مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

تقييم صيانة الآليات باعتماد مؤشرات الأداء الرئيسة

د. أيمن يوسف[1]
د. حاتم المحمودي[2]
تغريد علي[3]

(تاريخ الإيداع 13 / 7 / 2016. قُبِل للنشر في 20/ 9 / 2016)

□ ملخّص □

يتضمن هذا البحث تقييم عمل صيانة الآليات من خلال مؤشرات الأداء الرئيسة الخاصة بها، والمعتمدة من قبل الشركات الصناعية والخدمية ونذكر منها الموثوقية، والجاهزية، متوسط الزمن بين الأعطال، متوسط زمن اصلاحالأعطال، متوسط زمن الصيانة الدورية لمعداتها الانتاجية والخدمية.

بعد معالجة البيانات الخاصة بالأعطال الطارئة والصيانة الدورية التي تمت على الآليات تم استخلاص قيم المؤشرات الخاصة بالصيانة وقياس أداءها وترابطها لمعرفة مدى مطابقتها مع المؤشرات العالمية الموجودة.

يهدف البحث إلى تقييم الوضع الراهن من خلال استخدام نمط الأساليب الكمية المستخدمة في الوصول لقيم مؤشرات الأداء السابقة الذكر وترابطها لاستخدامها في دعم قرارات الصيانة في محطة الحاويات لاحقاً.

تم التوصل إلى ارتباط عكسي قوي بين زمن الصيانة الدورية TPM وزمن إصلاح الأعطال TBD ، وصلت قيمته $rERS= -0.99$، وبالتالي يجب التركيز على زيادة عمليات الصيانة الدورية للتقليل من زمن إصلاح الأعطال، وإجراء استبدال للأجزاء التي تسبب المشاكل المتكررة حيث تسببت بأعطال دورية مكثفة مما يقلل من زمن الصيانة الدورية.

كما تمكنا من تصنيف جودة الصيانة والآلات من خلال مؤشرات الجاهزية والموثوقية ومتوسط الزمن بين الأعطال.

الكلمات المفتاحية: الصيانة، مؤشرات الأداء الرئيسية، محطة الحاويات، الموثوقية، الجاهزية، معامل الارتباط.

1 أستاذ مساعد – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
2 أستاذ مساعد – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
3طالبة دراسات عليا (دكتوراه) – قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين – اللاذقية – سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

Evaluation of machines maintenance depending on key performance indicators

Dr. Ayman Youssef [4]
Dr. Hatem Mamoud[5]
Taghreed ali[6]

(Received 13 / 7 / 2016. Accepted 20 / 9 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research includes evaluating the work of maintenance of themachines through their own key performance indicators (KPI), and approved byindustrial and service companies, We mention reliability, readiness ،average time between failures, average Repair time ،average time of periodic maintenance of their production and serviceequipment.

After the data processing of emergency failures and periodic maintenanceof machines , we extracted values for maintenance performanceindicators, we measured their performance and correlation to evaluateits compatibility with global indicators.

The research aim to assess the current situation through the use ofquantitative methods pattern which is used to access the values of theprevious mentioned performance indicators and their interdependence tobe used in support of maintenance decisionsin the container terminal later.

We noticed a strong inverse association between periodic maintenance TPMtime and breakdown TBD, and reached a value rERS = -0.99, and thereforewe must focus on increasing periodic maintenance to reduce breakdowntime, and replace parts that cause recurringproblems which caused about intensive breakdowns, thus reducing periodicmaintenance time.

Also we were able to classify the quality of maintenance and machinesthrough the readiness and reliability indicators and the mean timebetween failures.

Keywords: maintenance, KPI, container terminal, availability, reliability ,correlation factor

[4]Associate Professor, Department of Design and Priduction Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
[5]Associate Professor, Department of Design and Priduction Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
[6]Postgraduate Student, Department of Design and Priduction Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

اعتبرتالصيانة على مدى عقود ماضيةعملية مكلفةوضرورية، وتطور لتصبح الصيانة قيمة مضافة لها دورها الهام في زيادة عمر المعدات وتحسين الانتاج وزيادة الأرباح، ويتم ذلك بالإدارة الجيدة للصيانة واستخدام أساليب واستراتيجيات الصيانة المدروسة بكافة أشكالها حسب نوعية ومجال العمل، وحتى يتم تقييم أعمال وأدائها يجب حساب مؤشرات الأداء وترابطها مع بعضها البعض وهذا ما تم إنجازه في هذا البحث.

كانت الصيانة تتم كرد فعل والمعروف بالتوقف المفاجئ Break down (BD)، أي عندمايحدث عطل يتم الاصلاح، وكانت صيانة المعدات ذات تنظيم ضعيف غير محكم، ولم يكن ذلك كافيا لكي تكون الآلات جاهزة للعمل مرة أخرى بالكفاءةالمطلوبة، ونظراً للمخاوف الحالية على السلامة والكلف التشغيلية، ونتيجة التطور الكبير في الآلات والمعدات والحاجة إلى جاهزية Availability وموثوقية Reliabilityأكبر للمعدات، كان لزاماً تطوير الصيانة بطرق خبيرة متعددة لتؤدي مهمتها الأساسية فيالحفاظ المستمر للآلات على ما كانت علية عند البدء في العمل (قدر الامكان).

الصيانة بالتعريف هي: قرارات هندسية وإجراءات تضم جميع النشاطات التقنية والإدارية اللازمة لحفظ وحماية التجهيزات، التركيبات والموجودات الفيزيائية في ظروف العمل المرغوبة أو استعادتها إلى الظروفالمثالية التي تتعلق بالقدرة على أداء الوظيفة ضمن نطاق مجموعة من مستويات الأداء، معدل الإنتاج، الجودة،تحقيق الأداء. [4]،[3].

تعتبر الصيانة في الكثير من الصناعات نفقات اضافية أو خسارة يجب على المؤسسة أن تتحملها لكي تبقفعالة فيعمليتها الانتاجية، حيث تشكل تكاليف الصيانة جزءاً كبيراً من التكلفة التشغيلية بالنسبة للعديد من الصناعات. فعلى سبيل المثال تتراوح حسابات نفقات الصيانة ما بين 20–50٪ من تكلفة الإنتاج لصناعة التعدين تبعاً لمستوى استخدام الآلة، ورغم ذلك فإنها تساهم في الأرباح حيث أن إنفاق مليون دولار بشكل مسبق للصيانة في الشركات الكبيرة،ساهم في زيادة المبيعات والأرباح بمقدار 3 ملايين دولار في عام 2009 .[1]

ولما للصيانة من أهمية فقد أنفقت أوروبا على ميزانية الصيانة حوالي 1500 بليون يورو في عام .[1]2006 وفي السويد وحدها 20 بليون يورو في عام 2002. [2]

إذاً لم تعد أعمال الصيانة وظيفة ثانوية يسيطر عليها طابع الإصلاح، وانحصار مفهومها في الحفاظ والاعتناء بالآلات والمعدات عن طريق التشحيم، التزييت، التنظيف وانتظار وقوع الأعطال لتصليحها بل واكبت الصيانة التطورات التقنية المتسارعة التي دخلت في مجالات الإنتاج الصناعي وغير الصناعي، وتزايد الاهتمام بوظيفة الصيانة كونها المسؤولة عن الحد من الأعطال واستمرار العملية الإنتاجية بشكل دائم وبكفاءة انتاجية وموثوقية عالية وتخفيض زمن التوقف وتحسين العمر الانتاجي للمعدات وتحسين إدارة المخزون والتحكم بالميزانية ومراقبتها وتخفيض التكاليف وتقليل استخدام الطاقة كذلك تحسين استخدام الموارد.

تم تطبيق منهجية البحث على محطة حاويات مرفأ اللاذقية LattakiaInternationl (LICT) ContainerTerminalنظراً لأهميته في محطة الحاويات والتي تمثل عقدة أساسية وهامة في مجال النقل البحري،للربط المشترك بين السفن القادمة من البحار والمحيطات وبين وسائل النقل الأخرى من روافع وحاضنات وستافات ومقطورات لتصل بذلك الحاويات المنقولة إلى وسائل النقل البرية في بوابات الخروج للساحات ويتم العمل بالعكس أيضاً أي من وسائل النقل البرية إلى محطة الحاويات فالسفن.

أهمية البحث وأهدافه:

تعتمد محطة حاويات اللاذقية (LICT)في عملها على الآليات بشكل كبير فهي تحتاجإلىطريقة فعالةلتعقبأداءعملياتالصيانة الدورية preventive maintenance(PM)وإصلاح الأعطال BD.يتحقق ذلك من خلال خلق وتحديد مؤشرات لقياس أداء الصيانة تكون قادرة على إبراز الفجوات التي تحدث في سياسة وأعمال الصيانة ودعم القرار لسدّها.يهدف هذا البحث إلى بيان أهمية الأساليب الكمية المستخدمة في تصويب قرارات الصيانة في محطة الحاويات والمتعلقة بمؤشرات الأداءوترابطها مثل:

1 - الموثوقيةReliability.
2 - الجاهزية Availability.
3 - متوسط زمن الإصلاح(MTTR) Mean Time To Repair.
4 - متوسط الزمن بين الأعطال Mean Time Between Failure(MTBF).
5 - معاملات ارتباطها التي تلعب دوراً بارزاً في دراسة وتحليل العلاقات بين المؤشرات التي تدعم اتخاذ القرار.

منهجية البحث:

بدأ العمل بالمراقبةالمستمرةللبيانات الخاصةبالصيانة الدورية PMوإصلاح الأعطال BDللآليات الموجودة في محطة حاويات مرفأ اللاذقية (LICT) لما لهذه الآليات من أهمية ودور أساسي في هذه المحطة ابتداءً من الروافع الجسرية الثابتة الموجودة عند عبارة المرور(الرصيف البحري) وانتهاءً بالستافات والحاضنات، التي تعمل علىاستلام،نقل،تنظيم،وترحيل الحاويات من السفن وحتى البوابات الخارجية لساحات التخزين وبالعكس.

بعد جمع البيانات الخاصة بالأعطال والصيانات التي تمت على الآليات تم معالجة البيانات من أجل حساب مؤشرات الأداء الرئيسية Key Performance Indicators (KPIs)ومناقشة أداء الصيانة والآليات وتحديد أهمية وفاعلية هذه المؤشرات على الآليات المستخدمة في محطة الحاويات ودراسة معامل الارتباط فيما بينها،رسم المخططات الضرورية المتعلقة بها و كتابة الاستنتاجات المستخلصة.الأدوات المستخدمة في هذا البحث البيانات التي تم تجميعها لدى محطة حاويات مرفأ اللاذقية، حاسوب شخصي محمولCPU CORE i5 و RAM 8G ونظام تشغيل Windows 7وبرامج معالجة البيانات والتنقيب عنها SPSS&Oracle10g،Matlab، تم إجراء البحث ضمن جامعة تشرين ومرفأ اللاذقية في الفترة الزمنية من الشهر الأول 2015 إلى الخامس 2016.

مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) Key Performance Indicators وأهميتها:

مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)هي قياسات تطبق على معلومات وبيانات إحصائية لتسمح بمقارنة الظروف الفعلية مع مجموعة محددة من الظروف المرجعية (القياسية) أي تقيس المسافة بين الوضع الحالي والوضع المرغوب (الهدف)، أي قياس "المسافة نحو الهدف".

تستخدم Performance Indicators (PI)لقياس أداء أي نظام أو عمليةوهي ناتجة عن عدة مقاييس.ويدعى مؤشر الأداء عند استخدامه لقياس أداء الصيانة باسم مؤشر أداء الصيانة Maintenance Performance Indicators (MPI).[4]

أهمية مؤشرات الأداء

إن نجاح الصيانة يعتمد على نجاح إدارة أعمال الصيانة، ويعتبر قياس الأداء مبدأ أساسي من مبادئ إدارة وظيفة الصيانة، فمؤشرات الأداء المحددة جيداً من المفترض أن تساعد في تحديد ثغرات الأداء بين الأداء المرغوب والأداء الحالي وتقدم دلالات وإشارات للتقدم والسير باتجاه سد هذه الثغرات.

ويرى Art et al [6] قياس الأداء Performance Measurement (PM) أنه طرائق للتحكم بالصيانة لتقليل التكاليف، زيادة الإنتاجية،وزيادة قدرة التشغيل، ضمان أمان وسلامة العملية وتحقيق المعايير البيئية.

ويذكر Swanson، .L أن الأمر الرئيس في قياس أداء الصيانة هو تشكيل واختيار مؤشرات أداء الصيانة MPI التي تعكس الاستراتيجية التنظيمية للشركة وتعطي معلومات كمية لإدارة الصيانة عن أداء استراتيجية الصيانة[7].

أنواع المؤشرات:

يمكن تصنيف المؤشرات (KPIs) إلى مؤشرات متقدمة Leadingومتأخرة Lagging. كلاً من مؤشرات عملية الصيانة (المؤشرات المتقدمة) ومؤشرات نتائج الصيانة (المؤشرات المتأخرة) هامان لقياس أداء وظيفة الصيانة [3].

المؤشر المتقدم يحذر المستخدم من عدم الوصول إلى الأهداف قبل أن يكون هناك مشكلة. إنها أحد السلاسل الإحصائية التي تبين بشكل دقيق الوصول أو الانخفاض في الأداء قبل أن يحدده الاقتصاد العام. وبالتالي فإن المؤشر المتقدم يعمل كموجه للأداء إذا كانت المهمات ووظيفة الصيانة تتم بشكل جيد وينبهالمسؤول عن الصيانة بضرورة التحقق من الوضع الحالي بالمقارنة مع الوضع المرجعي[4].

كما أنه يراقب المهام التي تقود عند إنجازها إلى النتائج المطلوبة (مثلاً، إذا حصل التخطيط أو إذا تم إتمام العمل المخطط في وقته)، وتصنف المؤشرات المتقدمة إلى مؤشرات تحديد العمل (مثلاً النسبة المئوية للعمل المنجز)، ومؤشرات التخطيط للعمل (مثلاً النسبة المئوية للعمل المخطط)، ومؤشرات جدولة العمل وتنفيذ العمل (مثلاً التقيدبالجدول)

المؤشرات المتأخرةLaggingتبين فيما إذا كانت المخرجات أو النتائج قد تم تحقيقها (مثلاً عدد أعطال الآلة وزمن التوقف). إن بناء العلاقة أو الرابط بين المؤشرات المتأخرة والمتقدمة يجعل من الممكن التحكم بعملية الصيانة. بالإضافة إلى ذلك، فإن المؤشرات يجب أن يتم اختيارها وفقاً لاستراتيجية الصيانة المختارة.[4]،[3]

تصنف المؤشرات المتأخرة إلى مؤشرات أداء الآلة (عدد الأعطال التشغيلية، الحوادث البيئية وحوادث السلامة العامة، وزمن التوقف المرتبط بالصيانة) ومؤشرات كلفة الأداء (مثلاً كلفة الصيانة لكل وحدة خرج، كلفة الصيانة مقارنة بقيمة الاستبدال وكلفة الصيانة بالنسبة لكلفة الإنتاج). [4]

تمت مناقشة كلفة الصيانة من حيث الزمن ولم يتم مناقشة كلفة الأداء في بحثنا هذا نظراً لعدم إمكانية الحصول على كمية الإنتاج لحساب كلف الانتاج زمنياً أو مادياً.

من الواضح أن كل باحث له طريقته الخاصة لتصنيف مؤشرات الصيانة. كما أنهم يختلفون في اختيارهم للمؤشرات. إلا أننا سنركز على المؤشرات وفئات المؤشرات المتفق عليهامن قبل معظمالباحثين بأنها حيوية لإدارة عمل الصيانة. على سبيل المثال، تم وضع تأكيدات أكثر على أداء الآلة بدلالة عدد/تردد الانهيارات، Mean Time To Failures MTTF، الجاهزية Availabilityوالموثوقية Reliability وفعالية المعدات الشاملة Overall Equipment Effectiveness (OEE).

كما وينصح بعض الباحثين في هذا المجال من أجل الاستخدام الكامل لفوائد المقاييس، أن تكون المقاييس مرئية بوضوح وهناك العديد من الطرق لعرض مؤشر الأداء PI، بحسب نوع المعلومة اللازمة ونوع المستخدم. المخططات، الرسوم، الأشكال أو مجرد أرقام يمكن أن تعبر عن PI (Besterfield et al 2002).

بالنسبة لـ (Tavares 2002)فإن مؤشرات مثل MTBF و MTTRتعتبر دقيقة بشكل خاص. إن مستواها العالي من الدقة مرتبط بعدد العناصر المراقبة وفترة المراقبة. كلما كان عدد السجلات المتوفرة أكبر، كلما كانت دقة قيم التوقعات أكبر. فوفقاً لـ Tavares، ينصح بإجراء دراسة مكثفة ومديدة.[4].

إن الأسلوب الأمثل لإدارة أعمال الصيانة يكون من خلال حصول قسم الصيانة على قدر وفير من المعلومات يساعده في معرفة مستويات أدائه، ويستطيع قسم الصيانة الاعتماد على جملة مؤشرات ومعايير تمكنه من الحكم على مستوى ونوعية الصيانة المطبقة.

تصنف المؤشرات التي سيتم بحثهاكمؤشرات متأخرة أي مؤشرات نتائج الصيانة وهذه هي العناصر الرئيسية والجوهرية التي تحاول وتسعى الصيانةلتوجيهها ومعالجتها وبالتالي إعطاء معايير لنجاح عملية الصيانة، وتلخص بالمؤشرات التالية:

1 ⊣الجاهزية Availability.
2 ⊣الموثوقيةReliability.
3 متوسط الزمن بين الأخطاء (الأعطال) Mean Time Between Failures.
4 متوسط زمن الإصلاح(MTTR_BD) Mean Time To Repairs.
5 متوسط زمن الصيانة الدورية(MTTR_PM) Mean Time To Repairs.
6 معامل الارتباط بين MTTR_BD و MTTR_PM.

إن عدد تراتيب معاملات الارتباط كبير، وتم حسابه للعديد من المؤشرات ولكن تم عرضه بين المؤشرين السابقين بسبب اعطائه أكبر قيم ارتباط مما يدل على الارتباط العكسي القوي بينها، بينما الارتباط بين المعاملات الأخرى لم يكن قوياً كفاية لجميع الآلات لهذا السبب لم يعرض في البحث تراوح مابين0.95−0.4.

لم يتم حساب متوسط الزمن الفاصل بين الصيانات الدورية للآلية نظراً لكونها عملية مجدولةومحدودة زمنياً.

أهمية معامل الارتباط بين المؤشرات:

تلعب نظرية الارتباط دوراً بارزاً في دراسة وتحليل العلاقات بين المؤشرات بمختلف أنواعها وتقدم العديد من الأدوات اللازمة لاتخاذ القرارات المناسبة حول علاقات وأحوال تلك المؤشرات وكيفية تطويرها في المستقبل.

يعتبر معامل بيرسون للارتباط الخطي Pearson Linear Correlation Coefficient من المعاملات المستخدمة في دراسة وقياس الارتباط بين متحولين كميين، وفق العلاقة التالية:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \qquad (1)$$

تماستخدام هذا المعامل لدراسة ارتباط كل منزمن الإصلاح TBD وزمن الصيانة الدورية TPM، وقيمة هذا المعامل تقع في المجال [1+ ، 1−] أي أن $-1 \leq r \leq +1$ واعتماداً على هذه الخاصية نذكر الحالات التالية:

• إذا كان$0 < r \leq +1$ فإن العلاقة بين المتحولين المدروسين تكون علاقة طردية وكلما كانت قيمتها قريبة من الواحد كان الارتباط قوياً.

• إذا كان $-1 \leq r < 0$ فإن العلاقة بين المتحولين المدروسين تكون علاقة عكسية وكلما كانت قيمتها قريبة من (1−) كان الارتباط قوياً أيضاً.

• إذا كان $r = 0$ فلا توجد علاقة بين المتحولين المدروسين، أي المتحولين غير مرتبطين،وكلما كانت قيمتها قريبة من الصفر كان الارتباط ضعيفاً.[10],[9]

النتائج والمناقشة:

تم العمل على بيانات قديمة ثم تم تحديثها ببيانات لمدة أربع أشهر والمدونة في أكثر من 10000 سجل(نظراً لكونها أكثر دقةً)، تضمنت السجلات بيانات لعمليات الصيانة الدورية PMوإصلاح الأعطال BD، حيث تم معالجتها وحساب المؤشرات ومعاملات الارتباط وفق المؤشرات التالية:

1 تابع الموثوقية Reliability Function

الموثوقية Reliability: هي احتمال أن تكون الآلة قادرة على تقديم الخدمة أو الوظيفة المصممة من أجلها ضمن الفترة الزمنية المحددة لها وتحت الظروف الخاصة بذلك، وبالتالي هي إحدى المؤشرات الهندسية للتعبير عن أداء أي منظومة عاملة.وهي زمن التشغيل الفعال الصافي للآلة، تتعلق بالحالة الفنية للآلة وعمر الآلة [8]،[5].

بما أن احتمال العطل تابع للزمن

$$F(T) = p(T \leq t), \ldots \quad t \geq 0 \quad (2)$$

حيث T متغير عشوائي يعبر عن عمر النظام، F(t) تابع التوزيع الاحتمالي، وبالتالي يكون تابع الكثافة الاحتمالي لـ T يعطى بالعلاقة:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

f(t) يعبر عن تغير تابع التوزيع بالنسبة للزمن، وعليه يمكن إيجاد تابع الموثوقية*R(t)* بالعلاقة:

$$R(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

2 – تابع معدل الفشل Failure Rate Function

تابع معدل الفشل أو تابع الخطر hazard هو نهاية معدل التغيير بانتهاء الزمن Δt إلى الصفر (تابع عدم الموثوقية)[8]،[5].

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)dt = \int_{-\infty}^{t_2} f(t)dt - \int_{-\infty}^{t_1} f(t)dt = F(t_2) - F(t_1) \quad (5)$$

وبأخذ شرط احتمال حدوث العطل خلالالفترة *[t, t+Δ t]*نجد.

$$\frac{\int_t^{t+\Delta t} f(t)dt}{\int_t^{\infty} f(t)dt} = \frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{R(t)} \quad (6)$$

نصل إلى تابع معدل الفشل بالتقسيم على *Δ t* وعند انتهاء *Δ t* إلىالصفرنحصل على ما يعرف بتابع *Hazard*

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{\Delta t\, R(t)} = \frac{1}{R(t)} \left(\lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{\Delta t} \right) = \frac{1}{R(t)} \frac{dF(t)}{d(t)} =$$

$$\frac{f(t)}{R(t)} \quad (7)$$

وبالتالي يكتب تابعhazardبالعلاقة.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad (8)$$

والتي تعبر عن تابع العطلاآنيويشير إلى التغيير في معدل العطل خلال عمر الآلة.

يجب أن تكون الموثوقية أكبرما أمكن وتصل إلى 99% وأحياناًأكثر وبالتالي تابع الخطر أقل ما يمكن.

3 -الجاهزية Availability

الجاهزية: هي قدرة العنصر أو النظام على تنفيذ الوظيفة المطلوبة منه في لحظة زمنية أو على مدى فترة من الزمن (مع مراعاة الموثوقية،قابلية الصيانة، ودعم الصيانة) [5] .

الجاهزية تعبر عن النسبة بين متوسط زمن تشغيل النظام Mean Up Time (MUT)ومتوسط الزمن بين عطلين (MTBF).

• وإذا أخذنا بعين الاعتبار متوسط زمن توقف الآلة mean down time (MDT)مساوي إلى زمن الإصلاح MTTR (بإهمال زمن الخمول) نجد أن:

$$A(t) = \frac{MUT}{MTBF} \approx \frac{MUT}{MUT + MTTR} \qquad (9)$$

قيمة الجاهزية يجب أن تكون 95% أو أكثر

• تحسبMUTفي الصيانة الوقائية مع تواتر مساوي Tp

$$MUT|T_p = \int_0^{T_P} R(t)dt \qquad (10)$$

4 -متوسط زمن الإصلاح(MTTR) Mean Time To Repair

يتضمن زمن تشخيص العطل، الفك،الاستبدال (كلي أو جزئي)، إعادة التركيب، المعايرة، الفحص.

• يعطى بالمعادلة

$$\mu_{System} = MTTR_{system} = \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{n} \lambda_i MTTR_i \qquad (11)$$

• حيث:

$\lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$ معدل الفشل الثابت

• *والتباين*

$$\sigma_{Sys}^2 = (\frac{1}{\lambda})^2 \sum_{i=1}^{n} \lambda_i^2 \sigma_i^2 \qquad (12)$$

5 -متوسط الزمن بين الأعطال(MTBF) Mean Time Between Failures

يعتبر هذا الزمن مقياس لكفاءة الآلة،و يمكن الحصول علية بإيجاد القيمة المتوقعةللمتغير العشوائي T، زمن الوصول إلى العطل، وبالتالي نجد:

$$MTBF = E(T) = \int_0^{\infty} t\, f(t)dt \qquad (13)$$

• حيث T هو متغير عشوائي متصل. ويمكن أن تحسب بدلالة تابع الموثوقية.

$$MTBF = E(T) = \int_0^{\infty} R(t)dt \qquad (14)$$

يجب أن يكون (MTBF) أكبر ما يمكن [5].

نركز دراستنا على الآلات التالية الموجودة ضمن الجدول (1) التي تستخدمها المحطة:

الجدول (1) يبين الآلات التي تم تطبيق العمل عليها.

ستافات حاويات فارغة	ERS (EMPTY REACH STACKER)
حاضنات	SCH (STRADDLE HARBOR CARRIER)
روافع جسرية	QC (Quay CARRIER)

تمحساب MTBFلستافات الحاويات الفارغة ERSوحساب متوسط زمن الإصلاح لكل من الصيانة الدورية MTTR_PMوإصلاح الأعطالMTTR_BDوفي الجدول (2) يتضمن القيم التي تلخص النتائج.

الجدول(2) يبين متوسط الزمن لكل من عملية صيانة دورية وعملية إصلاح الأعطال والزمن الفاصل بين عطلين لستافات الحاويات الفارغة

	Mean time between failures	mean time to repair BD	mean time to repair PM
ERS02	2.84	0.69	0.27
ERS03	4.27	0.92	0.17
ERS04	4.19	0.87	0.17
ERS06	3.71	0.85	0.10

تم التوصل للنتائج التالية:

1 -متوسط قيم MTBFتراوحت ما بين 2.84 – 4.27 ساعة، وهى صغيرة ويعود السبب لعدد أعطال كبير وساعات عمل غير كبيرة.

2 -إن متوسط زمن الاصلاح MTTR_BDكان ما بين 0.69 – 0.92للإصلاح الواحد أي أقل من ساعة.

3 -متوسط الزمن للصيانة الدورية MTTR_PMتراوحت قيمهامابين 0.10 – 0.27 ساعة لعملية الصيانة الدورية الواحدة، واختلفت من آلة إلى أخرى وهى أصغر من سابقتها.

4 -في المتوسط كان لكل 4.5 ساعة عمل تحتاج إلى ساعة صيانة أعطال وهي قيمة غير جيدة.

5 -نظراً لصغر قيم MTBFمابين4.27-2.84وزمن عملية MTTR_PMكان قليل في المتوسط 0.27-0.1، وكانت MTTR_BD كانت أربع أضعافها 0.92-0.69ولكن لاتزال قليلة وكذلك الإصلاح الكثير مقارنة مع ساعات العمل مما يتوجب إجراء عمليات صيانة جذرية واستبداليه، مما يحسن معاملات الأداء وبالتالي أداء العمل.

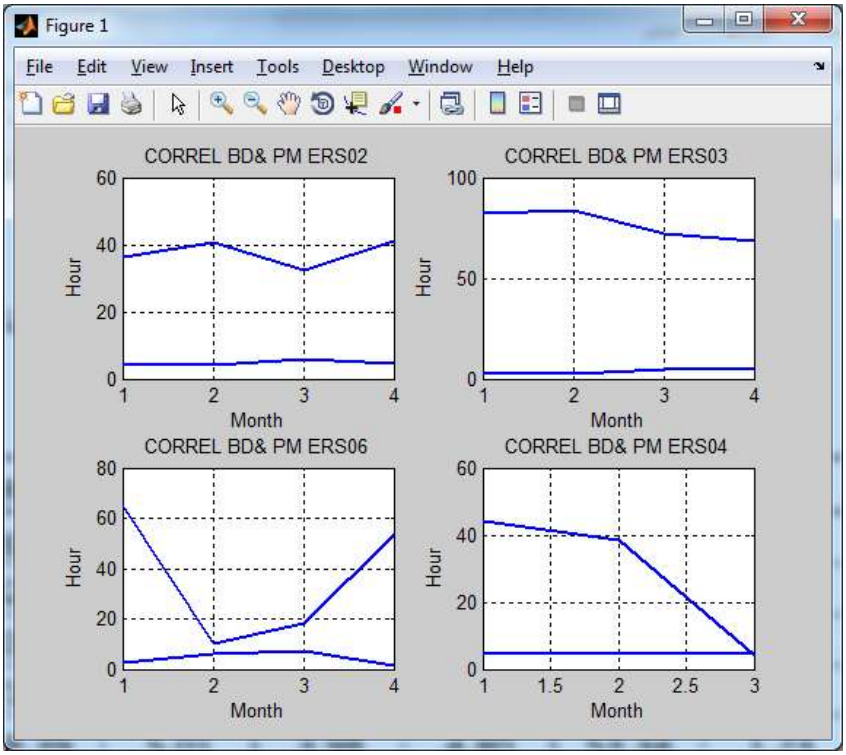
بعد ذلك،تم حساب معامل الارتباط لستافات الحاويات الفارغة ERSبين زمن الصيانة الدورية TPM وزمن إصلاح الأعطال TBD،وتوصلنا إلى التالي:

إنTPMوTBDمرتبطان عكسياً بشكل قوي وبالتالي كلما زاد زمن عمليات الصيانة الدورية انخفضت الأعطال وبالتالي انخفضزمن إصلاح الأعطال،والعكس كذلك، أي أنه عندما يتم الإصلاح بشكل جيد واستبدال الأجزاء أو الكلمن المحرك فإن ذلك يقلل زمن الصيانة الدورية.إن قيم الزمن في الجدول (3) مقاسة بالساعة ولكل شهر.

الجدول(3) يبين زمن الصيانة الدورية وزمن الإصلاح للأعطال ومعامل الارتباط لستافات الحاويات الفارغة.

	ERS02		ERS03		ERS04		ERS06	
	TBD	TPM	TBD	TPM	TBD	TPM	TBD	TPM
Month1	36.27	4.61	82.26	2.44	0.00	0.00	64.39	2.45
Month2	40.69	3.92	83.75	2.50	44.31	4.70	10.00	6.00
Month3	32.31	5.94	71.97	4.74	38.45	4.74	18.21	7.02
Month4	41.02	4.67	68.39	5.01	3.98	4.80	53.34	1.23
rERS	−0.86		−0.99		−0.97		−0.90	

تم حساب معامل الارتباط للآلة ERS04 فقط للشهور الثلاث، الثاني والثالث والرابع لهذا العام نظراً لعدم تسجيل صيانة دورية أو إصلاح أوعمل لها في الشهر الأول. ويبين الشكل(1) تخطيطاً لمعامل الارتباط لزمن الصيانة الدورية وإصلاح الأعطال لستافات الحاويات الفارغة الأربع.



الشكل (1) يبين معامل الارتباط بين زمن الصيانة الدورية وزمن إصلاح الأعطال لستافات الحاويات الفارغة.

كما وتم حساب ودراسة كل من Availability و Reliabilityلستافات الحاويات الفارغة.

والجدول (4) يتضمن معامل الجاهزية والموثوقية لها:

الجدول (4) يتضمن قيم الجاهزية والموثوقية لستافات الحاويات الفارغة.

	Availability	Reliability
ERS02	94.12	78.62
ERS03	88.85	81.59
ERS04	96.49	80.58
ERS06	94.35	79.61

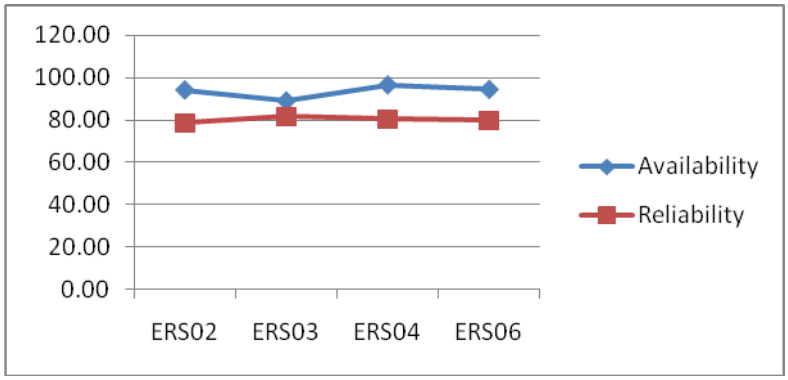
وكنتيجة لدراسة نتائج الجاهزية والموثوقية لـ ERS تبين أن:

1 – تعتبر قيم الجاهزية Availability جيدة نسبياً (لمثل هذا الظرف من إمكانية توفر القطع كماً ونوعاً)نظراً لكون زمن كل من الإصلاح الدوري وإصلاح الأعطال قليلة نسبياً.

2 – إن قيم الموثوقية Reliabilityأقل اقتراباً من القيم المعيارية(التي يتوجب أن تعطيها هذه المؤشرات لحالة الآليات) من الجاهزية نظراً لأن زمن التشغيل مرتفع نسبياً ولكن ليس بالشكل الكافي لتكون الجودة ذاتها.

3 – إن تابع الخطر كبير ويتراوح ما بين18.41 – 22.38 للسبب السابق ذاته.

الشكل (2) يبين مخطط لمعامل الارتباط بين الجاهزية والموثوقية.



الشكل(2) يبين معامل الارتباط Availability و Reliabilityلستافات الحاويات الفارغة.

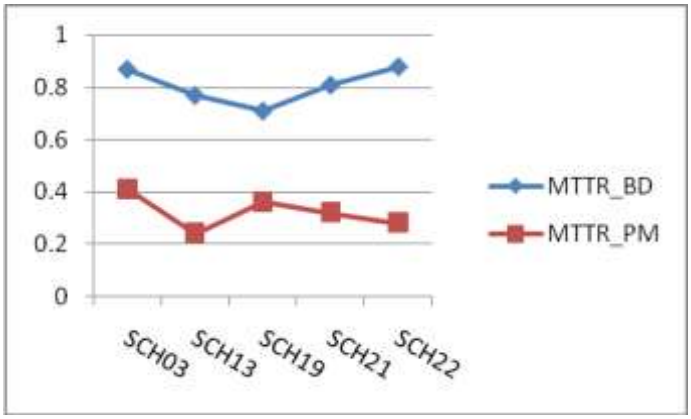
كما تم تطبيق ذلك على الحاضناتSCH:

تم حساب MTBFللحاضناتSCHوحساب متوسط زمن الإصلاح لكل من الصيانة الدورية MTTR_PM وإصلاح الأعطال MTTR_BDوتلخص بالقيم الموجودة في الجدول (5).

الجدول(5) يبين متوسط الزمن لكل من عملية صيانة دورية وعملية إصلاح الأعطال والزمن الفاصل بين عطلين للحاضنات.

	Mean time between failures	mean time to repair BD	mean time to repair PM
SCH03	4.77	0.87	0.41
SCH13	3.73	0.77	0.24
SCH19	6.61	0.71	0.36
SCH21	35.73	0.81	0.32
SCH22	22.25	0.88	0.28

في الشكل (3) تم رسم المخطط للمؤشرين MTTR_BD و MTTR_PMفقط ولم يدرج MTBF نظراً لقيمته العالية مقارنة مع العاملين المرسومين.



الشكل (3) يبين العلاقة ما بين متوسط الزمن لكل من عملية صيانة دورية وعملية إصلاح الأعطال.

لقد تم التوصل للنتائج التالية:

1 -متوسط قيم MTBFتراوحت ما بين 3.73 – 35.73 ساعة وهى صغيرة ويعود السبب لعدد أعطال كبير وساعات عمل غير كبيرة.

2 -إن متوسط زمن الاصلاح MTTR_BDكان ما بين0.71 – 0.88 للإصلاح الواحد أي أقل من ساعة.

3 -متوسط الزمن للصيانة الدورية MTTR_PM تراوحت قيمهاما بين 0.24 – 0.41 ساعة لعملية الصيانة الدورية الواحدة واختلفت من آلة إلى اخرى.

4 -في المتوسط كان 11.79 ساعة عمل تحتاج إلى ساعة صيانة أعطال وهي قيمة افضل من قيم ERS.

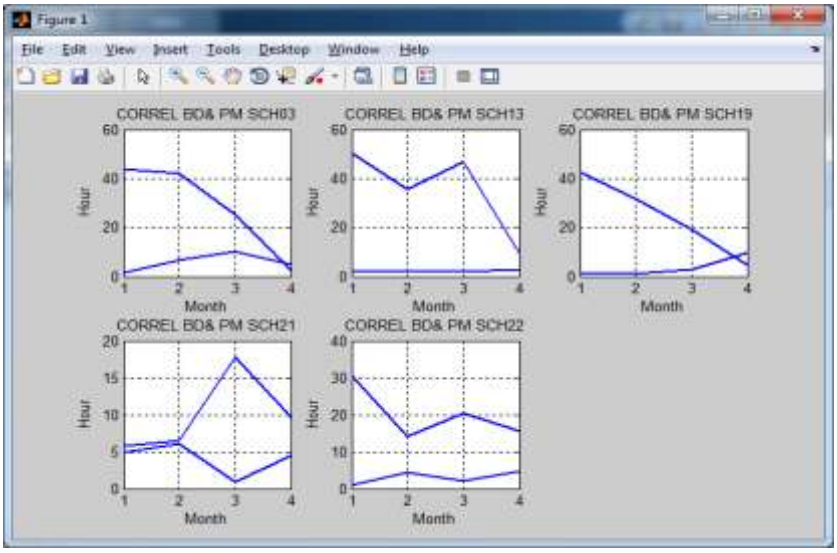
5 -إن MTBF أكبر بكثير عند كل من SCH21 و SCH22 من الحاضنات الأخرى مما يدل على أنهما بوضع أفضل بكثير من غيرها بمعدل يتراوح ما بين4–9 أضعاف وبالعودة لعدد ساعات العمل تبين دقة ذلك.

تم حساب معامل الارتباط حاضنات rSCH بين زمن الصيانة الدوري TPM وزمن إصلاح الأعطال TBD وتبين أنها مرتبطة عكسياً بشكل قوي وهذا ما نجده في الجدول(6)علما أن قيم الزمن مقاسة بالساعة لكل شهر.

الجدول(6) يبين زمن الصيانة الدورية وزمن الإصلاح للأعطال ومعامل الارتباط للحاضنات.

	SCH03		SCH13		SCH19		SCH21		SCH22	
	TBD	TPM	TBD	TPM	TBD	TPM	TBD	TPM	TBD	TPM
Month1	73.96	1.54	50.16	1.91	42.42	0.95	5.85	5.00	30.40	1.00
Month2	42.28	6.54	35.41	1.96	31.71	1.01	6.52	6.08	14.24	4.50
Month3	25.05	10.00	46.95	2.04	19.27	2.97	17.73	0.90	20.53	2.05
Month4	42.27	5.01	9.30	2.80	4.63	9.50	9.66	4.45	15.60	4.75
rSCH	-0.96		-0.94		-0.91		-0.97		-0.93	

ويبين الشكل التالي تخطيطاً لمعامل الارتباط لزمن الصيانة الدورية وإصلاح الأعطال لجميع الحاضنات وتراوح مابين0.91– و 0.97– وهو معمل ارتباط قوي وهذا ما يوضحه التخطيط فبزيادة احدهما يناقص الآخر.



الشكل (4) يبين معامل الارتباط بين زمن الإصلاح الدوري وزمن إصلاح الأعطال للحاضنات.

كما تم حساب ودراسة معامل الجاهزية والموثوقية للحاضنات والتي ندرجها في الجدول(7):

الجدول (7) يتضمن قيم الجاهزية والموثوقية للحاضنات.

	Availability	Reliability
SCH03	92.82	83.04
SCH13	92.77	79.01
SCH19	96.10	89.10
SCH21	98.05	95.92
SCH22	96.76	95.65

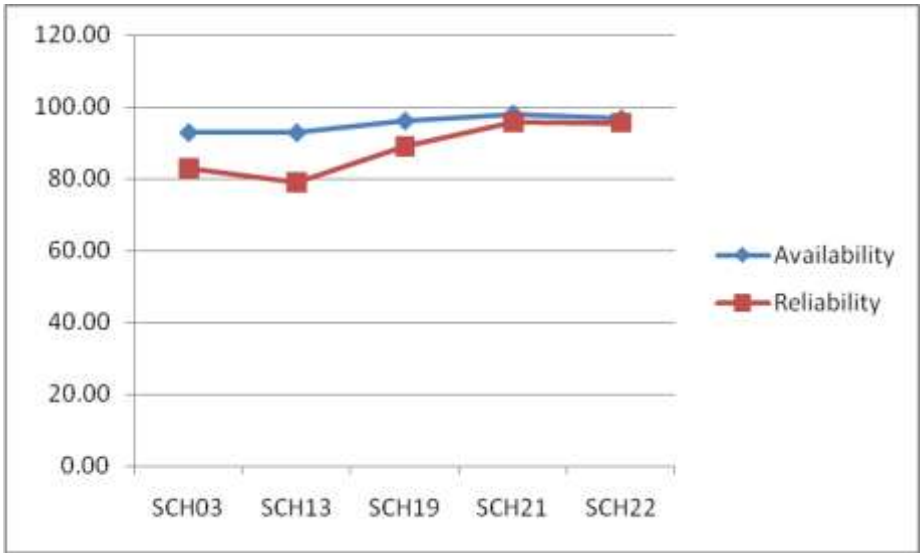
وكنتيجة لدراسة نتائج الجاهزية والموثوقية لـ SCH تبين لنا:

1 إن قيم الجاهزية Availability جيدة نظراً لكون قيم كل من الإصلاح الدوري وإصلاح الأعطال قليلة.

2 قيم الموثوقية Reliability أقل جودة من الجاهزية نظراً لأن زمن التشغيل مرتفع نسبياً ولكن ليس بالشكل الكافي لكي تكون بنفس الجودة.

3 إن تابع الخطر كبير نسبياً ويتراوح ما بين20.09 – 4.08.

الشكل(5) يبين رسماً تخطيطياً لترابط كل من الجاهزية والموثوقية للحاضنات.



الشكل(5) يبين معامل الارتباط Availability و Reliability للحاضنات.

تم تطبيق مكن تطبيقه على QuayCarrier(QC)الرافعات الجسرية التي تعمل على الكهرباء وبالتالي تملك قيم للجاهزية والموثوقية جيدة جداً وتصل إلى القيم العالمية :

تم حساب MTBFللرافعات الجسريةQCوحساب متوسط زمن الإصلاح لكل من الصيانة الدورية MTTR_PM وإصلاح الأعطال MTTR_BDونلخصها بالقيم الموجودة في الجدول (8).

الجدول(8) يبين متوسط الزمن لكل من عملية صيانة دورية وعملية إصلاح الأعطال والزمن الفاصل بين عطلين للرافعات الجسرية.

	Mean time between failures	mean time to repair BD	mean time to repair PM
QC01	40.06	0.60	0.50
QC02	25.73	0.40	Unavailable
QC03	55.50	0.97	0.84
QC04	35.62	0.80	0.62

تم التوصل للنتائج التالية:

1 متوسط قيم MTBFتراوحت ما بين 25.73 – 55.50 ساعة وهيجيدة ويعود السبب لعدد أعطال مقبولوعدد ساعات عمل كبير، حيث تراوحت الأعطال مابين 18–33 عطل في اربع اشهر والزمن اللازم لكامل الاصلاح تراوح ما بين 12–17 ساعة وساعات العمل من 460–850 في اربع اشهر.

2 إن متوسط زمن الاصلاح MTTR_BDكان بين 0.40 – 0.97 للإصلاح الواحد أي أقل من ساعة.

3 متوسط الزمن للصيانة الدورية MTTR_PM تراوحت قيمهابين 0.50 –0.84 ساعة لعملية الصيانة الدورية الواحدةمع العلم أن QC02 لم تسجل أية عملية صيانة دورية وهذا ما جعل القيمة غير متاحة Unavailable، واختلفت من آلة إلى أخرى وهى أصغر من سابقتها.

4 في المتوسط كان لكل58.68ساعة عمل حاجه إلى ساعة صيانة أعطال وهذا أمر جيدة.

5 لم نستطيع حساب معامل الارتباط لرافعات QC كما في الحالات السابقة لأن زمن الصيانة الدورية قد غاب لبعض الأشهر وبعضها لكامل الشهور الأربع كما ذكرنا.

6 مما سبق نجد أن MTBFعند QCأكبر بكثير من ERS & SCH، ونسبة زمن العمل إلى صيانة الأعطال كان مرتفع، مما يدل أن جميع QC هي بوضع أفضل بكثير من غيرهامما نستنتج أنها جديدة وتعمل بشكل جيد وبالعودة لعدد ساعات العمل تبين ذلك.

تم إدراج قيم الجاهزية والموثوقية في الجدول(9) التي تم حسابها على الروافع الجسرية:

الجدول (9) يتضمن قيم الجاهزية والموثوقية للرافعات الجسرية.

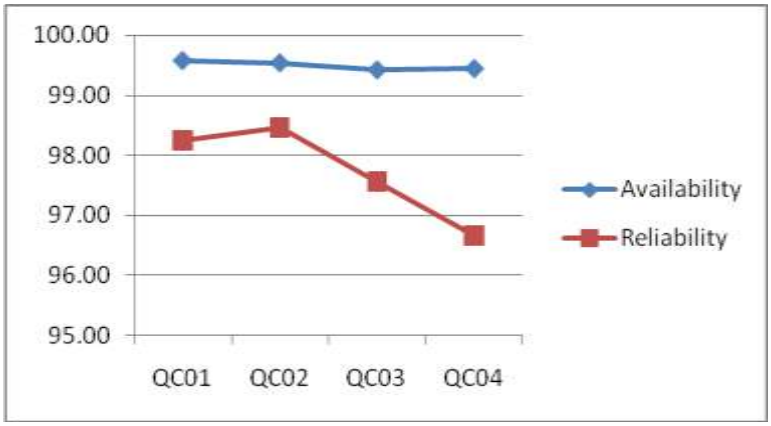
	Availability	Reliability
QC01	99.58	98.25
QC02	99.54	98.47
QC03	99.42	97.57
QC04	99.45	96.67

وكنتيجة لدراسة نتائج الجاهزية والموثوقية لـ QCتبين أن مقارنة مع القيم العالمية التي يجب أن تقترب من 100% وذكرت مابين95-100 % :

1 إن قيم الجاهزية Availability جيدة جداً(99.59-99.42) % نظراً لكون قيم كل من الإصلاح الدوري0.84-0.5وإصلاح الأعطال0.97-0.4 قليلين.

2 قيم الموثوقية Reliability أقل قليلاً من الجاهزية 98.47-96.67ولكن ضمن مجال الجودة المذكور سابقاً.

3 إن تابع الخطر صغير نسبياً ويتراوح ما بين1.53 – 3.33.



الشكل(6) يبين معامل الارتباط Availability و Reliabilityللرافعات الجسرية.

إن سبب انخفاض قيمة الموثوقية يعود إلى أن ساعات العمل 463 وزمن الصيانة الدورية وزمن الإصلاح 15.95 وتتأثر الموثوقية بعاملي الزمنين أكثر من الجاهزية.

الاستنتاجات والتوصيات.

إن قيم الجاهزية Availability جيدة نسبياً مقارنة مع الموثوقية Reliability والتي عبرت عن الآلات المدروسة وإن MTBFعند QCأكبر بكثير من ERS & SCH، ونسبة زمن العمل إلى صيانة الأعطال كان مرتفعاً،مما يدل أن جميع QC هي بوضع أفضل بكثير من غيرها واقتربت من القيم العالمية(95-100)%مما يستنتج أنها جديدة وتعمل بشكل جيد وبالعودة لعدد ساعات العمل تبين ذلك وبالتالي يمكن ترتيبها وفق الأفضلية في الجودة

من QC وبعدها SCH وبعدها ERS وبالتالي لابد من التجديد في الستافات الفارغة أولاً ثم الحاضنات في المرتبة التالية.

نظراً لارتباط زمن الصيانة الدورية TPM وزمن إصلاح الأعطال TBD ارتباطاً عكسياً بشكل قوي وإن توقيت زمنإصلاح الأعطال يُفرض مقارنة مع زمن الصيانة الدورية الذييمكن اختياره ضمن حدود، ينصح بما يلي:

يجب التركيز على جودة عمليات الصيانة الدورية للتقليل من الأعطال بالتالي تقليل زمن إصلاح الأعطال.

منالضروري أن يتم إجراء استبدالالأجزاءالتي كانت تسبب المشاكل المتكررة حيث تسببت بأعطال دورية مكثفةوهذا الاستبدال يقلل من زمن الصيانة الدورية (استبدال محرك حاضنة بمحرك جديد يتطلب صيانة دورية لاحقاً اقل زمناً من القديم).

عند ستافات الحاويات الفارغة كانت قيم MTBFمابين4.27−2.84وزمن عملية MTTR_PMكان قليل في المتوسط0.27−0.1، وكانت MTTR_BD كانت أربع أضعافها 0.92−0.69ولكن لاتزال قليلة وكذلك الإصلاح الكثير مقارنة مع ساعات العمل مما يتوجب إجراء عمليات صيانة جذرية واستباليه، مما يحسن معاملات الأداء وبالتالي أداء العمل.

المراجع:

[1]- ADITYA. P ; UDAY. K, "*Maintenance Productivity and Performance Measurement*", springer3-471-84882-1-978 , 2009.

[2]- FREDRIKSSON G. ; LARSSON. H, "*An analysis of maintenance strategies and development of a model for strategy formulation*", Master of Science Thesis in the Master Degree Programme, Production Engineering, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden, 2012.

[3]-MUCHIRI, P.,etal, "*development of maintenance function performance measurement frameworkand indicators*", International Journal of Production Economics ,2010, doi:10.1016 /j.ijpe.2010.04.039.

[4]-KUMAR.U; GALAR.D; PARIDA.A; STENSTOEM.C; BERGES.L,"*Maintenance performance metrics: a state-of-the-art review*", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 19 No. 3, pp. 233-277, 2013.

[5]-MOHAMED BEN-DAYA • SALIH O. DUFFUAAABDUL RAOUF • JEZDIMIR KNEZEVIC • DAOUD AIT-KAFI, "*Handbook of Maintenance Management and Engineering*", Springer-Verlag London Limited, 2009.

[6] - ARTS, R.H.P.M., KNAPP, G.M. and MANN, L. "*Some aspects of measuring maintenance performance in the process industry*", Journal of Quality in Maintenance Engineering,Vol. 4 No. 1, pp. 6-11, 1998.

[7]- SWANSON, L. "*Linking maintenance strategies to performance*", International Journal of Production Economics, Vol. 70 No. 3, pp. 237-244, 2001.

[8]- BARRINGER, H., PAUL, "*The Evolution of Reliability*"،International Maintenance conference December 7- 10,2003.

[9]- DAVID. M. L; SCOTT.D; HEBL.M; GUERRA.R; OSHERSON.D; ZIMMER.H, "*Introduction to Statistics*", Rice University& University of Houston, Downtown Campus,2008,694.

[10]- WILLIAM.H.P; SAUL.A.T; WILLIAM.T.V; BRIAN.P.F, "*Numerical Recipes in C* ", The Art of Scientific Computing Second Edition, Cambridge New York,2002,949.