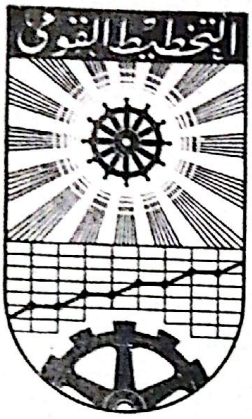
جمهورية مصر العربية



معهد التخطيط القومى

٤٠٨

مذكرة داخلية رقم (٥٦٠)

محاضرات عن

قياس الصلاحية

اعداد
دكتوره مهندسه راجيه عابديين

مايو ١٩٧٧

القاهرة
شارع صلاح سالم مدينة نصر

المحتويات

الموضوع	الصفحة
مقدمة	١
تعريف الصلاحية	٢
أنواع الصلاحية	٣
العوامل التى تؤثر على الصلاحية فى مرحلة التصنيع	٣
العوامل التى تساعد على رفع الصلاحية	٥
مقاييس الصلاحية	٧
أمثلة لحساب مقاييس الصلاحية	١٣
صلاحية التوالى والتوازى	١٨
الاحتياطى	٢٦
أنواع الاحتياطى	٢٧
ملحق : بعض المبادئ الاحصائية المستخدمة بالمذكرة لقياس الصلاحية	٢٨
المراجع	٣٢

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

قياس الصلاحيـــــة

مقدمـــــة :-

فى العصر الحديث حدثت تطورات تكنولوجية هائلة فى جميع المجالات وخاصة مجال الصناعة مما أدى الى تعقد تركيب الآلات وكذلك ظروف تشغيلها وازداد الاهتمام بكفاءة أدائها وصلاحيتها للقيام بعملها .

فعند تصميم آلة أو جهاز يلزم التأكد من صلاحيتها للعمل ووضع مقاييس لصلاحيتها عند التشغيل ومثال على ذلك يذكر المواصفات القياسية للآلة أو الجهاز عمرا الآلـــــــة life time - وكذلك فانه عند تعدد أجزاء الآلة أو الجهاز يلزم تحديد العدد الأمثل لهذه الأجزاء والذى يسمح بالوصول الى مستوى الصلاحية المطلوب .

ومن ذلك يتضح أنه للوصول الى مستوى الصلاحية الأمثل للآلة لابد من مقارنة التكاليف الناتجة عن تحسين تصميم الآلة للوصول الى مستوى صلاحية مرتفع مع الوفر الناتج عن زيادة الكفاءة الانتاجية للآلة عند التشغيل وتقليل تكاليف الصيانة ومن ذلك يلزم دراسة الصلاحية على أسس فنية واقتصادية .

ومن أساليب المحافظة على سلامة الآلة وصلاحيتها للتشغيل القيام بصيانتها للمحافظة على مستوى الأداء المطلوب من الآلة ولضمان استمرار العملية الانتاجية وصيانة الآلات تمثل عنصرا هاما من عناصر تكاليف الانتاج ومن ثم تكلفة المشروعات التى تعتمد على عدد كبير من الآلات .

وحيث أنه لاستمرار العملية الانتاجية والارتفاع بمستوى صلاحية أداء الآلات لابد من وجود آلات (أجزاء) احتياطية تحل محل الأجزاء المعطلة أو التى قلت كفاءتها ومن ذلك يتضح أهمية تحديد الاحتياطى الأمثل الذى يحقق أقل تكلفة ممكنة أو أكبر صلاحيـــة .

ونظرا لأن كفاءة تشغيل الآلة تقل بزيادة عمرها وما يتبع ذلك من زيادة معدلات الخروج الاضطراري لها وزيادة تكاليف صيانتها وانخفاض مستوى صلاحيتها لذلك فانه بعد فترة تشغيل معينة لابد من احلال أجزاء من الآلة حتى تعمل بمستوى الصلاحية المطلوب والمشكلة هنا هى تحديد الزمن الأمثل لعملية الاحلال والتجديد للمعدات والآلات (أو أجزاء منها) فى الوحدة الانتاجية بحيث تكون تكلفة الصيانة بعد الاحلال أقل مايمكن وترتفع صلاحية الآلات .

ومما سبق يتضح أن دراسة الصلاحية ترتبط ارتباطا وثيقا بصيانة الآلات وعملية الاحلال وكذلك بتحديد الاحتياطى الأمثل بالوحدة الانتاجية .

تعريف الصلاحية :-

الصلاحية Reliability هى احتمال أن تؤدى الآلة أو الجهاز العمل المكلفة به بكفاءة خلال الفترة الزمنية المحددة مع الاحتفاظ بظروف التشغيل فى الحدود المسموح بها ، وكفاءة أداء الآلة للعمل المكلفة بها يحدده مجموعة مقاييس يطلق عليها مقاييس الصلاحية وهذه المقاييس تحدد وتصف بوضوح مستوى أداء الآلة لعملها ويجب توضيح ظروف العمل المسموح بها توضيحا مفصلا حتى يمكن تحديد درجة الصلاحية ، ويؤدى تغيير هذه الظروف الى تغيير الرقم الدال على الصلاحية .

ومن الواضح أن ظروف التشغيل تعتمد على الظروف الطبيعية التى تعمل فيها الآلة مثل درجة الحرارة — الرطوبة كما تعتمد على درجة تحميل الآلة وعدد ساعات تشغيلها (أى طرق تشغيل الآلة) والصيانة المتبعة بالنسبة للآلة سواء من ناحية الأسلوب أو القائمين بها . مثال ذلك الآلة الحاسبة الالكترونية يحتاج تشغيلها الى درجة حرارة معينة فاذا اختلفت درجات الحرارة كثيرا فقد يتعطل الجهاز وقد أصبح للصلاحية أهميتها فى كافة المجالات وبخاصة فى مجال التصنيع ومراقبة الجودة وكذلك فى التصميم الهندسى ومن هنا نشأ علم هندسة الصلاحية وهو يشمل :

" تحليل ظاهرة الأعطال ومعدلات حدوثها ومحاولة التنبؤ بهذه الاعطال والتحكم فيها للوصول الى مستوى عال للأداء "

أنواع الصلاحيـــــة :

يمكن تقسيم الصلاحية بوجه عام الى : صلاحية نظرية وصلاحية تطبيقية كما يمكن تقسيمها من وجه نظر المنتج الى : صلاحية الجزء وصلاحية الآلة وصلاحية المجموعة .

وبالنسبة الى تصنيع المنتج يمكن تقسيم الصلاحية الى صلاحية التصميم وصلاحيـــــة التصنيع وصلاحية الاستعمال .

وقد أصطلح على تعريف صلاحية التصميم والتصنيع بأنها الصلاحية الكامنـــــة In herent reliability وهى صلاحية كل جزء من أجزاء الآلة من وجهة نظـــــر التصميم .

ونظرا لوجود عوامل أخرى تؤثر على صلاحية الآلة مثل الظروف الطبيعية وكذلك التخزين وأسلوب تشغيل وصيانة الآلة وحدود الخبرة الفنية للقائمين بتشغيل وصيانة الآلة واحتمال وجود خطأ انسانى فى اتباع تعليمات التشغيل والصيانة نتج من ذلك وجود صلاحية لاستعمال الآلـة Us reliability أى أننا لدينا نوعين من الصلاحية :-

١- الصلاحية الكامنـــــة .

٢- صلاحية الاستعمـــــال .

العوامل التى تؤثر على الصلاحية فى مرحلة التصنيع :

تقوم مراقبة الجودة بدور فعال فى جميع العمليات التى تتم داخل المصنع وهى تعتـــــبر من أهم العوامل التى تؤثر على الصلاحية وتعرف جودة الجهاز بأنها :

" درجة تطابقه أو توافقه مع المواصفات المطلوبة ومعايير الصفة "

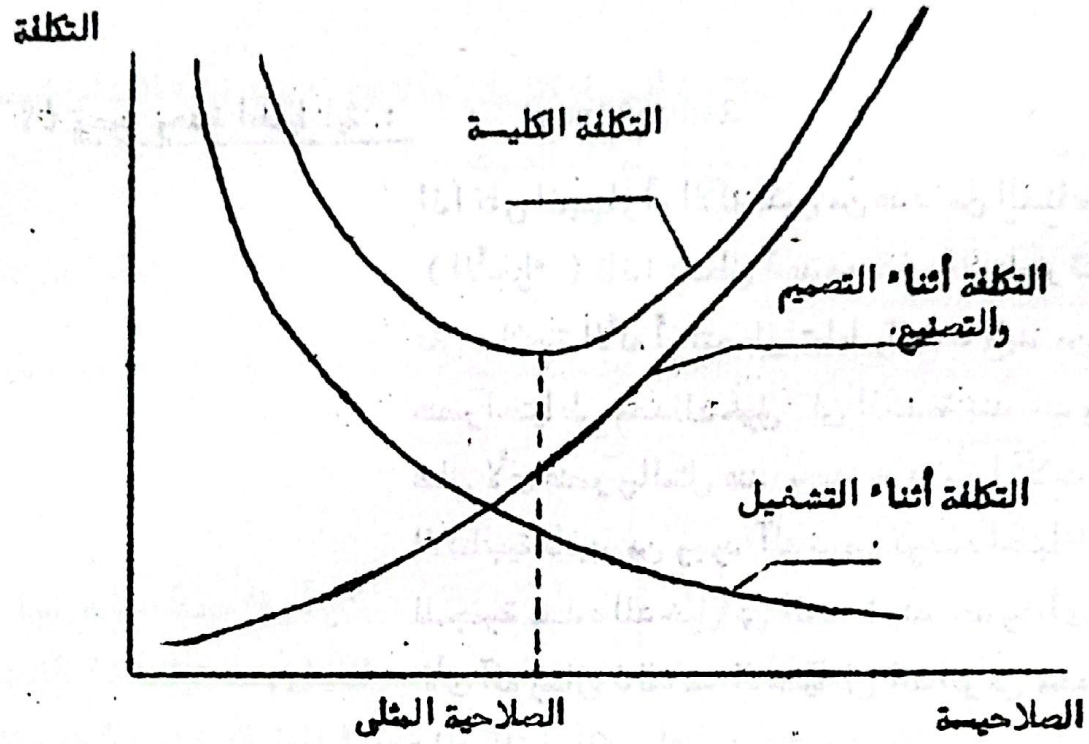
وعادة لا ترتبط مواصفات الجودة بعنصر الوقت كما هو الحال فى مواصفات الصلاحية وغالبا ماتحدد معايير الصفة لصناعة معينة كما تحدد بوضوح الاختبارات الواجب اجراءها للتحقق مـــن أن الجهاز قادر على الاداء فى حدود معينة بدون اعتبار لعامل الوقت - وقد اثبتت التجربة أن ارتفاع

الجوده عنصر رئيسى لضمان الصلاحية المرتفعة وذلك لأن الصناعة الرديئة تقلل من عمر الجهاز وتؤثر على صلاحيته أى أن عملية التصنيع اذا لم تتم حسب المواصفات فانها ستؤثر تأثيراً عكسيا على الصلاحية .

والوصول الى مستوى صلاحية عالى أثناء تصنيع آله يزيد من تكاليفها نتيجة للأبحاث والتطورات التى تجرى على الآله وكذلك تكاليف تصنيعها واختبارها . ولكن فى هذه الحالة تقل التكاليف أثناء التشغيل وكذلك تكاليف الاصلاح والصيانة والحاجة الى قطع غيار .

ومن الجدير بالذكر أن مستوى الصلاحية المطلوب للآله أو الجهاز يتراوح من مجال لآخر — فبينما يكون من المطلوب مستوى صلاحية مرتفع جدا فى معدات للسفر الى الفضاء . ومجال الطيران والمعدات الحربية (مثل الرادار والمعدات الالكترونية) والآلات المحاسبة الالكترونية بدون النظر الى التكاليف المرتفعة للتصميم والتصنيع ، نجد أن مستوى الصلاحية المطلوب للمعدات والآلات بالوحدات الانتاجية فى مجال الصناعة يكون على أساس مقارنة تكاليف التصميم والتصنيع مع الوفر فى التكاليف الذى ينتج لارتفاع صلاحية تشغيل الآله وانخفاض تكاليف صيانتها وتشغيلها .

والرسم التالى يوضح منحنى لدراسة صلاحية آله والتكاليف الكلية وأقل نقطة على هذا المنحنى تعطى مستوى الصلاحية الذى يجعل التكاليف الاجمالية أقل مايمكن .



العلاقة بين الصلاحية والتكاليف

العوامل التى تساعد على رفع الصلاحية :

هناك عدة عوامل تساعد على رفع الصلاحية أهمها :

١) الصيانة الوقائية : Preventative maintenance

تجرى فى فترات زمنية محدده طبقا لتعليمات محدده لتقليل حدوث الأعطال أثناء التشغيل مثل الصيانة الدورية (planned maintenance) فى محطات توليد الكهرباء وصيانة الآله الحاسبة الالكترونية حيث توجد صيانة جدولية حيث يمر المهندس على جميع الأجهزة لقياس كفاءة جميع العناصر ويختبرها بحيث يستبدل أى عنصر لا يعمل بصلاحية كاملة .

٢) وجود وحدة احتياطية : Redundancy

اذا كان الجهاز أو الآله يكون من عدد من العناصر (الأجزاء) فاذا تعطل أحد من هذه العناصر فقد تقل صلاحية الآله أو تتعطل تماما ولذلك لابد من وجود عنصر احتياطي معد للدخول في الخدمة عند حدوث أى عطل لأى عنصر وبالمثل عند وجود عدد من الآلات بالوحدة الانتاجية فلابد من وجود آله تعمل كوحده احتياطية للمجموعة معده للدخول في الخدمة عند حدوث أى عطل لأى آله ومثال ذلك ـ الاحتياطي الدائر في محطات توليد القوى الكهربائية .

(Spinning reserve in electric power stations)

٣) تحديد الحجم الأمثل لقطع الغيار :

ويمكن تحديدها بمعرفة الزمن بين عطلين للجهاز أو الآله أو بمعرفة متوسط عمر مكونات الجهاز Mean life of elements

مثال ذلك ضرورة توفر قطع الغيار لأى آله حتى لايحدث لها عطل كامل اذا تعطل أحد أجزائها .

٤) احلال بعض مكونات المجموعة :

اذا قلت صلاحية بعض مكونات (عناصر) الآله أو الجهاز يلزم احلالها بأخرى وذلك لرفع صلاحية الآله ككل ـ مثال ذلك احلال (ترانزستور) صمام في جهاز الراديو أو التليفزيون اذا قلت صلاحيته أو تقادم لرفع

صلاحية الجهاز ككل وفى حالة عدم تغيير هذا الصمام يقـــل وضح الصورة أو الصوت .

مقاييس الصلاحيـــة :—

مقاييس الصلاحية هى التى تحدد وتصف بطريقة كمية (قيمة عددية) صلاحيـــة أداء الآله لمطلبـــا .

وتختلف مقاييس الصلاحية طبقا لنوعية الآلات فتوجد

١ — مقاييس صلاحية للآله (العنصر) التى لايمكن أجراء عملية صيانه لها . وهذا النوع من الآلات اذا تعطل فيمكن اعادته للعمل بعد توقفه اذا زال العطل ولكن فى بعض الأحيان تكون فاعلية العنصر (الجهاز) لمره واحده فقـــط ومثال ذلك القذائف الموجهة والأقمار الصناعية والصواريخ .

٢ — مقاييس صلاحية للآله (العنصر) التى يمكن أجراء عملية صيانه لها . عنـد تعطـل الآله من هذا النوع تحتاج لعملية اصلاح وصيانه لتعوده الى حالتهـا الطبيعية ومثال ذلك السيارات والجرارات والآلات بالمصانع .

ومن أهم المقاييس التى يمكن قياس صلاحية الآله بها هى :

١ — معدل التعطل λ

هو متوسط عدد مرات الأعطال فى وحدة زمنية

$$\lambda(t) = \frac{m(\Delta t)}{n \Delta t}$$

حيث $m(\Delta t)$ — عدد الأعطال فى الفترة Δt

n — متوسط عدد التجارب

Δt — الفترة الزمنيـــة

كما يمكن أن يكون معدل التعطل هو نسبة عدد ساعات الأعطال فى كل ١٠٠٠ ساعة خدمة — ويلاحظ أنه كلما زاد معدل التعطل للآله كلما قلت صلاحيتهـــا .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

٢ - متوسط الزمن بين الأعطال T_f

هو ناتج قسمة عدد ساعات الخدمة على عدد الأعطال وعلى ذلك فهو يساوى مقلوب معدل التعطل

$$T_f = \frac{1}{\lambda}$$

وبالتالى كلما زاد متوسط الزمن بين الأعطال كلما ارتفعت صلاحية الآلـــــه .

٣ - متوسط زمن الصيانه T_{av}

هو متوسط زمن الخدمى الاضطرارى اللازم لكشف وأزالـــة العطل أى هو نسبة مجموع أوقات الصيانة الى عدد عمليـات الصيانـــــه

$$T_{av} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} t_i$$

حيث m - عدد الأعطال

t_i - زمن كشف وازالة العطل (زمن الصيانـــه)

ويلاحظ أنه كلما قل متوسط زمن الصيانه كلما زادت صلاحيـة الآله أو الجهاز .

٤ - معدل الصيانـــة μ

هو عدد عمليات الصيانه التى يمكن أجراؤها فى وحده زمنيـــة أى أن

$$\mu = \frac{1}{T_{av}}$$

٥ — احتمال تعطل الآله $Q(t)$

هو احتمال حدوث ولو عطل واحد فى فترة زمنية محددة t وتحت ظروف التشغيل المحدده .

احتمال عدم تعطل الآله $P(t)$

هو احتمال عدم حدوث أى عطل للآله فى الفترة الزمنية t وتحت ظروف التشغيل المحدده أى هو احتمال صلاحية الآله للعمل

$$P(t) = P(T > t)$$

حيث t — الزمن الذى فى خلاله يحسب احتمال عدم خدوث العطل ،

T — وقت تشغيل الآله من فترة بدء التشغيل الى بداية أول عطل يحدث للآله .

واذا فرضنا أن لدينا الجهاز فى بداية التجربة ويراد حساب احتمال تشغيلهم بدون حدوث عطل فى الفترة t — ولنفرض أن m جهاز قد تعطل خلال الفترة t فأن الاحتمال الاحصائى لعدم التعطل

$$\bar{P}(t) = n - m(t)/n$$

عندما يكون n كبيرة فأن

$$P(t) = \bar{P}(t)$$

واحتمال تعطل الآله ، واحتمال عدم تعطلها هما حدثان متضادان ومستقلان ويكونان مجموعة من الأحداث المتكاملة اللازمة الوقوع[1] ولذلك فأن

$$P(t) + Q(t) = 1$$

واحتمال تعطل الآله $Q(t)$ فى الفترة الزمنية t

$$Q(t) = P(T \leq t),$$
$$\bar{Q}(t) = m(t)/n$$

---

(١) انظر الملحق بنهاية المذكرة

٦ - معامل الاستعداد C_p

هو احتمال أن تكون الآله صالحة للعمل فى فترة زمنية محدده مابين اجراء الصيانات الجدولية أى هو نسبة عدد ساعات التشغيل الى اجمالى عدد ساعات التشغيل وساعات التعطل الاضطرارى مقاسة فى فترة زمنية محدده

$$C_P = \frac{T_f}{T_f + T_{av}} = \frac{M}{M+\lambda}$$

ويلاحظ أن زيادة معامل الاستعداد يؤدى الى ارتفاع صلاحية الآله للعمل .

٧ - معامل التعطل الاضطرارى C_f

هو احتمال عدم صلاحية الآله للعمل فى فترة زمنية محدده مابين أجراء الصيانات الجدولية أى هو نسبة عدد ساعات التعطل الاضطرارى الى مجموع عدد ساعات التشغيل + عدد ساعات التعطل الاضطرارى مقاسة فى فترة زمنية محدده .

$$C_f = 1 - C_P = \frac{T_{av}}{T_f + T_{av}} = \frac{\lambda}{M+\lambda}$$

٨ - معامل الاستعمال C_U

هو نسبة عدد ساعات تشغيل الآله فى فترة زمنية محدده الى مجموع عدد ساعات التشغيل والتوقف للآله (سواء لظروف التشغيل أو لأجراء الصيانات) فى نفس الفترة الزمنية المحدده .

فى مجال الكهرباء فى محطات التوليد الكهربائية يستخدم بدلا من معامل الاستعداد ومعامل الاستعمال - معدل الخسروج الاضطرارى لوحدات التوليد الكهربائية ومعدل الخروج لاجراء الصيانات الدورية q'

$$q = 1 - C_U$$

$$q = C_F + q'$$

٩ - عمر الآلة T_e

هو الفترة الزمنية القصوى التى يمكن للآلة (أو الجزء) أن تؤدى فيها العمل المطلوب منها وبانتهاء عمر الآلة (الجزء) النظرى (المحدد بالمواصفات) يصبح استمرار تشغيل الآلة غير اقتصاديا ويصبح من الضرورى احلال الجزء أو الآلة بأخرى .

١٠ - احتمال للبقاء :

احتمال بقاء مجموعة من الآلات هو عدد الآلات المتوقع بقاؤها تعمل بكفاءة (أى احتمال عدم تعطلها) لفترة زمنية محددة وهذا يرجع اما لصلاحيتها للعمل وعدم تعطلها واما الى أجراء عمليات الصيانة للآلات (أو الأجزاء) المعطلة منها وبحث لا يزيد زمن الصيانة t عن الفترة الزمنية المحددة للقياس T.

فاذا كان توزيع الوقت بين الأعطال وبالتالى توزيع الأعطال توزيعا أسيا سالبا فان احتمال عدم حدوث تعطل خلال الفترة T هو

$$P(T) = e^{-\lambda T}$$

خلال

واحتمال حدوث تعطل خلال الفترة T هو

$$Q(T) = 1 - e^{-\lambda T}$$

فاذا كان توزيع أزمنة الصيانة توزيعا أسيا سالبا(٧) فأن احتمال عدم تأدية الصيانة خلال الفترة t هو e^{-Mt}

وعلى ذلك فأن احتمال بقاء الآله تعمل هو $1-e^{-Mt}(1-e^{-\lambda T})$

ومن الواضح أنه اذا كان احتمال البقاء للآله كبيرا فأن متوسط الزمن بين الأعطال وبالتالى صلاحية الآله كبيرة .

ومن الجدير بالذكر أن تعدد مقاييس الصلاحية لايعنى بالضرورة قياس صلاحية الآلـــه (العنصر) باستخدام جميع هذه المقاييس ، واختيار مقياس أو آخر يتحدد طبقا لطبيعـــة الآله (العنصر) .

ومن أهم هذه المقاييس لقياس صلاحية آله (جهاز) معدل التعطل لأنه يصف ظاهرة التعطيل العشوائية وكذلك منه يمكن تقدير الزمن بين الأعطال .

وأنسب هذه المقاييس لقياس صلاحية مجموعة مكونه من عدة الات (أجهزة) هو احتمال صلاحية (عدم تعطل) المجموعة وذلك للأسباب التالية :

أ) يدخل بمناسبة عامل فى خصائص أخرى للمجموعة مثل الفاعلية للمجموعة والتكلفة .

ب) يوضح تغير الصلاحية مع الزمن .

جـ) يمكن حسابه بسهولة فى مرحلة التخطيط للمجموعة وفى مرحلة التجارب .

---

(٧) وهذا منطقيا لأنه كلما زاد زمن الصيانة كلما زاد احتمال تأدية الصيانة ولكن وقـــت الصيانة يجب الا يزيد عن حد معين لأن ذلك يؤثر على زمن تشغيل الآلـــه

أمثلة لحساب مقاييس الصلاحيـــة :

مثال ١ :

أجريت تجربة على ١٠٠٠ لمبة كهربائية متماثلة وفى خلال ٣٠٠٠ ساعة تعطلـــت ٨٠ لمبة — والمطلوب حساب احتمال عدم تعطل المجموعة عن العمل واحتمـــال التعطل , فى خلال ٣٠٠٠ ساعة خدمـــة .

الحـل :

احتمال عدم التعطل للمجموعة

$$P(3000) = n - m(t)/n$$

$$= \frac{1000 - 80}{1000} = 0.92$$

احتمال تعطل المجموعة .

$$Q(3000) = m(t)/n$$

$$= \frac{80}{1000} = 0.08$$

أو احتمال تعطل المجموعة

$$Q(3000) = 1 - P(3000) = 1 - 0.92 = 0.08$$

مثال ٢ :

أجريت تجربة على ١٠٠٠ لمبة كهربائية متماثلة وفى خلال ٣٠٠٠ ساعة خدمة تعطلت ٨٠ لمبة ، فى خلال الفترة الزمنية من ٣٠٠٠ — ٤٠٠٠ ساعة خدمة تعطلت ٥٠ لمبة أخرى والمطلوب حساب معدل التعطل للمبات الكهربائية فى الفترة الزمنيـــة من ٣٠٠٠ — ٤٠٠٠ ساعة خدمـــة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الحل :

معدل التعطل للمهمات فى الفترة الزمنية من ٣٠٠٠ - ٤٠٠٠ ساعة خدمة

$$\lambda(3500) = \frac{m(\Delta t)}{n \cdot \Delta t}$$

$$= \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5.10^{-5} \quad \frac{1}{hour}$$

مثال ٣ :

أجريت تجربة على ٤٠٠ جهاز وفى خلال ٣٠٠٠ ساعة تعطل ٢٠٠ جهاز ، فعى خلال فترة زمنية تالية ١٠٠ ساعة تعطل ١٠٠ جهاز (انظر الرسم)

والمطلوب حساب ١ - احتمال عدم التعطل خلال أ - ٣٠٠٠ ساعة خدمة الأولى ب- ٣١٠٠ ساعة خدمة ، جـ- خلال ٣٠٥٠ ساعة خدمة

٢ - حساب معدل التعطل خلال ٣٠٥٠ ساعة

الحل :

حيث أن احتمال عدم التعطل

$$P(t) = \frac{n - m(t)}{n}$$

$$P(3000) = \frac{400 - 200}{400} = 0.5$$

$$P(3100) = \frac{400 - 300}{400} = 0.25$$

عدد الأجهزة التى تعطلت حتى نهاية ٣٠٥٠ ساعة خدمـــــة

$$m(t) = 200 + \frac{100}{2} = 250$$

$$F(3050) = \frac{400 - 250}{400} = 0.375$$

معدل التعطل للفترة الزمنية ٣٠٥٠ ساعة خدمـــــة

$$\lambda(3050) = \frac{m(\Delta t)}{n \cdot \Delta t}$$

$$= \frac{100}{400 \times 100} = 2.5 \times 10^{-3} \quad \frac{1}{hr}$$

مثال ٤ :

أجرى اختبار لعينة من جهاز فكانت نتيجة الملاحظة حدوث ١٥ عطل فـــى ٢٥٨ ساعة من بدء الملاحظة وقد استمر الاختبار لفترة ١٢٣٣ ساعة والمطلوب حساب متوسط الزمن بين الأعطال

الحل :

عدد ساعات تشغيل الجهاز فى فترة الاختبار

$$t = 1233 - 258 = 975 \quad hr$$

ومتوسط الزمن بين الاعطال يساوى

$$T_f = \frac{975}{15} = 65 \quad hr$$

مثال ٥ :

فى خلال فترة ملاحظة لعمل جهاز حدث ٨ أعطال وكانت أزمنة الصيانة كما يلى

t_1= 12 min , t_2= 23 min , t_3= 15 min ,

t_4= 9 min , t_5= 17 min , t_5= 28 min ,

t_7= 25 min , t_8= 31 min.

والمطلوب حساب متوسط زمن الصيانة

الحل :

متوسط زمن الصيانة

$$T_{av} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} t_i$$

$$= \frac{12+ 23+ 15+ 9+ 17+ 28+ 25+ 31}{8}$$

$$= \frac{160}{8} = 20 \quad \text{min}$$

مثال ٦ :

لجهاز معين كان متوسط الزمن بين الاعطال T_f=65 hr متوسط زمن الصيانة T_{av} = 1.25 hr والمطلوب حساب معامل الاستعداد

الحل :

معامل الاستعداد

$$C_P = \frac{T_f}{T_f + T_{av}} = \frac{1}{1 + T_{av}/T_f}$$

$$= \frac{1}{1 + 0.019} = 0.98$$

مثال ٧ :

اذا كان توزيع الوقت بين الأعطال توزيعا أسيا ومعدل تعطل الجهاز

$$\lambda = 2.5 \quad 10^{-5} \quad 1/hr$$

المطلوب حساب احتمال عدم التعطل $P(t)$ عندما

$$t = 500, 1000 \quad hr$$

وكذلك حساب متوسط الزمن بين الأعطال

الحل :

حيث أن توزيع الوقت بين الأعطال توزيعا أسيا فأن احتمال عدم التعطل للجهاز

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$P(500) = e^{-2.5.10^{-5}\ 500} = e^{-0.0125} = 0.9875$$

$$P(1000) = e^{-2.5.10^{-5}\ 1000} = e^{-0.025} = 0.9753$$

ومتوسط الزمن بين الأعطال

$$T_f = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2.5\ 10^{-5}} = 40000 \quad hr$$

صلاحية التوالى والتوازى

Series and parallel reliability

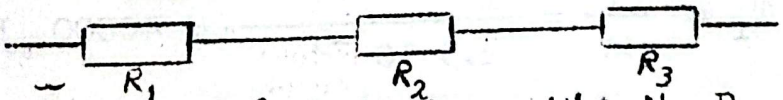
١ — صلاحية التوالى Series reliability

المجموعة التى جميع عناصرها (أجزائها) متصلة ببعضها كل تلو الآخر بحيث تتعطل المجموعة كلها اذا تعطل أحد عناصرها (أجزائها) تسمى بمجموعة متصلة أجزائهـــا على التوالى — ويلاحظ أن المجموعة تعمل طالما جميع أجزائها تعمل .

لنفرض مجموعة مكونة من n وحدة (جزء) وهذه الوحدات (الأجـــزاء مستقلة عن بعضها البعض بحيث أن قيام أحد الوحدات (الأجزاء) بعملها لا يؤثر فى صلاحية وحده أخرى

وحيث أن الصلاحية ما هى الا احتمال فأن صلاحية المجموعة تساوى حاصـــل ضرب صلاحية الأجزاء

$$R_s = \prod_{i=1}^{n} R_i$$



حيث R_s صلاحية المجموعة (جهاز كان أو آله) المكونة من وحـــدات متصلة على التوالـــــى

- R_i — صلاحية الوحدة (الجزء)
- n — عدد الوحدات (الأجزاء)

فاذا كانت جميع عناصر الآله متماثلة وصلاحيتها متساوية فأن صلاحية الآلـــــه

$$R_s = R^n$$

حيث n — عدد عناصر (أجزاء) الآله .

R — صلاحية العنصر (الجزء) الواحد .

R_S — صلاحية الآلـــــــه .

مثال ٨ :

آله مكونه من أربع عناصر D, C, B, A وصلاحية هذه العناصر

$R_A = 0.96$, $R_B = 0.95$, $R_C = 0.93$, $R_D = 0.92$

ومطلوب حساب صلاحية الآله اذا كان التوصيل على التوالى وصلاحية الآله فـــى حالة تكونها من العناصر C, B, A فقط .

الحـــل :

صلاحية الآله :

$$R_S = \prod_{i=1}^{n} R_i$$

صلاحية الآله المكونه من العناصر A, B, C, D

$R_S = (0.96)(0.95)(0.93)(0.92) = 0.78$

وصلاحية الآله المكونه من العناصر C, B, A فقط

$R_S = (0.96)(0.95)(0.93) = 0.848$

مما سبق يتضح أن صلاحية الآله تقل بزيادة عدد عناصرها المتصلة على التوالـــى كما أن صلاحية الآله تكون أقل من صلاحية أضعف عنصر من مكوناتها أى أن :

التوصيل على التوالى يؤدى الى انخفاض صلاحية الآله

ومما سبق نستنبط النظريتين الآتيتين :

نظرية ١ :

صلاحية الآله (الجهاز) المكونه من مجموعة من العناصر تعمل على التوالى ومستقله هى حاصل ضرب صلاحية هذه العناصر .

نظرية ٢ :

عدم صلاحية الآله المكونة من مجموعة من العناصر تعمل على التوالى ومستقلة هو ناتج طرح صلاحية الآله من الواحد الصحيح .

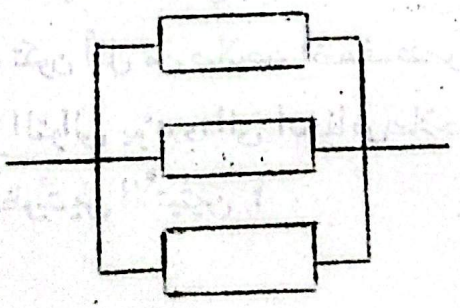
وهذا بديهيا لأن الصلاحية ماهى الا قيمة أحتمالية وصلاحية الآله وعدم صلاحيتها تمثل حدثان متكاملان فمجموعهما يساوى الواحد الصحيح .

$$Q_s = 1 - R_s = 1 - \prod_{i=1}^{n} R_i$$

حيث Q_s هى احتمال عدم صلاحية الآلـــه

صلاحية التوازى Parallel reliability

فى حالة توصيل أجزاء (عناصر) من الآله على التوازى بحيث لاتتعطل الآله اذا تعطل أحد أجزائها (العناصر) الأصلية وذلك لأن الجزء (العنصر) الاحتياطى يقـــوم بعمل الجزء المعطل .



وفى حالة تماثل أجزاء الآله وتوصيل بعض أجزائها على التوازى فأن الجهاز لايتعطل الا اذا تعطلت جميع أجزائه وفى حالة تعطل أحد الأجزاء فأن الأجزاء الأخرى من نفس النوع تعمل .

فاذا كانت أجزاء الآله مستقلة عن بعضها البعض فان احتمال عدد صلاحية للآله (أى تعطلها) يساوى حاصل ضرب عدم صلاحية الأجزاء

$$Q_s = \prod_{i=1}^{n} Q_i$$

حيث Q_s ـ احتمال تعطل الآله (عدم صلاحيتها)

" Q_i ـ احتمال تعطل الجزء (عدم صلاحيته)

" n ـ عدد أجزاء الآله

واحتمال تعطل الجزء Q_i يعبر عنه

$$Q_i = 1 - R_i$$

حيث R_i هو صلاحية الجزء للعمل (احتمال عدم تعطل الجزء)

أى أن احتمال تعطل الآله

$$Q_s = \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i)$$

واحتمال صلاحية الآله

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i)$$

فاذا كانت جميع أجزاء الآله متماثله فأن

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q \quad \text{و}$$
$$R_1 = R_2 = \dots = R$$

واحتمال عدم صلاحية الآله (تعطلها)

$$Q_S = Q^n = (1 - R)^n$$

حيث n ـ عدد أجزاء الآلـــــــه

و Q ـ احتمال تعطل الجزء الواحد (عدم صلاحية الجزء)

و R ـ احتمال صلاحية الجزء الواحـــــــد .

و Q_S ـ احتمال تعطل الآله (عدم صلاحيتهـــا)

واحتمال صلاحية الآله

$$R_S = 1 - Q_S = 1 - (1 - R)^n$$

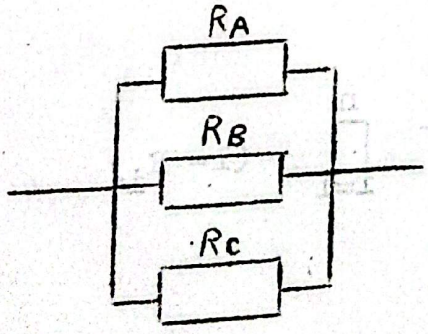
مثال ٩ :

آله مكونه من ثلاث أجزاء A,B,C وصلاحية هذه الأجزاء

$R_A = (0.98)$, $R_B = (0.96)$, $R_C = (0.95)$

والمطلوب حساب صلاحية الآله اذا كان التوصيل على التوازى

الحـــل :



عدم صلاحية الآلـــــه :

$$Q_S = (1- 0.98)(1- 0.96)(1- 0.95)$$
$$= (0.02)(0.04)(0.05) = 4 \times 10^{-5}$$

صلاحية الآله

$$R_S = 1- 0.00004 = 0.99996$$

ويلاحظ أن صلاحية الآله أكبر من صلاحية أى جزء من أجزائها المتصلة علـــــى التوازى وتزداد صلاحية الآله بزيادة عدد أجزائها المتصلة على التوازى من المثال السابق نلاحظ أنه لرفع صلاحية الآله تضاف بعض الأجزاء علـــــى التوازى لتعمل كاحتياطى للأجزاء الباقية ولكن هذا يزيد من تكاليف الآله ولذلك لابد من عمل مقارنة للتكاليف الناتجة عن أضافة جزء الى الآله والوفر الناتج من زيادة صلاحية الآلـــــه .

ومما سبق نستنبط النظريتين الآتيتين :

نظريـــة ٣ :

احتمال عدم صلاحية الآله المكونه من عدة أجزاء مستقلة ومتصلة على التوازى هـــو حاصل ضرب عدم صلاحية هذه الأجزاء .

نظرية ٤ :

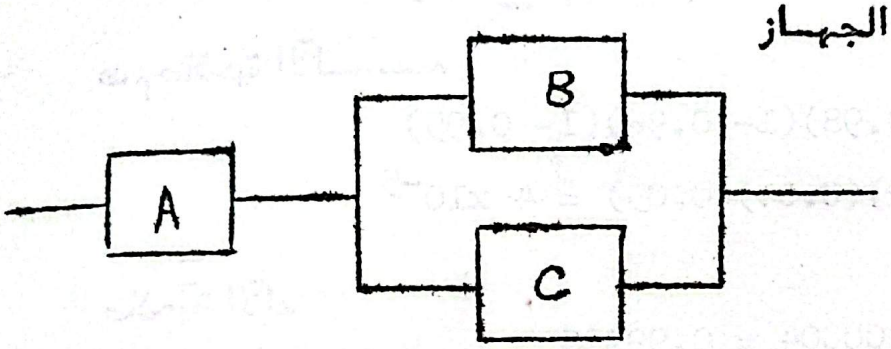
صلاحية الآله المكونه من مجموعة من الأجزاء المستقلة والمتصلة على التوازى هـــو ناتج طرح احتمال عدم صلاحية الآله من الواحد الصحيح .

مثال ١٠ :

جهاز مكون من ثلاث عناصر A,B,C بحيث A متصل على التوالى بالعنصريـــن B,C المتصلين مع بعضهما على التوازى وصلاحية العناصر هى

$$R_A = 0.98 \ , \ R_B = 0.96 \ , \ R_C = 0.92$$

ومطلوب حساب صلاحية الجهـاز



الحـــل :

حيث B , C متصلين على التوازى فان احتمال تعطل B , C هـــو :

$$Q_{B,C} = Q_B\, Q_C = (1-0.96)\ (1-0.92) = (0.04)\ (0.08) = 0.0032$$

واحتمال صلاحية B , C

$$R_{B,C} = 1-0.0032 = 0.9968$$

وحيث ان العنصر A متصل على التوالى بالعنصرين B , C فان احتمال صلاحية الجهاز هو

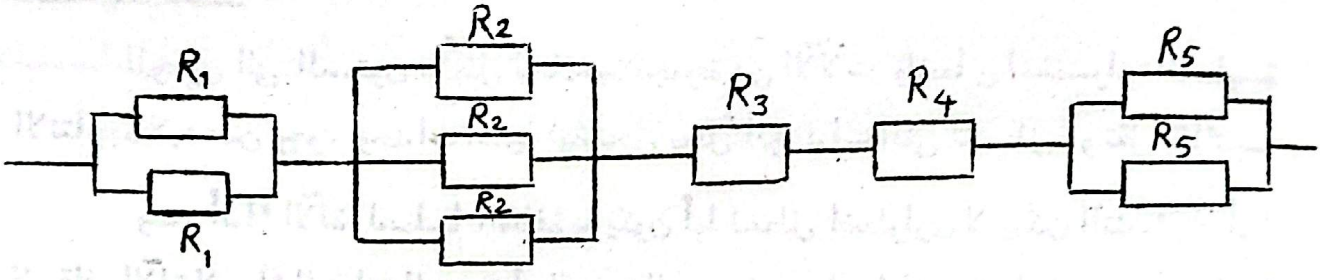
$$R_s = \prod_{i=1}^{n} R_i = R_A\, R_{B,C}$$

$$R_s = (0.98)\ (0.9968) = 0.9769$$

مثال ١١ :

آلة مكونة من خمسة أجزاء (١) ، (٢) ، (٣) ، (٤) ، (٥) ، متصلين على التوالى بحيث الجزء (١) مكون من عنصرين متماثلين متصلين على التوازى وصلاحية العنصر الواحد R_1 والجزء (٢) مكون من ثلاث عناصر متماثلة ومتصلة على التوازى وصلاحية العنصر الواحـــد R_2 والجزء (٣) مكون من عنصر صلاحيته R_4 ، الجزء (٤) مكون من عنصر صلاحيتـــــه R_4 ، الجزء (٥) مكون من عنصرين متماثلين ومتصلين على التوازى وصلاحية العنصر الواحـد R_5

ومطلوب حساب صلاحية الألة



الحل :

صلاحية الجزء (١) $R_I = 1-(1- R_1)^2$

صلاحية الجزء (٢) $R_{II} = 1-(1- R_2)^3$

صلاحية الجزء (٥) $R_V = 1-(1- R_5)^2$

وحيث أن أجزاء الآله (١) ، (٢) ، (٣) ، (٤) ، (٥) متصله على التوالى فأن صلاحية المجموعة (الأله) تساوى حاصل ضرب صلاحية الأجزاء

$$R_s = \prod_{i=1}^{5} R_i$$

$$R_s = [1-(1- R_1)^2][1-(1- R_2)^3] R_3 R_4 [1-(1-R_5)^2]$$

الاحتياطـــي :

للوصول الى المستوى الأمثل لصلاحية مجموعة من الآلات ولضمان استمـرار العمليـة الانتاجية لابد من وجود وحدات احتياطية تحل محل الوحدات التي تتعطل أو تقل كفاءتها

وعدم أداء الآلة لعملها المكلفة به يكون أما لعطل اضطراري لا يمكن التنبؤ به وأما لا يقاف الآلة لاجراء الصيانة الدورية أو العمرة الجسمية ، وعلى ذلك يمكننا تقسيم الاحتياطي اللازم بالوحدة الانتاجية الى جزئين :

١ـ احتياطي لمواجهة اجراء الصيانة والعمرات بالآلات

Mainerance reserve

ونظرا لأن هذه العمرات والصيانات تخضع لبرنامج محدد

Planned mainenance

فانه يمكن تحديد قيمة هذا الاحتياطي بمعرفة النظام المتبع لاجراء هذه الصيانـــات

٢ـ احتياطي لمواجهة التعطل الاضطراري للآلة Emergency reserve

وهذا التعطل يحدث فجائيا وبمعدلات غير منتظمة فلا يمكن التحكم فيه أوالتنبؤ بحدوثه ويقدر هذا الاحتياطي بمعرفة معدلات التعطل الاضطراري للآلات وتحســب بتحليل احتمال خروج الآلات من الخدمة وبتطبيق نظرية الاحتمالات على أساس مـــن البيانات الاحصائية .

وعند تقدير القيمة المثلى لهذا الاحتياطي بالوحدة الانتاجية يجب مراعاة الآتي :

أولا : لابد أن تسمح هذه القيمة بالوصول الى مستوى الصلاحية المطلوب .

ثانيـــا : لابد أن تكون قيمة هذا الاحتياطى بحيث تحقق تشغيل اقتصادى للنظـــام ككل أى ألا تزيد قيمة هذا الاحتياطى زيادة كبيرة دون الحاجة اليها وبذلك تزداد التكاليف نتيجة الحاجة الى تشغيل عدد آلات أكبر كما يعتبر ذلـــك استغلالا غير اقتصاديا لرأس المال المستثمر .

أنواع الاحتياطى :

يمكن تمييز ثلاثة أنواع للاحتياطى :

١ — احتياطى دائر ساخن :

هو نوع من الاحتياطى يعمل جنبا الى جنب مع العنصر الأساسى (الآله) ويعمل تلقائيا بمجرد تعطل العنصر (الآله) واحتمال تعطل العنصر الاساسى والاحتياطـــى له متساوى وكذلك توزيع العمر لـــه .

مثال ذلك الاحتياطى الدائر بمحطات توليد القـــوى الكهربائيـــة .

٢ — احتياطى دائر دافئ :

وهو الاحتياطى الدائر الذى يكون على استعداد للدخول فى الخدمة (العمل) فى حالة تعطل العنصر الأساســـى (الآله) واحتمال تعطله فى هذه الحالة أقل مـــن احتمال تعطله فى الحالة الأساسية . ومثال ذلك تشغيـــل بعض وحدات التوليد الكهربائية المتقادمة كاحتياطى لبقية المجموعة .

٣ — احتياطى بارد :

وهو الاحتياطى الذى يمكن أن يعمل بواسطة وسيط فى حالة تعطل العنصر الأساسى (الآله) واحتمال تعطله فى هذه الحالة يساوى الصفر .

ومثال ذلك الاحتياطى لأطارات السيارة .

ملحق

بعض المبادئ الاحصائية المستخدمة بالمذكرة لقياس الصلاحية :

نظرا لأن الصلاحية هى قيمة احتمالية كما أن تعطل الآله (الجهاز) أو جزء منها متغير عشوائى لايمكن التنبؤ به مسبقا لذلك يلزم الالمام ببعض مبادئ نظرية الاحتمالات Probability theory

مفهوم الحدث فى نظرية الاحتمالات هو أى ظاهرة فى نتيجة التجربة يمكن وقوعها أو عدم وقوعها .

مثال ذلك ظهور الشعار عند رمى قطعة عملة معدنية وكذلك تعطل آله أو جهاز .

ويعرف الاحتمال بأنه نسبة عدد المرات التى ظهر فيها الحدث المطلوب الى العدد الكلى للمحاولات عندما يكون هذا العدد كبيرا أى أن

$$P = \lim_{n \to \infty} \frac{m}{n}$$

حيث m — عدد مرات ظهور الحدث

، n — العدد الكلى للمحاولات .

فاذا فرضنا أن احتمال حدوث A هو P(A) فانه مهما كانت قيمة A فان $P(A) \geqslant 0 \quad \& \quad 0 \leqslant P(A) \leqslant 1$

أ — فاذا كان الحدث A محقق الوقوع فان

$$P(A) = 1$$

ب — واذا كان الحدث A مستحيل الوقوع فان

$$P(A) = 0$$

الاحداث المستقلة وغير المستقلة :

يقال ان الاحداث ... ، A_1 ، A_2 أحداث مستقلة اذا كان احتمال ظهور احداها لايؤثر على ظهور أو عدم ظهور الأحداث الأخرى — أما اذا كان احتمال ظهور هذه الأحداث يتوقف بعضها على بعض فتسمى بالأحداث غير المستقلة .

المتغير العشوائي :

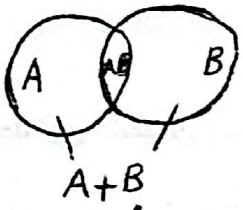
تسمى الظاهرة محل الدراسة بالمتغير العشوائي اذا لم يمكن تحديد قيمة لها مسبقا وذلك لاعتمادها على كثير من الظروف المحيطة بها والغير معروفة لدينا .

وهذا المتغير العشوائي يمكن أن يأخذ قيمة واحدة من القيم اللانهائية واذا أخذ المتغير العشوائي أحد القيم ... 0,1,2 واستحال أن يأخذ قيمة بين 0,1 أو بين 1,2 وهكذا — يقال أن هذا المتغير العشوائي هو متغير منفصل .

بعض النظريات الأساسية :

أولا : ١) احتمال وقوع الحدث A+B هو احتمال وقوع ولو حدث واحد A أو B أى هو احتمال وقوع أما الحدث A أو الحدث B أو كليهما أى الحدث (AB)

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$



٢) اذا كان الحدثان A ، B مستقلين فأن

$$P(AB) = 0$$

وعلى ذلك فأن

$$P(A+B) = P(A) + P(B)$$

وتعميما لما سبق يمكن استنباط النظرية التالية

نظرية ١ :

اذا كانت $A_1, A_2, \ldots, A_n$ أحداث مستقلة فأن

$$P\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\right) = \sum_{i=1}^{n} P(A_i)$$

وتوجد نتيجتين لهذه النظريـــــة :

نتيجـــة ١ :

اذا كانت A_n و ... A_2 ، A_1 تكون مجموعة متكاملة من الأحداث فأن مجموعة الاحتمالات يساوي الواحد الصحيح وذلك لأن مجموع الأحداث المتكاملة هو حدث لازم الوقوع

$$P\left(\sum_{i=1}^{n} A_i\right) = 1$$

وتكتب بالصورة الآتيـــــة :

$$P(A_1, A_2, \ldots, A_n) = 1$$

نتيجـــة ٢ :

مجموع احتمالات حدثين عكسيين يساوى الواحد الصحيح

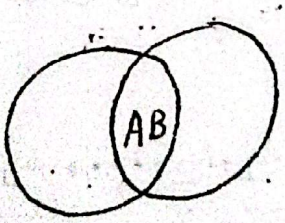
$$P(A) + P(\bar{A}) = 1$$

حيث $\bar{A}$ هى عكس الحدث A.

مثال للأحداث العكسية تعطل آلة (تجهاز) وعدم تعطل الآله (جهاز)

ثانيا :

١ - احتمال وقوع الحدث AB هو احتمال ظهور الحدثين A ، B مع بعضهـــا



$$P(AB) = P(A)\ P(B/A) = P(B)\ P(A/B)$$

حيث $P(B/A)$ هو احتمال ظهور الحدث B بشرط ظهور الحدث A

$P(A/B)$ هو احتمال ظهور الحدث A بشرط ظهور الحدث B

واذا كانت الأحداث A,B مستقلة فأن

$$P(A/B) = P(A)$$

$$P(B/A) = P(B)$$

أى الاحتمال غير الشرطى يساوى الاحتمال الشرطى

وعلى ذلك فأن

$$P(AB) = P(A)\ P(B)$$

وتعميما لذلك نحصل على النظرية التالية

نظريـــــــة :

اذا كانت $A_1, A_2, \ldots, A_n$ أحداث مستقلة فأن احتمال ظهور هـــذه الأحداث مع بعضها يساوى حاصل ضرب احتمال ظهور كل منها

$$P\left(\prod_{i=1}^{n} A_i\right) = \prod_{i=1}^{n} P(A_i)$$

المراجـــــــع :

1) W. Grant Ireson, "Reliability handbook" Mc Graw hill book, New York, 1966.

2) David K. Lloyd and M yron Lipow. "Reliability: Management, Methods, and Mathematics", Prentice-Mall, 1962.

3) Calabro S.R. "Reliability principles and practices", 1962.

٤ - "تحديد الاحتياطى الدائر الأمثل فى قطاع الكهرباء" بحث مقدم من المهندسة راجية عابدين بالدورة التاسعة معهد التخطيط القومى - ١٩٧٠

5) Dr. Yousef Nasr Eldin, Eng. Ragia Abdin "Probability method for calculating Emergency power reserve of electric power system", Memo. No. 176, August 1971.

٦ - دكتور يوسف نصر الدين "تقدم فى بحوث العمليات" - ١٩٧١