Arab Gulf J. Scient. Res., **9** (3), pp. 161-182 (1991)

Effects of Electric Service Interruptions Upon Customers and Cost Estimation

A.M. Shaalan

Electrical Engineering Department, College of Engineering
King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia

ABSTRACT. This paper overviews a study that has been conducted to investigate the effects of electric service interruptions upon customers resulting from unexpected outages due to power failures in power stations, networks and distributions systems.

Major classes of customers (residential, commercial, industrial) in the city of Riyadh have been selected as a practical case study to the developed methodology.

In this research a survey questionnaires has been distributed among the customers (by hand or mail) in order to let them by themselves assess their losses based on their perception during and after outages.

The results obtained show that a deep suffering and substantial monetary losses will be incurred by all customers should outages occur in specific periods and last for longer durations.

For the residential customer, results indicate that most of the losses will be intangible such as anxiety and inconvenience which are difficult to be evaluated in terms of monetary values. However, these may exceed the monetary losses as food spoilage or other emergency actions.

For the commercial and industrial customers, results show that these two sectors will incur substantial tangible losses as a result of shops closure and business cease due to energy shortage. It is noticed that these losses are increasing in a non-linear way as interruption durations increase.

Results also show that it is possible to avoid much of these suffering and losses if electric companies inform the customers well in advance of scheduled outages occurrences and their durations to enable them to utilize their standbys systems that should be available particularly to the commercial and industrial customers as a precautionary actions to avoid outages or at least to mitigate their effects.

The information and data provided by this study contribute to a great extent in assisting power systems planners and engineers in their assessment of cost/benefit of future system plans and then selecting among them the one that yields the most appropriate performance with the least cost. Also the study results could be useful in comparison with similar results in other places and conditions.

References

Allan, R.N. and **Shaalan, A.M.** (1986) Cost Benefit and Reliability Assessment of Electrical Generating Systems, *Reliability Engineering International Journal*, **3**(1): 1-19.

Allan, R.N. and **Shaalan, A.M.** (1988) Probabilistic Production Costing Model, *The International Journal of Modeling and Simulation*, **8**(3): 88-93.

Anderson, R. and **Taylor, L.** (1986) The Social Costs of Unsupplied Electricity, *Journal of Energy Economics*, **8**(3): 139-146.

Billinton, R. and **Allan, R.N.** (1984) Reliability Evaluation of Power Systems, Plenum Press, New York.

Billinton, R., Wacker, G. and **Wojczynski, E.** (1982) Customer Damage Resulting from Electric Service Interruptions, Volume One - report, R&D Project Prepared for the Canadian Electrical Association.

Koval, D. and **Billinton, R.** (1979) Statistical and Analytical Evaluation of the Duration and Cost of Consumers Interruptions, *IEEE Winter Power Meeting*, No. A79 057-1.

Krohm, G. (1978) A survey of Disruption and Consumer Costs Resulting from a Major Residential Power Outage, Argonne National Laboratory, Report No. ANL/EES-TM-29, Argonne, Illinois, USA.

Munasinghe, M. (1980) Costs incurred by Residential Electric Consumers Due to Power Failures, *Journal of Consumer Research*, **6:** 361-369.

Shaalan, A.M. (1989) Electric Service Interruptions: Impact and Cost Estimation, *Electra, Cigrè* **127:** 99-109.

Shaalan, A.M. and **Albahrani, A.H.** (1988) Assessment of Consumers and Utility Losses Resulting from Electric Service Interruptions, Project EE-3/1408, Research Center, College of Engineering, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.

Swedish Committee on Supply Interruption Costs (1969) Cost of Interruptions in Electric Supply, *The Electricity Council, O. A. Transaction 450.*

Wacker, G. and **Billinton, R.** (1989) Customer Cost of Electric Service Interruptions, *IEEE Proceedings* **77**(6): 919-930.

(Received 16/07/1991;
in revised form 02/11/1991)

شكـــــر :

يود المؤلف أن يتقدم بـالشكر لمـركز البحـوث بكلية الهنـدسة ـ جـامعة الملك سعود ـ على الدعم الذي تلقـاه في رعايـة هذا البحث. كـما ينوه بـالشكر لمسـاعد الباحث المهندس محمـد الطيب لجهـوده في حساب التكـاليف بإستخـدام برنـامج SAS. كـما يشكـر المؤلف جميـع المشـتركـين الـذين تجـاوبـوا وسـاهمـوا في عمليـة الاستبيان.

تاريخ إستلام البحث: ١٦/٠٧/١٩٩١ م
تاريخ إعداده النهائي للنشر: ٢١/١١/١٩٩١ م

الخاتمـــة :

لقد اتضح لنا مما سبق ذكره أن تكاليف الإنقطاعات يقع عبؤها الأكبر على عاتق المشتركين إذ أن خسائر الشركة ذاتها لا تكاد تذكر بجانب خسائر مشتركيها أثناء وبعد حدوث الإنقطاعات. فالمشترك السكني سيمنى بخسائر معنوية قد لا يمكن تقويمها بالمعايير المادية المحسوسة وتتمثل في الضيق والتبرم وعدم الراحة وحرمانه من الاستمتاع أو ممارسة نشاطات معينة، كما أنه سيمنى بخسائر مادية تتمثل في فساد الأطعمة وتكاليف الوسائل البديلة للتكييف والتدفئة والإنارة والتشغيل. كما أن المشترك التجاري والصناعي كلاهما سيمنى بخسائر جمة عند انقطاع الخدمة الكهربائية وبخاصة إذا حدث الإنقطاع بشكل مفاجيء وبدون سابق إنذار، وهذه التكاليف تتمثل في فقد المبيعات وتعطل الإنتاج وتلف المنتجات الصناعية أو رداءة جودتها كذلك الأجور المدفوعة بدون مقابل وزيادة أعباء الصيانة والإصلاح. ولقد تم في هذا البحث تطوير وتطبيق أساليب لتقويم تلك الخسائر التي تمنى بها تلك القطاعات من المشتركين بمدينة الرياض. وقد روعي في ذلك موسم وتكرار وأمد تلك الإنقطاعات. ولقد لوحظ أن تلك التكاليف تزداد بأضعاف كبيرة مع طول أمد الإنقطاعات مما ينجم عنه معاناة نفسية وخسائر مادية تلحق بالمشتركين. كما أن وجود أنظمة مساندة كبديل للمصدر عند إنقطاع الخدمة الكهربائية ضروري وبخاصة للمشترك التجاري والصناعي حيث أن ذلك سيقلل إلى حد كبير من حجم الخسائر التي قد تلحق بهذين القطاعين. ولعل الهدف من هذا البحث هو استنباط أساليب وطرق للوصول إلى أرقام وبيانات احصائية تمثل قاعدة متمكنة يتم استخدامها من قبل مخططي ومهندسي أنظمة القوى الكهربائية في المملكة وفي غيرها لمواءمتها بتكاليف الإنشاء والتشغيل بغية الوصول إلى مستوى أمثل للخدمة الكهربائية يضمن تدفقاً مستمراً للطاقة وتكاليفاً أقل لها.

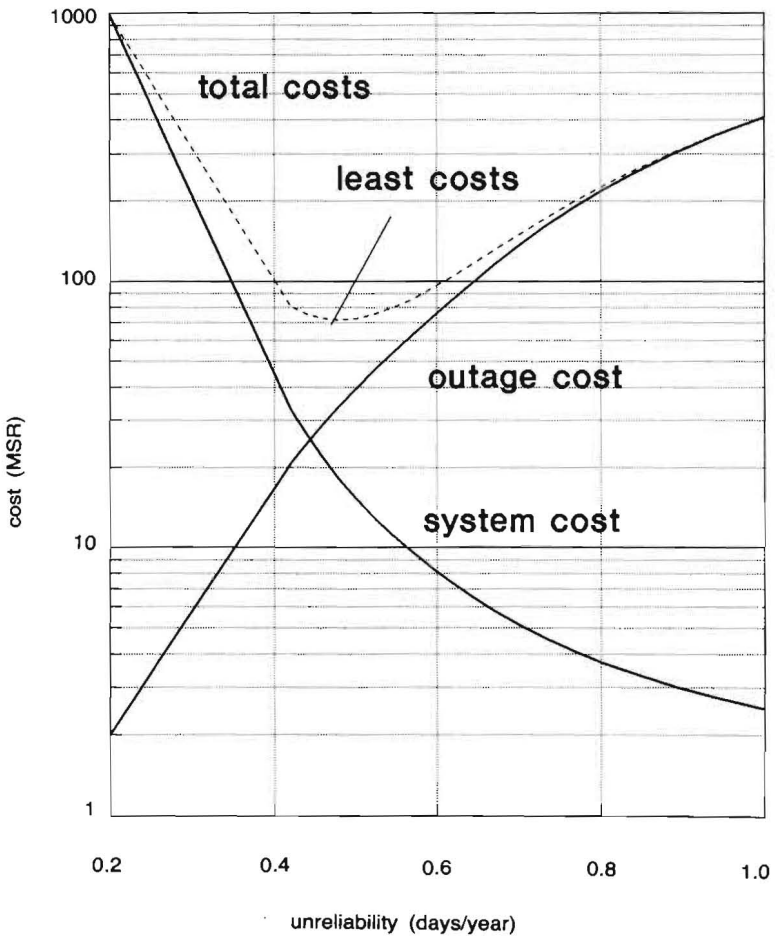


Fig. 9. **شكل (٩) :** المواءمة بين إعتمادية الأنظمة الكهربائية وتكاليفها.

من الشكل أعلاه يمكن معرفة الإنقطاعات المحتملة ومن ثم حساب تكاليفها، وهذه التكاليف عنصر مهم في عملية التخطيط لأنظمة القوى الكهربائية إذ أن تلك الإنقطاعات تمثل المستوى الحقيقي لإعتمادية النظام ونوعية الخدمة الكهربائية التي يقدمها للمشتركين على اختلاف فئاتهم. أن محاولة تقليل تلك الإنقطاعات عملية مكلفة إذ قد تستلزم إنفاقاً باهظاً لزيادة قدرات التوليد وتعزيز شبكات النقل والتوزيع، ولكن هذا الإنفاق لا يجب أن يتجاوز حداً معقولاً إذ أن ذلك بلا شك سيرهق المشتركين، لذا فإن عملية المواءمة بين هذين العاملين المتجاذبين (الإعتمادية والتكاليف) أمر بالغ الأهمية في عملية التخطيط. وأسلوب المواءمة ربما يتضح تمثيله في شكل (٩) التالي:

ومن الشكل يتضح أن تكاليف الإنقطاع (Outage Cost) تتناقص مع إزدياد وتحسن إعتمادية النظام وفي المقابل تزداد تكاليف النظام (System Cost) والعكس صحيح، ولكن يجب ألا تزداد هذه التكاليف لغرض الوصول إلى مستويات عليا للإعتمادية ففي هذا إرهاق للمشتركين دون أن يكون له مردود يذكر ولكن يجب الإنفاق على النظام في الحدود المعقولة والتي تضمن تحسناً في الإعتمادية ولكن بتكاليف معقولة، ويبدو ذلك واضحاً في الشكل حيث أن المستوى الأمثل للإعتمادية هو الذي يناظر المستوى الأدنى لمجموع التكاليف (Total Costs). لذلك فإن المواءمة بين التكاليف الفعلية للنظام الكهربائي ومستوى الإعتمادية التي تتقلص معه انقطاعات الخدمة الكهربائية يجب أن يدرس بعناية في مرحلة التخطيط وأن تحلل كافة الخطط المعتبرة ومن ثم يتم اختيار البديل الأفضل منها والذي يحقق مستويات مرضية من حيث الإعتمادية والتكاليف.

الإجـراء سيخفف إلى حـد كبـير من حجم الخسـائـر لأنـه يتيـح فـرصـة المبـادرة والاستعداد لمجابهة الإنقطاعات وتخفيف آثارها .

٤ ـ مواءمة الإعتمادية والتكاليف في تخطيط الأنظمة الكهربائية :

يمكن الآن وبعد معرفة خسائر المشتركين من جراء الإنقـطاعات الكهـربائيـة إيجاد معامل من معاملات الإعتماديـة المرتبـطة بالـطاقة المفقـودة والمعروف بمعـامل «إحتمال فقد الـطاقة» Loss of Energy Expectation, LOEE والتي تنتـج عادة بسبب الإنقطاعات لعدم كفاية وحدات التوليد العاملة نتيجة خـروج بعض منها خـروجاً قسريـاً (Forced Outage) من الخدمـة وفي هذه الحـالة تكـون الأحمال الكهـربـائيـة (System Loads, L) أكبر من السعة المركبة للنظام الكهربـائي (System Capacity, C) ويمكن استنباط ذلك المعامل بمساعدة الشكل (٨) .

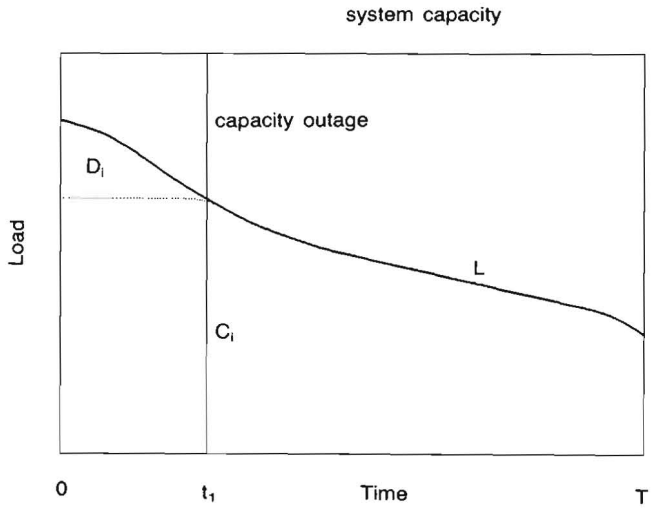
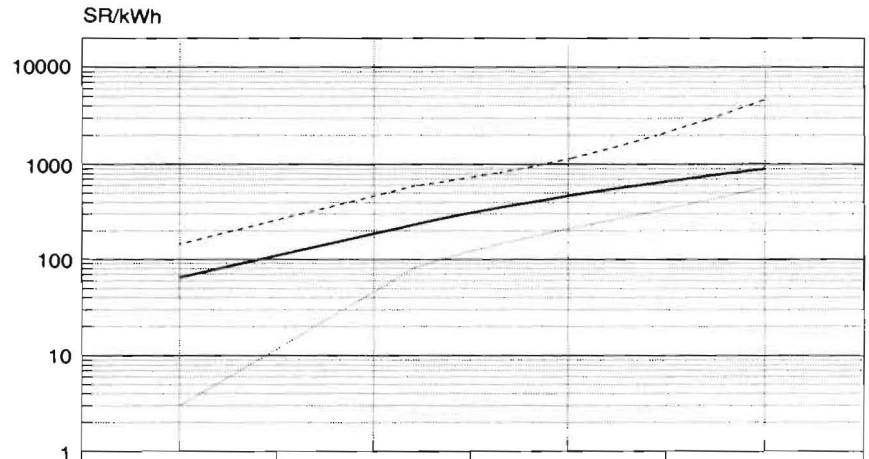


Fig. 8. شكل (٨) : منحنى أمد الحمل لإيجاد معامل LOEE .

$$D_i = \int_0^{t_1} (L - C_i)\, dt \qquad (L - C_i < 0) \qquad LOEE = \sum_i D_i p_i$$



	0.33	1	4	8
Actual ———	65	192	510	896
Lower ———	3	98	201	567
Upper ------	143	643	875	4579

outage duration (hours)

Fig. 7.

شكل (٧) : تغير التكاليف للمشترك الصناعي مع تغير فترات الإنقطاعات المُجَدْولة (سابق إنذار).

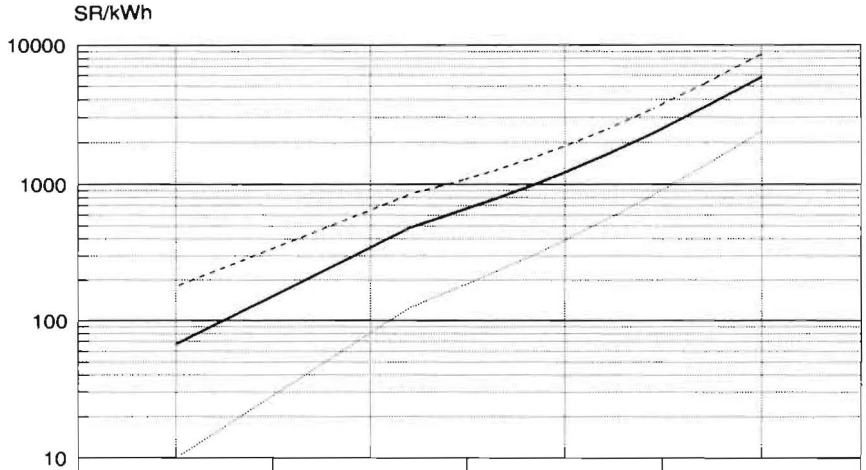
جرى أيضاً تقويم تلك التكاليف أيضاً [الشكل (٧)] في حالة إشعار الشركة المبكر للمشترك الصناعي بحدوث تلك الإنقطاعات المجدولة ليتمكن من تهيئة وسائل الإحتياط لتفادي تلك الإنقطاعات أو على الأقل التخفيف من آثارها.

ومن الشكلين أعلاه يتضح جلياً أن تكاليف الإنقطاع تزداد مع تزايد فترات الإنقطاعات المفاجئة نظراً للخسائر الفادحة في الإنتاج نتيجة لتوقف الطاقة وتعطل وسائل الإنتاج. كما يبدو أيضاً أن هذه التكاليف قد تنخفض بشكل واضح لو كان لدى المشترك علم سابق بتوقيت حدوث تلك الإنقطاعات. وقد كان هناك إجماع من قبل جميع المشتركين عن أهمية الإنذارات المبكرة للإنقطاعات وأن هذا

في الحسبان الإعتبارات التالية : فقد جانب من الإنتاج أو فساد المواد الخام ـ خسارة في المبيعات ـ تكاليف بدء التشغيل ـ تلف الآلات أو تكاليف صيانتها أو إصلاحها ـ أي خسائر أخرى .

- الوقت الكافي للإنذارات المبكرة وهل تساعد في تقليص حجم التكاليف الناجمة من الإنقطاعات المفاجئة وما مقدار ذلك .

ولقد جرى دراسة وتحليل الردود التي وردت من المشتركين الصناعيين الذين وجهت لهم الاستبيانات وبناء على ذلك فقد تم تقويم تكاليف الإنقطاعات بنفس الأسلوب المتبع مع المستهلك التجاري الآنف ذكره . ولقد تم إيضاح نتائج التقويم في الشكل (٦) وهي تعبر عن تغير التكاليف مع تغير فترات الإنقطاع ، كما



	0.33	1	4	8
Actual ———	67	496	980	5843
Lower ———	10	124	319	2386
Upper ------	180	870	1450	8561

outage duration (hours)

Fig. 6.

شكل (٦) : تغير التكاليف للمشترك الصناعي مع تغير فترات الإنقطاعات المفاجئة (بدون سابق إنذار) .

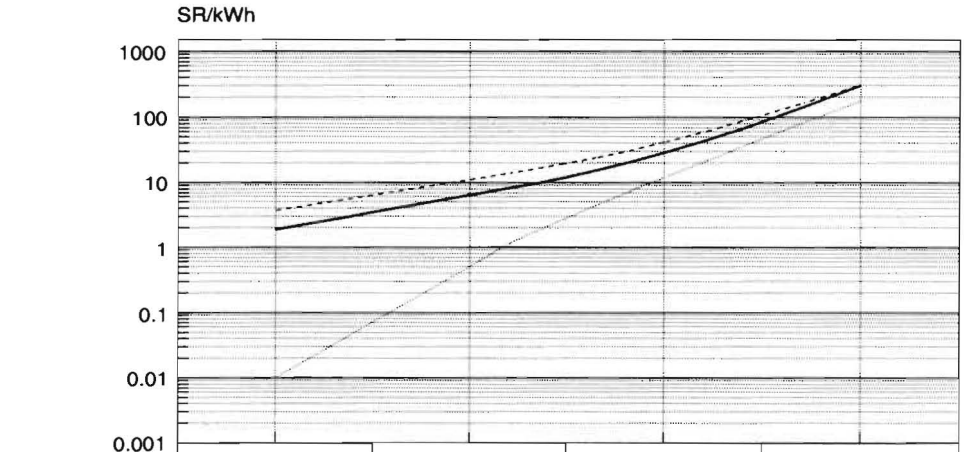


Fig. 5.

شكل (٥) : تغير التكاليف للمشترك التجاري مع فترات الإنقطاعات المُجَدْولة (سابق إنذار).

- عدد مرات الإنقطاعات الكهربائية التي حدثت خلال السنتين الماضيتين، وما هو الزمن الذي استغرقه كل إنقطاع.
- مدى تأثير الإنقطاعات على الناحية الصحية والسلامة بالنسبة للعملاء والموظفين والعاملين.
- تقدير حجم الخسائر التي خلفتها تلك الإنقطاعات.
- وجود أنظمة طوارىء تعمل كبديل لمصدر الطاقة يمكن تشغيلها أثناء حدوث الإنقطاعات وما مدى تأثيرها في الحد من تكاليف الإنقطاعات.
- إفتراض حدوث إنقطاعات أثناء فترة الإنتاج واستمرارها فترات محددة (٢٠ دقيقة، ١ ساعة، ٤ ساعات، ٨ ساعات) وعلى المشترك الصناعي أن يقوم بتصور وحصر الخسائر التي سيمنى بها بسبب تلك الإنقطاعات آخذاً

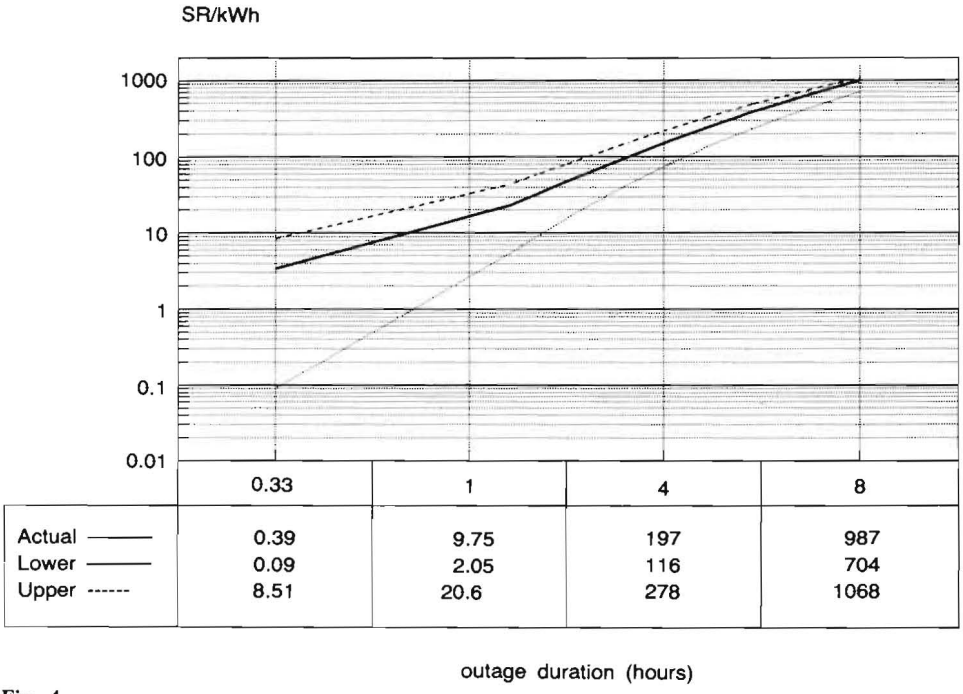


Fig. 4.

شكل (٤) : تغير التكاليف للمشترك التجاري مع فترات الإنقطاعات المفاجئة (بدون سابق إنذار).

يشكل حوالي ٢٠٪ من الطاقة المستهلكة بمدينة الرياض. ولقد تم اختيار مجموعة من المصانع تقوم بتجميع وصناعة منتجات مختلفة (أغذية ـ البان ـ مشروبات ـ سجاد ـ الومينيوم). ولتحري وحصر طبيعة وحجم الخسائر التي سيمنى بها المشترك الصناعي من جراء إنقطاع الخدمة الكهربائية فقد تم تصميم استبيان تتلخص صياغته في المفاهيم الآتية :

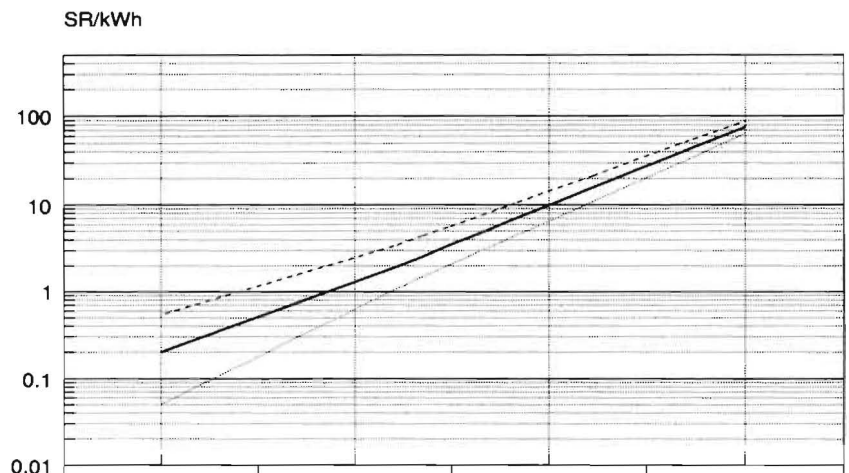
- لون النشاط الصناعي الذي يمارسه المشترك الصناعي.
- معدل الاستهلاك الشهري.
- الآلات والعدد الصناعية التي تعتمد إعتماداً مباشراً على الطاقة الكهربائية.

- افتراض حدوث انقطاعات أثناء فترة مـزاولة النشـاط التجاري واستمـرارها فترات محددة (٢٠ دقيقة، ١ ساعة، ٤ ساعات، ٨ ساعات) في اليوم وعـلى المشـترك أن يقوم بتقـويم الخسائـر التي ربما سيمنى بهـا خلال تلك الفـترات آخذاً في الإعتبار: فقد المبيعات ـ الأجور المدفوعة للموظفين والعاملين دون أن يؤدوا عملهم ـ فسـاد الأغذيـة ـ عطب أو تعـطُّل الآلات ـ أي خسـائـر أخرى.
- مدى أهمية الإنذارات المبكرة وتأثير ذلك في خفض تكاليف الإنقطاعات.
- أنظمة طـوارىء (ان وجدت) وأنـواعها وأهميتهـا كمصادر بـديلة في تخفيف الخسائر المحتملة.

وعـلى ضوء المعلومـات والأرقام التي أدلت بهـا تلك الفئات التي عني البحث بدراسة حالاتها فقد جرى تقـويم التكاليف التي ربمـا سيمنون بهـا حال تعـرضهم لإنقطاعات الخدمة الكهـربائيـة وهي ممثلة في الشكل (٤) حيث يبـين معدل تغـير التكاليف (SR/kwh) تبعاً لتغير أمد الإنقـطاع (Outage Duration) وقد تم حصرهـا في منحنى واحد. كما ويلاحظ في الشكل (٥) أهمية الإنذارات المبكرة للإنقطاعات المُجَدْولة من قبل شركة الكهرباء حيث تقل الخسائر عنها في الشكل السابق. وقـد لوحظ من البيانات التي أدلى بها المشـتركون أن بعض المؤسسـات التي تعتمد عـلى التبريد لحفظ الأطعمة والمواد الغذائية كالمطاعم الكبـيرة والفنادق ومخـازن التبريـد والأسواق المركزية هم أكثر الفئات التي تحتفظ بأنظمة احتياطيـة كما أنها أيضـاً أكثر الفئات حساسية للإنقطاع وبخاصة إذا تكرر حدوثه أو طال أمده.

٣ ـ ٣ تكاليف الإنقطاعات الكهربائية للمشترك الصناعي :

في هذا القسم من البحث جرى تقويم التكاليف للمشـترك الصناعي نتيجـة انقطاع الخدمـة الكهربـائية، ويعتـبر القطاع الصنـاعي من أكثر القـطاعات تـأثراً بحدوث الإنقطاعات الكهربائية لما له من إعتماد مباشر عليها. والقطاع الصنـاعي



	.33	1	4	8
Lower ———	0.051	0.707	6.448	64.17
Actual ———	0.2	1.117	10.534	75.112
Upper ------	0.544	2.152	14.586	88.227

outage duration (hours)

Fig. 3. **شكل (٣)** : تغير التكاليف للمشترك السكني مع تغير فترات الإنقطاع

٣ ـ ٢ تكاليف الإنقطاعات الكهربائية للمشترك التجاري :

لقد صنف الاستبيان المشترك التجاري إلى ثلاث فئات رئيسية هي : مخازن الأغذية ثم الخدمات العامة ثم الأعمال الصغيرة. وتتلخص أهم الأسئلة التي وجهت لتلك الفئات فيما يلي :

- لون النشاط التجاري الذي يمارسه المشترك.
- معدل الاستهلاك الشهري.
- أنواع الآلات الكهربائية المستخدمة وتسلسل أهميتها.
- عدد مرات الانقطاعات (لا يشمل الأعطال المتسببة من المشترك) خلال السنتين الماضيتين وفترات استمرارها.

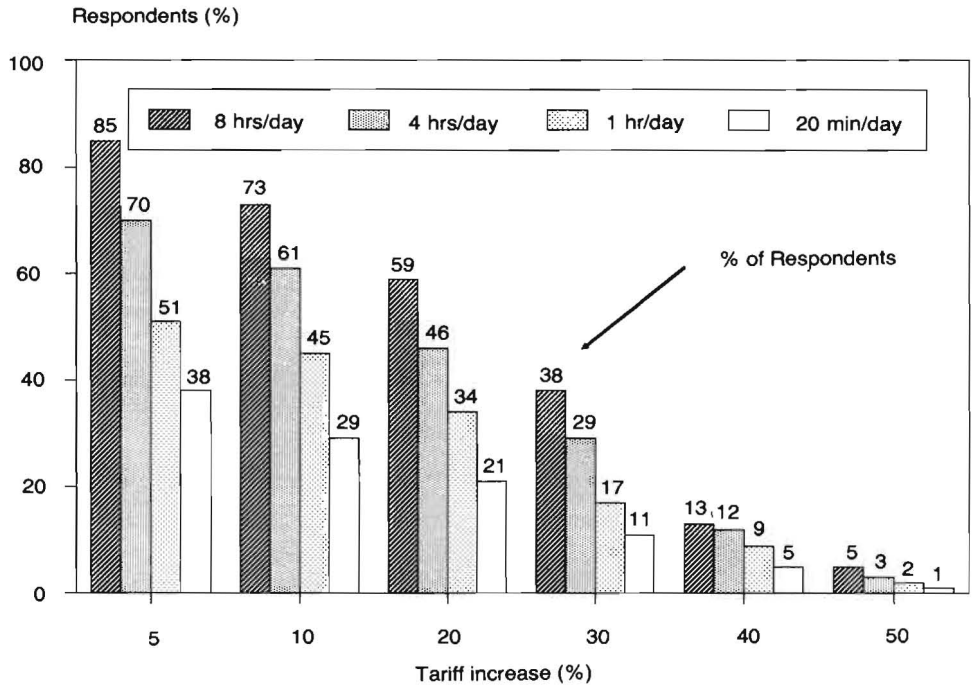


Fig. 2.

شكل (٢) : معدل الزيادة في التعرفة والتي يكون المشترك السكني على استعداد لدفعها لتلافي الإنقطاعات الكهربائية

أما الأسلوب الآخر فقد عني بالتعرف على مدى ما يتكبده المشترك من خسائر مادية أثناء حدوث الإنقطاعات، ولذلك فقد عرض سلسلة من الخيارات أمام المشترك ليقوم بإتخاذ احداها أو بعضاً منها لمجابهة الإنقطاعات والتخفيف من آثارها. ولقد تم تحليل وصياغة تقويم خسائر المتجاوبين وإبرازها في شكل (٣).

ومن الشكل يبدو جلياً أن التكاليف تزداد بشكل متسارع إذا استمر أمد الإنقطاع فترات أطول.

موسم الصيف. كما ويتضح من الردود أيضاً أن المشترك السكني سيفقد الكثير من المتعة والراحة أثناء حدوث الإنقطاعات في فترة المساء خاصة إذ أنها من أهم الفترات بالنسبة له وسيحرم خلالها من ممارسة العديد من نشاطاته العائلية والإجتماعية والترفيهية، وهذا الحرمان من الصعب التحقق منه بشكل ملموس إذ ليس هناك أي معيار مادي يترجم تلك المعاناة النفسية لدى المشترك السكني من جراء انقطاع الخدمة الكهربائية إلى معايير مادية محسوسة. لقد كان من أهم الاعتبارات في تصميم الاستبيان هو أن الأسئلة التي تضمنها هي عبارة عن أسئلة افتراضية لحدوث الإنقطاعات وأن اجابات المشتركين ربما لا تعكس تجارب حقيقية عن خسائر فعلية تكبدوها أثناء وبعد حدوث الإنقطاعات ولذلك فإن الإجابات ستختلف في عملية تصور وتقويم تلك الخسائر، ولذلك فإن هذه المحدودية في عملية التقويم تحتم الأخذ بعينة احصائية كبيرة طالما أن التكاليف لكل انقطاع ستختلف حتماً بين مشترك وآخر وربما أن بعض المشتركين قد لا يتذكر جيداً خسائر سبق أن مني بها أثناء حدوث انقطاعات سابقة أو نادرة الوقوع، لذا رؤي أن تصميم استبيان يتضمن حدوث انقطاعات افتراضية قد يساعده في تصور تلك الآثار التي ربما ستخلفها الإنقطاعات الكهربائية وبالتالي يقوم بتقويم خسائرها وتكاليفها بشكل معقول.

لقد صمم الاستبيان بحيث يشمل نوعين من أساليب تقويم خسائر الإنقطاعات بالنسبة للمشترك السكني أولاهما هو: معدل الزيادة في التعرفة السائدة حالياً حيث سئل المشترك عن رأيه في زيادة التعرفة مقابل زيادة متانة النظام الكهربائي وتقليل الإنقطاعات. ولقد لوحظ أن غالبية المشتركين [(أنظر شكل (٢)] يقبلون أن يكون هناك زيادة في التعرفة قد تصل إلى ٢٠٪ عندما يطول أمد الإنقطاع (بين ٤ ـ ٨ ساعات يومياً). ومن الملاحظ أيضاً عدم قناعتهم بزيادة التعرفة عندما تكون فترات الإنقطاعات قليلة (٢٠ دقيقة مثلاً).

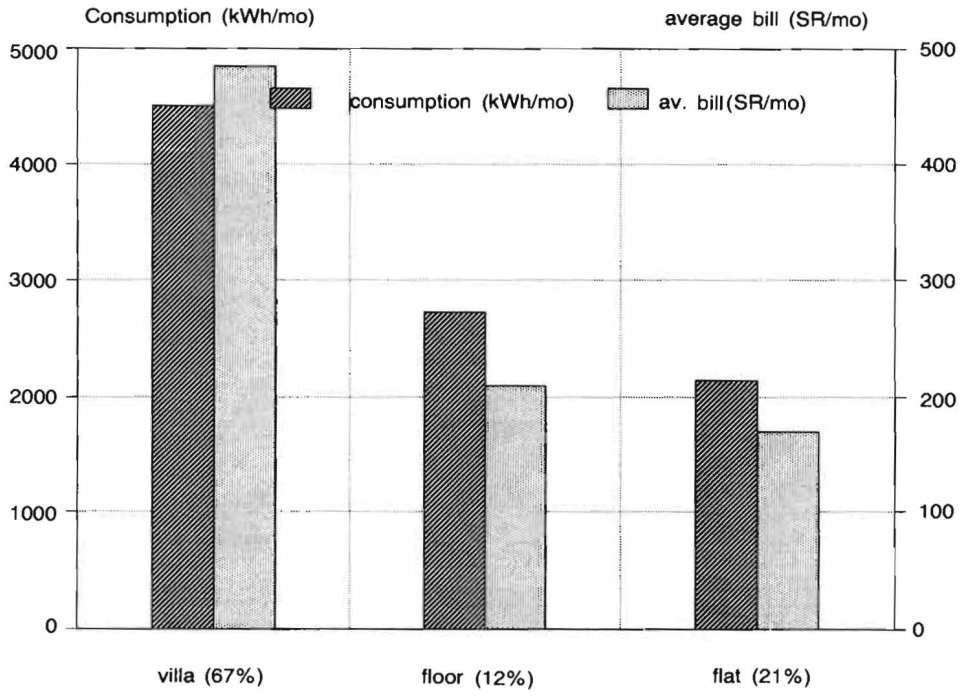


Fig. 1. **شكل (١) :** معلومات متنوعة عن المشتركين

وعلى ضوء ردود المتجاوبين أيضاً اتضح أنهم شبه مجمعون على أن الإنقطاعات الكهربائية خلال السنتين الماضيتين لم تتعد إنقطاعاً واحداً كما أن الردود تعكس رأيهم في مستوى متانة واعتمادية النظام الكهربائي حيث توضح ثقة ورضا المشتركين عن مستوى الخدمة الكهربائية التي تقدمها لهم شركة الكهرباء. أما تجاوبهم عن مدى الضيق والحرج الذي سيعانيه المستهلك من جراء إنقطاع الخدمة الكهربائية عندما يحدث في فصل الصيف ويستمر لفترات مختلفة فقد كانت ردودهم تبرز المعاناة واضحة عند حدوث الإنقطاعات كما أنها تزداد بزيادة أمد الإنقطاع حيث أن تلك الفترة هي الفترة الحرجة بالنسبة لضرورة استمرار الطاقة الكهربائية وعدم انقطاعها بسبب الاستخدام المكثف لأجهزة التكييف أثناء

أساتذة، مهندسين، دارسين، رجال أعمال). وحيث أن المشترك السكني يمنى بحالة من التبرم والضيق والمعاناة نتيجة انقطاع الخدمة الكهربائية فتلك حالات نفسية ومعنوية لا يمكن قياسها بأي مقياس أو معيار ومن ثم ترجمتها لقيم مادية محسوسة. وتتلخص أهم الأسئلة التي وجهت للمشتركين السكنيين في الآتي :

- حجم الإستهلاك الشهري للمشترك ومقدار الفاتورة الشهري.
- نوع السكن الذي يقطنه المشترك.
- الدخل الشهري للمشترك.
- عدد مرات انقطاعات الخدمة الكهربائية خلال السنتين الماضيتين.
- مدى المعاناة في عدم التمكن من استخدام الأجهزة المنزلية الهامة كالمكيفات والإنارة والغسالات وأدوات المطبخ خلال الانقطاعات.
- طبيعة النشاطات التي يمارسها المشترك عادة أثناء فترة المساء.
- الخسائر المتوقعة نتيجة استمرار أمد الانقطاع لفترات مختلفة ومحددة. (نوعية وتكاليف الاحتياطات كأنوار الطوارىء وحفظ الأطعمة ومصادر ثانوية للطاقة، الخ . .).
- مقدار الزيادة في التعرفة الحالية والتي يكون المشترك على استعداد لدفعها لتلافي (أو التقليل من) حدوث الإنقطاعات لفترات مختلفة.

ومن واقع الردود التي بعث بها المشتركون فأن الشكل (١) يبين معلومات عن المشترك السكني: نوع السكن الذي يقطنه، نسبة الردود من كل فئة، متوسط استهلاكه الشهري، متوسط ما يدفعه المشترك في الشهر لقاء ما يستهلكه من طاقة. وقد أمكن الإفادة من هذه المعلومات في الوصول إلى نتائج معينة.

حساب تكاليف الإعتمادية ومواءمتها بالتكاليف الكلية للنظام بهدف الوصول إلى مستوى أمثل للخدمة الكهربائية. وكما ذكر فإن كل الدراسات التي عملت في هذا المجال في مكان ما قد لا يصلح تطبيقها في مكان آخر وذلك نظراً لتغير الأساليب التحليلية التي يتبناها الباحثون مع تغير الأنظمة الكهربائية وتباين الظروف المكانية والمعيشية للمشتركين وأنماط استهلاكهم واختلاف الفصول. وعلى كل حال فإن هذا النوع من الدراسات له أهمية حيوية لدى المخططين وشركات الكهرباء والإدارات المعنية للوقوف على ماهية وطبيعة خسائر الإنقطاعات وتقدير تكاليفها والإستفادة منها في عملية التخطيط لأنظمة القوى الكهربائية.

٣ ـ غرض البحث ونتائجه :

إن الغرض من هذا البحث هو دراسة ومعرفة آثار الإنقطاعات الكهربائية على المشتركين بمدينة الرياض عاصمة المملكة العربية السعودية حيث تمثل وحدها حوالي ٧٠٪ من الاستهلاك الكلي لمنطقة إمتياز الشركة السعودية الموحدة للكهرباء في المنطقة الوسطى، وقد جرى ذكر أسلوب العمل بشكل شامل ومفصل في المرجع (Shaalan and Al-Bahrani 1988). وهذا الأسلوب يقوم على أساس استبيانات تمثل مسحاً شاملاً للمشتركين يعنى بمعرفة آرائهم وتقويمهم لآثار الإنقطاعات وعجز الطاقة وتأثير ذلك على حياتهم وأعمالهم. وفيما يلي استعراض شامل للقطاعات المعنية وطبيعة تلك الاستبانات التي وجهت لهم وردودهم عليها وتحليل تلك الردود وإيضاح النتائج المبنية عليها.

٣ ـ ١ تكاليف الإنقطاعات الكهربائية للمستهلك السكني :

إن المعلومات الإحصائية التي استخدمت في هذا البحث بنيت على أساس ١٠٥٢ رد من مشتركين سكنيين تم اختيارهم من بين حوالي ١٧٥٢ استبيان أرسل لهم. وتلك الردود تمثل انماطاً شتى من المواطنين والمقيمين (موظفين،

وعـدم توقفـه، فهناك أبحـاث . (Swedish 1969, Krohm 1978, Koval and Billinton 1979, Munasinghe 1980, Billinton *et al.* 1982, Anderson and Taylor 1986, Wacker and Billinton 1989, Shaalan 1989) عنيت بتقـويم الخسائـر التي يمنى بها المشـتركون عند انقطاع الخدمة الكهربائية. وعند استعـراض الطرق التي استخـدمت في هذه الأعمال نجد أن هناك تبايناً واضحاً في الأساليب المستنبطة والمستخـدمة في تصميم النماذج الخاصة بتقويم تلك الخسائر والتكاليف، وقد يعزى ذلك لسبب اختـلاف الأماكن ومستويات الأنظمة الكهربـائية وطبيعـة الأحمال والـظروف الجويـة ومدى الإمكانيات المتاحة لبعض المشتركين لتقليص حجم الخسائر في حالة حـدوث تلك الإنقطاعات، فمثلاً استخدمت طريقة الاستبيان (Billinton *et al.* 1982) لاستطلاع آراء المشتركين لمعرفة حجم الخسائر التي يمنون بها. فبالنسبة للمشترك السكني كان التركيز على مدى الخسائر التي سيمنى بها في حالة الإنقطاع كتلف الأطعمـة وشراء أدوات الإنارة كالمصابيح والشموع. أما بالنسبة للمشترك التجاري والصناعي فإن معاناتهما تنحصر في توقف الأنشـطة والإنتاج وهـذا بالتـالي سيلحق الضرر بهاتـين الفئتـين من المشتركـين وينجم عنه خسـارة ماديـة فادحـة لهـما سيـما إذا طـال أمـد الإنقطاع.

كذلك استحدثت طريقة احصائيـة (Koval *et al.* 1979) تبين أن تلك الخسـائر تتزايد على نمط غير خطي كلما زاد أمد الإنقطاع. كذلك أعتبر (Munasinghe 1980) أن الخسارة الحقيقية للمشترك السكني تتركز على ما يفقده من منعة أثناء فترة المساء حيث يمـارس فيها أهم نشـاطاتـه العائليـة والاجتـماعيـة وفيهـا الإخـلاد للراحـة والسكـون والـترفيـه. وهنـاك أيضـاً دراسـات (Billinton *et al.* 1982. Wacker and Billinton 1989, Shaalan 1989) عنيت بتقـويم شامـل لظاهـرة الإنقطاعـات ومـدى تـأثيرهـا على مستـويات الخـدمة والـدخل الشخصي والنشـاط التجاري والإنتـاج الصناعي وهي أساساً تعتمد على استبيانات وزعت على فئات مختارة من المشتركين وذلك لمعرفة مدى تأثير الإنقطاعات وحصر خسائرها وتكاليفهـا. تم أيضاً (Allan and Shaalan 1986, 1988) استخدام معامل الطاقة غير المتاحة نتيجة الإنقطاعـات في

المعاناة أيضاً بالنسبة لطبيعة المشترك ووقت حدوث الإنقطاع وطول أمده. فمثلاً لو استمر الإنقطاع فترات أطول سيكون هناك بلا شك الكثير من الخسائر المادية الجسيمة والمعاناة النفسية الحادة.

وقد كان هناك بحوث ودراسات عديدة تعرضت لدراسة هذه الظاهرة، أسبابها وتحري آثارها ونتائجها والتحقق من الخسائر المادية والمعاناة النفسية للمشترك عند حدوث الإنقطاعات وذلك بغية التعرف على مدى متانة النظام الكهربائي ومن ثم الوصول إلى أفضل مستويات الاعتمادية لضمان تدفق مستمر للخدمة الكهربائية وبتكاليف معقولة.

٢ ـ استعراض الأعمال التي تمت في مجال البحث:

حدث خلال العقد الأخير اهتمام متزايد ومستمر في التحري والبحث في مستوى الخدمة المطلوب من جانب المهتمين والباحثين وشركات الكهرباء لضمان تدفق مستمر للطاقة الكهربائية. ونتيجة لهذا الاهتمام إزداد عدد الكتب التي أُلفت والأبحاث والدراسات التي أجريت في هذا المجال، ومن بينها تلك التي عملت في مجال تكاليف انقطاع الخدمة الكهربائية (Outage Cost Estimation) وذلك لتقويم الخسائر التي يمنى بها المشتركون على اختلاف فئاتهم أثناء حدوث الإنقطاعات الكهربائية وهي التي تحدث عادة نتيجة الفشل الذي يصيب المنظومة الكهربائية سواء في وحدات التوليد أو شبكات النقل أو التوزيع. والفشل القسري هو الذي يحظى عادة باهتمام المخططين والمهندسين والباحثين في هذا المجال وذلك لأنه عادة يحدث بشكل فجائي وغير متوقع وقد يكون في فصل الصيف وفي حالة وقوع الأحمال الذروية أو في فترات معينة تكون الحاجة إلى الطاقة الكهربائية فيها أكبر ما يمكن، أو قد تصيب بالضرر صنفاً معيناً من المشتركين مثل مخازن الأغذية (Supermarkets) والثلاجات (Cold Stores) والتي تعتمد على التبريد في تخزين وحفظ الأغذية، والمصانع التي تعتمد عادةً على توفر الطاقة لاستمرار الإنتاج

(Standbys) حيث يجب توافرها وبخاصة لدى المشترك التجاري والصناعي كإجراء احتياطي يعول عليه لتلافي الإنقطاعات أو على الأقل لتخفيف آثارها.

ان المعلومات والنتائج التي تبرزها هذه الدراسة تسهم إلى حد كبير في خدمة مخططي ومهندسي أنظمة القوى الكهربائية عند تقويم تكاليف وفوائد (Cost/Benefit) خطط التوسع المستقبلية لأنظمة القوى لاختيار الأفضل أداء والأقل تكلفة منها. كذلك يمكن الإستفادة منها لمقارنتها بنتائج دراسات مماثلة في أماكن وظروف أخرى.

١ ـ المقدمـــة :

تحدث الإنقطاعات الكهربائية عادة بسبب عجز في قدرة التوليد أو عدم كفاية خطوط النقل وأنظمة التوزيع. وينتج ذلك عادة من سوء التخطيط وعدم الأخذ في الحسبان الزيادة السريعة في الأحمال المستقبلية فلا يكون هناك إضافة لقدرات التوليد أو تعزيزاً لأنظمة النقل والتوزيع في فترات معينة (مراحل التخطيط). والخسائر التي يمنى بها المشتركون من جراء انقطاع الخدمة الكهربائية تكون عادة كبيرة. فبالنسبة للمستهلك السكني يكون هناك الضيق والحرج وعدم الراحة، وهذه العوامل النفسية من الصعب قياسها وترجمتها إلى قيم مادية. ولكن قد تختلف هذه المعاناة فقد تكون أقل وطأة إذا حدثت الإنقطاعات في الشتاء مثلاً أو في فترة الربيع أو الخريف، حيث أن الإستهلاك السكني يكون مرتفعاً عادة في الصيف نتيجة استخدام المكيفات. وقد تكون أقل معاناة إذا حدثت في النهار عنها في الليل حيث الحاجة إلى الإنارة وحيث أن معظم الأنشطة المنزلية تحدث عادة في المساء. أما بالنسبة للمستهلك التجاري فسيمنى بخسارة مادية حيث سيضطر إلى إغلاق متجره حتى تعود الخدمة الكهربائية ثانية، وهناك خسارة فادحة سيمنى بها المستهلك الصناعي حيث أن حرمانه من الطاقة الكهربائية سيسبب شللاً في العمل وتوقفاً في الإنتاج وبالتالي فقدان المبيعات، ومما يزيد في المعاناة والخسارة أن تأتي الإنقطاعات مفاجئة ودون سابق إنذار وهذا قد لا يتيح الوقت الكافي أمام المشترك لتلافي الخسائر المحتملة وذلك بإيجاد وسائل بديلة لإستمرار الطاقة والحيلولة دون وقوع خسائر مادية أو معاناة نفسية. وقد تختلف درجات هذه

تأثير انقطاعات الخدمة الكهربائية على المشتركين وحساب تكاليفها

عبدالله محمد الشعلان

قسم الهندسة الكهربائية ـ كلية الهندسة ـ جامعة الملك سعود ـ
ص . ب : ٨٠٠ ـ الرياض ١١٤٢١ ـ المملكة العربية السعودية

خلاصة : يبرز هذا البحث دراسة أجريت لتحري آثار انقطاعات الخدمة الكهربائية وحساب تكاليفها والتي يمنى بها المشتركون نتيجة الخلل والأعطال غير المتوقعة (Unexpected Outages) التي تحدث عادة في محطات القوى وشبكات النقل وأنظمة التوزيع للأنظمة الكهربائية .

ولقد تم اختيار فئات رئيسية من المشتركين (السكني والتجاري والصناعي) بمدينة الرياض كتطبيق عملي للدراسة والأساليب التي تم استنباطها .

ولقد تم في هذا البحث تصميم مسح استبياني (Survey Questionnaires) جرى توزيعه على المشتركين (مناولة أو بالبريد) ليقوموا بأنفسهم بتصور وتقويم الخسائر التي ربما سيمنون بها أثناء وبعد حدوث الإنقطاعات .

ولقد أوضحت النتائج التي تم الوصول إليها أن هناك معاناة نفسية حادة وخسائر مادية جمة سيمنى بها المشتركون على اختلاف فئاتهم إذا حدثت تلك الإنقطاعات في فترات معينة وامتد أمدها فترات أطول . فبالنسبة للمشترك السكني (Residential) فقد أوضحت النتائج بأن معظم الخسائر تتركز في المعاناة النفسية كالضيق والتبرم . وهذه الخسائر ـ وإن كان من غير السهل تقويمها بالمعايير المادية ـ قد تكون أكبر حجماً وأعمق تأثيراً من الخسائر المادية والتي تتمثل في تلف الأطعمة مثلاً أو شراء بعض الإحتياطات الضرورية التي ربما يتخذها المشترك أثناء الإنقطاعات لتفاديها أو التقليل من أضرارها .

وبالنسبة للمشترك التجاري والصناعي (Commercial & Industrial) فقد أوضحت الدراسة بأن هذين القطاعين سيمنيان بخسائر مادية جسيمة بسبب اقفال المحلات التجارية وتوقف حركة الإنتاج والشلل التام الذي سيصيب تلك المرافق نتيجة فقدان الطاقة . ولوحظ أن تلك الخسائر تزداد بنمط غير خطي (Non – Linear) عند إزدياد أمد الإنقطاعات لفترات أطول .

كذلك أظهرت نتائج هذا البحث أنه بالإمكان تلافي الكثير من تلك الخسائر والمعاناة إذا كان بإمكان شركات الكهرباء إخطار المشتركين بوقت كاف (Early Warning) عن توقيت حدوث وأمد الإنقطاعات المُجَدْولة (Scheduled Outages) حتى يتمكنوا من استخدام مصادر بديلة للطاقة