

استعمال شبكات بيز الديناميكية لتقدير المعولية لشبكة ماء الاعظمية

أ.د. لميعة باقر جواد / كلية الادارة والاقتصاد / جامعة بغداد
الباحث / زينب مجبل ابراهيم

المستخلص:

تم في هذا البحث تقدير معولية نظام لشبكة ماء في بغداد . لتقييم ادائها خلال فترة زمنية محددة. حيث تم بناء شجرة الخطأ من خلال البوابات الساكنة والديناميكية وهذه البوابات تمثل العلاقات المنطقية بين الاحداث الاساسية الموجودة في الشبكة وتحليلها بأستخدام شبكات بيز الديناميكية . اذ تم تطبيق شبكات بيز الديناميكية لتقدير المعولية وذلك بترجمة شجرة الخطأ الديناميكية الى شبكة بيز ديناميكية وتقدير المعولية للنظام . اذ تم حساب الاحتمالات الخاصة بكل مرحلة من الشبكة لكل بوابة . اذ ان هناك جزئين لشبكة بيز الديناميكية وهما الجزء المتعلق بالبوابة (AND) والذي يضم الوحدات الثلاثة الاساسية للشبكة (A,B,C) والجزء المتعلق بالبوابة (WSP) والتي تحوي كل من الخزان (D) والبدليل (S) وهي ديناميكية . ثم تم دمج الجزئين معاً بالبوابة الرابطة للبوابتين السابقتين وهي (OR)، وتقدير احتمال العطل الكلي للشبكة والذي من خلاله تم ايجاد المعولية. وقد وضعت نتائج التقدير في جدول يبين تغيير المعولية مع الزمن .

المصطلحات الرئيسية للبحث / المعولية ، شجرة الخطأ ، شبكات بيز .



مجلة العلوم
الاقتصادية والإدارية
العدد ٩٣ المجلد 22
الصفحات ٤١٩٤-٠١

*بحث مستل من رسالة ماجستير.

١. المقدمة

ان دراسة المعولية بالطريقة الديناميكية من المواضيع المهمة للانظمة والشبكات المعقدة والتي من خلالها يمكن معرفة النظام كونه فعال او غير فعال . ولتقدير معولية اي نظام يتم بناء شجرة الخطأ له وذلك من خلال عدة بوابات منطقية ساكنة او ديناميكية . لتحليل هذه الشجرة هناك الكثير من الاساليب الاحصائية والتقنيات الرياضية والكمية المهمة المستخدمة، عل سبيل المثال. اسلوب سلاسل ماركوف واسلوب المحاكاة وغيرها. وتعد شبكات بيز من المواضيع المهمة المستخدمة في العديد من المجالات ومنها الصناعية والطبية والكثير غيرها . لعل من اهم التطورات والتطبيقات الرئيسية للشبكات البيزية هي استخدامها في تحليل المعولية وهو تطور حديث نسبياً^[1] . ويمكن تعريف شبكات بيز بانها شبكات احتمالية موجهة غير دورية مبنية على اساس نظرية الرسم البياني والتي تكون مؤلفة من مجموعة عقد تمثل المتغيرات ومجموعة اقواس تمثل العلاقات الاعتمادية الشرطية بين هذه المتغيرات . وفي هذا البحث سيتم تطبيق شبكات بيز الديناميكية وهي عبارة عن متغيرات عشوائية تتمثل بالعقد وهي مرتبطة بمؤشر الزمن ، وان القوس الذي يربط اثنين من المتغيرات (العقد) التي تنتمي الى شرائح زمنية مختلفة يمثل الاعتماد الاحتمالي الزمني بين هذه المتغيرات. يمكن تحديد الاحتمالات الانتقالية بين المراحل متغيرة الزمن من الزمن t الى الزمن $t+\Delta t$ ولتحديد هذه الاحتمالات يتطلب جدول الاحتمالات الشرطية (CPT) بالنسبة لشرائح الزمن المختلفة^[17] . ويستخدم قانون بيز لتقدير المعولية وتقدير الاحتمالات لكل مرحلة في النظام .

وهناك الكثير من الباحثين المختصين في علوم الاحصاء وبحوث العمليات والهندسة الذين تناولوا في شبكات بيز وشبكات بيز الديناميكية في بحوثهم فمثلاً في عام ٢٠٠١ عرض الباحثون (Bobbio.A, Portinale.L, Minichino.M, Ciancamerla.E)^[9] بحثاً عن حساب المعولية من خلال شجرة الخطأ وتحليل الشبكات البيزية حيث ان استخدام شبكات بيز يضيف قوة اضافية من حيث النمذجة ومستوى التحليل وتم دراسة الانظمة الكبيرة والمعقدة وتم تطبيقها على دراسة الانظمة الالكترونية . في عام ٢٠٠٣ قدم الباحثان (Weber.P, Jouffe.L)^[17] بحثاً عرضاً فيه منهجية لتطوير استخدام الشبكات البيزية الديناميكية لدراسة انظمة معقدة ولتحسين التشخيص واستراتيجيات الصيانة لنظام (صمام) وذلك لحساب المعولية ومقارنة النتائج المستحصلة من طريقة شبكات بيز الديناميكية مع طريقة سلاسل ماركوف الكلاسيكية . في عام ٢٠٠٥ قدم الباحثون (Montani.S, Portinale.L, Bobbio.A, Raiteri.D.C Varesio.M)^[13] بحثاً عرضوا فيه تقييم للمعولية لنظام معين ودراسة حالة المكونات وحالات الفشل له من خلال برنامج DBNet ودراسة كيفية تحويل شجرة الخطأ الديناميكية الى شبكات بيز الديناميكية وتحليلها وحساب المعولية للنظام . في عام ٢٠٠٨ قدم الباحثان (Shin.S.K , Seong.P.H)^[15] بحثاً لتحليل المعولية بالطريقة الديناميكية لمكونات النظام وذلك عن طريق شجرة الخطأ الديناميكية وتحليلها عن طريق شبكة بيز الديناميكية وديناميكية مخططات كتلة المعولية وذلك لتحسين النظام حيث تم ادخال ديناميكية العقد على الرسم البياني للمعولية مع بوابات ساكنة . في عام ٢٠١٣ عرض الباحثان (Zhai.S , Lin.S)^[18] بحثاً لتقييم المعولية لنظام متعدد المراحل وذلك عن طريق شبكات بيز ودراسة كيفية تاسيس وبناء مراحل النظام المتعدد واحتمال الجداول الاحتمالية الشرطية والتحليل النوعي والكمي وذلك لتقييم معولية النظام . في عام ٢٠١٥ قدم الباحثون (Li X-T, Tao L-M, Jia M)^[12] بحثاً في دراسة شجرة الخطأ لنظام معقد حيث جمع بين شبكات بيز الديناميكية مع تحليل لشجرة الخطأ لمعرفة الاحداث المحورية والمستقلة عن الزمن على اساس الاحتمال الشرطي وذلك باعطاء امثلة على بوابة الاعتمادية الوظيفية.

٢. مشكلة البحث

الحاجة الفعلية لمتخذ القرار لاجراء صيانة لشبكات المياه (الشبكات القديمة على وجه الخصوص) حيث تم اختيار جانب الرصافة ولاسيما منطقة الاعظمية وذلك لعدم الشبكة والانقطاعات المتكررة لها، باستخدام اساليب حديثة ومتطورة في بحوث العمليات.

٣. هدف البحث

يهدف البحث إلى تقدير معولية نظام لشبكة مياه لمنطقة الاعظمية المقسم لعدد من المكونات بطريقة ديناميكية عن طريق بناء شجرة الخطأ التي يتم تقديرها من خلال توظيف شبكات بيز الديناميكية .

٤. الجانب النظري

٤.١. بعض المفاهيم الأساسية الخاصة بالبحث:

١. دالة المعولية Reliability Function

يمكن تعريف المعولية لنظام معين على انها احتمال بقاء النظام يعمل بنجاح خلال فترة زمنية محددة، ولتوضيح ذلك رياضيا اذا كانت $R(t)$ ترمز لمعولية نظام معين في الزمن t فان :

$$R(t) = \Pr[T > t] \quad \dots \dots \dots (1)$$

اذان T متغير عشوائي مستمر يرمز الى المدة الزمنية اللازمة لحدوث الفشل خلال الفترة $[0, t]$ [2].

٢. معدل الفشل Failure Rate

لقد نال مفهوم معدل الفشل اهتمام العديد من الدارسين والباحثين [3] ويعرف معدل الفشل على انه معدل الاحتمال الشرطي لحصول الفشل في النظام او احد مكوناته الفرعية عن اداء وظيفته بشكل صحيح علما انه كان يعمل للوقت الحالي ويرمز له $\lambda(t)$ والتعبير الرياضي له هو [1]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \dots \dots \dots (2)$$

حيث ان معدل الفشل اما ان يكون ثابت او يكون متغير مع الزمن .

٣. معدل التصليح Repair Rate

يقصد بالصيانة او التصليح (Repair) هو مزيج من الاجراءات الهندسية والادارية التي تطبق على النظام الانتاجي ومراقبة دورة الحياه الاقتصادية له . ويعرف ايضا بانها اعادة الماكنة الى الحالة التشغيلية وذلك من خلال الاصلاح او الاستبدال [3]. ويمكن حساب متوسط المدة الزمنية لعملية التصليح (mean time to repair) من خلال تقسيم مجموع اوقات تدخلات الصيانة (TTMI) Total times of maintenance interventions خلال مدة زمنية معينة على عدد العطلات (NF) Number of failures خلال المدة نفسها ويرمز له MTTR فيكون :

$$MTTR = \frac{TTMI}{NF} \quad \dots \dots \dots (3)$$

اذ ان معدل التصليح يكون عبارة عن مقلوب متوسط الوقت التقني المستغرق في عملية التصليح اي [4]:

$$\mu(t) = 1/MTTR \quad \dots \dots \dots (4)$$

4.2. شجرة الخطأ Fault Tree

وهي من الوسائل المهمة والدقيقة المستخدمة على نطاق واسع في الكثير من المجالات ومنها المجالات الصناعية وفي النظم الهندسية وذلك لتحليل المعولية . اذ ان شجرة الخطأ تعد من التقنيات التي تمثل العلاقات المنطقية بين الاحداث الاساسية والتي بدورها تؤدي الى الحدث العلوي وهو الحدث غير المرغوب به [7] (TE) ويمكن ان نصور ذلك عن طريق هيكل ذي بوابات يكون قادر على نمذجه الفشل . وتكون شجرة الخطأ على نوعين وهما :

١. شجرة الخطأ الساكنة Static Fault Tree

٢. شجرة الخطأ الديناميكية Dynamic Fault Tree

١. شجرة الخطأ الساكنة (SFT) Static Fault Tree

وهي عبارة عن علاقات منطقية بين الاحداث الاساسية ويمكن ان نصور ذلك عن طريق هيكل ذي بوابات يكون قادراً على نمذجه الفشل . وان شجرة الخطأ من هذا النوع لها بوابات منطقية وهي K/M,OR AND, اذ ان هذه البوابات تصور العلاقات المنطقية بين مدخلات ومخرجات الاحداث للنظام وهي كما يأتي [11]

١. بوابة OR : يحدث الفشل اذا وجد فيها خطأ واحد او اكثر من اخطاء المدخلات .

٢. بوابة AND : يحدث الفشل اذا وجدت كل المدخلات فيها اخطاء .

٣. بوابة k/m : يحدث الفشل اذا وجد k من m من المدخلات فيها اخطاء .

وتستخدم الاقواس كرموز للنقل لربط المدخلات والمخرجات في اشجار الخطأ من النظام الاساسي الى النظام الفرعي .

٢. شجرة الخطأ الديناميكية (DFT) Dynamic Fault Tree

هي علاقات منطقية بين الاحداث الاساسية ويمكن ان تصور ذلك عن طريق هيكل ذي بوابات يكون قادراً على نمذجة الفشل، وهي ايضا تستخدم بوابات منطقية تصف العلاقة المنطقية بين المدخلات والمخرجات لاحداث النظام . ولها اربع بوابات منطقية فضلاً عن البوابات الخاصة بالشجرة الساكنة وهي تعتمد على ترتيب عناصر الفشل اذ ان .

١. بوابة الاعتمادية الوظيفية (FDEP) functional dependency Gate : 

وتستخدم لحالات النمذجة عندما يكون التشغيل الصحيح لمكون ما يعتمد على التشغيل الصحيح لبعض المكونات الاخرى [8] .

٢. بوابة الاولوية (PAND AND) Priority AND Gate : 

تصل الى حالة الفشل اذا كان كل من مكونات مدخلاتها قد فشلت في ترتيب معين (من اليسار الى اليمين) [9] .

٣. بوابة الاحتياطية (SP) Spare : 

وهي من بوابات النمذجة الديناميكية ولها مدخل اساسي واحد ولها واحد او اكثر من المدخلات الاحتياطية وتكون هذه البوابة على ثلاثة انواع وهي :

أ- البوابة الحارة (HSP) Hot Spare gate : وهي تفشل عند فشل المكون الاساسي اذ يكون المكون الاحتياطي عامل اثناء عمل المكون الاساسي .

ب- البوابة الباردة (CSP) Cold Spare gate : وهي لا تفشل حتى تفشل المدخلات الاساسية اذ لا يعمل المكون الاحتياطي الا بفشل المكون الاساسي .

ج- البوابة الدافئة (WSP) Warm Spare Gate : هذا النوع من قطع الغيار تكون في مرحلة الاستعداد اذ يعمل بطاقة جزئية اثناء عمل المكون الاساسي [19] .

فاذا كان معدل الفشل للمكون الاحتياطي λ فان معدل الفشل له اثناء عمل المكون الاساسي هو $\lambda\alpha$ وتكون α في الفترة [0,1] وتكون حارة عندما $\alpha=1$ وتكون باردة عندما $\alpha=0$ وغالبا ما تفرض $\alpha=0.5$ في البوابات الدافئة .

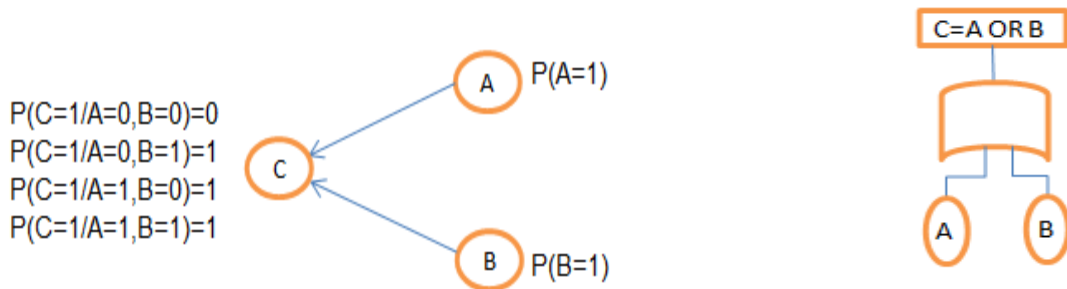
٤. بوابة تسلسل الفشل (SEQ) sequence enforcing Gate : 

في هذه البوابة يفرض ان يحدث الفشل في ترتيب معين ويمكن عدها حالة خاصة من البوابة الاحتياطية الباردة [9] .

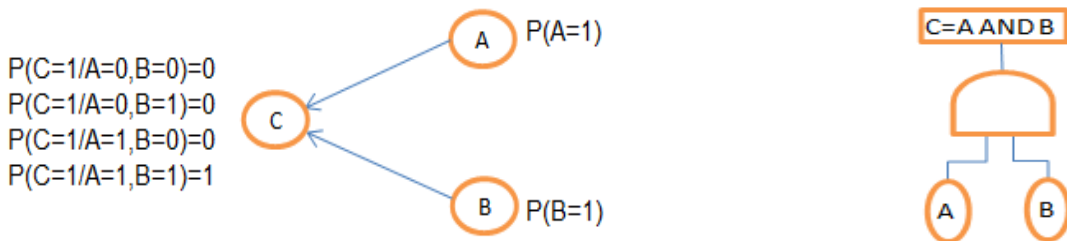
٤.٣ . شبكات بيز (Bayesian Network (BN)

هي عبارة عن شبكات احتمالية موجهة غير دورية مبنية على اساس نظرية الرسم البياني والتي تكون مؤلفة من مجموعة عقد تمثل المتغيرات ومجموعة اقواس تمثل العلاقات الاعتمادية الشرطية (غير المستقلة) بين هذه المتغيرات [17].

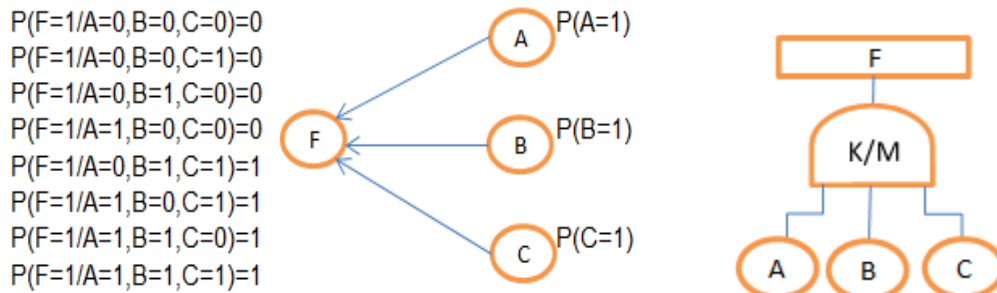
حيث يمكن رؤية شجرة الخطأ كحالة خاصة من الشبكات البيزية حيث انه يمثل حالة الفشل بدون تصليح ولتمثيل ذلك يحتاج فقط الى اعادة رسم العقد والاقواس الى بوابات شجرة الخطأ الساكنة لكل من البوابات (K/M, OR, AND) ويتم تعيين عقد الاصل A, B والاحتمالات المسبقة لها والتي تتوافق مع احتمال فشل العقد الاساسية في شجرة الخطأ وعقدة الابن C اذ تمثل البوابة المعطاه وهو تعيين الجدول الاحتمالي المشروط (CPT) لها حيث البوابات المنطقية لشجرة الخطأ الساكنة تمثل العلاقات السببية الحتمية لجميع مداخلات جداول الاحتمالات الشرطية وهي اما حالة فشل العنصر والتي تتمثل بـ 1 او حالة عمل العنصر والتي تتمثل بـ 0 والاشكال (1) و(2) و(3) تبين تحويل البوابات OR و AND و K/M على التوالي [8].



الشكل رقم (1) يبين تحويل البوابة OR الى شبكة بيز [5]



الشكل رقم (2) يبين تحويل البوابة AND الى شبكة بيز [5]



الشكل رقم (3) يبين تحويل البوابة K/M الى شبكة بيز [5]

علماً ان لاي عقدة اصلية D يكون هناك احتمال مسبق وهو $P(D = 1) = 1 - e^{-\lambda_D t}$ حيث λ_D معدل فشل المكون الاساسي D .

من أجل التوصل إلى خوارزمية التحويل من FT إلى BN، اخذين بنظر العناية الافتراضات الأساسية لمنهجية FTA القياسية حيث يجب ان تكون الاحداث هي أحداث ثنائية اي (يعمل او لا يعمل) وان تكون مستقلة إحصائيا وان يتم تمثيل العلاقات بين الأحداث من خلال البوابات المنطقية AND و OR و K/M ومن ثم تحديد الحدث الاعلى TE وهو الجذر في FT .

ووفقا لقواعد الترجمة وبما ان التحويل من FT إلى BN الثنائية يكون لكل متغير في BN قيمتان (صحيحة T=1) عندما لايعمل وخاطئة F=0 (False) عندما يعمل) وللتحويل نحتاج الى الخطوات الاتية :

١. ان لكل عقدة (اي المكون الاساسي في نظام FT) يتم انشاء عقدة جذر مقابلة لها في BN وربط هذه العقد ايضا كما هي في البوابات FT المقابلة لها.
 ٢. لكل عقدة جذر في BN احتمال مسبق مقابل كل حدث في FT اي في الزمن t.
 ٣. لكل باب في FT يتم انشاء عقدة مقابلة لها في BN.
 ٤. لكل بوابة (K/M,OR,AND) في FT هنالك CPT يعادل العقدة المقابلة له في BN^[5].
- يلاحظ ان جداول الاحتمالات الشرطية (CPT) المقابلة للبوابات الساكنة تحوي الاعداد 0 و 1 فقط اي نظام ثنائي (Binary) .

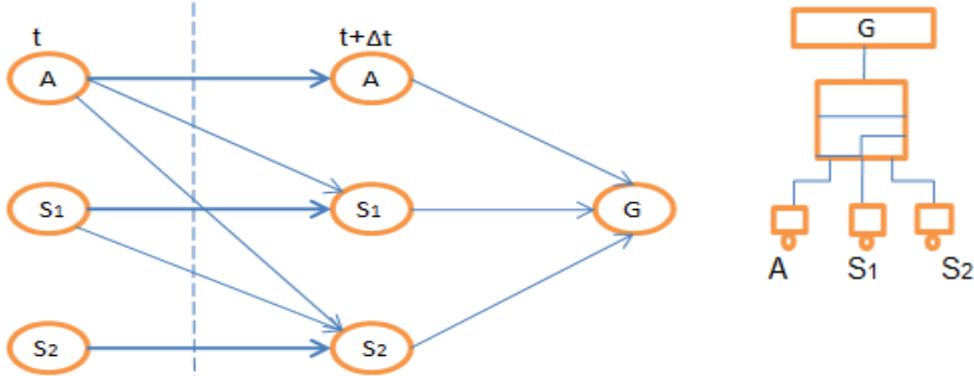
٤.٤. شبكات بيز الديناميكية (DBN) Dynamic Bayesian Network

ان الشبكات البيزية الديناميكية هي عبارة عن متغيرات عشوائية تتمثل بالعقد وهي مرتبطة بمؤشر الزمن ، وان القوس الذي يربط اثنين من المتغيرات (العقد) والتي تنتمي الى شرائح زمنية مختلفة هي الاعتماد الاحتمالي الزمني بين هذه المتغيرات. ويمكن تحديد الاحتمالات الانتقالية بين المراحل متغيرة الزمن من الزمن t والزمن t+Δt ولتحديد هذه الاحتمالات يتطلب تحديد جدول الاحتمالات الشرطية (CPT) بالنسبة لشرائح الزمن المختلفة^[17] ولتقدير المعولية يتم استخدام طريقة الشبكات البيزية الديناميكية وهي طريقة اكثر مرونة لنمذجة المعولية. وسوف نقوم الان بدراسة البوابة الديناميكية الاحتياطية الدافئة في شجرة الخطأ وكيفية تحويلها الى الشبكات البيزية الديناميكية وتحديد جدول الاحتمالات الشرطية الزمنية^[6]. نظراً لوجود بوابة احتياطية دافئة في النظام المدروس بالجانب التطبيقي .

١. البوابة الاحتياطية الدافئة (wsp) Warm spare gates

وهي احدى انواع البوابات الاحتياطية لشجرة الخطأ الديناميكية فلو فرضنا مثلاً ان نظام يعمل بمكون اساسي A ومكونين احتياطيين دافئين متماثلين هما S1 و S2 حيث لايعمل S1 بشكل كامل الا عند فشل المكون الاساسي A ولايعمل S2 بشكل كامل الا عند فشل المكون الاحتياطي S1 ولايفشل النظام الا عند فشل المكون الاساسي والمكونين الاحتياطيين . ولو فرضنا ان معدلات الفشل لكل مكون من المكونات الثلاثة عند التفعيل هو λ يمكن ملاحظة أن كل عقدة للمكون في شريحة الزمن t + Δt تعتمد على العقدة الخاصة بها في شريحة الزمن t و ان S1 يعتمد على A، فاذا كان A يعمل في الزمن t ، فان S1 ستفشل في الزمن t + Δt بمعدل αλ. من ناحية أخرى، إذا فشلت A ، يصبح معدل فشل S1 هو λ. وان حالة S2 ستكون مشابهة ، ولكن ذلك يعتمد على حالة كل من المكون الرئيس والمكون الاحتياطي الأول S1 (لأنه سوف يعمل بشكل كلي فقط عندما يفشل كلا المكونين). وتصاغ البوابة WSP التي تمثل فشل النظام بعقدة AND بين مدخلاته الثلاثة وهي A و S1 و S2^[14] .

والشكل رقم (4) يبين شجرة الخطأ الديناميكية وشبكة بيز الديناميكية المقابلة الخاصة بهذا المثال.



الشكل رقم (4) يبين شجرة الخطأ الديناميكية وشبكة بيز الديناميكية لنظام بمكون واحد اساسي ومكونين احتياطين دافنين [14]

وسوف يتم اعتماد ان المكونات لها معدل فشل ثابت وان اوقات الفشل تتوزع التوزيع الاسي . وبهذا يكون احتمال العنصر C (مع معدل الفشل λ_C) ان يفشل في خلال الزمن Δt هو $1 - e^{-\lambda_C \Delta t}$ وتكون الاحتمالات الشرطية الديناميكية الانتقالية في الشبكة للمكونات بين الشريحتين الزمنيين t و $(t+\Delta t)$ هي كما الجدول رقم (1) وهو من اعداد الباحثة اعتماداً على المصدر [14] :

جدول رقم (1) يبين الاحتمالات الانتقالية الديناميكية لنظام مكون من مكون اساسي واحد ومكونين احتياطين دافنين (a)

جدول الاحتمالات الشرطية الخاصة بالمكون A		
A_t	$P(A_{t+\Delta t}=T)$	$P(A_{t+\Delta t}=F)$
T	1	0
F	$1 - e^{-\lambda_A \Delta t}$	$e^{-\lambda_A \Delta t}$

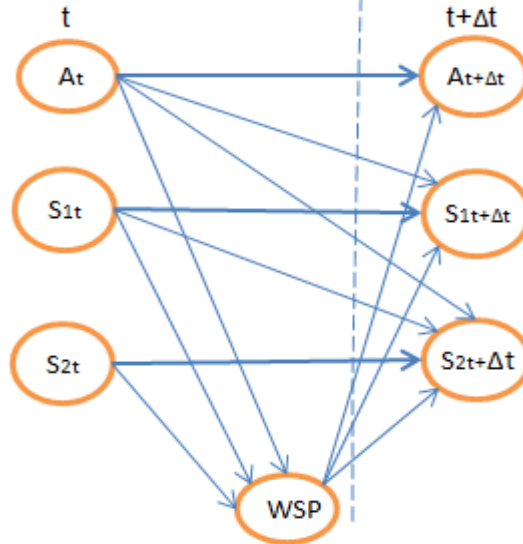
(b)

جدول الاحتمالات الشرطية الخاصة بالمكون S1		
A_t $S1_t$	$P(S1_{t+\Delta t}=T)$	$P(S1_{t+\Delta t}=F)$
T T	1	0
F T	1	0
T F	$1 - e^{-\lambda_{S1} \Delta t}$	$e^{-\lambda_{S1} \Delta t}$
F F	$1 - e^{-\alpha \lambda_{S1} \Delta t}$	$e^{-\alpha \lambda_{S1} \Delta t}$

(c)

جدول الاحتمالات الشرطية الخاصة بالمكون S2		
A_t $S1_t$ $S2_t$	$P(S2_{t+\Delta t}=T)$	$P(S2_{t+\Delta t}=F)$
T T T	1	0
F T T	1	0
T F T	1	0
T T F	$1 - e^{-\lambda_{S2} \Delta t}$	$e^{-\lambda_{S2} \Delta t}$
F F T	1	0
T F F	$1 - e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$	$e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$
F T F	$1 - e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$	$e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$
F F F	$1 - e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$	$e^{-\alpha \lambda_{S2} \Delta t}$

وان البوابات الاحتياطية الاخرى (الحارة HSP ، الباردة CSP) تكون على غرار ذلك ولكن بدلا من α نضع قيمة α تبعاً لنوع البوابة اما 1 للبوابة الحارة او 0 للبوابة الباردة . ويمكن ان يوجد تصليح في النظام ولاسيما في حالة فشل المكون في الزمن t ، فإذا سمح لإصلاح الفشل باحتمال $r \geq 1$. على سبيل المثال، بعد فشل بوابة WSP (اي فشل النظام في الزمن t) في هذه الحالة، يمكننا نمذجة WSP كما في الشكل (٥) [14] .



الشكل رقم (٥) يبين DBN للبوابة WSP للمثال السابق مع التصليح في الزمن t [14]

لاحظ أن A (وكذلك S1 ثم S2) في الزمن $t + \Delta t$ يعتمد على WSP في الزمن t . في الواقع ، إذا WSP (ومن ثم أيضا جميع مكونات المدخلات) قد فشلت في الزمن t ، وإصلاح A في الزمن $(t + \Delta t)$ سوف يتم تنفيذه بنجاح باحتمال r_A . أي، حيث يمكن ان نأخذ العلاقة الاتية :

$$\Pr \{A_{t+\Delta t} = T | A_t = T\} = 1 - r_A \quad \dots \dots \dots (5)$$

وهذا ينطبق على المكونين الاحتياطين S1 و S2 أيضاً [14] .

٥. الجانب العملي

٥.١ وصف عام لشبكة الاعظمية

تتألف شبكة الاعظمية من مجموعة انابيب موصلة وهي على انواع عديدة ومنها الانابيب الناقلة والتي يكون حجمها بين (٨٠٠-٢٠٠٠) ملم والانابيب الموزعة وحجمها يكون بين (٢٥٠-٧٠٠) ملم والانابيب الداخلية والتي يتراوح حجمها بين (٧٥-٢٥٠) ملم . وفي شبكة الاعظمية تكون التغذية عن طريق الانابيب الناقلة والخزانات الارضية . وعند حصول العطل في احد هذه الانابيب يتم غلق الاقفال وهي التي تتحكم بمصادر تغذية الشبكة التي يحصل في احد انابيبها نضح او كسر ومن ثم يتم اصلاحها. وتحتوي منطقة الاعظمية على ٢٨ محلة ، كل محلة لديها شبكة داخلية مربوطة بانابيب موزعة مع المحلات الاخرى وكل مجموعة من المحلات مربوطة بانابيب ناقلة بالانابيب الموزعة لذا ويهدف التبسيط وبعد استشارة المهندس المختص سوف يتم اعتبار مجموعة المحلات المربوطة بالانابيب كمجموعة واحدة ، بحيث سيتم تقسيم الشبكة الى ثلاثة اقسام (وحدات) وسوف نرسم لها بالرموز (A,B,C) وان جميع هذه الاقسام تتغذى من المغذي الرئيس (المشروع) والذي سنرمز له بالرمز (D) ، ويوجد ايضا بديل (S) لهذا المغذي الرئيسي والذي يعمل عند حصول عطل في المشروع (D) لتغذية المنطقة ، ولذا تعد الشبكة في حالة عمل عند عمل اي وحدة من الوحدات الثلاثة A او B او C وان النظام ديناميكي لوجود الخزان الاحتياطي S فضلاً عن الخزان الرئيس المتمثل بالمشروع D . لقد تم جمع البيانات حيث كانت عبارة عن عدد العطلات لكل شهر واوراق التصليح لها بالساعات ولمدة سنة متكاملة وكانت لسنة ٢٠١٤ واستناداً لتلك البيانات فقد تم حساب عدد العطلات لكل وحدة وهي كما في الجدول رقم (٢) :

جدول (٢) يبين عدد العطلات واوقات التصليح مقدرة بالساعات

المجموعة S	المجموعة D	المجموعة C	المجموعة B	المجموعة A	
174	208	١٠١	٢٣٤	٢٥٦	عدد العطلات
٢٨٢	٣٨٤	١٨٥	٤٤٩	٤٧٦	اوقات التصليح

وباعتماد الطريقة الجدولية للبيانات المبوبة لتقدير المعولية ودالة الكثافة الاحتمالية لكل وحدة ومن ثم تقدير معدل العطل والتصليح لكل وحدة ولقد امكن التقدير^[10] وكانت النتائج كما في الجدول رقم (٣):

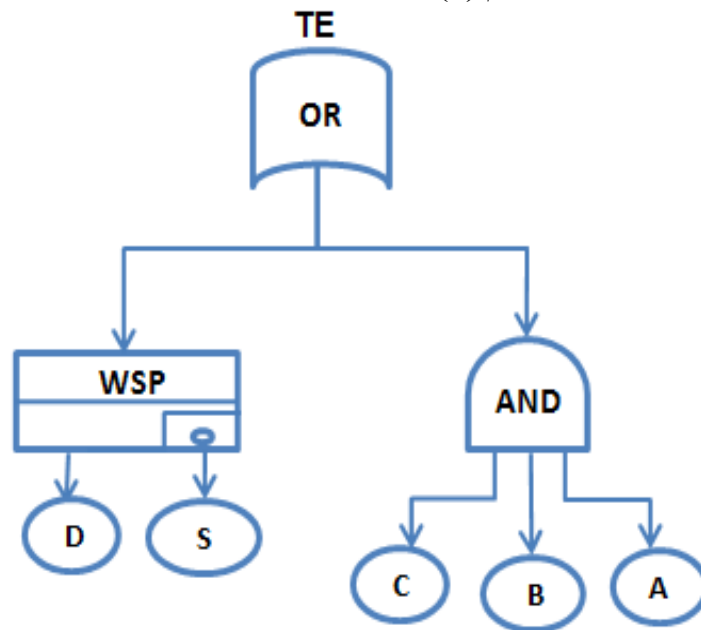
جدول (٣) يبين معدلات العطل والتصليح

المجموعة S	المجموعة D	المجموعة C	المجموعة B	المجموعة A	
0.000249	0.00022	0.000394	0.00035	0.000342	معدل العطل
0.617021	0.541667	0.545946	0.521158	٠.٥٣٧٨١٥	معدل التصليح

٥.٢ .تقدير المعولية لشبكة ماء الاعظمية

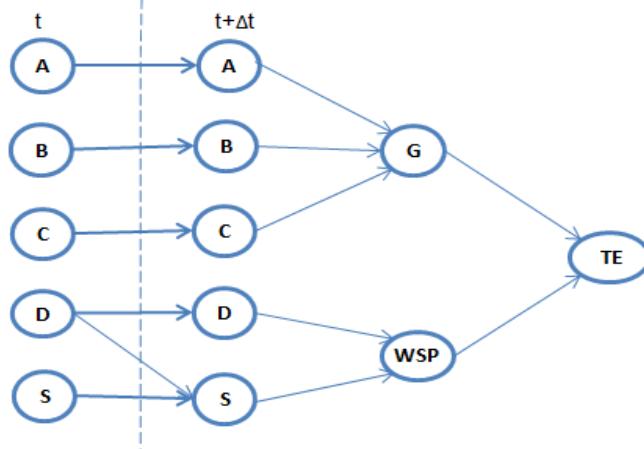
لغرض تقدير المعولية للشبكة يتم بناء شجرة الخطأ حيث تتكون الشبكة قيد البحث من خمسة وحدات وثلاثة منها (C,B,A) تمثل الشبكات الداخلية للوحدات الخاصة بالمحلات والوحدة الرابعة وهي الوحدة D تمثل خزان الماء الرئيس اما الوحدة الخامسة S فتمثل البديل الاحتياطي . الوحدات الثلاثة الاولى ترتبط مع بعضها بالبوبة AND اما المشروع D يرتبط مع البديل S بالبوبة الديناميكية WSP . وكما هي موضحة في الشكل الاتي :

الشكل رقم (٦) يبين شجرة الخطأ لشبكة الماء



سيتم تطبيق شبكات بيز الديناميكية لتقدير المعولية وذلك بترجمة شجرة الخطأ الديناميكية في الشكل رقم (٦) الى شبكة بيز ديناميكية وتقدير الاحتمالات للنظام حيث سيكون لدينا جزئين لشبكة بيز وهما الجزء المتعلق بالبوبة AND والجزء المتعلق بالبوبة WSP وبعدها يتم دمج الجزئين وذلك لان البوبة الرابطة للبوابتين السابقتين هي OR لتقدير احتمال العطل الكلي للشبكة . والشكل رقم (٧) يبين شبكات بيز لنظام شبكة الماء في الاعظمية.

الشكل رقم (٧) يبين شبكات بيز لشبكة الماء

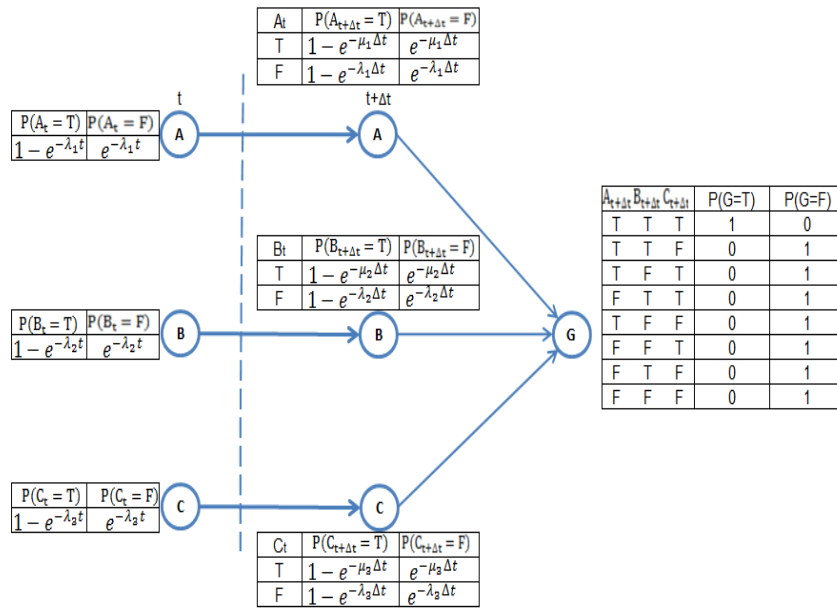


ولتقدير احتمالية الحدث العلوي TE سوف نقوم بتجزئة النظام الى جزئين وتقدير احتمال فشل كل جزء لوحده.

١. تقدير احتمال فشل الجزء (G)

يضم الجزء G البوابة AND لثلاثة وحدات رئيسية وهي A,B,C وقد تم حساب جدول الاحتمالات الانتقالية بين الشريحتين الزمنيتين t و t+Δt لكل وحدة و جدول الاحتمالات في الزمن t+Δt للجزء G وهي مبينة في الشكل رقم (٨) .

الشكل رقم (٨) يبين شبكات بيز للبوابة AND



ويتم تقدير احتمال الفشل للجزء G كما يأتي :

$$P(A_t, B_t, C_t, A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}, G) = P(A_t)P(B_t)P(C_t)P(A_{t+\Delta t}|A_t)P(B_{t+\Delta t}|B_t)P(C_{t+\Delta t}|C_t)P(G|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t})$$

وبذا يكون باستخدام قانون بيزا:

$$\begin{aligned}
 P(G = T) &= \sum_{a=T,F} \sum_{b=T,F} \sum_{c=T,F} \sum_{d=T,F} \sum_{e=T,F} \sum_{f=T,F} P(A_t, a) P(B_t, b) P(C_t, c) \\
 &P(A_{t+\Delta t}, d|A_t) P(B_{t+\Delta t}, e|B_t) P(C_{t+\Delta t}, f|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &= P(A_t, T) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, T) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, T) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, F) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, F) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, T) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, T) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, F) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, F) P(C_t, F) P(A_{t+\Delta t}, F|A_t) P(B_{t+\Delta t}, T|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, F|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, T) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, F|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, T) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, F|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\
 &+ P(A_t, F) P(B_t, F) P(C_t, T) P(A_{t+\Delta t}, T|A_t) P(B_{t+\Delta t}, F|B_t) P(C_{t+\Delta t}, T|C_t) P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, T|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, T|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, T|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, T)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, T)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \\ &+P(A_t, F)P(B_t, T)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t}) \end{aligned}$$

$$+P(A_t, T)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t})$$

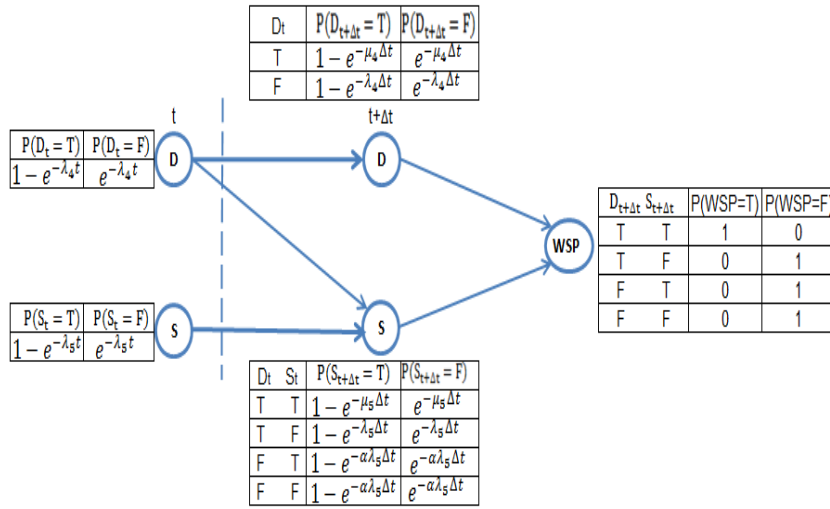
$$+P(A_t, F)P(B_t, F)P(C_t, F)P(A_{t+\Delta t}, F|A_t)P(B_{t+\Delta t}, F|B_t)P(C_{t+\Delta t}, F|C_t)P(G, T|A_{t+\Delta t}, B_{t+\Delta t}, C_{t+\Delta t})$$

وعند تطبيق الاحتمالات الخاصة بالجزء G ولقيمة t المختلفة والمقدرة بالساعات ولتكن $t=0,730, \dots, 8760$ مثلاً و $\Delta t=24$ كانت النتيجة كما في الجدول رقم (٤).

٢. تقدير احتمال فشل الجزء WSP

ويضم الجزء WSP بوابة دافنة متمثلة بالخران او المشروع D والاحتياطي S وقد تم حساب جدول الاحتمالات الانتقالية بين الشريحتين الزمنيتين t و $t+\Delta t$ لكل وحدة و جدول الاحتمالات في الزمن $t+\Delta t$ للجزء WSP وهي مبينة في الشكل رقم (٩).

الشكل رقم (٩) يبين شبكات بيز للبوابة WSP



ويتم تقدير احتمال الفشل للجزء WSP كما يأتي :

$$P(D_t, S_t, D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}, WSP) = p(D_t)P(S_t)P(D_{t+\Delta t}|D_t)P(S_{t+\Delta t}|D_t, S_t)P(WSP|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

وبذا يكون باستخدام قانون بيز:

$$P(WSP = T) = \sum_{a=T,F} \sum_{b=T,F} \sum_{c=T,F} \sum_{d=T,F} P(D_t, a) P(S_t, b) P(D_{t+\Delta t}, c|D_t) P(S_{t+\Delta t}, d|D_t, S_t) P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$= P(D_t, T)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$+ P(D_t, F)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$+ P(D_t, T)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$+ P(D_t, F)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$+ P(D_t, T)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

$$+ P(D_t, F)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})$$

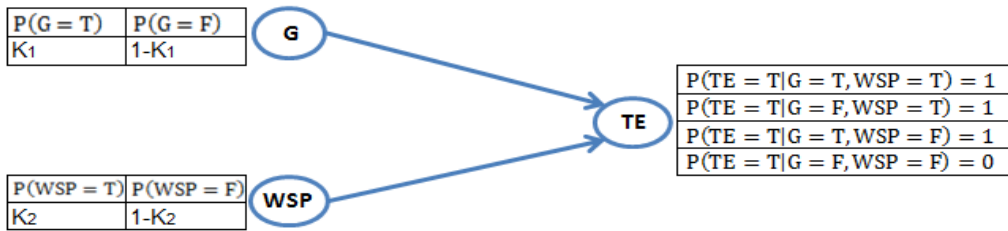
$$\begin{aligned}
 &+P(D_t, T)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, F)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, T|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, T)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, F)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, T)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, F)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, T|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, T)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, F)P(S_t, T)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, T)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t}) \\
 &+P(D_t, F)P(S_t, F)P((D_{t+\Delta t}, F|D_t)P(S_{t+\Delta t}, F|D_t, S_t)P(WSP, T|D_{t+\Delta t}, S_{t+\Delta t})
 \end{aligned}$$

وعند تطبيق الاحتمالات الخاصة بالجزء WSP ولقيمة t والمقدرة بالساعات ولتكن $t=0,730, \dots, 8760$ و $\Delta t=24$ كانت النتيجة كما في الجدول رقم (٤).

٣. تقدير احتمال فشل النظام

يرتبط الجزء G مع الجزء WSP بالبوابه OR لذا يمكن حساب جدول الاحتمالات للنظام (شبكة ماء الاعظمية) كما في الشكل رقم (١٠):

الشكل (١٠) يبين شبكات بيز للبوابه OR



ويتم تقدير احتمال الفشل للنظام كما يأتي :

$$P(G_t, WSP_t, TE_t) = P(G_t)P(WSP_t)P(TE_t|G_t, WSP_t)$$

وبذا يكون باستخدام قانون بيز:

$$\begin{aligned}
 P(TE=T) &= \sum_{a=T,F} \sum_{b=T,F} P(G_t, a) P(WSP_t, b) P(TE_t, T|G_t, WSP_t) \\
 &= P(G_t, T)P(WSP_t, T)P[(TE, T)|(G_t, T), (WSP_t, T)] \\
 &\quad + P(G_t, F)P(WSP_t, T)P[(TE, T)|(G_t, F), (WSP_t, T)] \\
 &\quad + P(G_t, T)P(WSP_t, F)P[(TE, T)|(G_t, T), (WSP_t, F)] \\
 &\quad + P(G_t, F)P(WSP_t, F)P[(TE, T)|(G_t, F), (WSP_t, F)]
 \end{aligned}$$

وعند تطبيق الاحتمالات الخاصة بالجزء TE ولقيم t والمقدرة بالساعات ولتكن $t=0,730, \dots, 8760$ و $\Delta t=24$ كانت النتيجة كما في الجدول رقم (٤):

الجدول رقم (٤) يبين نتائج الاحتمالات الخاصة بكل البوابات والمعولية للشبكة

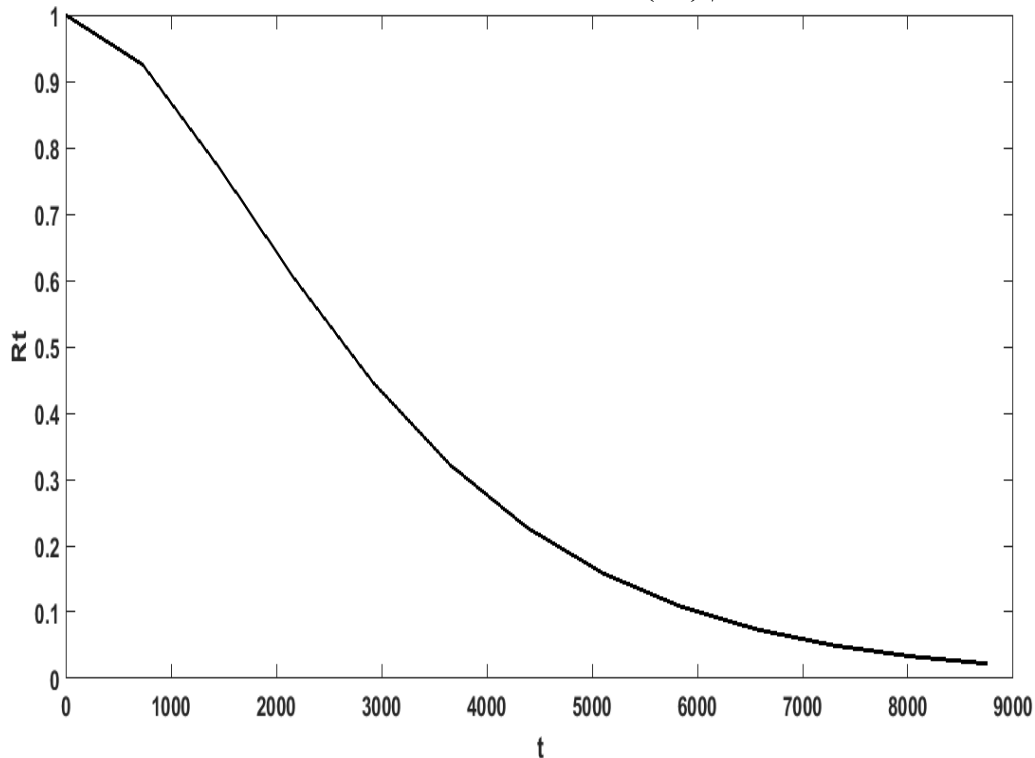
t	Pr [G=T]	Pr [WSP=T]	Pr [TE=T]	Rt
0	1.87E-17	1.57E-05	2E-05	0.99998
730	0.0506	0.0254	0.0747	0.9253
1460	0.1593	0.0849	0.2307	0.7693
2190	0.2854	0.162	0.4012	0.5988
2920	0.4083	0.2463	0.554	0.446
3650	0.5186	0.3309	0.6779	0.3221
4380	0.6131	0.4119	0.7725	0.2275
5110	0.6919	0.4871	0.842	0.158
5840	0.7562	0.5553	0.8916	0.1084
6570	0.808	0.6164	0.9264	0.0736
7300	0.8494	0.6703	0.9503	0.0497
8030	0.8822	0.7175	0.9667	0.0333
8760	0.908	0.7586	0.9778	0.0222

قد تبين من الجدول رقم (٤) تقدير المعولية من خلال برنامج (2015a) MATLAB وكتابة المعادلات الخاصة بكل بوابة حيث تم تقدير احتمال الفشل لكل من البوابة الساكنة AND والبوابة الديناميكية WSP وهي البوابة الدافئة ودمج البوابتين السابقتين بالبوابة الساكنة OR وبعد تقدير قيمة هذه البوابة يتم تقدير المعولية وهي :

$$R_t = 1 - P_r[TE = T]$$

ويمكن ملاحظة قيم المعولية المتناقصة مع زيادة الزمن t ولتوضيحه اكثر يمكن تتبعه من خلال الرسم البياني في الشكل رقم (١١):

الشكل رقم (١١) يبين تقدير المعولية لشبكة ماء الاعظمية



٦. الاستنتاجات والتوصيات

٦.١. الاستنتاجات

١. ان طريقة شبكات بيز تعد من الطرائق المناسبة لتقدير معولية اي نظام من دون شروط الاستقلالية بين مكوناته.
٢. بين الجدول رقم (٤) والخاص بتقدير المعولية لنظام شبكة ماء الاعظمية ان معولية النظام تتناقص مع الزمن وتقترب من الصفر في ٢٠ سنة من الان و تكون بمقدار $2.1616e-11$ وتستقر معولية الشبكة على هذا النحو لما بعد ٢٠ سنة لفترة طويلة.
٣. يلاحظ ان المعولية عند الزمن ٠ لاتساوي ١ وذلك لوجود التصليح في الشبكة .

٦.٢. التوصيات

١. نوصي بدراسة وتقدير معولية النظام الكلي لشبكة ماء بغداد لمعرفة ماستؤول اليه الشبكة مع تغير الزمن .
٢. نوصي باستخدام طرائق اخرى لتقدير المعولية لشبكة الماء كطريقة سلاسل ماركوف الديناميكية مثلاً.
٣. نوصي دائرة ماء بغداد بخصوص شبكة ماء الاعظمية باتخاذ بعض اجراءات الصيانة الاضافية لكونها شبكة قديمة جداً كتبديل بعض الانابيب وذلك لحصول العطل المستمر بها.

المصادر

١. الربيعي ، فارس مهدي علوان -٢٠٠٢- دراسة المعولية وجدولة اوقات الصيانة لمحطات الضغط العالي للشركة العامة لتوزيع كهرباء بغداد - رسالة ماجستير علوم في بحوث العمليات - كلية الادارة والاقتصاد - جامعة بغداد .
٢. الحميري ، عبيد عبد الامير عبدالله -٢٠٠٢- مقارنة طرق تقدير دالة المعولية مع اسلوب بيز - بيز التجريبي باستخدام المحاكاة - رسالة ماجستير في الاحصاء - كلية الادارة والاقتصاد - جامعة بغداد .
٣. حسن، عبد الهادي حسن - ٢٠١٣ - احتساب معدل العطل الكلي للمكانن واحتمالات الانتقال من حالة تشغيلية لاخرى باستخدام سلاسل ماركوف - الكلية التقنية الادارية - البصرة - مجلة الغري للعلوم الاقتصادية والادارية للعدد ٢٩ .
٤. عبد علي، سوسن صبيح، فندي، صالح جعفر ، عبد مطلق، ستار- ٢٠٠٩- قياس معولية الفرن الدوار في معمل سمنت كبيسة - هندسة الانتاج والمعادن - الجامعة التكنولوجية - مجلة الهندسة والتكنولوجيا - المجلد ٢٧- العدد ١١ .
5. Bobbio.A, Portinale.L, Minichino.M, Ciancamerla.E - 2001 - Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks - Reliability Engineering and System Safety 71 - 249-260 - www.elsevier.com/locate/ress .
6. Cao .D,Kan.S,Sun.Y- 2012- Design of Reliable System Based on Dynamic Bayesian Networks and Genetic Algorithm- obtained from the IEEE by writing to pubs-permissions@ieee.org.
7. Dhillon, B.S. -2002- Engineering maintenance: a modern approach - International Standard Book Number 1-58716-142-7- Library of Congress Card Number 2001052634- Boca Raton London New York Washington, D.C.
8. Duan.R,Fan.J-2014- Reliability Evaluation of Data Communication System Based on Dynamic Fault Tree under Epistemic Uncertainty- School of Information Engineering- Nanchang University- Nanchang 330031-China.
9. Durga Rao.K , Sanyasi Rao.V.V.S , Verma.A.K , Srividya.A – 2010- Dynamic Fault Tree Analysis - Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems - Springer-Verlag London Limited .
- 10.Ebeling.C.E – 1997- An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering – The Mc Graw-Hill- Companies , Inc.



11. Fault Tree Analysis – Wikipedia, The Free Encyclopedia-
www.wikipedia.com.
12. Li .X.T, Tao .L.M, Jia .M- 2015-A Bayesian networks approach for event tree time dependency analysis on phased-mission system- Ekploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability - 17 (2): 273–281-
<http://dx.doi.org/10.17531/ein.2015.2.15>.
13. Montani.S, Portinale.L, Bobbio.A, Raiteri.D.C Varesio.M – 2005 - DBNet a tool to convert Dynamic Fault Trees into Dynamic Bayesian Networks - Dipartimento di Informatica - Università del Piemonte Orientale - Via Bellini 25/G, 15100 Alessandria.
14. Montani.S, Portinale.L, Bobbio.A – 2005- Dynamic Bayesian Networks for modeling advanced Fault Tree features in dependability analysis - Università' Piemonte Orientale, Alessandria, Italy .
15. Shin.S.K and Seong.P.H -2008 - Review of Various Dynamic Modeling Methods and Development of an Intuitive Modeling Method for Dynamic Systems - Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST - 373-1 Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-701, Korea - VOL.40 NO.5.
16. Varuttamaseni.A- 2011- Bayesian network Representing System Dynamics in Risk Analysis of Nuclear Systems- A dissertation in partial fulfillment Doctor of Philosophy- Nuclear Engineering and Radiological Sciences- The University of Michigan.
17. Weber.P, Jouffe.L – 2003- Reliability modelling with dynamic bayesian networks - IFAC- pp.57-62. hal-00128475 – Washington- D.C., USA .
18. Zhai.S , Lin.S – 2013- Bayesian Networks Application in Multi-State System Reliability Analysis - School of Mechanical Engineering- Tianjin Polytechnic University- Tianjin, P.R. China- Published by Atlantis Press, Paris, France- 0307.
19. Zandbergen.P.F- 2008- A Bayesian network reliability software tool - Master thesis- University of Twente.



Use Dynamic Bayesian network to estimate the reliability of Adamia Water Network

Abstract\

In this research, estimated the reliability of water system network in Baghdad was done. to assess its performance during a specific period. a fault tree through static and dynamic gates was belt and these gates represent logical relationships between the main events in the network and analyzed using dynamic Bayesian networks . As it has been applied Dynamic Bayesian networks estimate reliability by translating dynamic fault tree to Dynamic Bayesian networks and reliability of the system appreciated. As was the potential for the expense of each phase of the network for each gate . Because there are two parts to the Dynamic Bayesian networks and two part of gate (AND), which includes the three basic units of the network (A, B, C) and part of gate (WSP), which contains all of the tank (D) and alternative (S) and is a dynamic . then been integrated into the two segments together at gate Association previous two gates of a (OR), and estimate the probability of total failure of the network and through which found reliability. The result of the estimation was in put table shows the change of with time reliability.

Key words reliability, fault tree, Bayesian network .