نظام برامجي SECURITY 2 لتحليل الأحداث المحتملة وتصميم الإجراءات الوقائية لضمان تشغيل آمن لنظم القدرة الكهربائية

الدكتور علي حمزة الدكتور نبيل الفقيه

قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

الملخص

في هذا البحث تم تطوير هام للنظام البرامجي Security 1 لتحليل أمان نظام القدرة الكهربائية الذي كان قد قُبل للنشر في مجلة جامعة دمشق. النظام البرامجي Security 2 الجديد لا يقوم فقط بتحليل الأحداث المحتملة التي يمكن أن يتعرض لها نظام القدرة الكهربائية من حيث جريان الاستطاعة الفعلية، ويكشف الخطوط المحمّلة تحميلاً زائداً، بل يستخدم أيضاً تقانة البرمجة الخطية لتعديل استراتيجية التوليد وتقنين بعض الأحمال كإجراء تصحيح وقائي لإزالة التحميل الزائد عن الخطوط المرهقة. لقد تم تصميم النظام البرامجي بلغة تربو باسكال ووفق شاشات حوار مع المستخدم، وتم التثبت من صحته بتطبيقه على شبكات عملية اختبارية، كما استخدم لتحليل الأمان لجزء من الشبكة السورية لتوتر 230 ك ف. وتبين من خلال النتائج أن البرنامج فعال ومرن وقادر على تنفيذ وظائفه بدقة مقبولة وسرعة قياسية على الرغم من استخدام النماذج الخطية في بنائه.

وتجدر الإشارة إلى أن النظام البرامجي المنجز هو أول نظام برامجي يصمم وينفذ في القطر لتقدير أمان الشبكات الكهربائية واقتراح الإجراءات التصحيحية الوقائية. وهذا النظام البرامجي يمكن أنَّ يكون ذا أهمية كبيرة لمركز التنسيق في إطار التخطيط التشغيلي لنظام القدرة في سورية.

1 ـ مقدمة

كنا قد نشرنا بحثاً في مجلة محكمة / ١ / عرضنا فيه النظام البرامجي Security 1 الذي صممناه ونفذناه لتحليل أمان نظم القدرة الكهربائية باستخدام النماذج الخطية. وقد بُني البرنامج استناداً إلى تقانتي جريان الحمولة الخطي وعوامل الحساسية لأهم الأحداث التي قد يتعرض لها نظام القدرة مثل انقطاع خط و/ أو انقطاع توليد. وقد صممت خوارزمية تحليل الأحداث المحتملة بحيث يمكن تقويم أمان أي نظام قدرة كهربائية من حيث جريان الاستطاعة الفعلية. ويقوم ذلك البرنامج آلياً بتمثيل الأحداث المحتملة للخطوط ولمحطات التوليد جميعها بحيث يقوم بإظهار الخطوط المحملة تحميلاً زائداً (ونسميها الخطوط المرهقة overloaded lines) مع بيان نسبة الزيادة في التحميل، مما يعطي المشغّل في مركز التنسيق صورة مسبقة عن وضع الشبكة في حالة الأعطال قبل حدوثها الفعلي . وهنا يبرز سؤال هام :

ما هي الإجراءات التصحيحية التي يُنصح المشغل بتنفيذها للتخفيف ما أمكن من حالات التحميل الزائد

للخطوط في حالات الطوارئ ؟ الإجابة عن هذا السؤال بالذات هو موضوع بحثنا الحالي .

لقد قمنا بتطوير البرنامج Security 1 بحيث يتم تعديل استراتيجية التوليد بالاعتماد على تقانة البرمجة الخطية Linear Programming ، وهي كما نعلم تقانة رياضية تعطي الحل الأمثل Optimal Solution لمسألة هندسية بعد أن يتم صياغة النموذج الرياضي لها .

والجدير بالذكر أن الدراسة المرجعية التي قمنا بها أكدت أن الكتب والدوريات التي تعالج مسألة الأمان لم تنشر أية برامج يمكن اقتباسها أو الاعتماد عليها .

2 - النموذج الرياضي Mathematical Model

2 - 1 مقدمة

يعدُّ تعديل استراتيجية التوليد (أي تعديل حصة كل محطة توليد في تغطية الأحمال) مخففاً إذا أدى ذلك إلى إزالة التحميل الزائد عن خط مرهق ، ولكن في الوقت ذاته خلق إرهاقاً لخط آخر .

ويتعقد الوضع أكثر إذا كان المطلوب تعديل استراتيجية التوليد بهدف إزالة التحميل الزائد عن عدة خطوط مرهقة معاً في الوقت نفسه وعدم خلق إرهاق لخطوط أخرى. ولحسن الحظ ثمة أداة رياضية هامة يمكنها أن تساعد في معالجة هذه المسألة وهي البرمجة الخطية (LP). وحتى نحل مسألة ما باستخدام LP علينا أن نصوغ النموذج الرياضي الذي تتطلبه طريقة سمبلكس Simplex التي بواسطتها نحصل على الحل المطلوب / 2 /.

2 - 2 صياغة المقيدات Formulation of Constraints

الجريان الجديد في أي خط ij من الشبكة بعد إجراء تعديل في التوليد لأجل باسات التوليد m جميعها / 1 /:

$$P_{ij}^{new} = P_{ij}^{old} + \sum_{m=1}^{n} g_{ij,m} * \Delta P_m \qquad (1)$$

حيث:

P_{ij}^{old} = الاستطاعة الجارية في الخط ij قبل تغير التوليد.

P_{ij}^{new} = الاستطاعة الجارية في الخط ij بعد تغير التوليد.

ΔP_m = التغير في استطاعة التوليد للباس m .

n = عدد باسات التوليد.

$g_{ij,m}$ = عامل حساسية الخط ij تجاه التغير في استطاعة التوليد على الباس m.

مقيّد جريان الخط Line flow Constraint

إن الجريان الجديد ينبغي أن يكون دوماً أقل من جريان أعظمي P_{ij}^{max} (وهذا الحد الأعظمي يمكن أن

يكون الحد الحراري لخط النقل أو حد الاستقرار الدائم، أيهما أقل/1/).

$$-P_{ij}^{max} \le P_{ij}^{new} \le P_{ij}^{max}$$

وباعتبار المعادلة (١) وبالفصل إلى متراجحتين نجد:

$$\sum_{m=1}^{n} g_{ij,m} * \Delta P_m \le P_{ij}^{max} - P_{ij}^{old} \qquad (2a)$$

$$\sum_{m=1}^{n} g_{ij,m} * \Delta P_m \ge -P_{ij}^{max} - P_{ij}^{old} \qquad (2b)$$

ونعتمد الاستطاعات ΔP_m كمتحولات قرار Decision variables لمنظومة LP.
ونظراً لأن طريقة سمبلكس تتعامل فقط مع متحولات موجبة فنستخدم العلاقة:

$$\Delta P_m = \Delta P_m^+ - \Delta P_m^- \qquad (٣)$$

حيث:

ΔP_m^+ = مقدار رفع الاستطاعة P_m على الباس m.

ΔP_m^- = مقدار خفض الاستطاعة P_m على الباس m.

مقيّد تغطية الأحمال Loads covering constraint

مجموع استطاعات التوليد يجب أن تساوي دوماً مجموع استطاعات الأحمال بافتراض إهمال الضياعات (إهمال الضياعات الفعلية تتطلب تقانة الجريان الخطي المعتمدة).

$$\sum_{m=1}^{n} P_m^{new} = P_{load} \qquad (٤)$$

$$\sum_{m=1}^{n} P_m^{old} = P_{load} \qquad (٥)$$

من المعادلات(1) و (3) و (4) و (5) نجد:

$$\sum_{m=1}^{n} P_m^{new} = \sum_{m=1}^{n} (P_m^{old} + \Delta P_m^+ - \Delta P_m^-) = P_{load}$$

$$= \sum_{m=1}^{n} P_m^{old} + \sum_{m=1}^{n} (\Delta P_m^+ - \Delta P_m^-) = P_{load}$$

ومنه:

$$\sum_{m=1}^{n}(\Delta P_m^+ - \Delta P_m^-) = 0 \qquad (٦)$$

وتنص المعادلة الأخيرة (6) على أن المجموع الجبري لتغيرات استطاعات التوليد للمولدات كافة يجب أن تساوي الصفر، وذلك لتحقيق التغطية الكاملة للأحمال.

مقيّد تعديل استطاعة التوليد Generation Shift constraint:

كل مولد يستطيع توليد استطاعة عظمى P_m^{max} ولا يسمح له بالعمل لتوليد استطاعة أقل من حد أصغري P_m^{min}، أي:

$$P_m^{min} \le P_m \le P_m^{max} \qquad (٧)$$

ونظراً لأن متحولات القرار المناسبة للبرمجة الخطية هي ΔP_m^+ و ΔP_m^- وليست P_m، فلابد من تعديل المقيد في المعادلة (7) إلى:

$$0 \le \Delta P_m^+ \le P_m^{max} - P_m^{old} \qquad (٨)$$

$$0 \le \Delta P_m^- \le P_m^{old} - P_m^{min}$$

حيث m تأخذ القيم من ١ إلىn.

2 - 3 صياغة تابع الهدف Objective Function:

نفترض أن استراتيجية التوليد الابتدائية (أي قبل حصول الأحداث الطارئة) تحقق التشغيل الاقتصادي للنظام. ولكي لا نبتعد كثيراً عن هذا الوضع الأمثل للتشغيل يجب أن يكون مجموع تعديلات استطاعات التوليد أصغرياً. وتأسيساً على ذلك نصوغ تابع الهدف بالعلاقة:

$$\text{Minimize} \qquad \sum_{m=1}^{n} K(\Delta P_m^+ + \Delta P_m^-) \qquad (٩)$$

حيث K عدد كبير موجب.

2 - 4 النموذج الرياضي النهائي لعملية البرمجة الخطية:

من الفقرات (2-1) إلى (2-3) نستنتج النموذج الرياضي التالي:

$$
\begin{aligned}
&\text{Minimize} && \sum_{m=1}^{n} K(\Delta P_m^+ + \Delta P_m^-) \\
&&& \text{Subject to :} \\
&\text{(a)} && \sum_{m=1}^{n} (\Delta P_m^+ + \Delta P_m^-) = 0 \\
&\text{(b)} && \sum_{m=1}^{n} g_{ij,m} (\Delta P_m^+ - \Delta P_m^-) \\
&&& \text{or} \\
&&& \le P_{ij}^{max} - P_{ij}^{old} \\
&&& \ge -P_{ij}^{max} - P_{ij}^{old}
\end{aligned}
\qquad (١٠)
$$

ونستخدم إحدى المتراجحتين فقط حسب إشارة الحد الأعظمي موضع الاهتمام.

$$
\begin{aligned}
&\text{(c)} && 0 \le \Delta P_m^+ \le P_m^{max} - P_m^{old} \\
&&& 0 \le \Delta P_m^- \le P_m^{old} - P_m^{min}
\end{aligned}
$$

لأجل $m = 1 \ldots n$.

3 ـ الخوارزمية Algorithm

يبين الشكل 1 المخطط الصندوقي لخوارزمية النظام البرامجي Secuntj 2 والتي تتضمن بالإضافة إلى خوارزمية النظام البرامجي الذي سبق نشره /1/ فرعاً خاصاً بالإجراءات التصحيحية الوقائية؛ والتي يبين الشكل 2 مخططاً انسيابياً لها. والفكرة الأساسية لهذه الإجراءات هي تصحيح تعديل استراتيجية التوليد في نظام القدرة.

إن هدف عملية تصحيح استراتيجية التوليد لنظام القدرة الكهربائية بأكمله باستخدام البرمجة الخطية، يتلخص بالتوصل إلى جريانات في الخطوط ضمن الحد المسموح به وبحيث تكون تعديلاته استراتيجية التوليد أقل ما يمكن كي لا يحصل انحراف كبير عن نمط التشغيل الاقتصادي لنظام القدرة. ونميز في الخوارزمية بين نوعين من الإجراءات التصحيحية الوقائية:

II - إجراءات تصحيحية لجريان المحمولة في حالة تشغيل النظام دون تعرضه لأعطال.

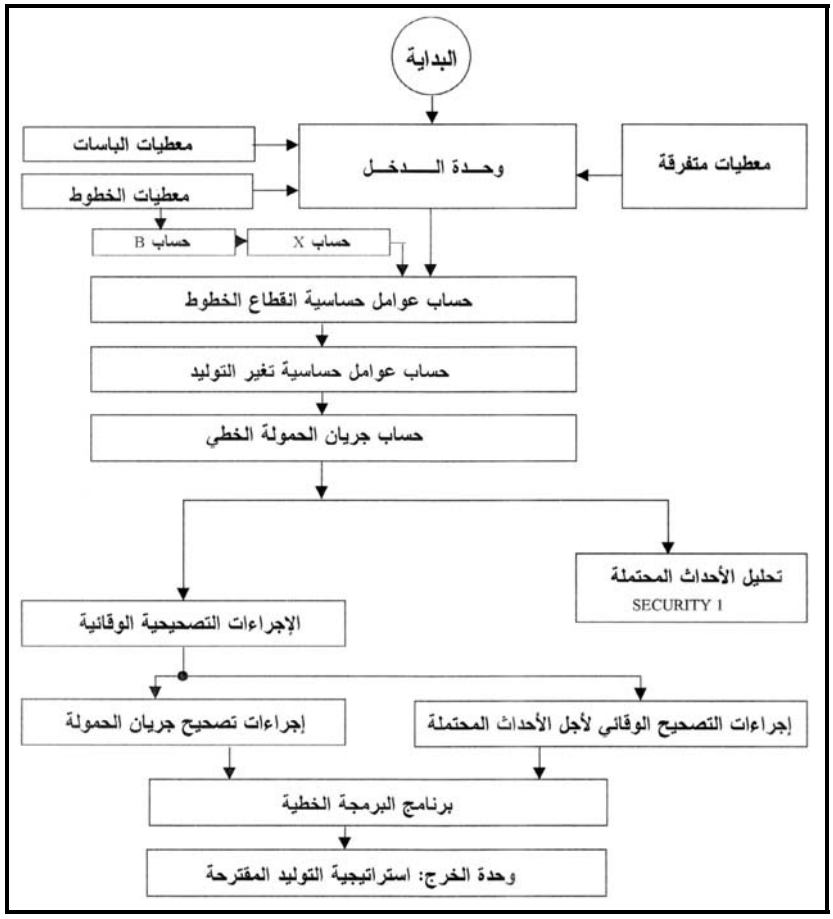
II - إجراءات تصحيحية لجريان الحمولة في حالة تشغيل النظام بافتراض أعطال محتملة.

ويتم إعداد النموذج الرياضي المناسب لتقانة البرمجة الخطية عن طريق تشكيل تابع الهدف وعدد من المقيدات وفق التالي:

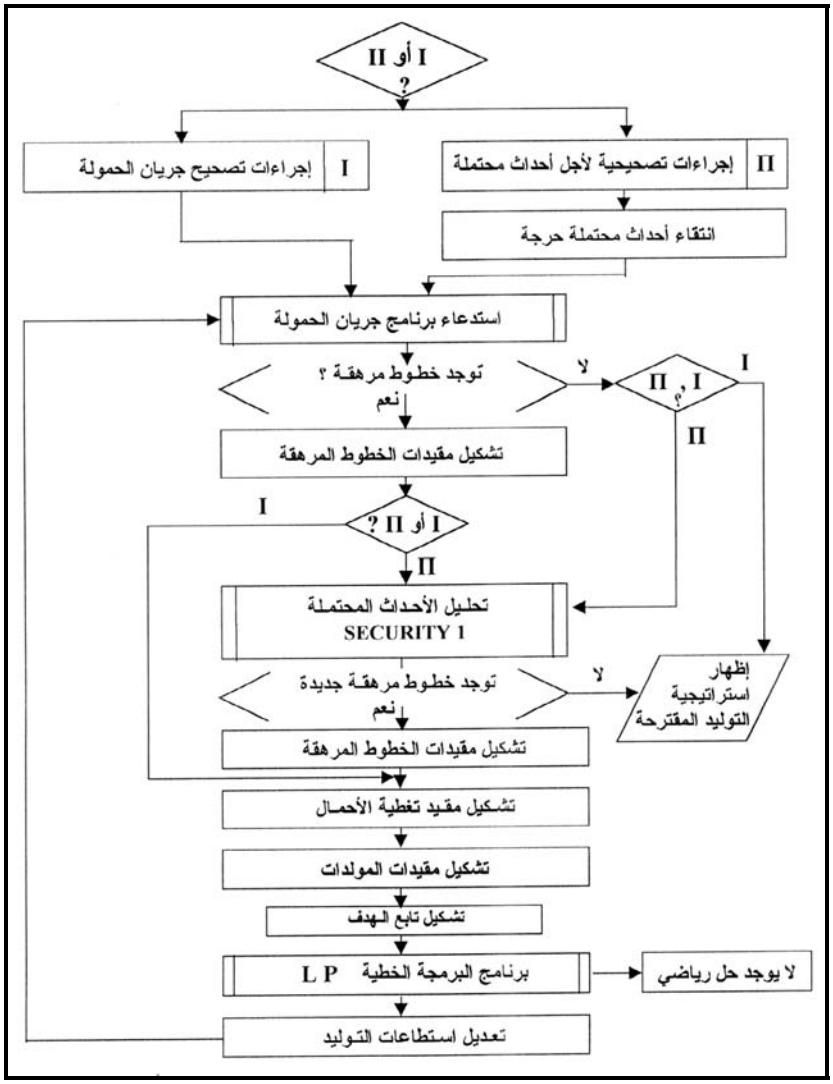
- مُقيّد تغطية الأحمال.
- مقيدات استطاعة التوليد للمولدات كافة.
- مقيد جريان لكل خط مرهق سواء في النمط I أم النمط II.

وبعد إجراء الحل بواسطة البرمجة الخطية تبدأ مرحلة حساب جديدة تتميز باستراتيجية توليد معدلة تعديلاً أولياً وينجز في هذه المرحلة حساب جريان حمولة خطي جديد للنمط I أو للنمط II، ثم تحليل أحداث محتملة جديد للنمطII فقط ـ قد يتمخض عنها ظهور تحميل زائد في خطوط جديدة. ويعطي الحل الجديد استراتيجية توليد جديدة وتتكرر هذه العمليات إلى إلى أن يزال التحميل الزائد لأجل الخطوط كافة أو تظهر رسالة تشير إلى عدم إمكانية وجود حل رياضي للمسألة. ويمكن محاولة إيجاد حل عن طريق إجراء بعض التعديلات على القيود العائدة لاستطاعات التوليد للمولدات، أو تعديل معطيات هبوط التوتر المسموح وعامل استطاعة الأحمال، أو تعديل استطاعة بعض الأحمال غير الهامة، أو مزيج من بعض هذه الإجراءات السالفة الذكر.

هذه الخوارزمية المقترحة مبينة في الشكل 2.



الشكل 1: المخطط الصندوقي للنظام البرامجي Security 2


I أو II ؟
I
إجراءات تصحيح جريان الحمولة
II
إجراءات تصحيحية لأجل أحداث محتملة
انتقاء أحداث محتملة حرجة
استدعاء برنامج جريان الحمولة
توجد خطوط مرهقة ؟
نعم
لا
I , II ؟
I
II
تشكيل مقيدات الخطوط المرهقة
I أو II ؟
I
II
تحليل الأحداث المحتملة SECURITY 1
توجد خطوط مرهقة جديدة
نعم
لا
إظهار استراتيجية التوليد المقترحة
تشكيل مقيدات الخطوط المرهقة
تشكيل مقيد تغطية الأحمال
تشكيل مقيدات المولدات
تشكيل تابع الهدف
برنامج البرمجة الخطية L P
لا يوجد حل رياضي
تعديل استطاعات التوليد

الشكل 2 : المخطط الانسيابي التفصيلي للإجراءات التصحيحية الوقائية في النظام البرامجي Security 2

4 ـ النظام البرامجي SECUEITY 2

قمنا بتحويل الخوارزمية والنموذج الرياضي إلى نظام برامجي تمت كتابته بلغة تربوباسكال في بيئة تم تصميمها بشكل يسهل على المستخدم التعامل معها. ونبين فيما يلي شاشات الحوار مع المستخدم(الشكل3).

Input Data Contingency **A**nalysis **H**elp

Sensitivity Factors **C**orrection Actions **E**xit

Line Data **B**us Data **H**elp

New Network view New Network View Input Data

Modification Chang Modification Chang **M**ain Menu

Load **F**low Simu.Outage (**L**ine / **G**enerator) **H**elp - Function **M**ain Menu

Load Flow Correction **C**ontingency - Correction **H**elp **M**ain Menu

الشكل 3: شاشات الحوار

ويتألف النظام البرامجي من الوحدات الأساسية التالية:

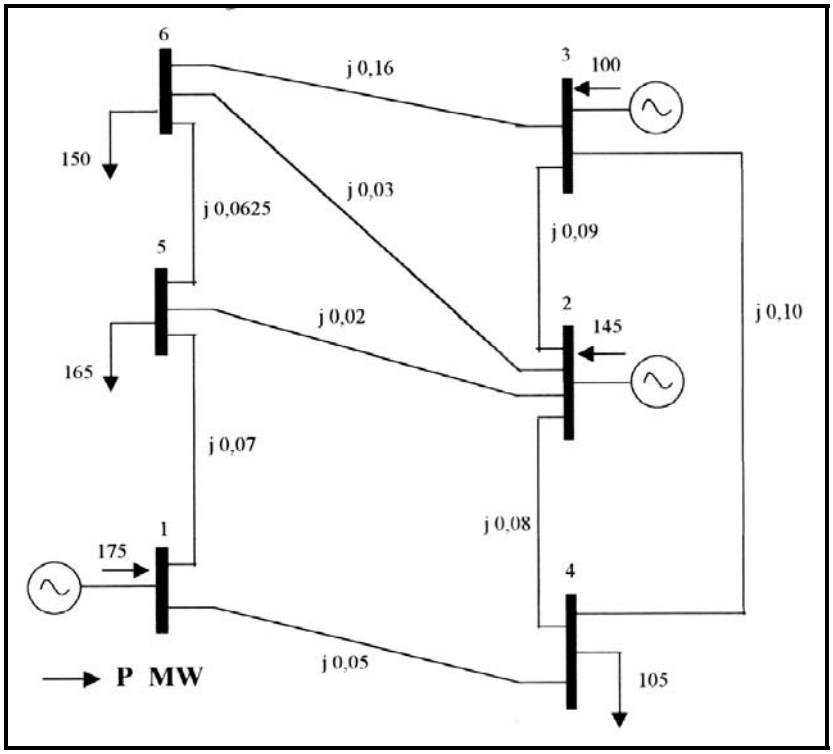
- وحدة الدخل: وتشمل معطيات الباسات (استطاعات التوليد والأحمال)، ومعطيات الخطوط (المفاعلة والحد الحراري للاستطاعة المنقولة)، ومعطيات متفرقة مثل هبوط التوتر النسبي المسموح، وعامل الاستطاعة للأحمال واستطاعة الأساس. وهذه الوحدة تُفعَّل مرة واحدة.
- وحدة حساب مصفوفة المسايرات لنظام القدرة [B] ، وتُفعَّل مرة واحدة.
- وحدة حساب مقلوب مصفوفة المسايرات [X] وتُفعَّل مرة واحدة.
- وحدة حساب عوامل حساسية تعديل التوليد Sensitivity factors for generation shift وتُفعَّل مرة واحدة.
- وحدة حساب عوامل حساسية انقطاع الخطوط وتُفعَّل مرة واحدة Sensitivity line outage factors for.

- وحدة حساب جريان الحمولة الخطي، ويتم استدعاؤها عدة مرات في أثناء عمل البرنامج، في المرة الأولى لأجل حساب جريان الحمولة النظامي، وفي المرات التالية لحساب الجريان لأجل استراتيجيات التوليد المصححة.
- وحدة تحليل الأحداث المحتملة Contingency analysis وتتضمن بشكل أساسي نمذجة انقطاع الخطوط واحداً بعد آخر واكتشاف الخطوط المرهقة نتيجة لذلك.
- وحدة تشكيل النموذج الرياضي الضروري لاستخدام تقانة البرمجة الخطية.
- وحدة حل مسألة البرمجة الخطية بواسطة طريقة سمبلكس Simplex method.
- وحدات الإخراج : نتائج الوحدات السابقة جميعها ممكن إظهارها على شاشة الحاسوب وكذلك يمكن طباعتها اختيارياً.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا النظام البرامجي المطور هو أول برنامج تحليل أمان متكامل لنظام القدرة مع الإجراءات التصحيحية يتم تصميمه وتنفيذه في سورية. وللتثبت من صحة النظام البرامجي فقد طبقناه على العديد من الشبكات الاختبارية، وبعد ذلك استخدمناه لتحليل الأمان في الشبكة السورية.

5 ـ تطبيق البرنامج على شبكة اختبارية:

نفرض الشبكة المبينة في الشكل 4 والمؤلفة من 6 باسات وتسعة خطوط حيث يتم التوليد في الباسات 1 و 2 و3 ونفترض أن استطاعة الأساس 100 MVA وتوتر الأساس 230 kV. ويمكن تغيير معطيات هبوط التوتر المسموح على الخطوط، وعامل الاستطاعة، من قبل المستخدم. ويبين الشكل 5 ملف الدخل للشبكة الاختبارية



الشكل 4 : الشبكة الكهربائية الاختبارية

Line Data for Network: 6an1 9 Lines

No.	from	to	X (pu)	Sthermal
1	1	4	0.050	3.590
2	1	5	0.070	3.590
3	2	3	0.090	3.590
4	2	4	0.080	3.590
5	2	5	0.020	3.590
6	2	6	0.030	3.590
7	3	4	0.100	3.590
8	3	6	0.160	3.590
9	5	6	0.063	3.590

Bus Data for Network 6an1
Sbase = 100 MVA

Bus	P GEN	P LOAD	min P	max P
1	175.0		80.0	250.0
2	145.0		70.0	200.0
3	100.0		50.0	150.0
4		-105.0		
5		-165.0		
6		-150.0		

الشكل 5: ملف الدخل لباسات وخطوط الشبكة الاختبارية

وقد تم اختبار النظام البرامجي بفرعيه I و II :

اختبار وتصحيح جريان الحمولة (I):

نفرض قيماً صغيرة لهبوط التوتر (7%) وعامل الاستطاعة (0.6) ، كي تصغر قيمة الحد الأعظمي لخطوط النقل. وبالفعل بين الحساب أن الخطين 2 و 8 مرهقان (الشكل 6 -آ). وبعد تعديل استراتيجية التوليد وفق برنامج البرمجة الخطية تم إزالة الإرهاق عن الخطين المذكورين كما يوضح الشكل (6 -ب). ويبين الشكل (6 -ج) الإجراءات التصحيحية المقترحة لتعديل استطاعة التوليد للمولدات الثلاث، كما هو موضح في العمود الأخير من الشكل(6 -ج).

Network Name = 6an1
Permissible Voltage Drop % = 7
Power Factor = 6

Pre-Correction No.	from	to	Flow Pij	Flow limit [MW] Thermal	Stability		
1	1	4	83.35	359.00	105.00		
2	1	5	91.64	359.00	75.00	Over-Load by	22.2%
3	2	3	-35.14	359.00	58.33		
4	2	4	-5.54	359.00	65.63		
5	2	5	90.19	359.00	262.50		
6	2	6	95.49	359.00	175.00		
7	3	4	27.19	359.00	52.50		
8	3	6	37.67	359.00	32.81	Over-Load by	14.8%
9	5	6	16.84	359.00	83.33		

الشكل(6 -آ): جريان الحمولة في خطوط الشبكة الاختبارية

Line flows after correction actions

Line No	from	to	Flow [MW]	Flow limit
1	1	4	72.42	105.00
2	1	5	75.00	75.00
3	2	3	-24.33	58.33
4	2	4	5.93	65.63
5	2	5	105.18	262.50
6	2	6	102.01	175.00
7	3	4	26.65	52.50
8	3	6	32.81	32.81
9	5	6	15.18	83.33

الشكل(6 -ب): جريان الحمولة بعد التصحيح (I)

RESULTS OF CORRECTION ACTIONS

Number of Line Flow Constraints = 2

Generator	Final generator output (MW)	Initial generator output (MW)	Shift in generator output (MW)
1	147.42	175.00	-27.58
2	188.79	145.00	43.79
3	83.79	100.00	-16.21

الشكل(6 -ج): الإجراءات التصحيحية المقترحة لتعديل استطاعة التوليد (I)

اختبار الإجراءات الوقائية في حالات الطوارئ (II): الشكل (7)

نفترض الانقطاع التعاقبي للخطوط:2 ، 4، 6، 8 وكذلك نفترض هبوط توتر مسموحاً به 8.9% وعامل استطاعة 0.7 ، ونتيجة لذلك تظهر زيادة تحميل على خطين، وبتطبيق برنامج البرمجة الخطية وتعديل استراتيجية التوليد للمولدات الثلاث، نضمن تشغيل الشبكة بشكل آمن كما يبين الجريان في الخطوط بعد التصحيح.

6 – تحليل الأمان واقتراح الإجراءات الوقائية للشبكة السورية توتر 230 kV

لأجل إبراز مقدرة النظام البرامجي المطور في تحليل شامل للأمان لشبكة كبيرة نسبياً، فقد اخترنا جزءاً من شبكة التوتر العالي السورية التي أمكننا الحصول على معلومات له، مع العلم أن البرنامج صالح لتحليل الأمان الشامل لأية شبكة. وتتألف الشبكة السورية المدروسة من 27 باساً (6 باسات توليد و 21 باس أحمال) و 34 خطاً كما هو مبين بالشكل 8.

ويوضح الشكل 9 ملف الدخل للباسات والخطوط.

وقد أجرينا تحليل الأمان وتصميم الإجراءات التصحيحية الوقائية لأجل قيم مختلفة لهبوط التوتر المسموح وعامل الاستطاعة و لانقطاعات خطوط عديدة.

Network Name: 6an1
Permissible Voltage Drop = 8.9%
Power Factor = 0.70

Overloaded lines for line outages

Line No	Flow (MW)	Limit (MW)	
Line 2 is opened			
1	175.00	174.47	Overloaded by 0.3 %
Line 4 is opened			
Line 6 is opened			
8	63.27	54.52	Overloaded by 16.0 %
Line 8 is opened			

Contingency-Correction for Outage of lines:
2 4 6 8
Line flows after correction actions

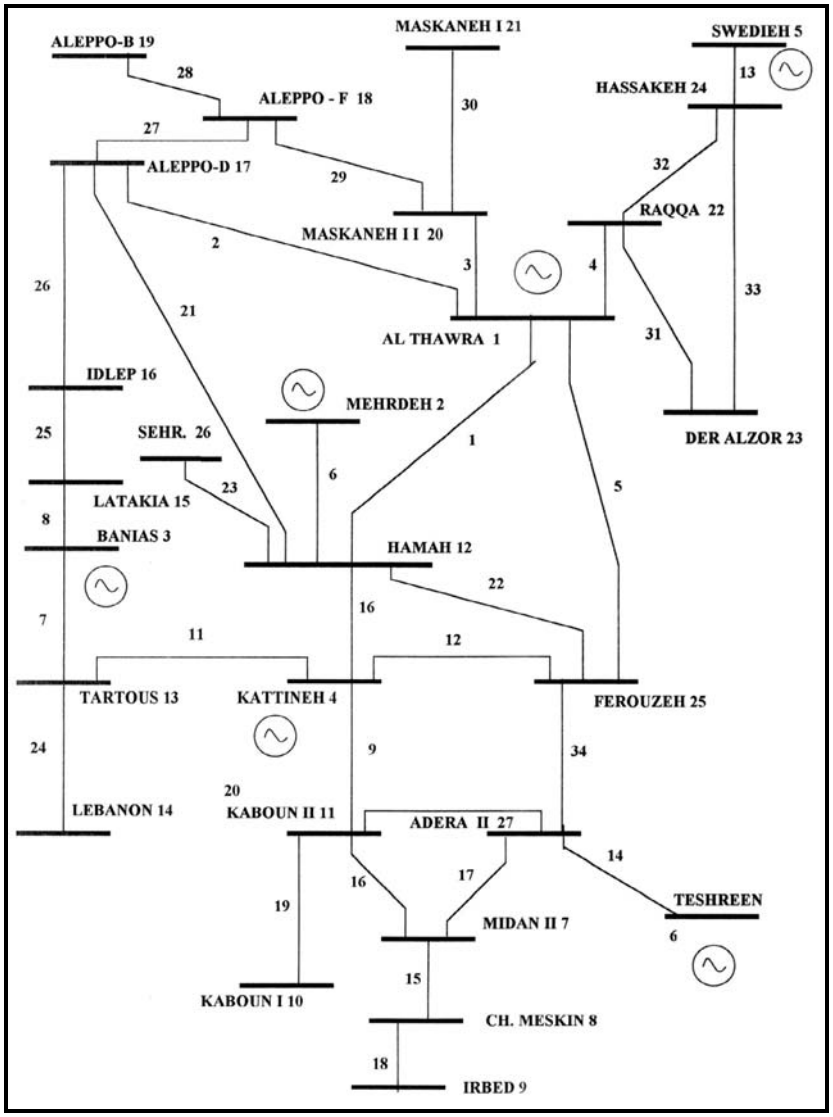
Line No	from	to	Flow [MW]	Flow limit
1	1	4	87.84	174.47
2	1	5	86.63	124.62
3	2	3	-12.22	96.93
4	2	4	3.42	109.05
5	2	5	97.29	359.00
6	2	6	104.59	290.79
7	3	4	13.74	87.24
8	3	6	26.49	54.52
9	5	6	18.92	138.47

RESULTS OF CORRECTION ACTIONS

Number of Line Flow Constraints = 2

Generator	Final generator output (MW)	Initial generator output (MW)	Shift in generator output (MW)
1	174.48	175.00	-0.52
2	193.07	145.00	48.07
3	52.45	100.00	-47.55

الشكل7: نتائج الإجراءات الوقائية حالة الطوارئ (II)



الشكل 8 : جزء من الشبكة السورية 230 kV

Line Data for Network: syr1 34 Lines

No.	from	to	X (pu)	Sthermal
1	1	12	0.148	3.590
2	1	17	0.122	3.590
3	1	20	0.068	3.590
4	1	22	0.041	3.590
5	1	25	0.016	3.590
6	2	12	0.007	3.590
7	3	13	0.014	3.590
8	3	15	0.039	3.590
9	4	11	0.106	3.590
10	4	12	0.049	3.590
11	4	13	0.062	3.590
12	4	25	0.016	3.590
13	5	24	0.108	3.590
14	6	27	0.030	3.590
15	7	8	0.057	3.590
16	7	11	0.011	3.590
17	7	27	0.027	3.590
18	8	9	0.043	3.590
19	10	11	0.002	3.590
20	11	27	0.029	3.590
21	12	17	0.091	3.590
22	12	25	0.044	3.590
23	12	26	0.002	3.590
24	13	14	0.003	3.590
25	15	16	0.086	3.590
26	16	17	0.041	3.590
27	17	18	0.013	3.590
28	18	19	0.011	3.590
29	18	20	0.077	3.590
30	20	21	0.001	3.590
31	22	23	0.114	3.590
32	22	24	0.134	3.590
33	23	24	0.104	3.590
34	25	27	0.104	3.590

Bus Data for Network syr1
Sbase = 100 MVA

Bus	P GEN	P LOAD	min P	max P
1	550.0		200.0	700.0
2	300.0		180.0	400.0
3	300.0		100.0	400.0
4	60.0		40.0	100.0
5	80.0		50.0	100.0
6	300.0		200.0	400.0
7		-90.0		
8		-90.0		
9		-50.0		
10		-90.0		
11		-90.0		
12		-110.0		
13		-100.0		
14		-70.0		
15		-120.0		
16		-70.0		
17		-90.0		
18		-80.0		
19		-90.0		
20		-30.0		
21		-30.0		
22		-70.0		
23		-70.0		
24		-70.0		
25		-60.0		
26		-20.0		
27		-100.0		

الشكل 9: ملف الدخل لباسات وخطوط الشبكة السورية المدروسة

من خلال مناقشة نتائج الحسابات لأجل تصحيح جريان الحمولة الشكل 10 تبين أنه عند هبوط توتر مسموح به 9% وعامل استطاعة 0.8 يوجد خطان مرهقان هما خط الثورة - حلب د وخط قطينة – قابون 2. وبتعديل استراتيجية التوليد بحيث تخفض استطاعة التوليد في محطة الثورة وتزاد استطاعة التوليد في محطة بانياس وكذلك تزاد استطاعة التوليد في محطة تشرين، بهذا التعديل يمكن إزالة التحميل الزائد عن الخطين المذكورين. أما نتائج الحسابات لأجل تصميم الإجراءات الوقائية في حالات الطوارئ فهي مبينة في الشكل ١١ . ونلاحظ أنه إذا فصلنا الخطوط التالية تباعاً:

الثورة – حلب د، حماه – حلب د، فيروزة – عدرا II.

تصبح الخطوط: قطينة – قابون II و الثورة – حلب د مرهقة. والإجراء الوقائي الذي يقدمه البرنامج هو تعديل استراتيجية التوليد في 4 محطات، كما هو مبين في الجدول الأخير من الشكل ١١.

ويبين الشكل 12 نتائج الحساب في حال فصل تعاقبي لستة خطوط وهي: 2، 3 ، 4، 5، 9، 34. في هذه الحالة يحصل تحميل زائد بنسب مختلفة لأربعة خطوط هي: 2، 6، 34، 9 وفي المحاولة الأولى (تعديل استراتيجية التوليد فقط) لم نحصل على حل رياضي. أما في المحاولة الثانية (تعديل استراتيجية التوليد وعلاوة على ذلك السماح بتعديل بعض الأحمال) فقد توصل البرنامج إلى اقتراح موفق للإجراءات التصحيحية الوقائية المناسبة.

Network Name = syr1
Permissible Voltage Drop % = 9
Power Factor = .8

Pre-Correction No.	Flow from	to	Pij	Flow limit [MW] Thermal	Stability		
1	1	12	11.89	359.00	81.08		
2	1	17	102.52	359.00	98.36	Over-Load by	4.2%
3	1	20	127.33	359.00	176.47		
4	1	22	130.00	359.00	292.68		
5	1	25	178.26	359.00	750.00		
6	2	12	299.99	359.00	1714.29		
7	3	13	137.97	359.00	857.14		
8	3	15	162.03	359.00	307.69		
9	4	11	117.79	359.00	113.21	Over-Load by	4.1%
10	4	12	-38.93	359.00	244.90		
11	4	13	32.03	359.00	193.55		
12	4	25	-50.90	359.00	750.00		
13	5	24	80.00	359.00	111.11		
14	6	27	300.00	359.00	400.00		
15	7	8	140.00	359.00	210.53		
16	7	11	-65.76	359.00	1090.91		
17	7	27	-164.24	359.00	444.44		
18	8	9	50.00	359.00	279.07		
19	10	11	-90.00	359.00	6000.00		
20	11	27	-127.97	359.00	413.79		
21	12	17	118.12	359.00	131.87		
22	12	25	24.84	359.00	272.73		
23	12	26	20.00	359.00	6000.00		
24	13	14	69.99	359.00	4000.00		
25	15	16	42.03	359.00	139.53		
26	16	17	-27.97	359.00	292.68		
27	17	18	102.67	359.00	923.08		
28	18	19	90.00	359.00	1090.91		
29	18	20	-67.33	359.00	155.84		
30	20	21	30.00	359.00	12000.00		
31	22	23	43.52	359.00	105.26		
32	22	24	16.48	359.00	89.55		
33	23	24	-26.48	359.00	115.38		
34	25	27	92.21	359.00	115.38		

Line flows after correction actions

Line No	from	to	Flow [MW]	Flow limit
1	1	12	8.77	81.08
2	1	17	98.36	98.36
3	1	20	124.11	176.47
4	1	22	130.00	292.68
5	1	25	153.16	359.00
6	2	12	299.99	359.00
7	3	13	153.25	359.00
8	3	15	169.92	307.69
9	4	11	113.21	113.21
10	4	12	-34.96	244.90
11	4	13	16.75	193.55
12	4	25	-35.00	359.00
13	5	24	80.00	111.11
14	6	27	312.43	359.00
15	7	8	140.00	210.53
16	7	11	-63.78	359.00
17	7	27	-166.22	359.00
18	8	9	50.00	279.07
19	10	11	-90.00	359.00
20	11	27	-130.57	359.00
21	12	17	117.61	131.87
22	12	25	26.20	272.73
23	12	26	20.00	359.00
24	13	14	69.99	359.00
25	15	16	49.92	139.53
26	16	17	-20.08	292.68
27	17	18	105.89	359.00
28	18	19	90.00	359.00
29	18	20	-64.11	155.84
30	20	21	30.00	359.00
31	22	23	43.52	105.26
32	22	24	16.48	89.55
33	23	24	-26.48	115.38
34	25	27	84.36	115.38

RESULTS OF CORRECTION ACTIONS

Number of Line Flow Constraints = 2

Generator	Final generator output (MW)	Initial generator output (MW)	Shift in generator output (MW)
1	514.40	550.00	-35.60
2	300.00	300.00	0.00
3	323.17	300.00	23.17
4	60.00	60.00	-0.00
5	80.00	80.00	0.00
6	312.43	300.00	12.43

الشكل 10: الإجراءات التصحيحية لجريان الحمولة للشبكة السورية

Network Name: syr1
Permissible Voltage Drop = 10.0%
Power Factor = 0.85

Overloaded lines for line outages

Line No	Flow (MW)	Limit (MW)		
Line 2 is opened				
Line 21 is opened				
2	152.17	132.26	Overloaded by	15.1 %
Line 34 is opened				
9	210.00	152.22	Overloaded by	38.0 %

Contingency-Correction for Outage of lines:
2 21 34

Line flows after correction actions

Line No	from	to	Flow [MW]	Flow limit
1	1	12	-3.81	109.02
2	1	17	82.93	132.26
3	1	20	112.20	237.29
4	1	22	130.00	359.00
5	1	25	51.02	359.00
6	2	12	299.99	359.00
7	3	13	202.50	359.00
8	3	15	197.50	359.00
9	4	11	97.17	152.22
10	4	12	-17.48	329.30
11	4	13	-32.50	260.25
12	4	25	32.69	359.00
13	5	24	80.00	149.40
14	6	27	357.77	359.00
15	7	8	140.00	283.08
16	7	11	-56.83	359.00
17	7	27	-173.17	359.00
18	8	9	50.00	359.00
19	10	11	-90.00	359.00
20	11	27	-139.67	359.00
21	12	17	117.37	177.32
22	12	25	31.35	359.00
23	12	26	20.00	359.00
24	13	14	69.99	359.00
25	15	16	77.50	187.62
26	16	17	7.50	359.00
27	17	18	117.80	359.00
28	18	19	90.00	359.00
29	18	20	-52.20	209.55
30	20	21	30.00	359.00
31	22	23	43.52	141.54
32	22	24	16.48	120.42
33	23	24	-26.48	155.15
34	25	27	55.06	155.15

RESULTS OF CORRECTION ACTIONS

Number of Line Flow Constraints = 2

Generator	Final generator output (MW)	Initial generator output (MW)	Shift in generator output (MW)
1	372.34	550.00	-177.66
2	300.00	300.00	0.00
3	400.00	300.00	100.00
4	79.88	60.00	19.88
5	80.00	80.00	0.00
6	357.77	300.00	57.77

الشكل ١١: نتائج الحساب للإجراءات الوقائية في حالة الطوارئ للشبكة الكهربائية السورية

Network Name: syr1
Permissible Voltage Drop = 10.0%
Power Factor = 0.85

Overloaded lines for line outages

Line No	Flow (MW)	Limit (MW)		
Line 2 is opened				
Line 3 is opened				
2	157.27	132.26	Overloaded by	18.9 %
Line 4 is opened				
6	449.26	359.00	Overloaded by	25.1 %
Line 5 is opened				
2	156.58	132.26	Overloaded by	18.4 %
Line 9 is opened				
34	210.00	155.15	Overloaded by	35.4 %
Line 34 is opened				
9	210.00	152.22	Overloaded by	38.0 %

Contingency-Correction for Outage of lines:
2 3 4 5 9 34

Line flows after correction actions

Line No	from	to	Flow [MW]	Flow limit
1	1	12	-2.89	109.02
2	1	17	83.75	132.26
3	1	20	112.83	237.29
4	1	22	110.00	359.00
5	1	25	63.77	359.00
6	2	12	232.71	359.00
7	3	13	203.56	359.00
8	3	15	196.44	359.00
9	4	11	92.30	152.22
10	4	12	-21.98	329.30
11	4	13	-33.56	260.25
12	4	25	23.23	359.00
13	5	24	100.00	149.40
14	6	27	300.00	359.00
15	7	8	140.00	283.08
16	7	11	-79.74	359.00
17	7	27	-150.27	359.00
18	8	9	50.00	359.00
19	10	11	-89.99	359.00
20	11	27	-109.66	359.00
21	12	17	116.98	177.32
22	12	25	32.92	359.00
23	12	26	20.00	359.00
24	13	14	70.00	359.00
25	15	16	76.44	187.62
26	16	17	6.44	359.00
27	17	18	117.17	359.00
28	18	19	90.00	359.00
29	18	20	-52.83	209.55
30	20	21	29.99	359.00
31	22	23	35.91	141.54
32	22	24	4.09	120.42
33	23	24	-34.09	155.15
34	25	27	59.92	155.15

RESULTS OF CORRECTION ACTIONS

Number of Line Flow Constraints = 5

Generator	Final generator output (MW)	Initial generator output (MW)	Shift in generator output (MW)
1	367.45	550.00	-182.55
2	232.70	300.00	-67.30
3	400.00	300.00	100.00
4	60.00	60.00	0.00
5	100.00	80.00	20.00
6	300.00	300.00	0.00
7	-90.00	-90.00	0.00
8	-90.00	-90.00	0.00
9	-50.00	-50.00	0.00
10	-90.00	-90.00	0.00
11	-32.23	-90.00	57.77
12	-37.93	-110.00	72.07

الشكل 12: نتائج الحساب لأجل تعديل استراتيجية التوليد في بعض الأحمال للشبكة الكهربائية السورية

7 - ملخص واستنتاجات

يبدأ البحث بمقدمة توضح التطوير الأساسي الذي تم إنجازه على النظام البرامجي SECURITY 1 بحيث يستطيع النظام البرامجي الجديد تقديم مقترحات حول الإجراءات التصحيحية الوقائية التي يُنصح المشغل بتنفيذها لإزالة حالات التحميل الزائد المحتمل للخطوط في حالتي التشغيل العادي لنظام القدرة وفي حالة تعرض النظام لأعطال متوقعة. يلي ذلك النموذج الرياضي الذي تم بناؤه استناداً إلى تقانة البرمجة الخطية. وقد صممت الخوارزمية بحيث يمكن تقويم أمان أي نظام قدرة كهربائية من حيث جريان الاستطاعة الفعلية واقتراح الإجراءات الوقائية عن طريق تعديل استطاعات خرج المولدات بعضها أو جميعها. واستناداً إلى هذه الخوارزمية تم تصميم البرنامج بلغة بورلاند تربوباسكال 7 بأسلوب يتيح للمستخدم شاشات حوار مرنة. وقد تم التثبت من صحة البرنامج بتطبيقه على شبكات اختبارية، وتم استخدامه لتحليل الأمان وتقديم الإجراءات الوقائية لجزء من الشبكة السورية توتر 230 kV . وتبين من خلال النتائج أن البرنامج عالي الكفاءة وسرعة إنجاز الحسابات فيه قياسية، ودقتها مقبولة على الرغم من استخدام النماذج الخطية في تصميمه.

وتجدر الإشارة إلى أنه عندما يكون عدد الخطوط المرهقة كبيراً فإن تعديل استراتيجية التوليد لا تلبي تابع الهدف، وفي هذه الحالة لابد من تقنين الأحمال بشكل انتقائي بالإضافة إلى تعديل استطاعة خرج المولدات. والنظام البرامجي قادر على معالجة مثل هذه الحالات.

المراجع

١- حمزة ، علي _ الفقيه ، نبيل: (تصميم وتنفيذ نظام برامجي SECURITY 1 لتحليل أمان نظم القدرة الكهربائية باستخدام النماذج الخطية). بحث قبل للنشر في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية بموجب كتاب رئيس التحرير رقم 6960 / و. د تاريخ 7/12 /1999.

2- Wood A. ,Wollenberg B.: Power Generation, Operation and Control. John Wiley, 1984, 1996.

3- Borland.: Turbo Pascal for Windows , Programming Guide 1991

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق ٢٠٠٠/٦/١٨.