مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

Analytical study of the reliability of simple mechanical systems through static models

Dr. Rabie Ahmad Habib*

(Received 23 / 12 / 2018. Accepted 27 / 1 / 2019)

□ ABSTRACT □

The science of reliability and safety studies the changes in the quality of engineering processes, the quality of parts, machines and mechanics of various machinery as time passes. It also examines the impact of external factors on the basic functions of these machines in order to diagnose the technical situation to increase the efficiency of reliability in various stages of design, manufacturing and investment.

When analyzing and diagnosing changes in parameters and reliability indicators of mechanical parts and systems of different connections in mechanisms and machinery, it is necessary to use special models and methods. These models and methods are based on real physical study in highly efficient mechanical systems in terms of reliability and safety.

This study investigated the reliability and safety of simple and complex mechanical systems consisting of a set of mechanical elements connected to each other in sequence or in parallel, or in the case of mixed coupling by the use of special mathematical models and methods. The analytical study of several mechanical systems has shown that the probability of non-stop operation of the mechanical system as a whole decreases with the increase in the number of connections of components of the mechanical system. They are less than the reliability of the element that has less reliability in the different elements. The possibility of continuous operation of the system with the elements connected in parallel is always greater than that of the element with a high level of reliability. Also, connecting the system elements in parallel (if possible) is considered more effective in order to improve the reliability of the system as a whole.

Key Words: Reliability - Mathematical Model - Mechanical Systems - Mechanical Elements – Effectiveness.

* **Associate Professor, Mechatronics Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (41) العدد (1) 2019
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (1) 2019

دراسة تحليلية لوثوقية المنظومات الميكانيكية البسيطة من خلال الموديلات الستاتيكية

د. ربيع أحمد حبيب*

(تاريخ الإيداع 23 / 12 / 2018. قُبِل للنشر في 27/ 1 / 2019)

□ ملخّص □

يهتم علم الوثوقية والأمان بالتغيرات التي تطرأ على جودة العمليات الهندسية، وجودة القطع والآلات والميكانيزمات لمختلف الآليات مع مرور وقت استثمارها. كما يهتم بدراسة تأثير العوامل الخارجية على الوظائف الأساسية المنوطة بهذه الآلات وذلك بهدف تشخيص الحالة الفنية الهادف لرفع كفاءة عمليات وثوقيتها في مختلف مراحل التصميم، التصنيع والاستثمار.

عند تحليل وتشخيص التغيرات التي تطرأ على بارامترات ومؤشرات الوثوقية للقطع والأنظمة الميكانيكية، لمختلف الوصلات في الميكانزمات والآليات لا بدّ من استخدام موديلات وطرق خاصة.

تعتمد هذه الموديلات والطرق على بناء دراسة فيزيائية حقيقية في منظومات ميكانيكية عالية الكفاءة من ناحية الوثوقية والأمان.

تمّ في هذا البحث دراسة الوثوقية والأمان للأنظمة الميكانيكية البسيطة والمعقدة المؤلفة من مجموعة من العناصر الميكانيكية المرتبطة مع بعضها البعض على التسلسل أو على التوازي، أو في حال الربط المختلط وذلك باستخدام موديلات وطرق رياضية خاصة. أثبتت الدراسة التحليلية لعدة منظومات ميكانيكية أنّ احتمالية العمل بدون توقف للمنظومة الميكانيكية ككل تنخفض مع زيادة عدد وصلات العناصر المكونة للمنظومة الميكانيكية. وهي أقل من مستوى الوثوقية للعنصر الذي يمتلك أقل وثوقية في العناصر المختلفة. أمّا احتمالية العمل المتواصل للمنظومة ذات العناصر المتصلة على التوازي فتكون دوما أكبر من تلك للعنصر الذي يمتلك مستوي عالي من الوثوقية. كما يعدّ وصل عناصر المنظومة على التوازي (إذا كان ممكناً) أكثر فعالية من طرق الوصل الأخرى من أجل رفع مستوى وثوقية المنظومة ككل.

الكلمات المفتاحية: الوثوقية – الموديل الرياضي – الأنظمة الميكانيكية – العناصر الميكانيكية – فعالية

*أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مقدمة:

يدرس علم الوثوقية والأمان التغيرات التي تطرأ على جودة العمليات الهندسية، وجودة القطع والآلات والميكانيزمات لمختلف الآليات مع مرور وقت استثمارها. كما يهتم بدراسة تأثير العوامل الخارجية على الوظائف الأساسية المنوطة بهذه الآلات وذلك بهدف تشخيص الحالة الفنية الهادف لرفع كفاءة عمليات وثوقيتها في مختلف مراحل عمليات التصميم، التصنيع والاستثمار **[1]**.

لا بدّ عند إجراء تحليل وتشخيص التغيرات التي تطرأ على بارامترات ومؤشرات الوثوقية للقطع والأنظمة الميكانيكية، لمختلف الوصلات في الميكانزمات والآليات من استخدام موديلات وطرق خاصة **[2]**.

تعتمد هذه الموديلات والطرق على بناء دراسة فيزيائية حقيقية في منظومات ميكانيكية عالية الكفاءة من ناحية الوثوقية والأمان **[3]**.

يمكن تحديد احتمالات عدم توقف الآلات والميكانزمات عن العمل من خلال طرق وموديلات المنظومات الميكانيكية، فترات العمل الوسطية، تركيز فترات التوقف عن العمل للعناصر الميكانيكية المكونة للنظام الميكانيكي ككل. وهو ما يدعى من الأسفل إلى الأعلى **[4]**.

إذا كان النظام الميكانيكي مؤلف من مجموعة من العناصر الميكانيكية موصولة مع بعضها البعض على التسلسل أو موصولة على التوازي يدعى النظام في هذه الحالة بالنظام الميكانيكي البسيط، أما إذا كان النظام الميكانيكي مؤلف من مجموعة من العناصر الميكانيكية موصولة تحت مجموعات ذات وصل تفرعي، ووصل تسلسلي، نجمي أو جسري أو عناصر وصل بطرق مختلفة، فإنّ النظام يدعى في هذه الحالة بالنظام المختلط "النظام المعقد".

عند دراسة وتحديد وثوقية الأنظمة الميكانيكية البسيطة، يتم القبول بالفرضيات الأساسية التالية:

1) يعمل كل عنصر من عناصر النظام الميكانيكي البسيط بشكل مستقل عن الآخر، أي لا تؤثر وثوقية عنصر ما على وثوقية العناصر الميكانيكية الأخرى.

2) تتحدد وثوقية كل عنصر من العناصر بفترة زمنية معينة (زمن العمل). أي أنّ بارامتر فترة العمل للعنصر لن يدخل الدراسة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الوثوقية والأمان للأنظمة الميكانيكية البسيطة والمعقدة المؤلفة من مجموعة من العناصر الميكانيكية المرتبطة مع بعضها البعض على التسلسل أو على التوازي، أو في حال الربط المختلط مستخدماً موديلات وطرق رياضية خاصة.

طرائق البحث ومواده:

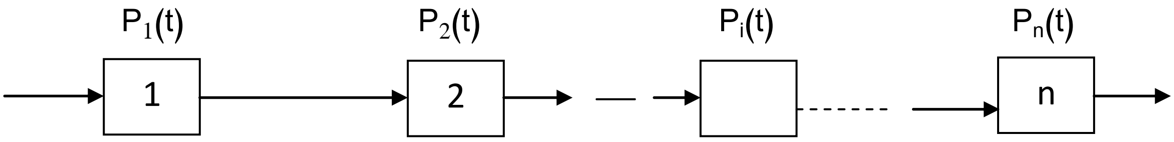
يعتمد البحث على طرق رياضية وبرامج حاسوبية خاصة من أجل تحليل وتشخيص التغيرات التي تطرأ على بارامترات ومؤشرات الوثوقية للقطع والأنظمة الميكانيكية، لمختلف وصلات الميكانزمات والآليات. وتعتمد هذه الموديلات والطرق على بناء دراسة فيزيائية حقيقية في منظومات ميكانيكية عالية الكفاءة من ناحية الوثوقية والأمان.

النتائج والمناقشة:

قبل البدء في الدراسة لا بدّ من التنويه إلى أنّ عناصر النظام الميكانيكي مخصصة للعمل حتى التوقف الأول عن العمل، ويمكن بعد ذلك أن تخضع لحالتين أساسيتين محتملتين هما: صلاحية الاصلاح، والأخرى عدم صلاحية الاصلاح **[5]**.

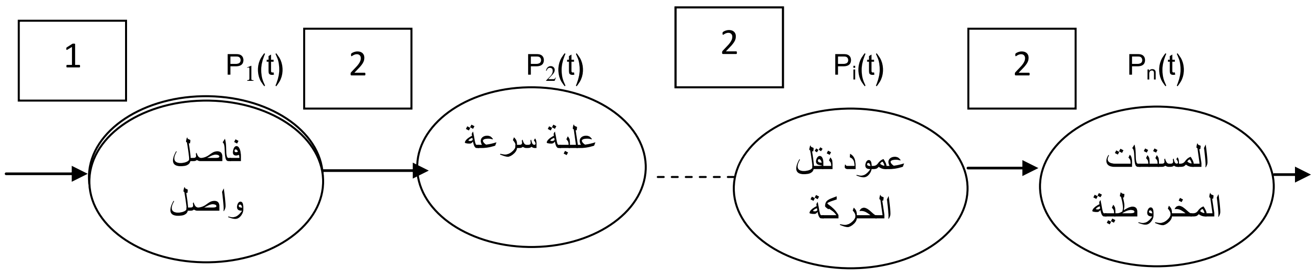
1 دراسة الوثوقية للأنظمة ذات العناصر الميكانيكية التسلسلية بوضعيتين:

ستتم الدراسة على الأنظمة ذات العناصر الميكانيكية غير المرتبطة وثوقياً، والتي تعمل حتى التوقف الأول، وذلك في الحالة التي يؤدي توقف كل عنصر من العناصر، إلى توقف الآلية أو النظام الميكانيكي عن العمل (حالة الوصل التتابعي).



شكل (1) مخطط النظام الميكانيكي البسيط التسلسلي من وجهة نظر الوثوقية

وكمثال على النظام الميكانيكي البسيط نظام نقل الحركة في المركبة والمبين بالشكل (2)، حيث يمكن للعناصر الميكانيكية أن ترتبط مع بعضها البعض بطرق مختلفة (ربط ميكانيكي) أو ربط فيزيائي.



شكل (2) مخطط ربط النظام الميكانيكي البسيط التسلسلي

– نظام نقل الحركة في السيارة–

ويقصد بالمفهوم الفيزيائي للعناصر التتابعية (التسلسلية) هو إمكانية عمل جميع العناصر الميكانيكية بدون توقف، وبالتالي عمل النظام ككل**[6]** . يتمّ تحديد مدة العمل بدون توقف للمنظومة الميكانيكية ذات العناصر التتابعية $P_c(t)$ من أجل فترة زمنية محدودة (t) من العلاقة التالية:

$$P_c(t) = P_1(t) \times P_2(t) \ldots\ldots\ldots \times P_i(t) \times P_n(t) = \prod_{i=1}^{n} Pi(t) \qquad (1)$$

حيث: n: عدد عناصر التوصيل الميكانيكية المتسلسلة،

Pi(t): احتمال العمل بدون توقف لكل عنصر من العناصر.

يمكن تشكيل المعادلة (1) بطريقة أخرى:

$$P_c(t) = [1-\vartheta_1(t)] \times [1-\vartheta_2(t)]. \times [1-\vartheta_i(t)] \,.\, \times [1-\vartheta_n(t)] = \prod_{i=1}^{n}[1-\vartheta i(t)] \qquad (2)$$

حيث: $\vartheta i(t)$ احتمال توقف العمل للعنصر (i) في الفترة الزمنية (t).

عندما تكون احتمالية العمل بدون توقف لمختلف العناصر الداخلة في المنظومة الميكيانيكية واحدة، أي:

$$P_1(t) = P_2(t) \ldots\ldots\ldots = P_i(t) = P_n(t) \qquad (3)$$

في هذه الحالة يصبح شكل المعادلة (1):

$$P_c(t) = [P\ (t)]^n \qquad (4)$$

وبالتالي تصبح المنظومة الميكانيكية منظومة ذات عناصر موحدة درجة الوثوقية (منظومة العناصر ذات الوثوقية الواحدة).

إذا كان من الضروري خلال مرحلة دراسة وثوقية المنظومة أن يتمّ إضافة عناصر جديدة إلى المنظومة، أو إزالة بعضها من المنظومة غير معروفة درجة الوثوقية لها، عندها يمكن إعادة دراسة وثوقية المنظومة بأن يتمّ تطبيق هذا المبدأ **[7]**. استناداً إلى هذا المبدأ يمكن القبول بفرضية أنّ وثوقية العناصر المضافة الجديدة مكافئة لوثوقية المنظومة المدروسة. أي أن:

$$P_{n+1}(t) = P_{n+2}(t) \ldots\ldots\ldots = P_{n+q}(t) = P_c(t) \qquad (5)$$

حيث: n+q عدد العناصر الجديدة المضافة (أو المستبعدة) للمنظومة.

تكون هذه الفرضية عادةً صحيحة، وذلك لأنّ العناصر الجديدة تمتلك درجة وثوقية مماثلة لوثوقية العناصر المستبعدة، ولا يظهر لها تأثير ملموس (ليس لها تأثير يذكر) على وثوقية المنظومة ككل [8].

في حالة خضوع احتمالية العمل بدون توقف تخضع لقانون أسي (معامل تركيز توقف العمل لمختلف عناصر المنظومة ثابت)، بمكن استخدام القوانين التالية:

$$Pc = e^{\lambda_2 T} \times e^{-\lambda_2 T} \times \ldots\ldots \times e^{-\lambda_2 T} \times \ldots\ldots\ldots \times e^{-\lambda n T}$$

$$P_c = e^{-(\lambda_1 T+\lambda_2 T+\cdots\ldots+\lambda_i T+\cdots\ldots+\lambda_n T)} \qquad (6)$$

$$P_c = e^{-T(\lambda_1+\lambda_2+\cdots\ldots+\lambda_i+\cdots\ldots+\lambda_n)} = e^{-T\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}$$

إذا كان لدينا آلية تتألف من وصلات مع درجات تركيز لحالة التوقف عن العمل وفق التالي:

l_1=0.002, l_2=0.001, l_3=0.0025, l_4=0,005 والمطلوب دراسة درجة الوثوقية لهذه الآلية وذلك خلال فترة عمل T=100[h] .

من العلاقة **(6)** نجد:

$$P_{c(100)} = e^{-100(0.002+0.001+0.0025+0.0005)}$$

$$P_{c(100)} = e^{-100(0.006)} = e^{-0.6} = 0.5488$$

إذا قبلنا أنّ: Toc فترة العمل الوسطية للمنظومة حتى حالة التوقف.

Toi فترة العمل الوسطية للعنصر (i) حتى حالة التوقف

يصبح لدينا:

$$\bar{T}oc=[\frac{1}{T_{o1}}+\frac{1}{To2}+\cdots\ldots+\frac{1}{Toi}+\cdots\ldots+\frac{1}{Ton}]$$

$$\overline{Toc} = MTTF$$

عند التطرق لفترة العمل الوسطية حتى حالة التوقف، أو احتمالية العمل المتواصل بدون وقف، فإنه يتم التعبير عنها من خلال العلاقات التالية:

$$\overline{TOC} = m[7] = \int_0^8 tf(t).dt = \int_0^8 P(t).dt = \text{MTTF} \qquad (7)$$

$$P(t)=e^{\int_0^t \lambda(t).dt}$$

يمكن إعادة صياغة العلاقة (7) للمنظومة ذات العناصر التسلسلية:

$$\overline{TOC} = MTTF = [\sum_{i=1}^{n} \lambda i] \qquad \textbf{(8)}$$

وبالتالي:

$$\lambda c(t)=\lambda(t)+\lambda 2(t)+\ldots\ldots.+\lambda i(t)+\ldots\ldots.+\lambda_n(t):$$

$$\lambda c(t)=\sum_{i=1}^{n} \lambda i(t) \qquad (9)$$

l_i(t) درجة تركيز حالة التوقف للمنظومة في اللحظة الزمنية

إنّ المعادلات السابقة صالحة في كل حالات قوانين الانتشار لفترات العمل حتى التوقف، وذلك لمختلف العناصر.

يتم تحديد احتمالية التوقف عن العمل للمنظومة المدروسة وذلك خلال الفترة الزمنية (t) من خلال العلاقة التقريبية التالية:

$$Qc(t)=Q1(t)+Q2(t)+\ldots\ldots+Qi(t)+\ldots\ldots+Qn(t)=\sum_{i=1}^{n} Qi(t) \qquad \textbf{(10)}$$

حيث: Qi(t) احتمالية التوقف عن العمل للعنصر (i)

من خلال الدراسة السابقة يمكن استخلاص النتائج التالية:

1) احتمالية العمل بدون توقف للمنظومة الميكانيكية ككل تنخفض مع زيادة عدد وصلات العناصر المكونة للمنظومة الميكانيكية.

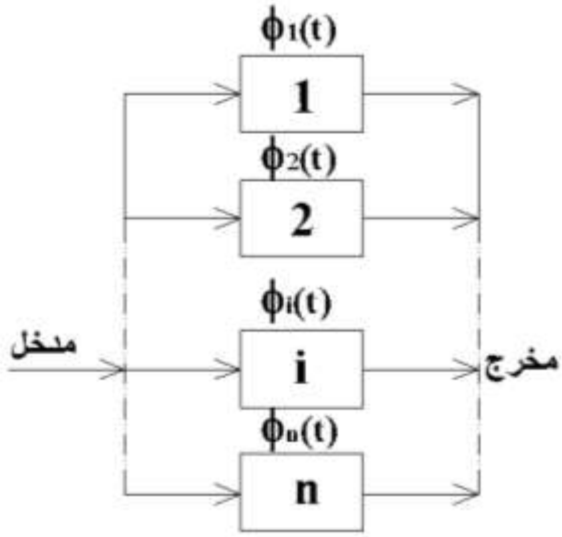
2) وثوقية المنظومة الميكانيكية ككل دائماً هي أقل من مستوى الوثوقية للعنصر الذي يمتلك أقل وثوقية في العناصر المختلفة.

2 دراسة وثوقية المنظومة الميكانيكية المكونة من عناصر موصولة على التوازي مع بعضها البعض، مع وضعيتين:

عندما تتوقف المنظومة عن العمل نتيجة لتوقف جميع عناصرها، يعني ذلك أن جميع عناصر المنظومة متصلة على التوازي مع بعضها من وجهة نظر الوثوقية (شكل 3).

يتمّ تحديد احتمال توقف المنظومة عن العمل $f_c(t)$ خلال فترة الدراسة (t) عند الوصل على التوازي لعناصرها من خلال العلاقة التالية:

$$Qc(t)=Q1(t)\times Q2(t)\ldots\ldots Qi(t)\ldots\ldots Qn(t) \qquad (10)$$



شكل (3) منظومة ميكانيكية مؤلفة من عناصر موصولة على التوازي

يتمّ تحديد احتمال عدم توقف المنظومة عن العمل من خلال العلاقة التالية:

$$pc(t)=1-Qc(t)=1-\prod_{i=1}^{n} Qi(t) \qquad (11)$$

عندما تكون وثوقية العناصر المتصلة على التوازي واحدة، يتمّ استخدام العلاقة التالية:

$$Pc(t)=1-\prod_{i=1}^{n}[1-pi(t)] \qquad (12)$$

في الحالات، عندما يكون تركيز توقف العمل لمختلف العناصر ذو قيمة ثابتة، فإنّه يتمّ تحديد احتمالية عدم توقف المنظومة عن العمل من خلال العلاقة التالية:

$$Pc(t)=1-\prod_{i=1}^{n}[1-e^{-\lambda i(t)} \qquad (13)$$

من أجل تحديد فترة العمل الوسطية حتى توقف المنظومة عن العمل والمؤلفة من عناصر موصولة على التوازي من وجهة نظر الوثوقية وذات الوثوقية المتسارعة، لا بدّ من الاستعانة بالمعادلة التالية:

$$\overline{TO}=m[t]=\int_0^{8} t\, f(t)dt=\int_0^{8} p(t)dt \qquad (14)$$

حيث: To تعبر من الناحية الفيزيائية عن الفترة الزمنية الوسطى للعمل المتواصل حتى الوصول إلى لحظة التوقف.

$$\overline{T_{oc}} = MTTF_s = \int_0^8 [1 - \sum_{j=1}^{k} (n_j)(-1) e^{j - j\lambda_i}] \quad (15)$$

$$\overline{T_{oc}} = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \frac{1}{3\lambda} + \frac{1}{4\lambda} + \cdots \frac{1}{k\lambda} \quad (16)$$

$$\overline{T_{oc}} = \frac{1}{\lambda}[1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \cdots \frac{1}{K}] \quad (17)$$

حيث: K عدد العناصر ذات درجة الوثوقية الواحدة في المنظومة.

من خلال ما تقدّم يمكن استخلاص النتائج التالية:

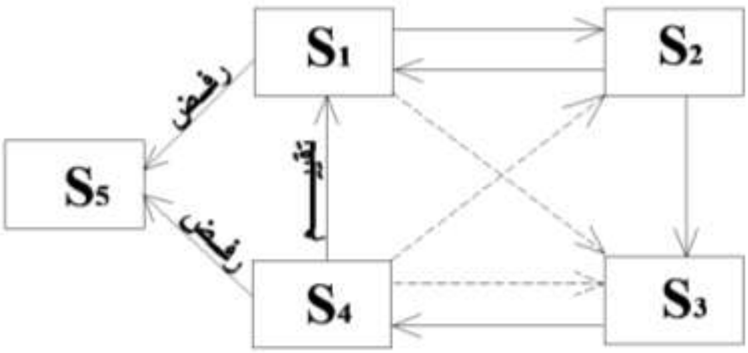
- احتمالية العمل المتواصل للمنظومة ذات العناصر المتصلة على التوازي دوما أكبر من تلك للعنصر الذي يمتلك مستوي عالي من الوثوقية.
- يعتبر وصل عناصر المنظومة على التوازي (إذا كان ممكناً) أكثر فعالية من أجل رفع مستوى وثوقية المنظومة ككل.
- تستخدم العناصر الموصولة على التوازي غالباً في الأنظمة الهيدروليكية، الأنظمة الكهربائية والأنظمة الهيدرو – كهربائية.

غالباً ما نشاهد في كافة المنظومات النوعين السابقين من الوصل على التسلسل وعلى التوازي.

- **وثوقية المنظومات المؤلفة من عناصر غير متعلقة ببعضها البعض وبثلاث وضعيات:**

سيتمّ هنا دراسة وثوقية المنظومة ذات العناصر التي تتميز بوضعية واحدة لإمكانية العمل، ولوضعيتين (حالتين) لعدم إمكانية العمل (التوقف).

المنظومات ذات الوضعيات الثلاث تشاهد بشكل أساسي في أنظمة التهوية الميكانيكية، مقاييس مصروف الوقود، وعدد كبير من منظومات آلات البناء (شكل 4).



شكل (4) وضعية منظومات آلات البناء والطرق في فترة الاستثمار

S_1: وضعية إمكانية العمل بدون تثبيت؛

S_2: وضعية إمكانية العمل مع تثبيت؛

S_3: عدم إمكانية العمل مع توقع خروج المركبة عن العمل إلى الإصلاح؛

S_4: الوضعية الحدية.

يتمّ تمييز احتمالية توقف منظومات مشابهة عن العمل في مجال واسع من الحالات من خلال موديلين (حالتين) أساسيين لوضعية عدم إمكانية العمل والمسميين بـ (مغلق **Closed–** ومفتوح– **Opened**) . ويتمّ دراسة وثوقية هذه المنظومات في حالتي الوصل المتسلسل والمتفرع.

المنظومات ذات العناصر الموصولة على التوازي بثلاث وضعيات:

يحدث توقف المنظومات ذات العناصر الموصولة على التوازي وذات الثلاث وضعيات في الحالات عندما تظهر جميع العناصر في الموديل المفتوح **Opened** أو على الأقل عنصر واحد يظهر في الموديل مغلق **Closed.**

- يمكن تحديد احتمالية توقف المنظومة عن العمل في النموذج المغلق ($Q_{c,c}$ CLOSED) من خلال العلاقة:

$$Q_{c,c}\,(t) = 1 - \Pi_{i=1}^{k}[1 - Q_{c.i}(t)] \qquad (18)$$

- يمكن تحديد احتمالية توقف المنظومة عن العمل في الموديل المفتوح ($Q_{c,o}$ OPENED) من خلال العلاقة:

$$Q_{c.o}(t)=\prod_{i=1}^{k}(t)$$

(19)

حيث: K عدد العناصر الموصولة على التوازي وثلاث حالات.

- احتمالية التوقف عن العمل لـ I عنصر عند تطبيق الموديل المغلق (CLOSED) خلال اللحظة T.
- احتمالية التوقف عن العمل لـ I عنصر عند تطبيق الموديل المفتوح (OPENED) خلال اللحظةT.

يتمّ حساب احتمالية استمرارية العمل للمنظومة ذات الأوضاع الثلاث (ثلاث حالات) $P_c(t)$ من خلال العلاقة:

$$P_c(t)=1-[Q_{c,c}(t)+Q_{c,o}(t)]=\prod_{i=1}^{k}\left[1 - Q_{c,i}(t)\right] - \prod_{i=1}^{k} Q_{o,i}(t) \qquad \mathbf{(20)}$$

إذا كانت معاملات تركيز التوقف عن العمل للعناصر عن الموديل المغلق (CLOSED) والمفتوح (OPENED) قيم ثابتة. فإنه يتمّ تحديد احتمالية العمل المتواصل للمنظومة من خلال العلاقة

$$P_c(t)=\prod_{i=1}^{k}\frac{1}{Ai}\left[\lambda_{o,i} + \lambda_{c.i}\,.\,e^{-A_i(t)}\right] - \prod_{i=1}^{k}\frac{\lambda_{0,1}}{A_i}[1-e^{-A_i(t)} \qquad \mathbf{(21)}$$

حيث : $A_i=\lambda_{o.1}+\lambda_{c.1}$

المنظومة ذات العناصر الموصولة على التتابع بثلاث حالات:

إنّ توقف المنظومة ذات العناصر الموصولة على التسلسل وذات الحالات والوضعيات الثلاث يمكن أن يحدث في حالة ظهور عنصر واحد على الأقل في عناصر المنظومة في الموديل المفتوح opened أو كل العناصر أن تقع وتظهر في الموديل المغلق.

يتمّ تحديد احتمالية العمل المتواصل والمستمر (الوثوقية) لهذه المنظومات من خلال العلاقة التالية:

$$Pc(t)=\prod_{i=1}^{k}\left[1 - Q_{0,i}(t)\right] - \prod_{i=1}^{k} Q_{c,i}(t) \qquad \mathbf{(22)}$$

حيث: k عدد العناصر الموصولة على التسلسل وذات الوضعيات الثلاث من أجل المنظومات ذات العناصر التي تمتلك درجة وثوقية واحدة أي :

$$Q_{0,1}(t)=Q_{0,2}(t)=\ldots\ldots=Q_{0,K}(t)=Q_0 \quad (23)$$

$$Q_{c,1}(t)=Q_{c,2}(t)=\ldots\ldots Q_{c,k}(t)=Q_C \quad (24)$$

يمكننا تحديد احتمالية العمل المتواصل من العلاقة:

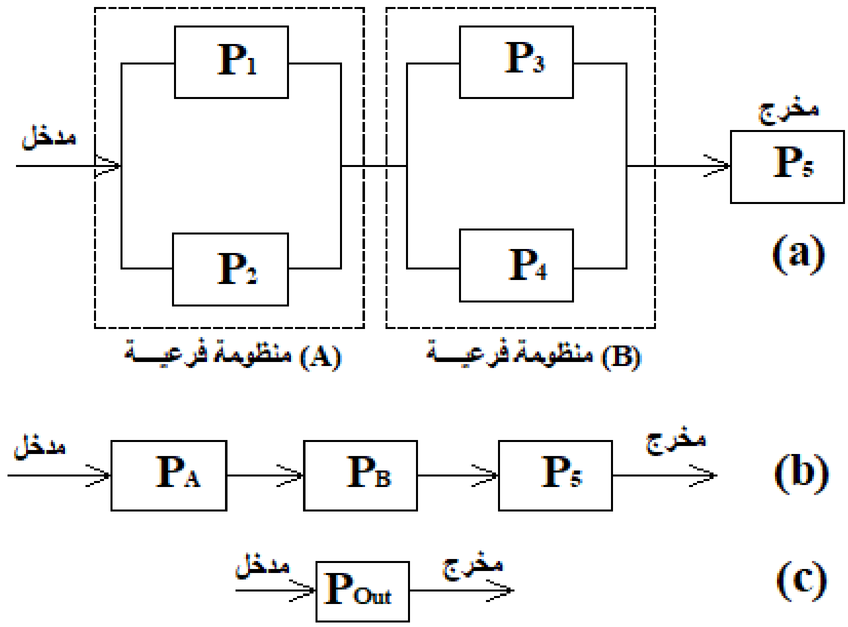
$$P_c(t)=(1-Q_0)^k-Q_C^K \quad (25)$$

3 دراسة المنظومات المعقدة (ذات الوصل التسلسلي والتفرعي) المختلطة:

تتألف الآلات والميكانيزمات بشكل عام من عدة منظومات معقدة، حيث تتواجد العناصر والوصلات المؤلفة لها بشكل ربط تسلسلي، تفرعي، مختلط، نجمي، وجسري...الخ.

عند دراسة الوثوقية للمنظومات الميكانيكية المعقدة ذات التصميم الميكانيكي المختلف (المختلطة) لابد من الاعتماد على موديلات خاصة من نوع التحليل العقدي للأنظمة، وطريقة المتابعة دلتا (DELTA–STAR METHOD).

1) **التحليل:** تتألف المنظومة الميكانيكية في هذه الدراسة من مجموعة من العناصر ذات الوصول المختلط (التسلسلي والموازي) والمعبر عن البناء التسلسلي والفرعي للأنظمة حتى تكامل الفرضية بشكل فعال.



شكل (5) مخطط لمنظومة مختلطة

تستمر العملية حتى اللحظة التي يكون فيها مخرج المنظومة المختلطة معبراً عن وثوقية المنظومة ككل، ويكون مساوياً لوثوقية المنظومة.

إذا كان المطلوب دراسة وثوقية منظومة مختلطة مؤلفة من 5 عناصر بوضعيتين، والمعبر عنها بالشكل (6)، حيث قيم احتمالية العمل المستمر والمتواصل لمختلف عناصر المنظومة هي:

$P_1=0.6 \quad P_2=0.7 \quad P_3=0.8 \quad P_4=0.5 \quad P_5=0.9$

من أجل المنظومة الفرعية: A

من المعادلة:

$$P_c(t)=1-\prod_{i=1}^{n}[1-P_i(t)]$$

$$P_A=1-(1-P_1)(1-P_2)=1-(1-0.6)(1-0.7)=0.88$$

من أجل المنظومة الفرعية: B

$$P_B=1-(1-P_3)(1-P_4) = 0.9$$

وبعد ذلك نقوم ببناء المنظومة من العناصر التسلسلية الافتراضية الوثوقية التي يتمّ تحديدها من العلاقة:

$$P_c(t)=P_1(t)\times P_2(t)\times \ldots\ldots\times P_n(t)=\prod_{i=1}^{n} P_i(t)$$

$$P_{out}=P_A\times P_B\times P_5=0.88\times 0.9\times 0.9=0.7128$$

إذا كان المطلوب حساب الوثوقية للمنظومة الميكانيكية المؤلفة من عدة عناصر ذات وصل مختلط وموضحة في الشكل (6):

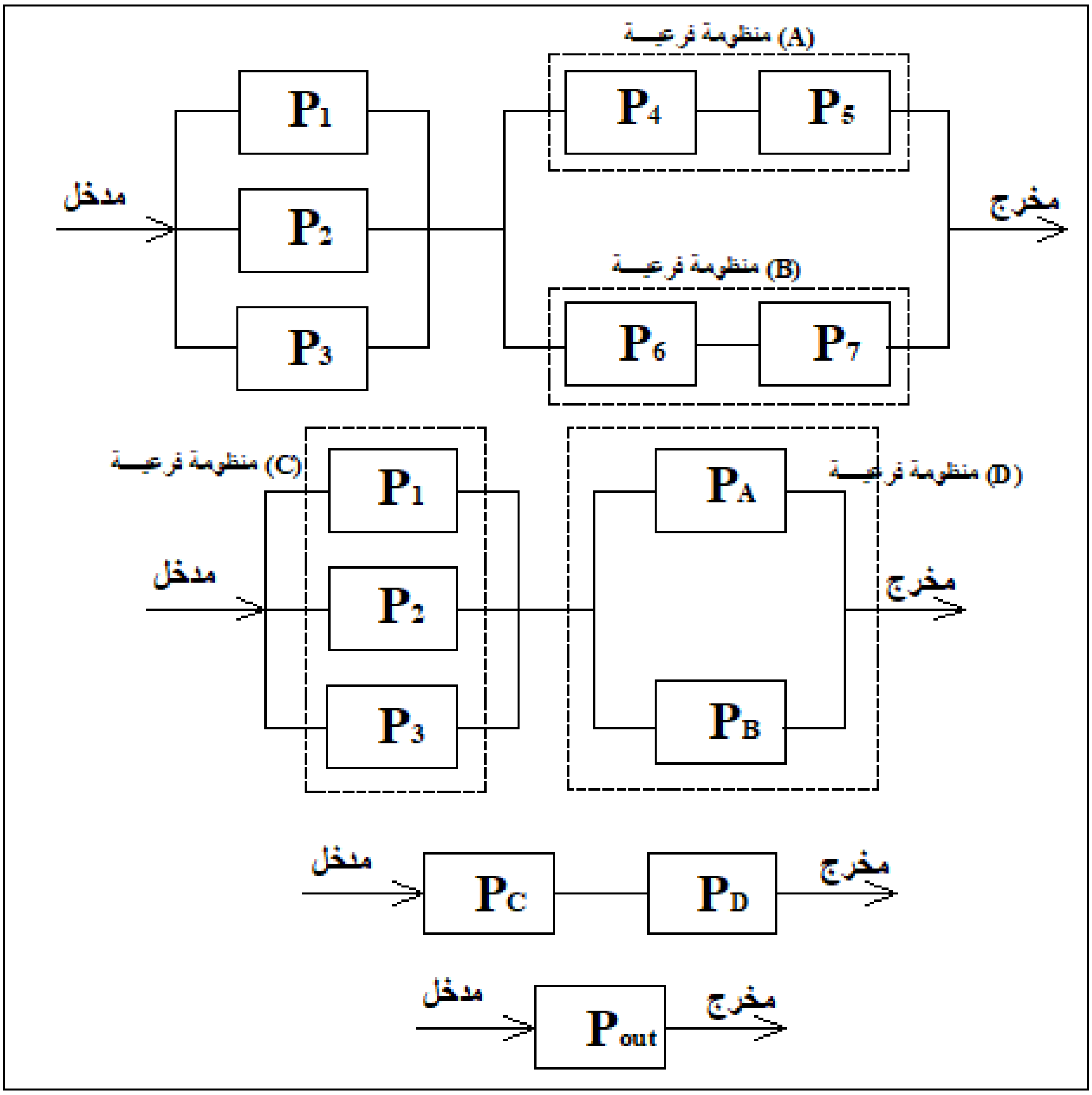
منظومة (B) $P_B= P_6.P_7$

منظومة (A) $P_A= P_4.P_5$

وبذلك نحصل على منظومتين (C و D) مؤلفتين من عناصر تفرعية:

من أجل المنظومة (C) $P_c=1-(1-P_1)(1-P_2)(1-P_3)$

من أجل المنظومة (D) $P_D=1-(1-P_A)(1-P_B)$



شكل (6) المنظومة التكاملية المشكلة

من أجل تحديد احتمالية العمل المتواصل للمنظومة ككل نستخدم القانون التالي:

$$P_{OUT}=P_C.P_D$$

– **طريقة الخطوات:** تستند هذه الطريقة على إمكانية تحديد الطريق الصحيح لتشكيل المنظومة النهائية للمنظومات الميكانيكية المؤلفة من عناصر ميكانيكية صالحة للعمل.

يتمّ تحديد احتمالية العمل المستمر والمتواصل (الوثوقية) للمنظومة الميكانيكية من خلال احتمالية مجموع جميع الأحداث المهمة للطريق الصحيح والناجح.

$$P_C(t)= P(\cup_{i=1}^{n} A_i) \qquad (26)$$

A_1, A_2.........A_i.........A_n. مجموعة من العناصر المتصلة ذات إمكانية للعمل (مجموعة من الخطوات والطرق).

نلاحظ أن لمجموعة الطرق هذه (A_i) مجموعة مقابلات من الحالات الحدية (e_i) التي تبين أنّ إمكانية العمل لعنصر ما في طريق ما قد يحصل فيها رفض للعمل من قبل المنظومة ككل. أي نحصل في النهاية على مجموعة من الحالات والطرق المرتبطة مع بعضها البعض.

لهذا السبب، احتمالية العمل المتواصل للمنظومة يجب أن يتم تحديدها من علاقة الحوادث المتطابقة:

$$Pc=P(\cup_{i=1}^{n} Ai)=$$

$$\sum_{i=1}^{n} P(Ai) - \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} P(Ai\, Aj) + \sum_{i=1}^{n-2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=j+1}^{n} P(AiAjAK) \quad \textbf{(27)}$$

ليس من الصعوبة حل العلاقة (26) وخاصة في حالة العدد القليل من السبل والطرق الناجحة.

في حالة أن عدد الطرق والسبل كبير، يمكن استخدام طرق أخرى إلا أنها تصبح أقل فاعلية.

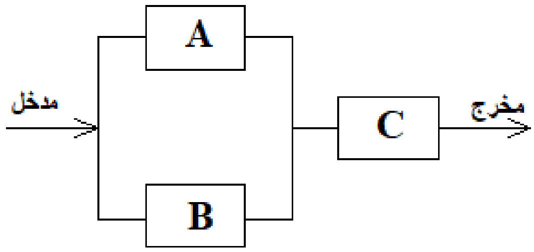
يمكن تشكيل المعادلة (27) بالشكل التالي:

$$P_C= \qquad P \qquad (\coprod_{i=1}^{n} Ai = 1 - P(\prod_{i=1}^{n} \overline{Ai})$$

(28)

A_i الطرق والسبل الإضافية.

إذا كان المطلوب تحديد وحساب الوثوقية لمنظومة ميكانيكية مؤلفة من ثلاث عناصر، موضحة في الشكل (7) بطريق السبل والطرق الناجحة.



شكل (7) منظومة من ثلاث عناصر

في حالة هذه المنظومة يكون عدد الطرق المحتملة الناجحة لتحديد إمكانية العمل للمنظومة هما اثنان: AB،BC .

احتمالية العمل المتواصل والمستمر للمنظومة P_C، يتم تحديدها بهذه الطريقة للطرق AB, BC, أي:

$$Pc=p[AB + BC] \qquad \textbf{(29)}$$

وبالتالي

$$P_C=P(A)P(C) + P(B)P(C) - P(A)P(B)P(C) \qquad \textbf{(30)}$$

حيث: P(A)، P(B)، P(C) احتمالية العمل المتواصل والمستمر للعناصر A,B,C .

- **طريقة المقاطع القليلة:** تعتمد هذه الطريقة على كون عدد العناصر المتوقفة عن العمل أقل ما يمكن، ولكن بنفس الوقت كافية لأن توقف المنظومة ككل عن العمل.

يتم تحديد احتمالية العمل المستمر والمتواصل (الوثوقية) للمنظومة من العلاقة:

$$P_C = 1 - P(\overline{S_1} + \overline{S_2} + \cdots \ldots + \overline{S_\iota} + \ldots\ldots\ldots . + \overline{S_K}) \qquad (31)$$

حيث:

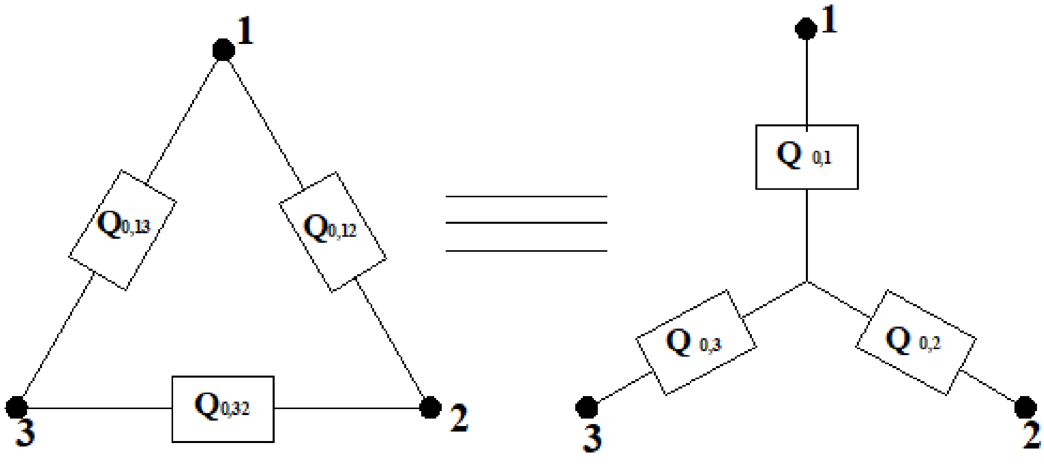
$(\overline{S_1} + \overline{S_2} + \cdots + \overline{S_\iota} + \cdots + \overline{S_K})$ أقل عدد من المقاطع التي تؤدي الى توقف المنظومة عن العمل.

$P(\overline{S_1} + \overline{S_2} + \cdots + \overline{S_\iota} + \ldots + \overline{S_K})$ احتمالية العمل المستمر والمتواصل للحوادث العكسية.

- **طريقة المثلث – نجمة (Delta-Star Met had):**

تطبق هذه الطريقة وبالأخص في حالة المنظومات المعقدة (المختلطة) مع جسور اتصال بين العناصر.
عند العمل وفقاً لهذه الطريقة فإنه يتم تشكيل المنظومة التالية (عند المخرج) كمنظومة مكافئة للمنظومات الفرعية ذات الربط التسلسلي والتفرعي، وتعامل بعد ذلك بإحدى الطرق التي تم شرحها سابقاً.
سوف نقوم بدراسة منظومات وحالات معقدة لمنظومات جسريه مؤلفة من مجموعة من العناصر بثلاث وضعيات). وسنطبق الدراسة في حالة الموديلات المفتوحة والموديلات المغلقة لحالات توقف المنظومة عن العمل .

- **دراسة منظومة جسرية مختلطة في حالة الموديل المفتوح (opened-methad) لحالة التوقف عن العمل :هذه الحالة موضحة في الشكل (8).**



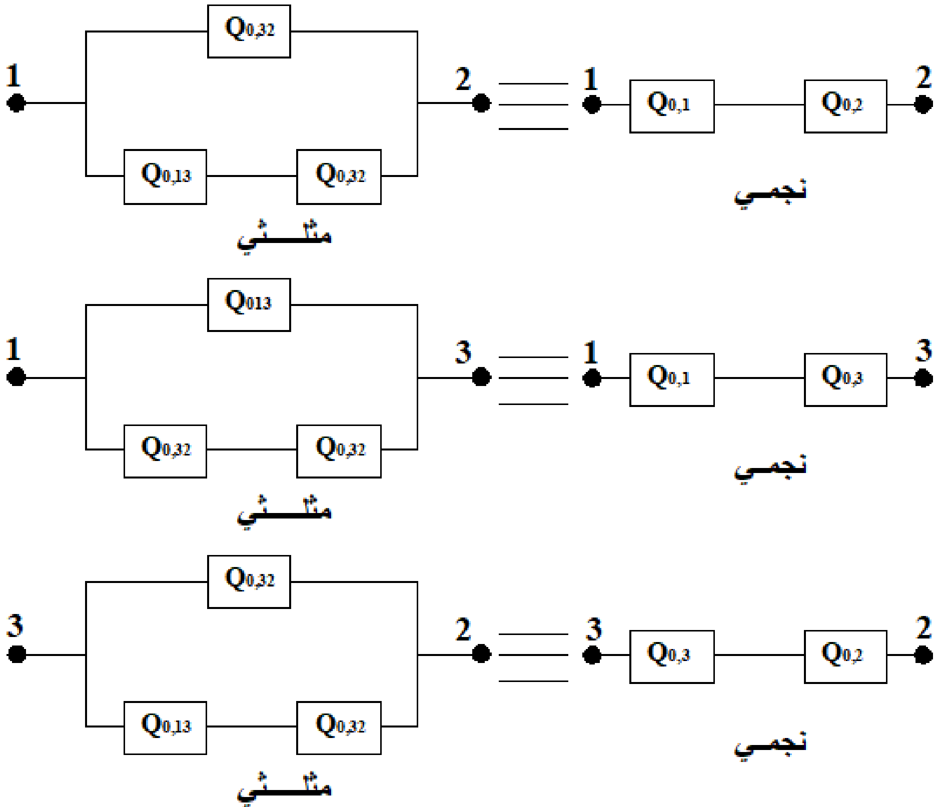
شكل (8) تشكيل احتمالية توقف العناصر عن العمل من أجل الموديل المفتوح بطريقة (المثلث-النجمي)

- إنّ مراحل الحصول على المنظومات الفرعية المؤلفة من عناصر تسلسلية وتفرعية يمكن أن نلاحظها في الشكل (9).
- من أجل الشبكة (الطريق 2-1)

1-(1-Q0.1)(1-Q0.2)=[1-(1-Q0.13)(1-Q0.32)]Q0.12; **(32)**

- من أجل الشبكة (3-1)

1-(1-Q0.3)(1-Q0.1)=[1-(1-Q0.32)(1-Q0.12)]Q0.13; **(33)**



شكل (9) المنظومات الفرعية المكافئة باستخدام الموديل المثلث–النجمي

من أجل الشبكة (2–3):

$$1-(1-Q_{0.3}) \quad (1-Q_{0.2})=[1-(1-Q_{0.13})(1-Q_{0.12})]\times \quad Q_{0.32}$$

(34)

حيث $Q_{0.i}$ احتمال توقف العنصر (i) في المنظومة المختلطة عن العمل وفقاً للموديل المفتوح .

بعد حل معادلات العلاقة (32) نحصل على :

$$Q_{0.1} = 1-[(1-AQ_{0.13})(1-BQ_{0.12})/(1-CQ_{0.32})]^{1/2}$$

(35)

$$Q_{0.2} = 1-[(1-BQ_{0.12})(1-CQ_{0.32})/(1-AQ_{0.13})]^{1/2}$$

$$Q_{0.3} = 1-[(1-CQ_{0.32})(1-AQ_{0.13})/(1-BQ_{0.12})]^{1/2}$$

حيث :

$$A = 1-(1-Q_{0.32})(1-Q_{0.12})$$

$$B = 1-(1-Q_{0.13})(1-Q_{0.32})$$

$$C = 1-(1-Q_{0.13})(1-Q_{0.12})$$

- **دراسة المنظومة الجسرية المختلطة عند الموديل المغلق وذلك لحالات عدم صلاحية العمل:**

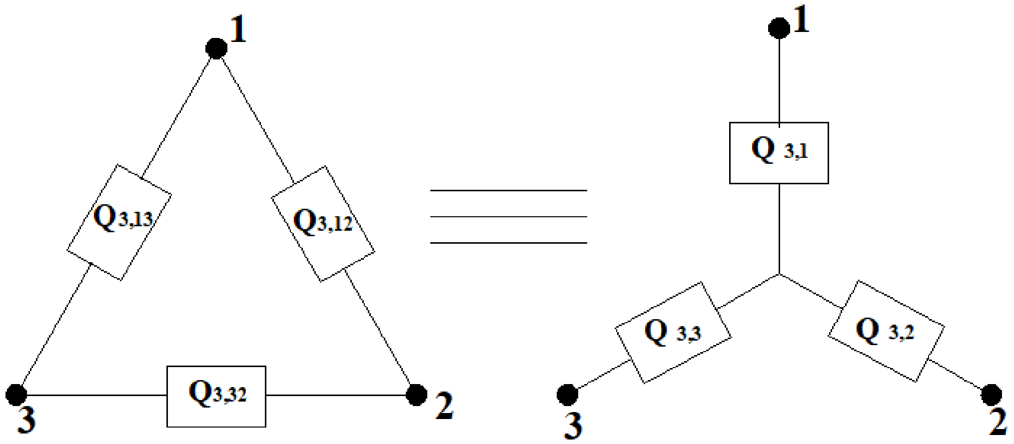
نستخدم في هذه المنظومة معادلات الموديل المغلق، حيث تمتلك العلاقات التي يتمّ الحصول عليها من خلال دراسة الشبكات العقدية كل على حدى الشكل التالي:

$$Q_{3.1} \cdot Q_{3.2} = 1 - (1 - Q_{3.13} \cdot Q_{3.32})(1 - Q_{3.12}) = A$$

$$Q_{3.3} \cdot Q_{3.1} = 1 - (1 - Q_{3.32} \cdot Q_{3.12})(1 - Q_{3.13}) = B \quad (36)$$

$$Q_{3.3} \cdot Q_{3.2} = 1 - (1 - Q_{3.13} \cdot Q_{3.12})(1 - Q_{3.32}) = C$$

حيث: Q_{3i} احتمالية توقف العنصر (i) عن العمل من المنظومة المعقدة في الموديل المغلق.



شكل (10) تشكيل احتمالية التوقف عن العمل للعناصر في الموديل المغلق عند تطبيق الطريقة المثلثية النجمية.

عند حل هذه المنظومة يتمّ الحصول على ما يلي:

$$Q_{31}=(A.B/C)^{1/2}$$

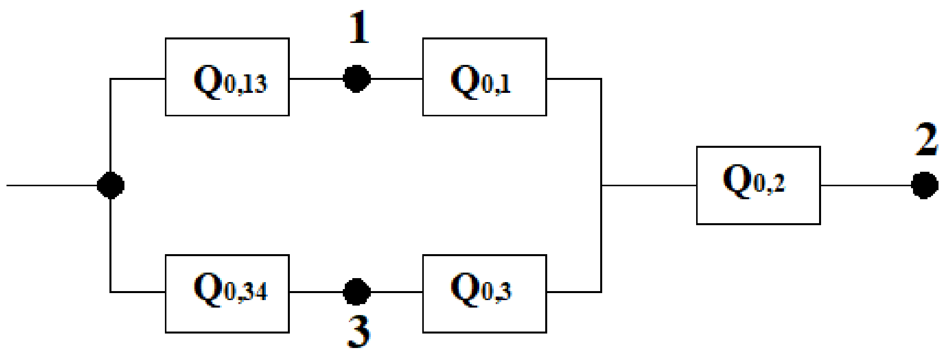
$$Q_{32}=(A.C/B)^{1/2} \quad \textbf{(37)}$$

$$Q_{33}=(B.C/A)^{1/2}$$

مثال: المطلوب دراسة وثوقية المنظومة المختلطة والموضحة بالشكل (11) بالطريقة المثلثية النجمية.

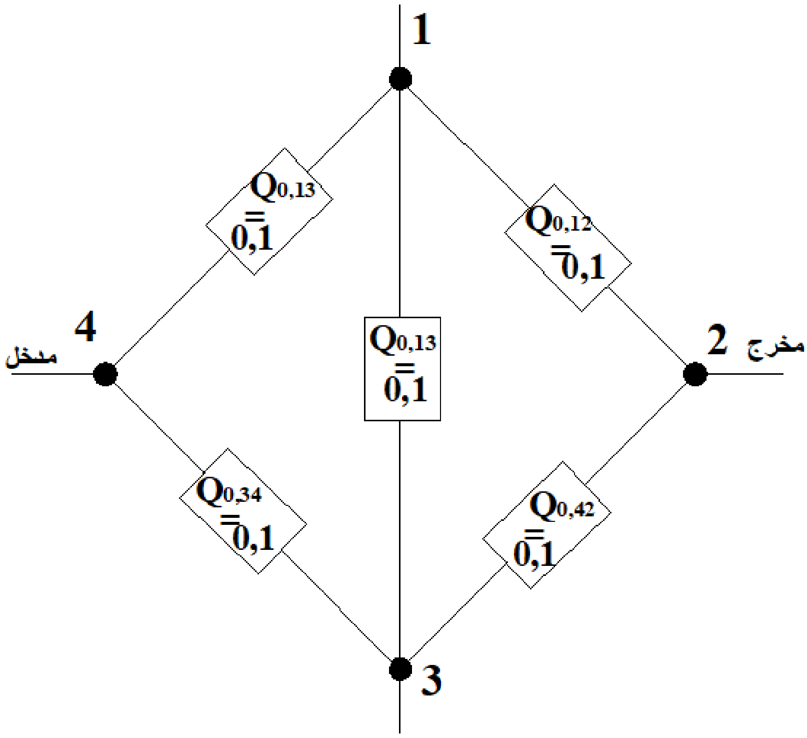
بتطبيق المعادلات السابقة نحصل على :

$$Q_{0.1}=Q_{0.2}=Q_{0.3}$$



شكل (11) المنظومة المختلطة

$Q_{0.1}$=0.0095456



شكل (12) المنظومة المختلطة المدروسة

يتمّ تحديد الوثوقية بالعلاقة التالية:

$P_C=[1-(1-Q_{0.13})(1-Q_{0.1})][1-Q_{0.2}]$

$P_C=0.9788$

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1) احتمالية العمل بدون توقف للمنظومة الميكانيكية ككل تنخفض مع زيادة عدد وصلات العناصر المكونة للمنظومة الميكانيكية.

2) وثوقية المنظومة الميكانيكية ككل دائماً هي أقل من مستوى الوثوقية للعنصر الذي يمتلك أقل وثوقية في العناصر المختلفة.

3) احتمالية العمل المتواصل للمنظومة ذات العناصر المتصلة على التوازي دوما أكبر من تلك للعنصر الذي يمتلك مستوي عالي من الوثوقية.

4) يعتبر وصل عناصر المنظومة على التوازي (إذا كان ممكناً) أكثر فعالية من أجل رفع مستوى وثوقية المنظومة ككل.

5) تستخدم العناصر الموصولة على التوازي غالباً في الأنظمة الهيدروليكية، الأنظمة الهيدرو–كهربائية والأنظمة الكهربائية.

التوصيات:

1. يفضل متابعة الدراسة على منظومات ميكانيكية أكثر تعقيداً وتحتوي على عناصر كثيرة.

2. يفضل انشاء وتصميم موديلات رياضية عامة تصلح لدراسة وثوقية كافة التصاميم الهندسية.

المراجع:

1. Alyan phares; Kouson abbas. Determine Optimal Preventive Maintenance Time Using Scheduling Method . journal of Economics And Administrative Sciences. University of Baghdad 2018 V: 24 , 2018, 515-530 .

2. Omar A. Mohamad-Saad A.Abd & Rasha T. Hameed. New Method to Compute Optimization System Reliability by Using Parametric Approach in Visual Basic Programming. AL-dananeer - Iraqi University 2012 Volume: 1 , 403-414 .

3. Falath M. Mohammad, Mortadha M. Hamad . Performance Testing Technique for Applied Programs. Journal of university of Anbar ,Year: 2012 Volume: 6 Issue: 2 Pages: 1-5 .

4. Qais Matti Alias, Rasha Yassen Abed, Nesrallh Salman. RELIABILITY ENHANCEMENT IN DISTRIBUTION SYSTEMS VIA OPTIMUM NETWORK RECONFIGURATION BY USING GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM. DIYALA JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES. Diyala University 2016 Volume: 9 Issue: 4 Pages:1-10 .

5. HUSSAIN A. M. AL-BAWI, Z. I. AL-DAOUD . Use Of Availability Simulation To Find Optimum Period Of Time Between Schedule Maintenance. Baghdad University 2010 Volume: 16 Issue: 3 Pages: 5633-5643.

6. Ibrahim Khalil Sileh, Sufyan H. Ali, Musaria Karim Mahmood. Analysis, Modeling, and Design of a Reliable Wide Area Network Case Study for Tikrit University Intranet. Tikrit Journal of Engineering Sciences. Tikrit University 2018 Volume: 25 Issue: 2 Pages: 35-39 .

7. Asso Raouf Majeed. Reliability & Sensitivity Analysis of IKR Regional power Network. Iraqi Journal for Electrical And Electronic Engineering. Basrah University 2011 Volume: 7 Issue: 2 Pages: 163-168 .

8. Mohsin Abdullah Al-Shammri. Sahar Emad Abdullah . Experimental and Numerical Investigation of Hyper Composite Plate Structure under Thermal and Mechanical Loadings. Baghdad University 2017 volume: 23, Pages: 56-69.