

# قياس مؤشرات الأداء لأعمال الصيانة بخطوط جهد 11 kV بمدينة مصراته

إبراهيم أحمد بادي  
كلية الهندسة، مصراته، ليبيا  
i.badi@eng.misuratau.edu.ly

صالح مفتاح أبو حجر  
الشركة العامة للكهرباء  
Salah312@yahoo.com

علي قاسم شتوان  
كلية التقنية الصناعية، مصراته، ليبيا  
ashetwan@cit.edu.ly

كما تناولت دراسة باريدا [2] حالة دراسية تمثلت في شركة LKAB حيث هدفت الدراسة إلى تحديد وتطوير مؤشرات لقياس أداء الصيانة لشركة تحويل منجمية تنتج كرات حديدية ذات جودة عالية بالسويد تُعد الدراسة محاولة لتطبيق هيكل لمؤشرات أداء الصيانة الذي كان موضوع رسالة الدكتوراه للباحث. قام الباحث بوضع هيكل عام لمؤشرات قياس الأداء، وقام بتجميع البيانات الضرورية انطلاقاً من نتائج المقابلات، والتقارير المتعلقة بالصيانة كتقارير وأوامر العمل، وتكاليف الصيانة، والأعطال. توصلت الدراسة إلى تحديد مجموعة من المؤشرات ضمت 12 مؤشراً لتطبيقها بالشركة، رأى الباحث بأنها قادرة على إعطاء التقييم الصحيح للأداء، وذلك بعد تحليل بيانات التوقفات القصيرة وبيانات توقفات الصيانة المخططة (الوقائية) واحتياجات المسؤولين بالشركة. وبالرغم من أن الباحث اعتبر أن مؤشرات تقييم أداء الصيانة المتعلقة بالتكاليف مهمة إلا أنه لم يذكرها ولم يبرر أسباب ذلك.

أما في دراسة مشيري وآخرون [3]، فقد قام الباحثون بمسح صناعي لاستكشاف استخدام قياس الأداء في إدارة الصيانة. وهدفت الدراسة إلى: أولاً تصنيف المؤشرات الأكثر أهمية واستخداماً في إدارة الصيانة، ثانياً: كيفية اختيار المؤشرات، وتم ذلك عبر إنشاء ارتباط بين البيئة التصنيعية وتركيز الصيانة استناداً إلى أهداف الصيانة والمؤشرات المستخدمة). وأخيراً الاستخدام الفاعل لمؤشرات الصيانة، والذي تم التدقيق فيه بالاستناد إلى تكرار الصيانة، ورضا مسؤولي إدارة الصيانة عن استخدام هذه المؤشرات. أظهرت النتائج وجود عدم ارتباط مباشر بين الأهداف الموضوعية للصيانة ومؤشرات الأداء الرئيسية المستخدمة. كما أظهرت الدراسة أن نسبة قليلة من الشركات لديها نسبة مئوية عالية من القرارات والتغيرات التي يكون وراءها استخدام مؤشرات أداء رئيسية، والقليل منها بها نظم قياس صيانة ذات مردود مرضي. كذلك أظهر تحليل الترابط وجود علاقة خطية موجبة وقوية بين درجة الرضا وتغيرات/قرارات العمل بسبب استعمال مؤشرات أداء رئيسية.

وهدفت دراسة مشيري [4] إلى إثبات أن مؤشرات قياس أداء الصيانة ليس بالإمكان أن يتم تحديدها أو قياسها بمعزل، بل يجب أن تكون ناتجة من التحليل الدقيق للتفاعل مع الوظائف الأخرى بالمنظمة. لذلك طرح الباحثون هيكل لقياس أداء الصيانة أساسه بناء علاقة بين أهداف المنظمة والصناعة التي تشغلها والقطاع الذي تتبعه، وأنشطة عمليات الصيانة ونتائج مخرجاتها. توصل الباحثون إلى طرح نموذج لقياس أداء وظيفة الصيانة يتكون من مؤشرات أولية (leading) وأخرى نهائية (lagging).

أما دراسة وهاب [5]، فقد تناولت العلاقة بين ضعف أنشطة الصيانة في المحافظة على المعدات وأدائها وبين مؤشرات أداء الصيانة من حيث إتاحة واعتمادية المعدات. وهدفت الدراسة إلى تعريف العاملين بمؤشرات أداء أنشطة الصيانة ومعدلاتها المعيارية، ودرجة فعالية أداءهم، والتحسين والتطوير المطلوب لإزالة أسباب تدني الأداء. توصل الباحث إلى تحديد اعتمادية خطوط الإنتاج التي تراوحت ما بين 0.97 إلى 0.99، وإتاحة المعدات كانت ما بين 0.628 إلى 0.886، ومتوسط زمن الإصلاح 98.65 دقيقة. يلاحظ على الدراسة أن الباحث أكتفى بتحليل المؤشرات التقنية فقط، ولم يحدد المعايير التي اعتمد عليها في المقارنة مع النتائج.

الملخص - تسعى أغلب الشركات لأن تكون إدارة الصيانة على درجة عالية من التخطيط والتنظيم والرقابة لإتمام عمليات الصيانة بفاعلية، الأمر الذي يؤدي إلى المحافظة على معداتها وإطالة عمرها الافتراضي. تدرس هذه الورقة كفاءة أداء أعمال الصيانة لشبكة التوزيع الكهربائية بمدينة مصراته، وذلك من خلال دراسة بعض المؤشرات الخاصة بكفاءة أعمال الصيانة. لقد تم تجميع المعلومات من خلال سجلات الشركة والزيارات الميدانية وخطط الصيانة ومنظومة التسجيل بالشركة، وهذه البيانات تخص أعمال الصيانة بالشركة لعامي 2013 و 2014. قسمت البيانات حسب المناطق بالمدينة، ومن ثم جمعت إلى 3 مناطق رئيسية هي وسط وغرب وشرق المدينة، وجمعت البيانات على أساس شهري، ومن ثم لخصت على أساس ربع سنوي ثم سنوي للمقارنة بينها. ومن الملاحظ وجود فروقات في المؤشرات بين هذه المناطق. وبينت الدراسة انخفاض معدلات الصيانة الوقائية مقارنة بالصيانة العلاجية، كما أوضحت انخفاض معدلات الإتاحة حيث وصلت إلى 88.44% في بعض الأحيان، كما بينت الدراسة انخفاضاً في معدلات الأداء في سنة 2014 عنها في سنة 2013.

كلمات مفتاحية: مؤشرات، صيانة، أداء، كهرباء، جهد.

## 1. المقدمة

تعتبر الصيانة من أهم العوامل الرئيسية التي تساعد في المحافظة على المعدات وإطالة عمرها الافتراضي. من أجل ذلك تسعى معظم الشركات بأن تكون إدارة الصيانة على درجة عالية من التخطيط والتنظيم والرقابة لإتمام عمليات الصيانة بفاعلية. ولتحقيق ذلك لا بد من قياس مدى تحقيق الأهداف، وفقاً للخطة الموضوعية سواء من ناحية التوقيت أو من ناحية الأداء ودقة العمل. إن التأثير السلبي لانقطاع الطاقة الكهربائية على المستهلك يُحتم على الشركة العامة للكهرباء الاهتمام بفاعلية أداء الصيانة، ولتحقيق هذا الهدف يجب أن يكون هناك معايير لقياس أداء عمليات الصيانة، ويجب أن تُطبق بشكل جيد. إن كثرة الانقطاعات مردها إلى المردود أو العائد الفعلي من أعمال الصيانة المنفذة، وبالتالي هي تعكس التدني في أداءها وعدم فاعليتها، في حين أن النظام المتقن للفحص والصيانة سيُمكن من تشغيل شبكة التوزيع الكهربائية بكفاءة وأمان وبأقل انقطاعات ممكنة، ويساهم في بناء وتطوير الشبكة الكهربائية خطوة بخطوة.

## 2. الدراسات السابقة

تناولت دراسة اللامي [1] أعمال الصيانة بشركة الصناعات الجلدية في بغداد. هدفت الدراسة إلى تقييم أداء عمليات الصيانة باستخدام بعض مؤشرات الأداء المعتمدة للمساهمة في زيادة الخصائص التشغيلية للمعدات، كذلك تحليل العلاقة بين إتاحة المكائن ومتوسط الوقت بين الأعطال، ومتوسط وقت إصلاح المكائن والمعدات. توصلت الدراسة إلى تحديد إتاحة المعدات والتي بلغت 97%، في حين كان متوسط الزمن بين الأعطال 187.1 ساعة، ومتوسط زمن الإصلاح 17.98 ساعة.

استلمت الورقة بالكامل في 3 أكتوبر 2015 وروجعت في 5 نوفمبر 2015 وقيل للنشر 20 نوفمبر 2015 ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 30 نوفمبر 2015.

### 3. تقييم أداء الصيانة

من أجل تقييم فاعلية وكفاءة مردود الصيانة، تستخدم المؤشرات لقياس مستوى الأداء، وهي مجموعة من المقاييس التي تُحدد مدى فاعلية وكفاءة أنشطة الصيانة. ومن الأسباب التي تدعو لقياس الأداء هو تزويد الإدارة بالتغذية العكسية عن العمليات المفيدة، وتساعد الإدارة في تقييم برامج الصيانة الموضوعية لمعرفة نقاط القوة والضعف ومن ثم اتخاذ ما يلزم بشأنها من قرارات بغية تحسين الأداء [11]. قياس الأداء يُعرف على أنه عدد من المؤشرات تستخدم لقياس فاعلية وكفاءة أعمال وممارسات محددة. في حين يُعرف مؤشر قياس الأداء على أنه مقارنة الوضع الحالي لنظام معين مع وضعية معيارية تعبر عن المطلوب [12]. وتختلف مقاييس كفاءة أنشطة الصيانة من شركة إلى أخرى حسب نشاطها، وذلك طبقاً لحجم العمل وظروفه ونوعية المعدات ومدى توفر الموارد المطلوبة بالكفايات المناسبة.

#### تطور قياس أداء الصيانة:

لتطوير مدخل قياس أداء وظيفة الصيانة، من الضروري وضع صياغة جيدة لاستراتيجية الصيانة، تستند على استراتيجية تنظيمية للشركات، وتركز على وضع الخطط التي تساهم في دعم عوامل النجاح، والتي تقود لتطوير الأداء بإدارة عمليات الصيانة. الإطار المقترح لتطوير مدخل لقياس أداء الصيانة الموضح في الشكل (1)، يحدد العناصر الرئيسية والعمليات التي تدفع وظيفة الصيانة لتقديم الأداء الذي تقتضيه الأهداف التصنيعية. يدعم الإطار بأن يتم محاذاة أهداف الصيانة في مقابل أهداف الشركة والتصنيع، لذلك يعمل على توجيه كل مجهودات الصيانة نحو الوصول إلى الأداء المطلوب، والتحسين المستمر في أداء المعدات. يتكون الإطار من ثلاث أقسام رئيسية تتضمن: محاذاة الصيانة مع التصنيع، ومجهودات الصيانة أو العملية، وتحليل نتائج أداء الصيانة. يسعى القسم الأول لمحاذاة أهداف وظيفة الصيانة مع استراتيجية الشركة والتصنيع جنباً إلى جنب من خلال مراجعة المتطلبات المتعددة للعديد من المساهمين. تلقائياً بتحديد أهداف الصيانة تتمكن إدارة الصيانة من وضع مرجعيات وأهداف الأداء كمعيار بغية الحصول على النتائج المرجوة من الصيانة. حيث ترتبط أهداف الأداء مع حالة وأداء المعدات، ومدى الاستفادة من موارد الصيانة (التكلفة)، والتي تستخدم كمعيار يتم على ضوءه تحليل نتائج (مردود) الصيانة. تعتبر إدارة عملية الصيانة هامة جداً للوصول إلى النتائج والأهداف المطلوبة من الصيانة، وهي بمثابة العوامل الحاسمة للنجاح التي تحفز أداء الصيانة. إن الخطوات الرئيسية لعملية الصيانة وفق ما تم تحديدها تشمل: تعريف نوعية العمل، وتخطيط العمل، وجدولة العمل، وتنفيذ العمل [4].

يتم تقييم أداء الأنشطة استناداً إلى نتائج تحليل أعطال المعدات، بحيث يتم توجيه موارد وإمكانيات الصيانة لتحقيق الاستخدام الأمثل والفعال، وهذا بدوره يضمن أن تساهم أنشطة الصيانة وبفاعلية في تحقيق نتائج الأداء. بدوره يعمل تخطيط العمل على تطوير الإجراءات وأوامر العمل الخاصة بأنشطة الصيانة التي تم تحديدها، ويتضمن ذلك احتياجات الموارد، وتعليمات إجراء المهمة أو الوظيفة، والتدابير المطلوبة للسلامة. كما تساعد الجدولة في تقييم جاهزية الموارد المطلوبة للقيام بالعمل، وتحديد الإطار الزمني لتنفيذه.

إن تنفيذ العمل يضمن بأن تكون كل المهام المجدولة قد تم تنفيذها وفق المخطط وفي حدود الزمن المخصص مع الاستخدام الأمثل والفعال للموارد. هذه العملية تشكل حلقة متكاملة لعملية الصيانة، وتؤكد على أن عمل الصيانة قد تم تأديته بفاعلية ووفق المطلوب.

لهذا نحتاج في إدارة عملية الصيانة إلى تحديد مؤشرات أداء لكل خطوة من الخطوات، وباعتبار أن عمليات الصيانة هي العوامل المحددة لنتائج (مردود) الصيانة، لهذا فإن المؤشرات المرتبطة بعملية الصيانة يشار إليها بالمؤشرات الموجهة أو القائدة، وبمجرد اكتمال عمليات الصيانة ينبغي مراقبة ورصد نتائج (مردود) الصيانة خلال مدة محددة. ويجري قياس النتائج على ضوء حالة المعدات وأدائها، مع مراعاة تكلفة الصيانة والاستخدام الفعال للموارد. إن التحليل المتقن لنتائج الصيانة يعتبر هاماً لأنه يدعم تحديد فجوات الأداء، وبالتالي يدعم التحسين المستمر في أداء المعدات، ويتضمن تحليل الأداء مقارنة النتائج المنجزة مع الأهداف المحددة، ومقارنتها مع البيانات التاريخية في سجل المعدة، ومراجعة تكلفة

وفي دراسة بن دحمان [6]، فقد تم دراسة مساعي المؤسسة في الوصول إلى أداء أفضل لإدارة الصيانة، والعمل على تقليص فجوات الأداء بين الممارسات الفعلية والبرامج المخططة إن وجدت، وإيجاد الحلول المناسبة. هدفت الدراسة إلى محاولة رفع أداء عمليات الصيانة والإنتاج معاً بكفاءة وفاعلية من خلال اقتراح منهج لمعالجة انحرافات الأداء. توصل الباحث إلى تحديد الزمن المستغل للصيانة نسبة لأجمالي ساعات الوقت المتاح وهو 94.09 %، وبالتالي فإن نسبة الوقت الضائع 5.91 % أي أن (822 ساعة عمل ضائعة). خلصت الدراسة إلى وجود فجوة في أداء الصيانة بالمؤسسة تتمثل في ضعف منهج التخطيط وغياب الدراسات المتعلقة بتحليل الأعطال، إضافة إلى السياسة الهشة المتبعة لأنشطة الصيانة.

وطرحت دراسة إشتيوي [7]، مشكلة الدراسة في صيغة أسئلة تتعلق بـ (الكفاءات المناط بها تطبيق أنشطة الصيانة، دعم الإدارة العليا، المستلزمات المطلوبة، مدى تطبيق استراتيجية الصيانة). وتبنى الباحث منهج التحليل الإحصائي لبيانات الاستبانة الموزعة على عينة الدراسة. توصل الباحث إلى تحديد أسباب تدني أداء الصيانة وأثرها على العملية الإنتاجية، وأهمها نقص الكفاءات العلمية والمهنية وقلة الدورات التدريبية لفرق الصيانة وضعف دعم الإدارة، كذلك نقص في المستلزمات المطلوبة للصيانة. يلاحظ على الدراسة أنها لم تتناول تطبيق مؤشرات قياس الأداء لدعم النتائج التي توصلت إليها.

تناولت ورقة كولنز وناصر [8]، دراسة 10 أفضل ممارسات (Best practices) تعمل على بناء والحفاظ على درجة اتاحية عالية لمركز بيانات الطاقة. أوضحوا أن، على الرغم من الجهود الرامية إلى تحقيق اتاحية "خمسة تسعات 99.999" إلا أن الشركات ما تزال معرضة للعديد من التهديدات. ومن أهم هذه التهديدات هي القضايا التي تؤثر على أنظمة الطاقة الكهربائية. مراكز البيانات تعتمد على إمدادات مستمرة من الكهرباء النظيفة. ومع ذلك، عند حدوث عيب في أي جزء من مكونات نظام الطاقة الأمر الذي ينتج عنه فشل في الشبكة الكهربائية حتى وإن كان مركز البيانات حديث ومتطور. توصلوا إلى أن 10 الطرق المعروضة يمكنها حماية مراكز البيانات الخاصة بهم من انقطاع الخدمة المرتبطة بالطاقة. وتناولت ورقة إيتي وآخرون [9] دراسة أداء محطات توربينات الغاز في محطة الطاقة الحرارية بأفام. أظهرت النتائج إلى أن إتاحة المعدات بلغت 0.896 وبلغ كل من MTTR و MTBF 60 ساعة و 524 ساعة على التوالي. كذلك أظهرت النتائج أن تأثير فاقد التوليد (من خلال نقص الاتاحية) تجاوز في غضون بضع سنوات، سعر الشراء الأولي لمحطات توليد الكهرباء والمعدات المرتبطة بها. للحد من التوقف وتحقيق القدرات الإنتاجية العالية، اقترح الباحث أن يكون الهدف هو إيجاد سبل لزيادة كفاءة المعدات وتطويل عمرها من خلال تكاليف الصيانة الفعالة والتي تتمثل في تطبيق نظامي إدارة الجودة الشاملة وإدارة الصيانة الشاملة.

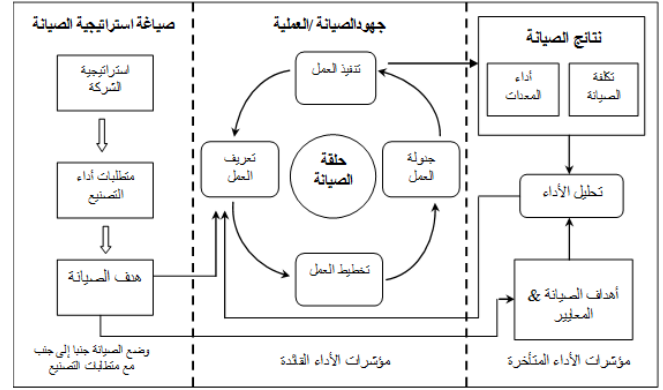
كما تناولت ورقة عبد الفتاح وآخرون [10] دراسة لعدة مؤشرات لتقييم عدد 252 من محولات القدرة الكهربائية لشركة الكهرباء لفترة 8 سنوات (2009-2002). قيم نتائج الاتاحية والصيانة أظهرت وجود اختلافات كبيرة مع الزمن. تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها من الورقة مع نتائج لدراسات سابقة، حيث توصل الباحثون إلى أن نتائج الدراسة أظهرت أن المحولات الكهربائية في الحالة الدراسية لديها إتاحة وصيانة أعلى بالمقارنة مع الدراسات التي تم المقارنة معها.

يلحظ على الدراسات السابقة أنها لم تبين أسباب اختيار المؤشرات المستخدمة، كما أن بعضها اعتبر أن مؤشرات تقييم أداء الصيانة المتعلقة بالتكاليف مهمة إلا أنه لم يبرر عدم إبرازها، وبعض الدراسات اعتمدت على أسلوب الاستبيان ولم تنظر لتطبيق مؤشرات الأداء لدعم نتائجها. هذه الورقة تتناول استخدام المؤشرات في تقييم أداء الصيانة في شبكات التوزيع الكهربائية، تحديداً خطوط الهوائية جهد 11kv بمنطقة مصراتة، وهي حالة مختلفة عن الحالات التي قدمت في الدراسات السابقة. بالإضافة إلى أن هذه الورقة تقدم مؤشرات جديدة لم يتم التطرق إليها في الدراسات السابقة، الأمر الذي يجعل من الدراسة الحالية مرجعاً مهماً سيساعد الإدارة العليا في الشركة العامة للكهرباء في مراقبة أداء الصيانة.

ب. تحديد البيانات المطلوبة وطريقة جمعها

معظم المعطيات لم تكن جاهزة بل تطلب الأمر وقتاً لتفريزها وتسجيلها، كما أن البيانات والمعلومات التي تم تجميعها كانت من عدة مصادر، والحدود الزمنية للدراسة طويلة نوعاً ما. من واقع السجلات اليومية لأحداث شبكة التوزيع الكهربائية جهد 11kV ومنظومة التسجيل تم تجميع البيانات المتعلقة بالانقطاعات والفصولات، وما يتعلق ببيانات الصيانة كانت من الخطط السنوية للصيانة لعامي (2013م، 2014م)، والتقارير الشهرية والربع سنوية لأقسام الصيانة لعامي (2013م، 2014م)، وبعض البيانات عن الخطوط الهوائية كانت من منظومة رصد الشبكة بدائرة التخطيط والدراسات، بالإضافة إلى سجلات أوامر العمل، وأرشيف دائرة تخطيط الصيانة، وإجراء بعض المقابلات المباشرة مع مسؤولي ومهندسي أقسام الصيانة بشأن آلية عمل الصيانة والمتابعة.

الصيانة. ويشار إلى المؤشرات المرتبطة بنتائج الصيانة بالمؤشرات المتأخرة، لأنه تم معرفتها بعد مرور فترة زمنية. لهذا يحدد إطار العمل العناصر المطلوب أخذها في الحسبان لتمكين وظيفة الصيانة من دعم الأداء الوظيفي [4].



شكل (1): الإطار المقترح لتطوير مدخل لقياس أداء الصيانة

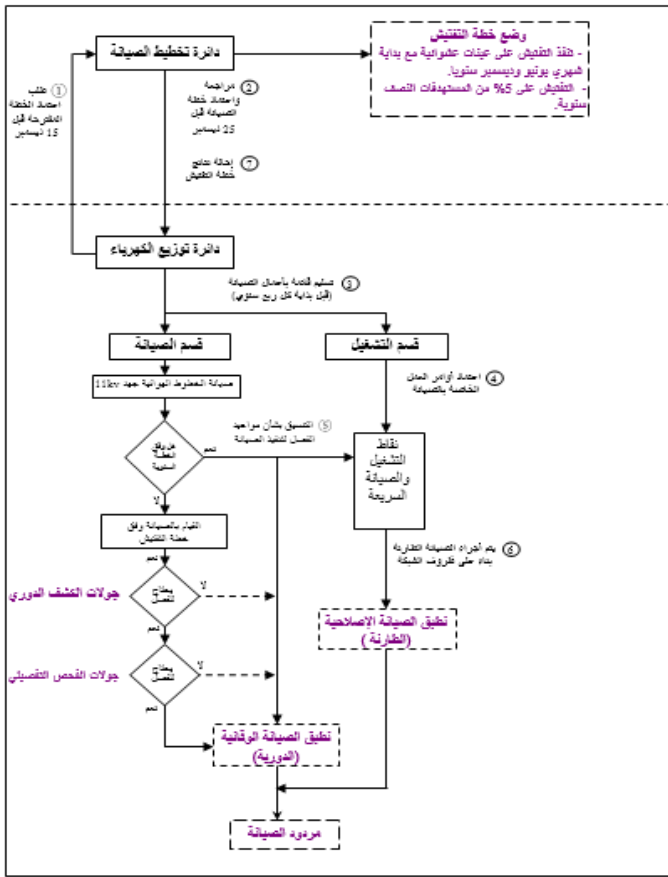
#### 4. آلية تخطيط وإجراء الصيانة الوقائية بخطوط جهد 11kV

قبل بداية كل سنة، يتم عادة التجهيز لإعداد الخطة السنوية للصيانة، بحيث يقوم مهندسو مكاتب الصيانة بأقسام الصيانة بدوائر التوزيع كل حسب تخصصه بوضع مقترح يشمل جميع الأعمال المستهدفة بالصيانة من واقع معرفتهم بمشاكل الشبكة الكهربائية الواقعة تحت إشرافهم، ومن خلال اطلاعهم على تقارير الفصولات والصيانة المنفذة في السابق ونسبة الإنجاز. وذلك لتحديد نوعية الصيانة المطلوبة ودرجة الاحتياج لها، ويتم برمجتها ضمن الخطة السنوية للصيانة وفق جدول زمني تضمن توزيع جميع أعمال الصيانة المطلوبة خلال السنة، وتشمل جميع مكونات شبكة التوزيع الواقعة في النطاق الإشرافي لدائرة التوزيع المعنية (الخطوط الهوائية والمحطات الأرضية). على أن تحال للاعتماد من قبل دائرة تخطيط الصيانة قبل 15 ديسمبر. تتولى دائرة تخطيط الصيانة مراجعة الخطط المقترحة للصيانة واعتمادها ومن ثم متابعة تنفيذها. يقوم قسم تخطيط صيانة جهد 11kV بمراجعة الخطط المقترحة للصيانة المحالة من دوائر التوزيع، من حيث تقيدها بالنسب المقررة للمستهدفات المخططة، ومراعاة الوضع التشغيلي القائم للشبكة العامة وضمان عدم تأثره بالحلقات المفصولة أثناء الصيانة وتحديد المواعيد المناسبة. بمجرد اعتماد الخطة السنوية تحال إلى دوائر توزيع الكهرباء المعنية بتنفيذ عمليات الصيانة عن طريق أقسام ومكاتب الصيانة التابعة لها كلا في مجال عمله، ووفق المستهدفات المبرمجة بالخطة السنوية وتوزيع الأعمال خلال السنة. يتم التنسيق بين أقسام التشغيل والصيانة بدوائر التوزيع فيما يتعلق بعمليات الفصل لفرض إجراء الصيانة وتحديد المواعيد المناسبة لذلك، على أن يتم إحالة قائمة بأعمال الصيانة المزمع تنفيذها إلى قسم التشغيل قبل بداية كل ربع سنة، حتى يتسنى لمهندسي القسم دراستها وتحديد الوضع التشغيلي الملازم للشبكة العامة أثناء تنفيذ أعمال الصيانة. ويبين الشكل (2) آلية تخطيط ومتابعة الصيانة في الشركة العامة للكهرباء.

أ. اختيار موقع ومجتمع الدراسة

تم اختيار مجتمع الدراسة لأهمية دور عمليات الصيانة فيه وتأثيرها على الأداء والفاعلية. أجريت الدراسة عن شبكة التوزيع الهوائية جهد 11kV بمنطقة مصراتة الواقعة ضمن النطاق الجغرافي لمسؤولية إدارة التوزيع بالمنطقة الوسطى، والتقسيمات الفنية المعنية بصيانة شبكة التوزيع الكهربائية جهد 11kV.

ولتحقيق هذه الدراسة تطلب الأمر عدة زيارات لمكاتب غرفة التشغيل الرئيسية، والتقسيمات الفنية المعنية بالصيانة داخل مقر إدارة توزيع الوسطى، وداخل دوائر توزيع الكهرباء بمنطقة مصراتة. تجميع البيانات والمعلومات المتعلقة بالدراسة استغرقت مدة الشهرين تقريبا خلال شهر فبراير ومارس 2014م.

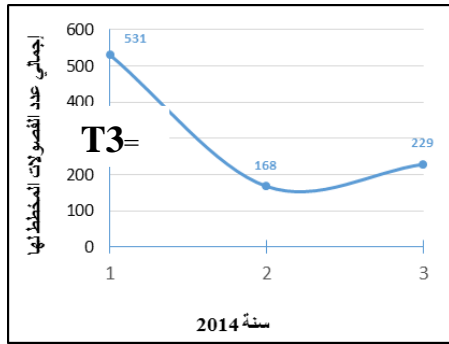


شكل (2): آلية تخطيط ومتابعة الصيانة

ج. تصنيف المعطيات المجمعة

بعد تجهيز البيانات المتعلقة بالدراسة تم تصنيفها وترتيبها. تم مراعاة أن توافر المعطيات المدرجة فيها إمكانية تطبيقها على المؤشرات المنتقاة المعنية بقياس الأداء. صنفت البيانات المدرجة فيها إلى ثلاث مجموعات مرتبطة بتعلق أولها: بيانات الخطة السنوية للصيانة المطبقة وهي تشمل ( بيانات عن الخط الهوائي، والصيانة المخططة له، والصيانة المنفذة عليه)، ويتعلق ثانيها: بإجمالي الفصولات المسجلة خلال سنة 2014 م بشبكة التوزيع الهوائية جهد 11kV، وهي تشمل (الانقطاعات بسبب الأعطال، الفصولات المخطط لها)، ويتعلق ثالثها: بإجمالي أوامر العمل (الصادرة بالكامل، ما يتعلق بإصلاح الأعطال والصيانة).

الدراسة شملت عدد (113) خط هوائي تقع ضمن نطاق إدارة توزيع الوسطى بمنطقة مصراتة، وبطول (1001.4 km)، وهي تشكل ما نسبته 95.2% من إجمالي أطوال الخطوط الهوائية بشبكة التوزيع الكهربائية جهد 11kV بمنطقة مصراتة.



شكل (5): عدد الفصول المخطط لها في سنة 2014 للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014 وفيما يلي وصف للمؤشرات التقنية لقياس أداء الصيانة والتي سوف يتم حسابها في هذه الورقة.

#### مؤشر الفاقد الزمني (T1)

يقصد بالفاقد الزمني الوقت الضائع الذي لا يستفاد من المعدة فيه (زمن الأعطال) ويتوقف على فترة بقاء العطل، فكلما طال زمن العطل يزداد الفاقد الزمني، حيث يُحدد زمن التشغيل المخطط له بأنه: الزمن الكلي مخصوماً منه زمن التوقفات المخطط لها. وتشمل التوقفات المخطط لها بالنسبة للشبكات الكهربائية الفصولات المتعلقة بـ (الصيانة الوقائية، التركيبات والمعالجات، طرح الأحمال، فقد التغذية الكهربائية). كما يُحدد زمن التشغيل الفعلي بأنه: زمن التشغيل المخطط له مخصوماً منه زمن توقفات الأعطال. وتعتبر توقفات الأعطال في الشبكات الكهربائية فصولات الأعطال المتعلقة بـ (الانتقائية، الإصلاحية أو الطارئة) [13]، ويحسب وفق المعادلة رقم (1):

$$(1) \quad T1 = \text{زمن التشغيل المخطط} - \text{زمن التشغيل الفعلي}$$

مؤشر متوسط الزمن بين الأعطال (MTBF)

#### Mean Time Between Failures (T2)

و يُعد مؤشراً هاماً لقياس جودة أداء الصيانة، ويقاس متوسط الزمن بين الأعطال للمعدات، ويدل ارتفاع (MTBF) على الكفاءة المتاحة لعمل المعدات [1]، ويُسمى أيضاً مؤشر الاعتمادية أو الوثوقية (Reliability): وهي احتمالية أن المعدة ستعمل بصورة جيدة لفترة زمنية معينة وفق شروط استخدام محددة [5]، [11]. وتشير الوثوقية إلى مدة زمن تشغيل المعدة قبل حدوث العطل. أي معدل زمن استخدام المعدة المحصور بين عطل وآخر، وارتفاع متوسط الزمن بين الأعطال للمعدات يعني أن وثوقية المعدة عالية [5]. ويمتاز بمجموعة خصائص [14] منها ما يلي:

- أن مفهوم الوثوقية ينطبق على المعدات القابلة للإصلاح مثل (التجهيزات) والأنظمة غير القابلة للإصلاح مثل (الأجزاء، المصابيح،...).
- تكون للتجهيزات والمعدات اعتمادية جيدة إذا كان عدد الأعطال أقل ما يمكن.

يمكن قياس درجة الوثوقية بأن يتم حساب متوسط الزمن بين الأعطال " MTBF " أو متوسط زمن التشغيل، وفق الآتي [1]، [5]:

زمن التشغيل الفعلي (زمن التشغيل المخطط - زمن توقفات الأعطال) / عدد الأعطال (2)

معدل الفشل (الإخفاق): ويُعرف بأنه مقلوب متوسط الزمن بين الأعطال، ويرمز له بالرمز  $(\lambda)$ ، وتُعد نسبة احتمالية حدوث الفشل من أهم المؤشرات لتحليل اعتمادية المعدة، حيث تُحدد نسبة الإخفاق احتمال عطل المعدات التي مضى على تشغيلها مدة معينة في أي لحظة قادمة [1]، ويحسب وفق المعادلة (3) [1]:

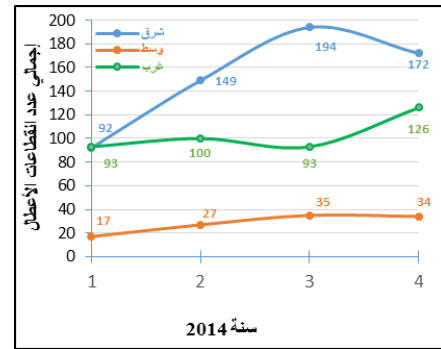
$$(3) \quad \lambda = 1/MTBF$$

تضم الخطط السنوية للصيانة المطبقة لسنتي 2013، 2014 عدد (92) خطأً وبأجمالي طول يبلغ (759.2km) أي بنسبة (76%) من إجمالي أطوال الخطوط الهوائية التي شملتها الدراسة، فيما يبلغ الطول المخطط منه للصيانة (717.9km) أي ما نسبته 94.6% من إجمالي أطوال الخطوط الهوائية المخططة للصيانة.

الخطة السنوية للصيانة لسنة 2013 تضم عدد (58) خطأً بما فيها الخطوط المدرجة مرتين بخطط الصيانة (2013، 2014)، وبطول مبرمج للصيانة (402.75km) أي ما نسبته 50% من إجمال الطول الفعلي للخطوط المستهدفة.

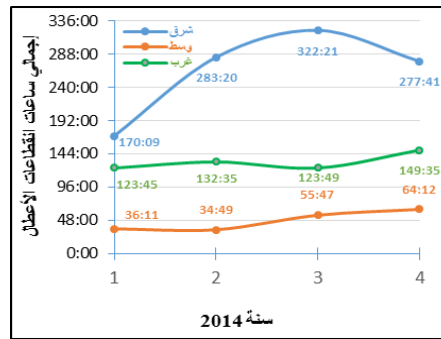
الخطة السنوية للصيانة لسنة 2014 تضم عدد (58) خطأً بما فيها الخطوط المدرجة مرتين بخطط الصيانة (2013، 2014)، وبطول مبرمج للصيانة (457.45km) أي ما نسبته 50% من إجمال الطول الفعلي للخطوط المستهدفة.

وبوضوح الشكل (3) عدد الانقطاعات المسجلة في سنة 2014 للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014.



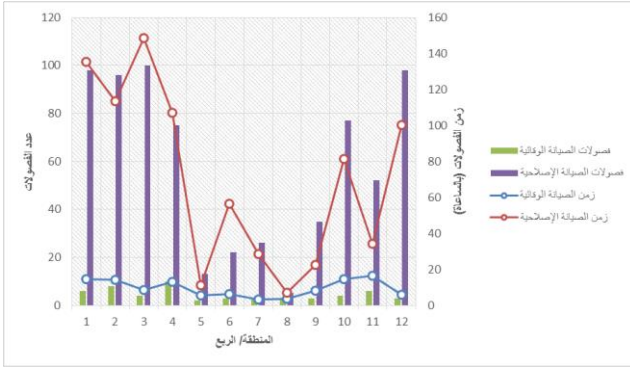
شكل (3): عدد الانقطاعات المسجلة في سنة 2014 للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014

ومن الملاحظ أن عدد الانقطاعات خلال سنة 2014 ازداد، خاصة في الربع الثالث في شرق مدينة مصراتة ليلبلغ 194 انقطاعاً. وبين الشكل (4) زمن هذه الانقطاعات للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014، حيث بلغ هذا الزمن للربع الثالث بشرق مدينة مصراتة زمناً قدره 322 ساعة.



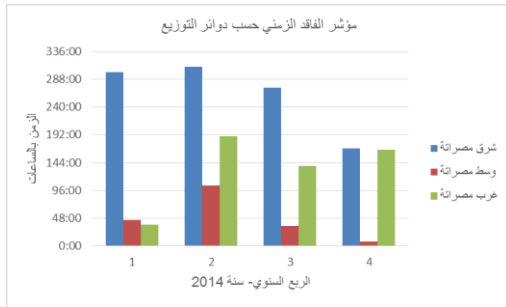
شكل (4): زمن الانقطاعات المسجلة في سنة 2014 للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014

أما الشكل (5) فيوضح عدد الفصول المخطط لها في سنة 2014 للخطوط المدرجة بخطة الصيانة لسنة 2014.



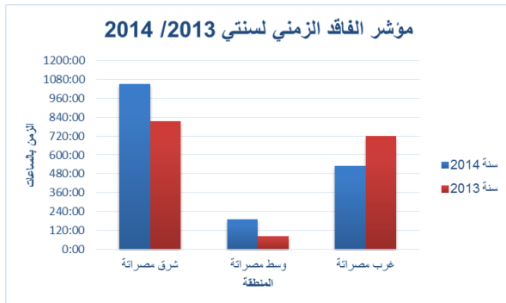
شكل (6). مقارنة بين الصيانة الطارئة والوقائية لسنة 2014

ويوضح الشكل (7) قيمة مؤشر متوسط الزمن بين الأعطال لسنة 2014 مقسم حسب المناطق الجغرافية. ويلاحظ أن هذه القيمة مرتفعة جدا في منطقة شرق المدينة. وتمثل هذه القيم زمن توقفات الأعطال الفجائية والإنتقائية في الشبكة الكهربائية. ومن المهم الإشارة هنا إلى أن أطوال الخطوط الهوائية في شرق ووسط وغرب المدينة تبلغ 425، 28، و 546 كيلومتراً على التوالي.



شكل (7). مؤشر الفاقد الزمني حسب دوائر التوزيع لسنة 2014

ويمكن مقارنة هذه القيم الإجمالية حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013، و 2014 كما موضح بالشكل (8)، ويلاحظ أن هذه القيم أعلى لسنة 2014 في منطقتي وسط المدينة وشرقها. فعلى سبيل المثال بلغ إجمالي الفرق بين الزمنين المخطط والفعلي للصيانة في شرق المدينة حوالي 080،1 ساعة لسنة 2014 بينما بلغ لنفس المنطقة لسنة 2013 حوالي 800 ساعة.



شكل (8). مقارنة لمؤشر الفاقد الزمني حسب دوائر التوزيع لسنتي 2014 و 2013 ويوضح الشكل (9) معدل الفشل والاختراق لسنتي 2013، 2014.

### مؤشر متوسط زمن إصلاح المعدات (T3)

#### Mean Time to Repair (MTTR)

ويُعبّر عن متوسط الأوقات المستغلة في إصلاح المعدات بعد حدوث الأعطال [1]، ويسمى أيضا مؤشر قابلية الصيانة (Maintainability)، وهي استخدام أنشطة وموارد الصيانة في المعدة لإعادة تشغيلها أو للحفاظ على أدائها في ظروف تشغيل معينة [15]، ويحسب كالآتي:

$$T3 = \text{الزمن المستغرق لإصلاح الأعطال} / \text{عدد تدخلات الصيانة} \quad (4)$$

ويمتاز مؤشر قابلية الصيانة بعدة خصائص منها [14]، ما يلي:

- يعبر عن إمكانية إعادة تشغيل المعدة بعد إجراء الصيانة.
- ترتبط قابلية الصيانة بالأنظمة القابلة للإصلاح فقط.
- ويمكن تحسين قابلية الصيانة من خلال تحسين أنشطة الصيانة، توفير المواد وقطع الغيار اللازمة، تدريب أفراد الصيانة، القدرة على تحديد أسباب التوقفات [15].

### مؤشر الإتاحة للمعدات T4-1

الإتاحة (Availability) هي كفاءة المعدة على أداء وظيفتها تحت عوامل مترابطة من الاعتمادية وقابلية الصيانة وفق شروط تشغيل محددة، خلال مدة زمنية معينة [12]، ويجب أن تكون قيمة المؤشر أعلى ما يمكن، ويعتمد ذلك على أعمال الصيانة الوقائية المنفذة أثناء زمن التشغيل المخطط [13]. كما أن زيادة المؤشر تعتمد على خيارين هما [1]:

- زيادة متوسط الوقت بين الأعطال.
- تخفيض متوسط وقت الإصلاح.

ويُعبّر عنه بنسبة متوسط الزمن بين الأعطال (MTBF) إلى مجموع (MTBF) مضاف إليه متوسط زمن الإصلاح (MTTR)، كما يلي [1، 5، 14، 16]:

$$T4-1 = \text{متوسط الزمن بين الأعطال} / (\text{متوسط الزمن بين الأعطال} + \text{متوسط زمن الإصلاح}) \quad (5)$$

### مؤشر الإتاحة للمعدات T4-2

لاشك بأن إتاحة المعدات تتحسن عن طريق تحسين (MTBF، MTTR) ولكن كصيغة لتحديد الإتاحة تُعتبر مضللة، لأنها تأخذ بعين الاعتبار زمن التوقفات المرتبطة بعمليات الإصلاح (MTTR)، بينما تُهمل زمن التوقفات أو الفصولات المبرمجة أو المخطط لها [5]. وعالية فإن مقياس الإتاحة الأكثر دقة يُعطى بالمعادلة رقم (3) [5، 13]:

$$T4-2 = \text{زمن التشغيل الفعلي} / \text{زمن التشغيل المخطط} \quad (6)$$

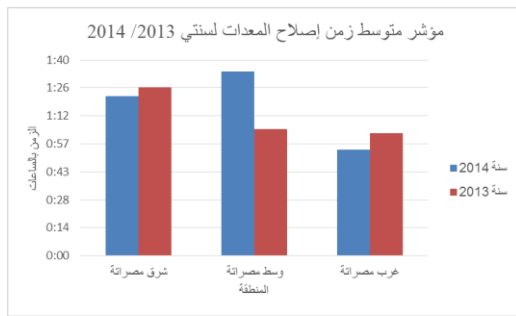
### مؤشر الزمن المستغرق في الصيانة بالنسبة لإجمالي الزمن المخصص للصيانة (T5)

يهدف المؤشر إلى تحديد نسبة الزمن المستغرق في الصيانة من إجمالي الزمن المخصص للصيانة، ومن المهم جداً أن تكون جُل أعمال الصيانة المنفذة من ضمن المستهدفات المجدولة، على اعتبار أن تكلفتها تكون مرصودة، مما يساهم في زيادة فاعلية الصيانة، ومن المرغوب فيه أن يكون لهذا المؤشر قيمة عالية، ويحسب المؤشر كما موضح بالمعادلة (4) [6]:

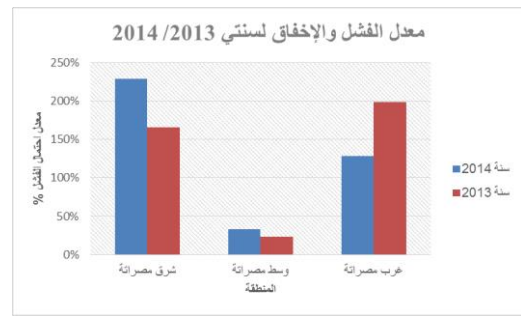
$$T5 = \text{إجمالي الزمن المستغل في الصيانة} / \text{إجمالي الزمن المخصص للصيانة} \quad (7)$$

يوضح الشكل (6) مقارنة بين الصيانة الطارئة والوقائية لسنة 2014، ويلاحظ ارتفاع عدد الفصولات وزمن الصيانة الطارئة مقارنة بالصيانة الوقائية.



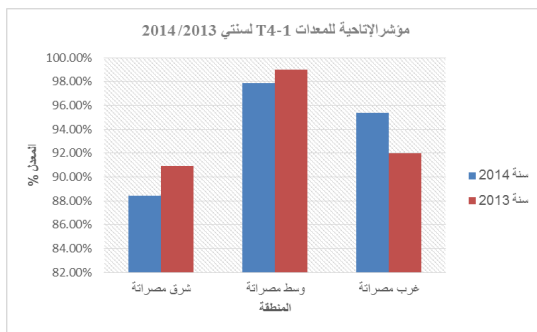


شكل (12) مؤشر متوسط زمن إصلاح الأعطال حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013 و 2014



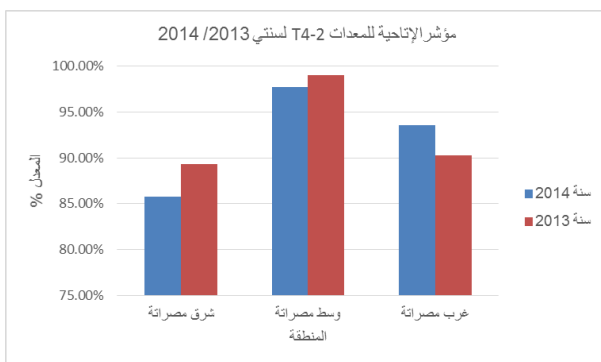
شكل (9). مقارنة لمعدل الفشل والاختراق حسب دوائر التوزيع لسنتي 2014 و 2013

ويوضح الشكل (13) مؤشر الإتاحة للمعدات T4-1 لسنتي 2013 و 2014 حيث يمكن ملاحظة أن هذه النسبة لسنة 2013 أقل منها في سنة 2014 في شرق ووسط المدينة، حيث وصلت هذه النسبة إلى أقل قيمة لها في شرق المدينة لسنة 2013 وسجلت نسبة 88.44% تقريباً، أما أعلى نسبة إتاحة فسجلت في وسط المدينة سنة 2014 وبلغت حوالي 98.98%. وعند مقارنة هذه القيم بتلك القيم الواردة في دراسة (عبدالفتاح) [10] يمكن ملاحظة انخفاضها، حيث بلغ متوسط الإتاحة في الدراسة المذكورة 99.92%



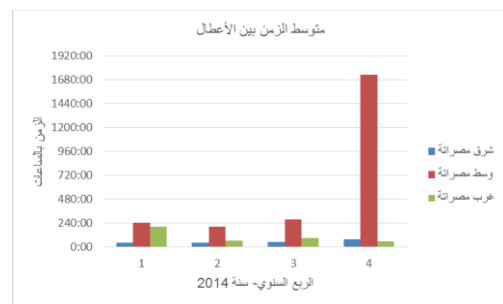
شكل (13) مؤشر الإتاحة للمعدات T4-1 حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013 و 2014

كما يوضح الشكل (14) مؤشر الإتاحة للمعدات T4-2 لسنتي 2013 و 2014، وهنا أيضاً يمكن ملاحظة أن هذه النسبة لسنة 2013 أقل منها في سنة 2014 في شرق ووسط المدينة، حيث وصلت هذه النسبة إلى أقل قيمة لها في شرق المدينة لسنة 2013 وسجلت نسبة 85.79% تقريباً، أما أعلى نسبة إتاحة فسجلت في وسط المدينة سنة 2014 وبلغت 99.00%.



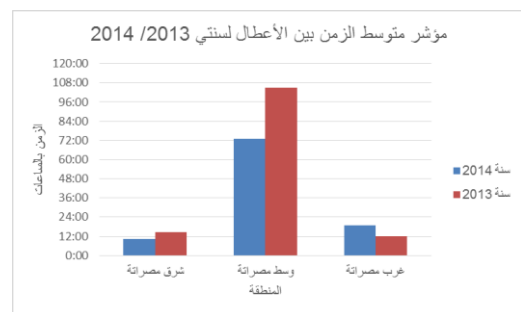
شكل (14) مؤشر الإتاحة للمعدات T4-2 حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013 و 2014

كما تم حساب متوسط الزمن بين الأعطال حسب التوزيع الجغرافي ربع سنوياً، ويوضح الشكل (10) قيم هذا المؤشر لسنة 2014 محسوبة على أساس ربع سنوي. ومن الملاحظ أن هذه القيمة مرتفعة لمنطقة وسط المدينة، وبلغت ذروتها في الربع الرابع لتصل إلى حوالي 730،1 ساعة. ومقارنة بالشكلين (8) و (9) والذان يكملان هذا الشكل، فوسط المدينة هو الأقل في الفاقد الزمني (التوقفات) وهذا يعني بشكل آخر أن متوسط الزمن بين الأعطال سيكون هو الأعلى.



شكل (10) متوسط الزمن بين الأعطال حسب دوائر التوزيع لسنة 2014

إلا أنه وبمقارنة هذا المؤشر لسنتي 2013، و 2014 يمكن ملاحظة أن متوسط الزمن بين الأعطال في سنة 2013 كان أعلى منه في سنة 2014 لمنطقتي وسط المدينة وشرق مصراتة، حيث بلغ في وسط المدينة مثلاً 106 ساعة في سنة 2013 بينما بلغ لنفس المنطقة 72 ساعة في سنة 2014، كما يظهر ذلك في شكل (11).



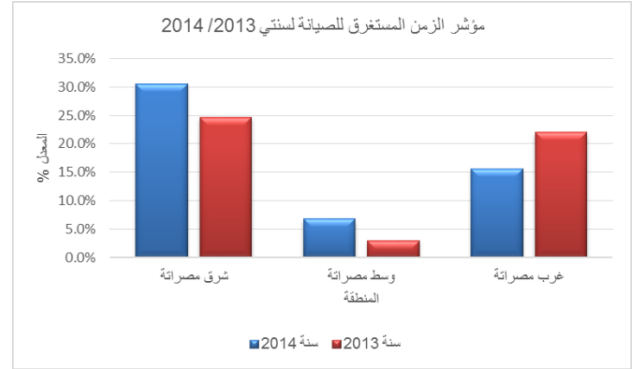
شكل (11) مؤشر متوسط الزمن بين الأعطال حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013 و 2014

وفي نفس السياق تم حساب متوسط زمن إصلاح المعدات لسنتي 2013 و 2014 والذي تراوح بين 0.55 ساعة و 1.3 ساعة كما موضح بالشكل (12)، حيث حققت منطقة غرب مصراتة أقل المعدلات في أزمنة إصلاح الأعطال.

## المراجع

1. عسان قاسم داود اللامي (2005)، دور جودة أداء الصيانة في إتاحة المكين الإنتاجية: دراسة حالة في شركة الصناعات الجلدية في بغداد، كلية التقنية الإدارية، جامعة بغداد.
2. Aditya Parida 2006, Study and Analysis of Maintenance Performance Indicators (MPIs) for LKAB: A case study. Journal of Quality in maintenance Engineering, Vol. 13 (No. 4), pp. 325-337.
3. Peter Muchiri, Liliane Pintelon, Harry Martinb and Anne-Marie De Meyer 2009, Empirical Analysis of Maintenance Performance Measurement in Belgian Industries, International Journal of Production Research, Vol. 28 (No. 20), pp.5905-5924.
4. Peter Muchiri, Liliane Pintelon and Ludo Gelders 2010, Development of Maintenance Function Performance Measurement Framework and Indicators, Int. J. Production Economics.
5. رياض جميل وهاب (2011)، قياس وتحليل مؤشرات أداء الصيانة في معمل البسة الأطفال في الموصل.
6. الجموعي بن دحمان (2013)، محاولة لقياس أداء الصيانة في المؤسسة البترولية: دراسة حالة المديرية الجهوية للإنتاج - حوض بركاوي - سوناطرك، رسالة ماجستير، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية - جامعة قاصدي مرباح - ورقلة بالجزائر.
7. على المهدي شنبوي (2014)، أثر أداء إدارة الصيانة على العملية الإنتاجية بمصنع الحديد الإسفنجي بالشركة الليبية للحديد والصلب، رسالة ماجستير غير منشورة، الأكاديمية الليبية فرع مصراتة.
8. John Collins and Naser Ali 2013, 10 Ways to Increase Power system Availability in Data Centers.
9. M.C. ETI, S.O.T. OGAJI and S.D. PROBERT 2004, Reliability of the Afam electric power generation station, Nigeria, Applied Energy, Volume 77, Issue 3, Pages:309-315.
10. M. Abdelfatah, M. EL-Shimy and H.M. Ismail 2011, Reliability analysis of 220 kV power transformers in Egypt, Ain Shams Engineering Journal, Volume 2, Issues 3-4, September-December 2011, Pages 183-194.
11. Ahren . Thomas 2008, Maintenance Performance Indicators (MPIs) for Railway Infrastructure : Identification and Analysis for improvement, Doctoral Thesis, Lulea University of technology .
12. Aditya Parida 2006, Development of a Multi-criteria Hierarchical Framework for Maintenance Performance Measurement, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology.
13. Andreas Bernspang and Zoltan Kali 2011, Measuring the Performance of A Preventive Maintenance Programme for Heavy Trucks-From a Life Cycle Profit Perspective, Lund Institute of Technology, Lund University.
14. زايدي عبدالسلام (2011)، ترشيد قرارات الصيانة باستخدام الأساليب الكمية، حالة شركة إسمنت تبسة - المركز الجامعي تبسة.
15. J.K. Visser and M.W. Pretorius 2003, The Development of A Performance Measurement System for Maintenance- Department of Engineering and Technology Management University of Pretoria, Pretoria, 2002.
16. مركز الإدارة والتنمية، "الفاعلية الكلية للمعدات"، بتاريخ 2015/02/18.
17. <http://www.mdcegypt.com/Site-Arabic/Operations>
18. Ian F Bitterlin 2009, The importance of switchgear & power distribution to mission success in critical power systems, Prism Power Ltd, Watford, UK.

ويوضح الشكل (15) مؤشر الزمن المستغرق في الصيانة بالنسبة لإجمالي الزمن المخصص للصيانة، ويلاحظ هنا أن النسبة تنخفض في بعض الأحيان إلى حوالي 2.5% مما يؤثر إلى وجود مبالغة في تقديرات الأزمنة التي يتم الاحتياج لها لإنجاز أعمال الصيانة.



شكل (15) مؤشر الزمن المستغرق للصيانة الفعلي حسب دوائر التوزيع لسنتي 2013 و 2014

## الخلاصة

- بعد عدد الانقطاعات المسجلة في الشبكة لسنة 2014 مرتفعا حيث بلغ 928 انقطاعا بزمن إجمالي قدره 133,2 ساعة.
- انخفاض الصيانة الوقائية مقارنة بالصيانة الطارئة، حيث بلغ إجمالي زمن الصيانة الوقائية 122 ساعة بينما بلغ إجمالي الصيانة الطارئة 851 ساعة.
- انخفضت معدلات الأداء لسنة 2014 عنها في سنة 2013 حيث زاد مؤشر الفاقد وانخفض متوسط الزمن بين الأعطال، وعلى صعيد متوسط زمن إصلاح الأعطال فقد كان التغيير في هذا المؤشر بسيطا.
- ونتيجة لزيادة الفاقد وانخفاض متوسط الزمن بين الأعطال فإن نسبة الإتاحة أيضا انخفضت في سنة 2014 عنها في سنة 2013 لتصل إلى أقل نسبة لها في شرق مصراتة بنسبة 88.44% في سنة 2014.
- الاهتمام بالصيانة الوقائية وهو الأمر الذي سيجرب عنه تحسين هذه المؤشرات.
- بمقارنة أكبر قيمة للإتاحة لسنة 2014 والتي سجلت نسبته 98.98% مع خمس تسعات [18,9] نجد أن زمن التوقف يصل إلى تقريبا 3.65 يوم/سنة. في المقابل، بمقارنة أقل قيمة للإتاحة لسنة 2013 والتي سجلت نسبة 88.44% مع خمس تسعات [18,9] نجد أن زمن التوقف يصل إلى تقريبا 36.5 يوم/سنة.