 21/4 14:30 687	WED 1/4 1:00 174	Apr	

	$a_3 = 0.049$	$699 = 303e^{17a_3}$	SAT 25/7 11:00 699	WED 8/7 1:00 303	July	2010
	$a_4 = 0.085$	$680 = 292e^{10a_4}$	TUE 13/10 15:00 680	FRI 23/10 19:30 292	Oct	
	$a_1 = 0.171$	$475 = 144e^{7a_1}$	MON 18/1 13:30 475	MON 11/1 24:00 144	Jan	
	$a_2 = 0.059$	$655 = 203e^{20a_2}$	TUE 27/4 14:30 655	WED 7/4 7:00 203	Apr	
Max+min in the same day		$765 = 394e^{2a_3}$	SAT 10/7 13:30 765	SAT 10/7 4:00 394	July	
	$a_4 = 0.021$	$611 = 351e^{26a_4}$	SAT 2/10 16:00 611	THU 28/10 2:00 351	Oct	

رابعاً: جدول 4 معدل الزيادة في القراءة الصغرى ( $a_{MIN}$ ) والقراءة العظمى ( $a_{MAX}$ ) خلال الأعوام 2008-2010

YEAR	2008	2009	2010	$a_?$
MIN READING	MINY $N(t_0)=90$ 6/2/2008 at 11:00 WINTER	MINY $N(t_1)=158$ MON 2/2/2009 at 8:00 WINTER	$N(t_2)=144$ MON11/1/2010 at 24:00 WINTER	$144 = 90e^{2a_{MIN}}$ $a_{MIN} = 0.235$
MAX READING	MAXY $N(t_0)=740$ SUN 13/7/2008 15:30 SUMMER	MAXY $N(t_1)=753$ MON1/6/2009 14:30 SUMMER	MAXY $N(t_2)=765$ SAT10/7/2010 13:30 SUMMER	$765 = 740e^{2a_{MAX}}$ $a_{MAX} = 0.167$

### النتائج والتوصيات CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

من خلال البيانات السابقة نستخلص النتائج التالية المتعلقة بتوقع استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة، وكذلك توصيات تتعلق بالطاقة البديلة وسبل الحد من الهدر في استهلاك الكهرباء:

- (1) من الواضح ان الزيادة في الطلب على الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة مطردة monotonic حيث وجد من خلال هذه الدراسة وباستعراض الجداول 1، 2، 3 أعلاه ان معدل الزيادة يقترب من 3%.
- (2) اذا تم استثناء بعض القراءات الشاذة في الجداول 1، 2، 3، 4 أعلاه نجد أن ثابت الزيادة GR اليومي والاسبوعي والشهري (التقريبي)  $a$  لإستهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة يقع في الفترة العددية  $0.01 \leq a \leq 0.03$  أي أن ثابت الزيادة التقريبي في الاستهلاك لا يتجاوز 3%. وبناء عليه فان:

<p>(1) القراءة الصغرى المتوقعة للاستهلاك في العام 2030، <math>MIN(2030)</math> تقع في الفترة العددية</p> $MIN(2010)e^{0.01 \times 20} \leq MIN(2030) \leq MIN(2010)e^{0.03 \times 20}$ $175.88 \leq MIN(2030) \leq 262.39$
--

(2) القراءة العظمى المتوقعة للاستهلاك في العام 2030،  $MAX(2030)$  تقع في الفترة العددية

$$MAX(2010)e^{0.03 \times 20} \leq MAX(2030) \leq MAX(2010)e^{0.01 \times 20} \text{ ؛ أي أن}$$

$$934.37 \leq MAX(2030) \leq 1393.92$$

(3) يلاحظ زيادة مطردة في القراءة الصغرى MIN لبيانات الثلاث سنوات المشمولة بالإحصائيات، حيث وجد أن معدل الزيادة  $a_{MIN} = 0.235$  وكذلك زيادة مطردة في القراءة العظمى MAX حيث وجد أن  $a_{MAX} = 0.167$ ، ويعوز هذا المعدل الدقة نظراً لقصر السلسلة الزمنية المعتبرة في حسابها.

(4) يلاحظ من خلال هذه الدراسة ان القيم العظمى للاستهلاك اليومي تتركز في الفترة 2:00-3:00 وهي الفترة التي تبلغ درجة الحرارة اليومية فيها القيمة العظمى وتبعاً لذلك يزداد الطلب على تبريد المنازل وفي ذات الوقت تبريد اماكن العمل في منشآت القطاعين العام والخاص ولذا فانه يوصى باعتماد المرونة في ساعات دوام الموظفين في القطاعين الحكومي والخاص بحيث تختلف ساعات الدوام بين الصيف والشتاء فيكون هناك دوام صيفي وآخر شتوي ويفضل الافادة من ساعات النهار الأولى ما بعد صلاة الفجر، بحيث تصبح الحاجة الى تبريد المنشآت في تلك الفترة 2:00-3:00 مقصورة على المباني السكنية دون المرافق العامة فقلّ بذلك الحاجة الى الطاقة الكهربائية.

(5) كثير من الهدر في الطاقة الكهربائية مرده الى عدم تهيئة المباني والإنشاءات للحفاظ على الطاقة ولذا ينبغي وضع معايير للمنشآت والمباني السكنية تشمل العزل الحراري ذي الكفاءة العالية، والزام القطاعات الحكومية والمؤسسات والشركات بتحويل المباني الخاصة بها الى مباني ذكية Smart building وتزويد المباني بأبواب اتوماتيكية AUTO DOORS والزامها في حال عدم تمكنها من ذلك تأمين موظف حراسة PORTER لكل مبنى يتولى ملاحظة شئون المبنى ومن بينها ما يتعلق بالطاقة كإغلاق الابواب والنوافذ واطفاء الكهرباء غير المستخدمة بالإضافة الى مهامه في حراسة المنشأة.

(6) في ضوء ما يسببه استخدام الوقود الأحفوري في توليد الطاقة من أضرار على البنية وانعكاسات ذلك على صحة الانسان ينبغي مضاعفة الجهد لإيجاد مصادر بديلة للطاقة صديقة للبيئة ومستديمة RENEWABLE ENERGY أيضاً وذلك من أجل الحفاظ على البيئة وديمومة مصادر الطاقة.

(7) ينبغي تكثيف التوعية لدى المستهلكين بضرورة وأهمية الترشيد في استهلاك الكهرباء والحث على الحد من هدر الطاقة عن طريق الحرص على اقتناء الأجهزة الموفرة للطاقة للعمل على تخفيض معدل استهلاك الفرد في المملكة وينبغي تظافر جهود كل القطاعات المعنية والمؤثرة لتحقيق ذلك.

(8) النموذج الذي يمكن ان يحدد توقع استهلاك الطاقة الكهربائية في مدينة مكة المكرمة: لابد من الاعتراف بأن النموذج الذي اتبع في هذا البحث رغم دقته لاعتماده على الأرقام والمعادلات الا انه قد يشوبه بعض القصور حيث انه لم يأخذ في الاعتبار تحييد الكثير من العوامل التي قد تؤثر في معدل استهلاك الطاقة إضافة الى شح البيانات المستخدمة حيث لم يتوفر للباحث سوى بيانات الاستهلاك لفترة 3 سنوات. لذلك فان النموذج المناسب في نظر الباحث- لتوقع الاستهلاك في مدينة سريعة النمو والتغيير مثل مكة المكرمة ينبغي أن يكون نموذجاً شمولياً يأخذ في الاعتبار الكثير من العوامل منها على سبيل المثال: الطقس والمناخ و أسعار التكلفة، دخل الفرد، الزيادة السكانية، والمتغيرات الديموغرافية، النمط المعيشي والسلوكي والعادات للسكان... وغيرها، وكذلك **التغير الحضري Urban Change** للمدينة في ضوء ما تشهده من تطوير المناطق العشوائية واحلالها بمناطق سكنية (انظر الأبحاث (1)، (2)، (3) في قائمة المراجع) ويسخّر لذلك نموذج رياضي -على غرار النموذج المعمول به في البحث الذي بين ايدينا- مناسب يأخذ في الاعتبار كل تلك العوامل. ونظراً لتفاوت الاستهلاك بين أجزاء مدينة مكة (أو أحياءها) فمن المناسب توزيع مجال الدراسة الى مناطق جزئية من المدينة SUBDOMAINES تبعاً لطبيعة المنطقة (المشاعر، سكني، صناعي،... الخ) ونوع النشاط التنموي فيها وذلك للإفادة من نتائج الدراسة في توزيع الأحمال المطلوبة من الطاقة الكهربائية.

## شكر وتقدير

هذا البحث يحمل الرقم 5-2011 S في قائمة البحوث المدعمة من قبل معهد البحوث والدراسات الاستشارية بجامعة أم القرى ، والباحث يتقدم بخالص الشكر لجامعة أم القرى ممثلة بالمعهد على توليه الدعم المالي لهذا البحث، وللشركة السعودية للكهرباء (القطاع الغربي) وكذلك خالص الشكر لسعادة المهندس ماجد هادي وزملاءه من شركة كهرباء مكة المكرمة على تفضلهم بموافاة الباحث بالبيانات الخاصة بالدراسة.

## قائمة المراجع REFERENCES

- (1) الشريف، محمد. إشكالية التغير الحضري في المدن السعودية، 1422هـ.
- (2) الشريف، محمد. المناطق العشوائية في مكة المكرمة: الخصائص والمشكلات والحلول، مجلة جامعة الملك فيصل، الأحساء، 1422هـ.
- (3) جريدة المدينة عدد الأربعاء 7 محرم 1434 ؛ ص19
- (4) وزارة الشؤون البلدية والقروية. مخطط التنمية الشامل لمنطقة مكة المكرمة (1406هـ)، مج7/208.
- (5) هيلة محمد العدوان وآخرون ؛ حلول مقترحة لترقيم لوحات السيارات من منظور رياضي ، مجلة البحوث الأمنية العدد 41 ، نو الحجة 1429.
- (6) Millett, S. & Honton, E.. A Manager's Guide to Technology Forecasting and Strategy Analysis Methods. New York: Battelle Press. 1991
- (7) E. Mahmoud, "Combining Forecasts: Some Managerial Issues," *International Journal of Forecasting*, Vol. 5, No. 4 (1989) p. 599
- (8) S. Makridakis, "The Art and Science of Forecasting," *International Journal of Forecasting*, Vol. 2 (1986), p. 45.
- (9) S. C, Tripathy, Demand forecasting in a power system , Centre for energy studies. Indian Institute of Technology. Hauz Khaz. New Delhi 110 016, India . 1995
- (10) Al-Sahlawi, Mohammed A., Forecasting the demand for electricity in Saudi Arabia., *The Energy Journal* , January 1990
- (11) Lai Mei Yan<sup>1</sup>, and Ong Hong Choon<sup>2</sup>. Neural networks forecasting on electricity consumption in Malaysia. 2006
- (12) Fischer, Martin , *Modelling And Forecasting Energy Demand: Principles and Difficulties*, Springer Science+ Business Media 2010
- (13) Revised Final Report : Updated Generation Planning for the Saudi Electricity Sector, Prepared by Electricity & Cogeneration Regulatory Authority (ECRA), Riyadh, Saudi Arabia 2006.

