Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

استخدام تحليلي باريتو وشجرة الخطأ للمعالم المحاكاة في سياسات الصيانة التنبؤية وأساليب ادارتها

عمر عبد الكريم محمد[١]، سالم عبد الله صالح[٢]، كاظم احمد عبد[٣]

[١] طالب ماجستير بقسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة تكريت

[٢] قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة تكريت

[٣] قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة – جامعة الانبار

[1] Omar.enge82@gmail.com , [2] drsalim.eng@gmail.com, [3]kadhum1968@gmail.com

الملخص

شرعت الدراسة بالتحليل الاحصائي للبيانات المتوفرة عن العطلات (وقت العطل DT ، متوسط الزمن ما بين العطلات MTBF ، متوسط زمن التصليح MTTR) كمتغيرات تابعة وتكراراتها f كمتغير متبوع لكل من معدات الوحدة الإنتاجية وانماط فشلها واوقات تشغيلها خلال فترة الدراسة البالغة ٢٦ شهراً، ومحاكاتها بخمس وعشرين دورة من اجل استحصال معدلها الذي يزيد من درجة الوثوقية بالنتائج المتوخاة لاعتمادها في توليد الأنموذج الرياضي الذي يمثل العلاقة بين الوقت والتكرار التراكمي له، أظهر تحليل باريتو ان النتائج التنبؤية تشير الى ان المعدات (التوربين، المرجل، المكثف، والمولد) ستكون المشكلة المحورية التي تتكرر عطلاتها بنسبة 85.16% من التكرارات الكلية ، وثلاثة منها (التوربين، المولد، والمرجل) يستغرق 82.43% من أزمنة التوقف التي اشترك بها مع تحليل شجرة الخطأ وبنسبة 80.36% في سبع من أنماط الفشل الحرجة الثمانية.

الكلمات الدالة : تحليل باريتو، تحليل شجرة الخطأ، سياسة الصيانة التنبؤية، معايير هندسة المعولية

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

Using Analysis of Pareto and Fault Tree to Parameters Simulated in Predictive Maintenance policies and Management Methods

[1]Omar A.Mohammed, [2]Salim A. Saleh, [3]Kadhum A. Abed Salem

[1]MSc. Student Mech. Eng. Dept. / Eng. College / Tikrit University

[2]Mech. Eng. Dept. / Eng. College / Tikrit University

[3]Mech. Eng. Dept. / Eng. College / AL-Anbar University

[1] Omar.enge82@gmail.com , [2] drsalim.eng@gmail.com, [3]kadhum1968@gmail.com

ABSTRACT

The study was take place with statistical analyasis of available data about faults (downtime DT, mean time between faults MTBF, mean time to repair MTTR) as dependant variables on fault frequency f as independent variables for fault modes of production equipments and operation times in the sudied period of 26 months. Then simulate it for 25 runs in order to obtain its average that makes the desired results to be more signifigant in generation of mathematical models, which represents the relationships between the predective different times and its comulated density functions.

Pareto and Fault tree Analysis of the predictive results showed that the critical equipment (Turbine, Boiler, Condencer, and Generator) with its related faults mode will be a main problem which repeat their faults by 85.16% of the total repetition frequencies while three of them (Turbine, Generator, and Boiler) takes 82.43% of total down times.

Keywords: Pareto Analysis, Fault Tree Analysis, Predictive Maintenance Policies, Reliability Engineering Parameters.

١. المقدمة : Introduction

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

تعتبر الصيانة وطرائق ادارتها من أهم النشاطات في المؤسسات الصناعية كونها تعمل على زيادة الطاقة الإنتاجية وجودة المنتجات وتقليل التكاليف وضمان الأداء العالي للمعدات، فلابد من إعطاء الاهتمام لهذه الأنشطة لضمان الأداء وتحسين الإنتاجية وهذا الاهتمام يتم عن طريق تنفيذ الصيانة الوقائية وتقليل الصيانة غير المخططة، الامر الذي يبرز فاعلية الإدارة باختيار السياسة الناجحة للصيانة والتي قد تمزج بين الصيانة الوقائية و / او الصيانة التصحيحية بما يؤمن تقليل تكاليفها، تعرف سياسة الصيانة بانها " تحديد الأهداف التقنية والاقتصادية والفنية المتعلقة بأعمال صيانة المعدات وتجهيزاتها على مستوى المؤسسة " [1].

تعرف الصيانة التنبؤية بأنها "محاولة لتحديد الوقت الأفضل لأداء انشطة الصيانة الدورية التي تعتمد على السجلات التاريخية وتحليل البيانات والمعلومات عن الجوانب الفنية (المتعلقة بالأعطال وانماطها) للتنبؤ بالوقت الذي تقترب فيه المعدة من الفشل" [2]، الامر الذي يمكن معه استخدام المحاكاة الإحصائية كوسيلة ناجعة لتحقيق التنبؤ بذلك الوقت من خلال طريقة التحويل العكسي للأرقام العشوائية وتحويلها الى قيم تمثل الوقت ولعدد من الدورات المتكررة من اجل التوصل الى نتائج رصينة لتمثيل الواقع [3]. يمكن تطبيق طريقة التحويل العكسي لتوليد عينة عشوائية من التوزيع الاسي مثلا بالنحو الآتي [3]:

أ) ليكن الرقم العشوائي RN ذا توزيع منتظم: $RN \sim U(0,1)$

وبافتراض أن X متغير عشوائي يتبع التوزيع الأسي بالمعلمة λ /1 وفق الدالة:

$$f_X(Xi) = \lambda e^{-\lambda X} \quad ; X_i \geq 0 \quad , \lambda > 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

وكما هو معلوم فإن دالة التوزيع التراكمي (CDF) للمتغير X تعرف كالآتي:

$$F_X(X) = \int_0^X \lambda e^{-\lambda t}\, dt \quad ; F_X(X) \geq 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$F_X(X) = 1 - e^{-\lambda X}$$

ب) وبهذا يمكن أن يستخدم المتغير RN في التعبير عن دالة التوزيع التراكمي للمتغير X أي أن:

$$0 \leq RN_i = F(X_i) \leq 1 \quad \rightarrow\rightarrow \quad RN_i = 1 - e^{-\lambda X_i}$$

ت) تحويل العلاقة أعلاه لتكون بدلالة المتغير X وعلى النحو الآتي:

$$e^{-\lambda X} = 1 - RN$$

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

إذ أن: $0 \le RN_i \le 1$ فإن: $0 \le 1- RN_i \le 1$ أي كلاً من RN_i ، $1- RN_i$ عبارة عن متغير عشوائي ذي توزيع منتظم (0,1) لذا فإن:

$$e^{-\lambda X_i} = RN_i$$

$$\rightarrow\rightarrow \quad X_i = \frac{-1}{\lambda}\ln(RN_i) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

إذ أن: $E(X) = \frac{1}{\lambda}$

وبناءً على ذلك فالعلاقة (٣) يمكن ان تستخدم لتوليد متغير عشوائي من التوزيع الأسي بالاعتماد على الرقم العشوائي RN ذو التوزيع المنتظم (0,1) U ~ RN، وبصيغة التحويل العكسي الاتية:

$$X_i = F^{-1}(RN_i) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

ولغرض المحاكاة باستخدام صفحات النشر لنظام الاكسيل مع التوزيعات الاحتمالية يمكن اعتماد الصيغة رقم (٤) وفق الامر VLOOKUP للبيانات التجريبية المؤلفة من المتغير X ودالة توزيعه التراكمية CDF وفقا للصيغة الاتية[3]:

VLOOKUP (RAND( ), RANGE OF SAMPLING TABLE, 2) …… (5)

حيث أن:

VLOOKUP: يعني البحث عن المتغير العشوائي الموجود في الجدول بالاعتماد على قيمة الرقم العشوائي المتولد RN_i،

RAND (): هو ايعاز لتوليد الرقم العشوائي RN_i في الخلية المحددة،

RANGE OF SAMPLING TABLE: هو الجدول المكون في صفحة النشر المعنية والذي تتم فيه عملية البحث عن المتغير العشوائي X_i التوأم للرقم العشوائي المولد RN_i، والرقم ٢ الموجود بالأمر يمثل عدد التوائم (الرقم العشوائي وتوأمه المتغير العشوائي) واللذان يتم البحث عن تطابقهما في مجال الجدول المعني [3].

٢. متطلبات تطبيق ادارة الصيانة: Requirements of Application Of Maintenance Management

١.٢. البيانات: أُعتمدت البيانات التجريبية المستخرجة من قاعدة البيانات التي سبق وان أنشئت للفترة من (٢٠١١/٩/٦) الى (٢٠١٣/١٠/٣٠) وتشمل التكرار f وزمن التوقف DT للمعدات #C وانماط فشل #M تلك المعدات والموضحة بالجدولين المرقمين (١، ٢) [4].

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

الجدول (١) نتائج الاستعلام الأول للبيانات الاصلية للمعدات [٤]

ID	EQUIPMENT	# C	f	DT(hr)	OT(hr)
1	BOILER	A	30	739.12	13296.75
2	CIRCULATING PUMPS	B	2	29.1	13296.75
3	CONDENSER	C	27	601.88	13296.75
4	EXCITATION SYSTEM	D	4	83.13	13296.75
5	FWP	E	4	65.38	13296.75
6	GENERATOR	F	12	953.07	13296.75
7	LIFTING PUMPS	G	2	21.42	13296.75
8	CONTROL SYSTEM	H	2	16.92	13296.75
9	R.O.PUMPS	I	2	17.92	13296.75
10	N.E.NETWORK	J	2	37.08	13296.75
11	TRANSFORMERS	K	1	1.92	13296.75
12	TURBINE	L	40	1501.07	13296.75
	SUM		128	4068	

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

الجدول (٢) نتائج الاستعلام الثاني للبيانات الاصلية لأنماط فشل المعدات [٤]

ID	EQUIPMENT	FAILURE MODE	# M	f	DT	OT
1	BOILER	HIGH CONSUMPTION OF DEMI WATER	A1	22	679.05	13296.75
2	BOILER	R.O.TRIP VALVE CLOSED	A2	2	14.42	13296.75
3	BOILER	F.C.V 601 FAILURE	A3	2	24.83	13296.75
4	BOILER	FUEL VALVE CLOSED	A4	1	5.5	13296.75
5	BOILER	FIRE	A5	1	9.83	13296.75
6	BOILER	FDF TRIP	A6	1	4.07	13296.75
7	BOILER	DRUM LEVEL > MAX	A7	1	1.42	13296.75
8	CIRCULATING PUMPS	CIRCULATING PUMPS FAILURE	B	2	29.1	13296.75
9	CONDENSER	BAD CHEMICAL ANALYSIS	C1	18	487.17	13296.75
10	CONDENSER	HIGH CONDENSER PRESSURE	C2	6	65.63	13296.75
11	CONDENSER	CONDENSER LEVEL < MIN	C3	3	49.08	13296.75
12	EXCITATION SYSTEM	UNDER EXCITATION SYSTEM	D1	2	41.22	13296.75
13	EXCITATION SYSTEM	E. PROBLEM IN EXCITATION SYSTEM	D2	1	3	13296.75
14	EXCITATION SYSTEM	SIGNAL KR - ET	D3	1	38.92	13296.75
15	FWP	FWP FAILURE	E	4	65.38	13296.75
16	GENERATOR	GENERATOR TRIP	F1	5	68.28	13296.75
17	GENERATOR	STATOR EARTH FAULT	F2	3	697.83	13296.75
18	GENERATOR	SEAL OIL FAILURE	F3	2	13.87	13296.75
19	GENERATOR	HIGH CONSUMPTION OF H2	F4	1	96.42	13296.75
20	GENERATOR	DIFFERENTIAL PRESSUR (OIL- H2) < MIN	F5	1	76.67	13296.75
21	LIFTING PUMPS	LIFTING PUMPS FAILURE	G	2	21.42	13296.75
22	CONTROL SYSTEM	WRONG SIGNAL	H	2	16.92	13296.75
23	R.O.PUMPS	PROBLEM IN R.O.PUMPS	I	2	17.92	13296.75
24	N.E.NETWORK	SHUTDOWN	J	2	37.08	13296.75
25	TRANSFORMERS	E. PROBLEM IN MAIN TRANSFORMER	K	1	1.92	13296.75
26	TURBINE	HIGH VIBRATION	L1	12	423.33	13296.75
27	TURBINE	THRUST BEARING WEAR	L2	8	817	13296.75
28	TURBINE	CONTROL VALVE CLOSED	L3	8	75.43	13296.75
29	TURBINE	EXHAUSTHOOD TEMP > MAX	L4	4	43.08	13296.75
30	TURBINE	TURBINE TRIP	L5	3	26.33	13296.75
31	TURBINE	INTERSEPT CLOSED	L6	2	35.3	13296.75
32	TURBINE	BEARING HIGH TEMP	L7	1	50.92	13296.75
33	TURBINE	LP TURBINE BROKEN BLADES	L8	1	19.25	13296.75
34	TURBINE	TURBINE OVER SPEED	L9	1	10.42	13296.75
	SUM			128	4068	

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

٢.٢. معايير هندسة المعولية : تقاس المعولية بالمؤشرات التي تمثل المعايير الاتية:

أ) متوسط الزمن بين العطل (Mean Time Between Failure MTBF): يعرف بأنه متوسط ساعات الاشتغال بين عطلين متتاليين خلال مدة التشغيل وكلما زادت قيمته زادت إنتاجية المعدات ويقاس بوحدة الزمن ويعبر عنه بالعلاقة الاتية [٦-٤] :

MTBF = Operating times (OT) / Number of Failures (f) .....…. (6)

ب) متوسط زمن التصليح (Mean Time To Repair MTTR): يعرف بانه متوسط الوقت المطلوب لتصليح المعدات واعادتها الى حالتها الطبيعية بعد حدوث العطل وكلما

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

زادت قيمته انخفضت إنتاجية المعدات ويقاس بوحدة الزمن ويعبر عنه بالعلاقة الاتية [٤،٥،٧]:

MTTR = Failures Down times (DT) / Number of Failures (f)

..... (7)

ت) **معدل العطل أو الفشل (λ) Failure Rate:** يمثل متوسط عدد التوقفات والأعطال خلال وحدة الزمن من فترة التشغيل المقررة وهو مقلوب متوسط الزمن بين عطلين متتاليين ويعبر عنه بالعلاقة الاتية [٤،٦] .

$\lambda = 1/MTBF = f / OT$ ..... (8)

ث) **معدل التصليح (μ) Repair Rate:** يمثل متوسط عدد التوقفات التي يمكن تصليحها خلال وحدة الزمن وهو مقلوب متوسط زمن التصليح ويعبر عنه بالعلاقة الاتية [4].

$\mu = 1/MTTR = f / DT$ .... (9)

٣.٢. خوارزمية المحاكاة:

يتم بناء انموذج المحاكاة باستخدام حزمة الأوامر وعلاقات الدوال في برنامج (**Microsoft excel**) بالاعتماد على طريقة التحويل العكسي والتي تعتبر الطريقة الأكثر استخداما وخاصة للتوزيعات الاحتمالية او التجريبية حيث يتم توليد أرقام عشوائية $\mathbf{RN_i}$ التي تمثل دالة التوزيع التراكمي CDF ومنها نحصل على المتغير العشوائي $\mathbf{X_i}$ المطلوب [3]. ويمكن بناء الخوارزمية اللازمة لمحاكاة القيم الجدولية للمتغير العشوائي **X** بالاعتماد على تكراراتها **f** ووفق الخطوات الموضحة بالمخطط الانسيابي المبين بالشكل رقم (١). وينتج عن هذه الخوارزمية الدالة التي تمثل قيم الوقت التنبئي **PrdTime** بصفته كمتغير تابع لقيم التوزيع التراكمي **CDF**. يمكن إيجاد هذه العلاقة من خلال استخدام الامر **Format Trend line** المتوفر في برنامج الاكسيل والمعتمد على طريقة المربعات الصغرى في الانحدار المتعدد والذي من خلاله يمكن تحديد مدى تمثيل تلك العلاقة للبيانات بالحصول على قيمة معامل التحديد المتعدد $\mathbf{R^2}$ الذي يمثل قوة الارتباط بين المتغير التابع ومجموعة المتغيرات المستقلة فكلما اقتربت قيمته من القيمة ١ كلما كان التمثيل أفضل، ووفقا للعلاقة [8]:

$$R^2 = \frac{SST-SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} \quad \text{..... ... (10)}$$

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

حيث ان: SST : تمثل مجموع المربعات الكلي للانحرافات (Total Sum of Squares)،

SSE: تمثل مجموع مربعات الانحراف (Error Sum of Squares) ،

SSR: تمثل مجموع المربعات الموضحة (Reg. Sum of Squares).

وبذلك يتم التوصل الى علاقة توليد المتغير العشوائي المتنبئ به ليتم بعد ذلك اجراء التحليلات اللازمة عليه وفقا للتقنيات العلمية المعتمدة لأجل اختيار الاستراتيجية المناسبة للصيانة.

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

٤.٢. معايير اختيار استراتيجية الصيانة

يتطلب اختيار استراتيجية الصيانة الملائمة معرفة المعدات وانماطها الحرجة وباستخدام عدة تحليلات ومنها:

أ) **تحليل شجرة الخطأ:** وهي احدى التحليلات المستخدمة لإيجاد احتمالية الفشل باستخدام الأساليب التحليلية والإحصائية وهذه الحسابات تنطوي على الموثوقية وقابلية الصيانة مثل معدل الفشل λ ومعدل التصليح μ واحتمالية الفشل FP، وإنها توفر معلومات مفيدة بشأن احتمالية فشل النظام والأسباب التي أدت الى فشله ومن خلال نتائجها يمكن التركيز على الموثوقية وسلامته [9]، ويمكن حساب الاحتمالية لأنماط الفشل من خلال المعادلة الاتي [١٠،٤] .

$$FP(A) = \lambda_A / (\lambda_A + \mu_A) \quad \ldots\ldots (11)$$

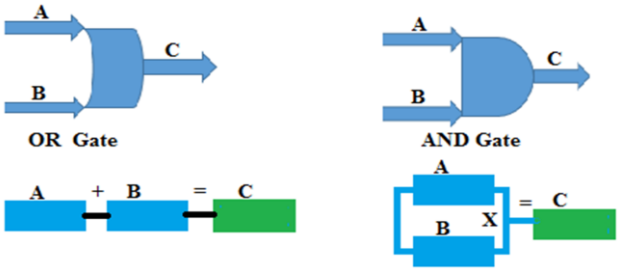
اذ أن: FP (A) = احتمالية الفشل للنمط A ؛ λ_A = معدل الفشل لنمط الفشل A ؛ μ_A = معدل التصليح لنمط الفشل A

يعتمد هذا التحليل على نظريات البوابات المنطقية المعروفة والتي يمكن اختصارها بالآتي [١١،١٢]:

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

١) بوابة **أو** (Or Gate) المنطقية وفيها يحدث الحدث C نتيجة لحدوث أحد الاحداث الداخلة فيها، لذلك فهي تعبر عن نظام التوالي أي أن النظام يتوقف عن العمل بتوقف أي معدة من معداته وكما موضح بالشكل رقم (٢).

٢) بوابة **و** (And Gate) المنطقية وفيها يحدث الحدث C نتيجة لحدوث كل الاحداث الداخلة فيها معاً، لذلك فهي تعبر عن نظام التوازي أي أن النظام لا يتوقف عن العمل الا بتوقف كل معداته وكما موضح بالشكل رقم (٢).



الشكل رقم (٢) البوابات المنطقية الاساسية [١١]

يمكن حساب FPc التي تمثل احتمالية فشل المعدة C بالاعتماد على الحالة المنطقية لعناصرها A، B كل وفق المعادلة [١١،٤] .

FPc = FP (A) + FP (B) (OR Gate) ..... (12)

FPc = FP (A) * FP (B) (AND Gate)..... (13)

ب) **تحليل باريتو :** في القرن التاسع عشر وضع الاقتصادي الايطالي باريتو مبدأ ينص على أن مجموعة قليلة من العوامل ونسبتها 20% من مجموع العوامل الكلية تكون مسؤولة عن نسبة كبيرة (80%) من النتائج الكلية أي أن نسبة الـ 20% تكون اسباب مهمة ونسبة الـ 80% تكون غير مهمة ، ويستخدم لمعرفة المشاكل الكبرى ومسبباتها ويوضح العوامل القليلة التي لها تأثير أكثر من غيرها والتركيز عليها واعطائها الأولوية [١٣] .

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

يمكن توضيح تحليل باريتو من خلال الخطوات [١٤،٤]:

١) تحديد الفقرات المراد اجراء التحليل عليها وجمع البيانات الملائمة في مدة محدودة.

٢) ترتيب المعلومات تنازليا وحساب عدد العطلات الكلي حسب المعادلة الاتية.

$$f_T = \sum_{i=1}^{N} f_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

٣) حساب النسب المئوية Pi للعطلات وأزمنة التوقف حسب المعادلة الاتية.

$$P_i = \frac{f_i}{f_T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

٤) حساب النسبة المئوية التراكمية CP للعطلات وأزمنة التوقف حسب المعادلة الاتية.

$$CP = \sum_{i=1}^{N} P_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

٣. التطبيق والمناقشة: Application and Discussion

١.٣. حساب معايير هندسة المعولية (MTBF، MTTR، λ، μ)

تحسب باستخدام المعادلات (٦، ٧، ٨، ٩) مع البيانات الاصلية للمعدات المعتمدة في الجدول رقم (١) لتعطي نتائجها للتوربين مثلا كالاتي:

MTBF = 13296.75 / 40 = 332.42 hr ; MTTR = 1501.07 / 40 = 37.53 hr

$\lambda = 40 / 13296.75 = 3.01E\text{-}03\ hr^{-1}$; $\mu = 40 / 1501.07 = 2.66E\text{-}02\ hr^{-1}$

ويمكن اجمال نتائج كل المعايير لباقي المعدات بالجدول رقم (٣)، واجمال نتائجها لأنماط الفشل الاصلية من الجدول رقم (٢) بالجدول رقم (٤).

الجدول (٣) حسابات معايير هندسة المعولية الاصلية للمعدات

ID	#C	f	DT	MTBF	MTTR	λ_c	μ_c	OT	ID	#C	f	DT	MTBF	MTTR	λ_c	μ_c	OT
1	L	40	1501.1	332.4	37.53	0.0030	0.0266	13296.8	7	H	2	16.9	6648.4	8.46	0.0002	0.1180	13296.8
2	A	30	739.1	443.2	24.64	0.0023	0.0406	13296.8	8	B	2	29.1	6648.4	14.55	0.0002	0.0687	13296.8
3	C	27	601.9	492.5	22.29	0.0020	0.0449	13296.8	9	G	2	21.4	6648.4	10.71	0.0002	0.0934	13296.8
4	F	12	953.1	1108.1	79.42	0.0009	0.0126	13296.8	10	J	2	37.1	6648.4	18.54	0.0002	0.0539	13296.8
5	D	4	83.1	3324.2	20.79	0.0003	0.0481	13296.8	11	I	2	17.9	6648.4	8.96	0.0002	0.1120	13296.8
6	E	4	65.4	3324.2	16.35	0.0003	0.0612	13296.8	12	K	1	1.9	13296.8	1.92	0.0001	0.5210	13296.8

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

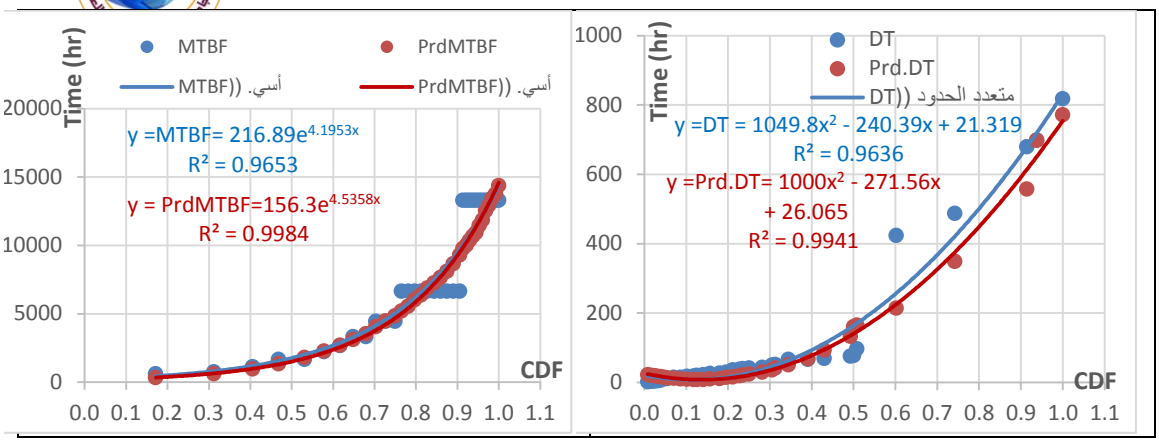
الجدول (٤) حسابات معايير هندسة المعولية لأنماط الفشل الاصلية للمعدات

ID	#M	f	DT	MTBF	MTTR	λ_m	μ_m	OT	ID	#M	f	DT	MTBF	MTTR	λ_m	μ_m	OT
1	A1	22	679.05	604.4	30.87	0.00165	0.0324	13296.8	18	F3	2	13.87	6648.4	6.94	0.00015	0.1440	13296.8
2	A2	2	14.42	6648.4	7.21	0.00015	0.1390	13296.8	19	F4	1	96.42	13296.8	96.42	0.00008	0.0104	13296.8
3	A3	2	24.83	6648.4	12.42	0.00015	0.0805	13296.8	20	F5	1	76.67	13296.8	76.67	0.00008	0.0130	13296.8
4	A4	1	5.5	13296.8	5.5	0.00008	0.1820	13296.8	21	G	2	21.42	6648.4	10.71	0.00015	0.0934	13296.8
5	A5	1	9.83	13296.8	9.83	0.00008	0.1020	13296.8	22	H	2	16.92	6648.4	8.46	0.00015	0.1180	13296.8
6	A6	1	4.07	13296.8	4.07	0.00008	0.2460	13296.8	23	I	2	17.92	6648.4	8.96	0.00015	0.1120	13296.8
7	A7	1	1.42	13296.8	1.42	0.00008	0.7040	13296.8	24	J	2	37.08	6648.4	18.54	0.00015	0.0539	13296.8
8	B	2	29.1	6648.4	14.55	0.00015	0.0687	13296.8	25	K	1	1.92	13296.8	1.92	0.00008	0.5210	13296.8
9	C1	18	487.17	738.7	27.07	0.00135	0.0369	13296.8	26	L1	12	423.33	1108.1	35.28	0.00090	0.0283	13296.8
10	C2	6	65.63	2216.1	10.94	0.00045	0.0914	13296.8	27	L2	8	817	1662.1	102.1	0.00060	0.0098	13296.8
11	C3	3	49.08	4432.3	16.36	0.00023	0.0611	13296.8	28	L3	8	75.43	1662.1	9.43	0.00060	0.1060	13296.8
12	D1	2	41.22	6648.4	20.61	0.00015	0.0485	13296.8	٢٩	L4	4	43.08	3324.2	10.77	0.00030	0.0929	13296.8
13	D2	1	3	13296.8	3	0.00008	0.3330	13296.8	30	L5	3	26.33	4432.3	8.78	0.00023	0.1140	13296.8
14	D3	1	38.92	13296.8	38.92	0.00008	0.0257	13296.8	31	L6	2	35.3	6648.4	17.65	0.00015	0.0567	13296.8
15	E	4	65.38	3324.2	16.35	0.00030	0.0612	13296.8	32	L7	1	50.92	13296.8	50.92	0.00008	0.0196	13296.8
16	F1	5	68.28	2659.4	13.66	0.00038	0.0732	13296.8	33	L8	1	19.25	13296.8	19.25	0.00008	0.0519	13296.8
17	F2	3	697.83	4432.3	232.6	0.00023	0.0043	13296.8	34	L9	1	10.42	13296.8	10.42	0.00008	0.0960	13296.8

2.3. خوارزمية المحاكاة :

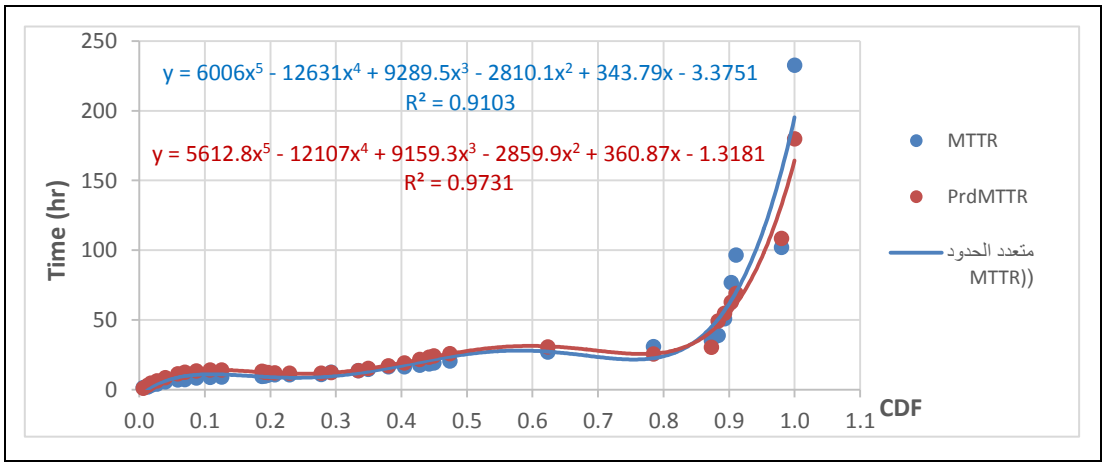
باستخدام خطوات خوارزمية المحاكاة المجملة بالمخطط الانسيابي الموضح بالشكل رقم (١) والمتضمنة توليد مجموعة كبيرة من الأرقام العشوائية ذات الطبيعة المتغيرة من دورة تشغيلية الى أخرى، ويمكن اجمال نتائج المحاكاة النهائية لاوقات أنماط الفشل ومقارنتها مع القيم الاصلية بعكسهما بالنقاط والدوال الموضحة في الاشكال المرقمة (٣، ٤، ٥):

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849



الشكل (٣) علاقة اوقات فشل الأنماط الأصلية والمحاكاة مع الدالة التراكمية

الشكل (4) علاقة اوقات (MTBF) فشل الأنماط الأصلية والمحاكاة مع الدالة التراكمية



الشكل (٥) علاقة اوقات (MTTR) فشل الأنماط الأصلية والمحاكاة مع الدالة التراكمية

بذلك فانه من بين العديد من النماذج الرياضية وبالاعتماد على قيم معامل التحديد المتعدد R^2 فقد تم اختيار افضل المعادلات التي تمثل الأوقات التنبؤية PrdTime والتي تتطابق مع القيمة الناتجة من المحاكاة SimTime بدلالة الأرقام العشوائية RN، وهي تكون على النحو الاتي:

أ) وقت الفشل للانماط

$$PrdDT = 1000(RN)^2 - 271.56(RN) + 26.056 \;\; ; \;\; with \;\; R^2 = 0.9941$$

ب) متوسط الوقت بين الاعطال

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

$$PrdMTBF = 156.3e^{4.536(RN)} \quad ; \quad R^2 = 0.9984$$

ت) متوسط وقت التصليح

$$\text{PrdMTTR} = 5612.8(\text{RN})^5 - 12107(\text{RN})^4 + 9159.3(\text{RN})^3 - 2859.9(RN)^2 + 360.87(\text{RN}) - 1.3181 \quad ; \quad \text{R}^2 = 0.9731$$

وبالاعتماد على القيم التنبؤية للاوقات الثلاثة يمكن اكمال حساب معالم هندسة المعولية لانماط الفشل المختلفة واجمالها في الجدول رقم (٥). اما بالنسبة للمعدات فان تكرارات الفشل f وقت الفشل DT لكل معدة تمثل مجموع عناصر كل منهما لأنماط الفشل من الجدول رقم (٥)، لتستند عليها حسابات الأوقات الأخرى والمعالم المطلوبة لهندسة المعولية وفقا للقواعد المعتمدة انفاً (المعادلات ٦، ٧، ٨، ٩) مع البيانات المحاكاة لأنماط الفشل للمعدات في الجدول رقم (٥). اما الجدول رقم (٦) فقد تضمن مجمل نتائج المحاكاة (Pred.) لتلك الحسابات.

الجدول (٥) قيم معالم هندسة المعولية التنبؤية لأنماط فشل المحاكاة للمعدات

ID	#M	f	DT	MTBF	MTTR	λm	μm	ID	#M	f	DT	MTBF	MTTR	λm	μm
1	A1	19	556.82	310.69	25.64	0.0032	0.039	18	F3	2	11.32	6868.96	11.37	0.0001	0.088
2	A2	2	9.7	5191.61	12.58	0.0002	0.0795	19	F4	1	164.78	11847.2	69.06	0.0001	0.0145
3	A3	2	9.24	5550.01	12.36	0.0002	0.0809	20	F5	1	160.15	12506.6	62.74	0.0001	0.0159
4	A4	2	15.55	9761.94	8.49	0.0001	0.118	21	G	3	8.03	7253.92	12.1	0.0001	0.0826
5	A5	1	13.77	10004.6	12.39	0.0001	0.0807	22	H	1	8.48	7645.17	13.49	0.0001	0.0741
6	A6	1	17.27	10373.4	6.29	0.0001	0.159	23	I	2	7.8	8104	14.21	0.0001	0.0704
7	A7	2	21.9	10665.8	1.08	0.0001	0.926	24	J	2	18.24	8663.52	23.28	0.0001	0.043
8	B	2	13.69	6017.73	15.36	0.0002	0.0651	25	K	1	20.02	12916.7	3.09	0.0001	0.324
9	C1	19	347.96	596.94	30.57	0.0017	0.0327	26	L1	14	213.18	963.05	30.36	0.001	0.0329
10	C2	6	67.71	2266.59	11.71	0.0004	0.0854	27	L2	7	771.05	1331.13	108.4	0.0008	0.0092
11	C3	2	35.46	4053.6	19.26	0.0002	0.0519	28	L3	8	132.1	1802.47	13.23	0.0006	0.0756
12	D1	2	23.59	6357.74	25.72	0.0002	0.0389	29	L4	3	28.74	3522.83	11.78	0.0003	0.0849
13	D2	1	18.64	10930.8	4.74	0.0001	0.211	30	L5	3	10.76	4840.28	14.16	0.0002	0.0706
14	D3	1	20.84	11439.6	49.15	0.0001	0.0203	31	L6	1	15.27	9296.13	21.6	0.0001	0.0463
15	E	4	49.64	3099.95	17.18	0.0003	0.0582	32	L7	1	40.6	13422.2	54.77	0.0001	0.0183
16	F1	6	92.71	2695.11	13.54	0.0004	0.0739	33	L8	2	7.61	13754.6	24.2	0.0001	0.0413
17	F2	3	697.12	4459.6	179.9	0.0002	0.0056	34	L9	1	12.53	14377.2	12.26	0.0001	0.0816
									Sum	**128**	**3642.25**	**242891.6**	**946.02**		
							Dev. Wrt Orig				**10.47%**	**5.36%**	**1.31%**		

الجدول رقم (٦) قيم معالم هندسة المعولية التنبؤية المحاكاة للمعدات

ID	EQUIPMENT	#M	f	freq	DT (hr)	MTBF (hr)	MTTR (hr)	λc (1/hr)	μc (1/hr)

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

1	BOILER	A	29	0.227	644.3	458.5	22.2	0.0022	0.045
2	CIRCUL. PUMPS	B	2	0.016	13.7	6648.4	6.8	0.0002	0.146
3	CONDENSER	C	27	0.211	451.1	492.5	16.7	0.002	0.0598
4	EXCIT. SYSTEM	D	4	0.031	63.1	3324.2	15.8	0.0003	0.0634
5	FWP	E	4	0.031	49.6	3324.2	12.4	0.0003	0.0806
6	GENERATOR	F	13	0.102	1126.1	1022.8	86.6	0.001	0.0115
7	LIFTING PUMPS	G	3	0.023	8	4432.3	2.7	0.0002	0.374
8	CON. SYSTEM	H	1	0.008	8.5	13296.8	8.5	0.0001	0.118
9	R.O.PUMPS	I	2	0.016	7.8	6648.4	3.9	0.0002	0.256
10	N.E.NETWORK	J	2	0.016	18.2	6648.4	9.1	0.0002	0.11
11	TRANSFORMERS	K	1	0.008	20	13296.8	20	0.0001	0.0499
12	TURBINE	L	40	0.313	1231.8	332.4	30.8	0.003	0.0325
	Sum		128	1	Operating Time (hr)			13296.8	

٣.٣. تحليل شجرة الخطأ:

وتتم بتطبيق المعادلة (١٢) الخاصة بالبوابة (Or Gate) على معايير المعولية (**λm، μm**) في الجدول رقم (٥) وليكن النمط (HIGH CONSUMPTION OF DEMI WATER) مثالاً، وتضمين الاحتمالات بالجدول رقم (٧).

$$FP = \frac{0.0032187}{0.0032187+0.0389986} = 0.076240856$$

الجدول (٧) حساب احتمالية الفشل للمعدات وأنماطها المحاكاة

ID	#M	λm	μm	FPm	FPc	ID	#M	λm	μm	FPm	FPc
1	A1	0.00322	0.03900	0.07620	0.08370	18	F3	0.00015	0.08800	0.00165	
2	A2	0.00019	0.07950	0.00242		19	F4	0.00008	0.01450	0.00580	
3	A3	0.00018	0.08090	0.00222		20	F5	0.00008	0.01590	0.00499	
4	A4	0.00010	0.11800	0.00087		21	G	0.00014	0.08260	0.00167	0.00167
5	A5	0.00010	0.08070	0.00124		22	H	0.00013	0.07410	0.00176	0.00176
6	A6	0.00010	0.15900	0.00061		23	I	0.00012	0.07040	0.00175	0.00175
7	A7	0.00009	0.92900	0.00010		24	J	0.00012	0.04300	0.00268	0.00268

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

8	B	0.00017	0.06510	0.00255	0.00255	25	K	0.00008	0.32400	0.00024	0.00024
9	C1	0.00168	0.03270	0.04870	0.05860	26	L1	0.00104	0.03290	0.03060	0.12800
10	C2	0.00044	0.08540	0.00514		27	L2	0.00075	0.00923	0.07530	
11	C3	0.00025	0.05190	0.00473		28	L3	0.00056	0.07560	0.00729	
12	D1	0.00016	0.03890	0.00403	0.00874	29	L4	0.00028	0.08490	0.00333	
13	D2	0.00009	0.21100	0.00043		30	L5	0.00021	0.07060	0.00292	
14	D3	0.00009	0.02030	0.00428		31	L6	0.00011	0.04630	0.00232	
15	E	0.00032	0.05820	0.00551	0.00551	32	L7	0.00007	0.01830	0.00406	
16	F1	0.00037	0.07380	0.00500	0.05620	33	L8	0.00007	0.04130	0.00176	
17	F2	0.00022	0.00556	0.03880		34	L9	0.00007	0.08150	0.00085	
								Sum		**0.35200**	**0.35200**

٤.٣.تحليل باريتو

يتم اجراءه للمعدات وانماط فشلها باستخدام البيانات التي تم ايجادها عن طريق المحاكاة وذلك بعد إعادة ترتيبها تنازليا بالاعتماد على قيم المتغير المراد له ان يكون مفتاحا للتحليل وبتطبيق المعادلات (١٤)، (١٥)، (١٦) عليها. بالنسبة للمعدات يكون التوربين هو صاحب أكبر عدد من التكرارات لتكون نتائج تلك المعادلات كالاتي:

$f_{Turbine} = 40$; $f_T = 128$; $Pi = 40/128 = 31.25\%$; $CP = 31.25\%$

أما باقي النتائج فهي موضحة بالجداول الاتية:

أ- جدول رقم (٨) يوضح نتائج تحليل باريتو وفقا لتكرار العطلات للمعدات.

ب- جدول رقم (٩) يوضح نتائج تحليل باريتو وفقا لأزمنة توقف المعدات.

وبصيغة أخرى يمكن توضيح نتائج هذين الجدولين بالشكلين المرقمين (6) و (٧)، اللذين يظهران ان المعدات الحرجة تتمثل بالمعدات (التوربين، المرجل، المولد، والمكثف) والتي تستوجب القدر الأكبر من العناية،

وبنفس السياق يمكن تطبيق قواعد تحليل باريتو على نتائج أنماط فشل المحاكاة وقيم احتمالاتها الناتجة من شجرة الخطأ وعكسها على شكل منحنيات موضحة بالأشكال المرقمة (٨، ٩، ١٠)، ويظهر ان نتائج طرائق التحليل المعتمدة تشترك بالأنماط الحرجة (A1, L2, C1, F2, L1, L3) عندما تجري التحليل بأسس مختلفة، وعندما يجرى التحليل لأوقات توقف الانماط يشتركان بالنمط (F4) إضافة للأنماط السابق ذكرها وكما موضح في الجدول رقم (١٠). وتعتبر هذه الأنماط الأكثر حراجة في المعدات (المرجل، المكثف، المولد، والتوربين)، بينما تعود الأنماط الأقل حراجة لمضخات دفع الماء FWP ومضخات رفعه LIFTING PUMPS إضافة للمعدات انفة الذكر مما يعكس وجوب التركيز على المعدات

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

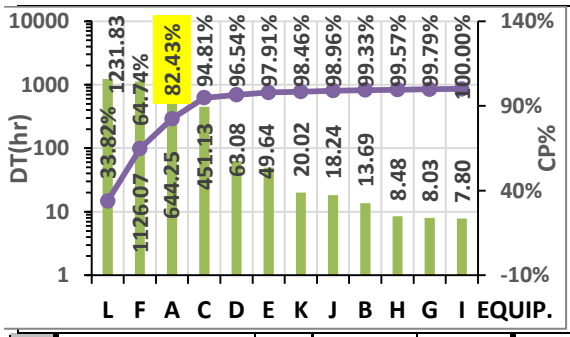
الحرجة الأربع في إدارة سياسات الصيانة واجراء الصيانة الوقائية لها اما المعدات الباقية فيمكن اعتماد الصيانة التصحيحية لها.

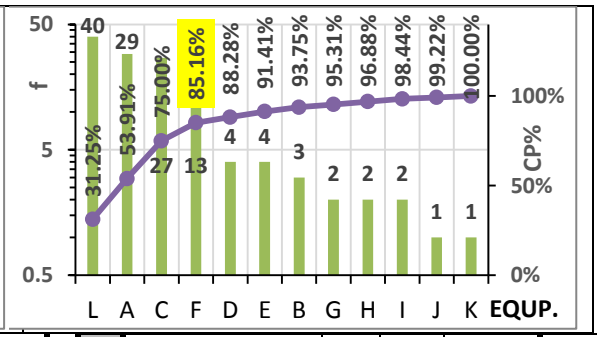
الجدول (٨) تحليل باريتو وفقا لتكرار العطلات المحاكاة للمعدات

ID	EQUIPMENT	#C	f	PI%	CP%
1	TURBINE	L	40	31.25%	31.25%
2	BOILER	A	29	22.66%	53.91%
3	CONDENSER	C	27	21.09%	75.00%
4	GENERATOR	F	13	10.16%	85.16%
5	EXCIT. SYSTEM	D	4	3.13%	88.28%
6	FWP	E	4	3.13%	91.41%
7	LIFTING PUMPS	G	3	2.34%	93.75%
8	CIR. PUMPS	B	2	1.56%	95.31%
9	R.O.PUMPS	I	2	1.56%	96.88%
10	N.E.NETWORK	J	2	1.56%	98.44%
11	CON.SYSTEM	H	1	0.78%	99.22%
12	TRANSFORMERS	K	1	0.78%	100%
	SUM		128	100%	

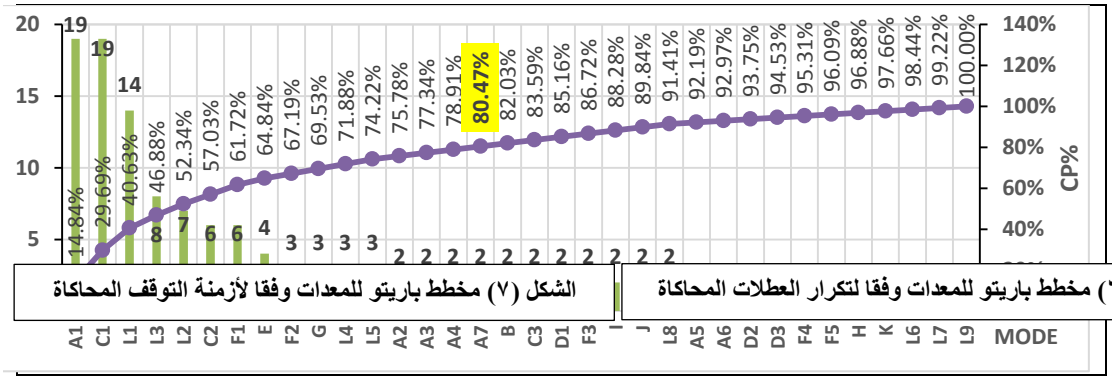
الجدول (٩) تحليل باريتو وفقا لأزمنة التوقف المحاكاة للمعدات

ID	EQUIPMENT	#C	DT	PI%	CP%
1	TURBINE	L	1231.83	33.82%	33.82%
2	GENERATOR	F	1126.07	30.92%	64.74%
3	BOILER	A	644.25	17.69%	82.43%
4	CONDENSER	C	451.13	12.39%	94.81%
5	EXCIT. SYSTEM	D	63.08	1.73%	96.54%
6	FWP	E	49.64	1.36%	97.91%
7	TRANSFORMERS	K	20.02	0.55%	98.46%
8	N.E.NETWORK	J	18.24	0.50%	98.96%
9	CIR. PUMPS	B	13.69	0.38%	99.33%
10	CON. SYSTEM	H	8.48	0.23%	99.57%
11	LIFTING PUMPS	G	8.03	0.22%	99.79%
12	R.O.PUMPS	I	7.80	0.21%	100%
	SUM		3642.25	100%	





الشكل (٦) مخطط باريتو للمعدات وفقا لتكرار العطلات المحاكاة

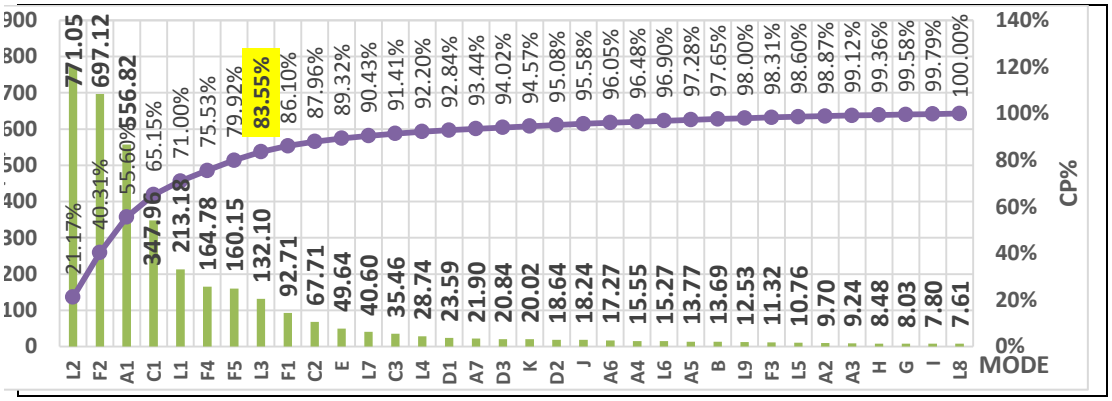


الشكل (٧) مخطط باريتو للمعدات وفقا لأزمنة التوقف المحاكاة

الشكل رقم (٨) مخطط باريتو لأنماط فشل المعدات وفقا لتكرار حدوثها

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

	الشكل رقم (٨)		الشكل رقم (٩)		الشكل رقم (١٠)	
ID	Mode	#M	Mode	#M	Mode	#M
1	H. CONSM. OF DEMI WATER	A1	THRUST BEARING WEAR	L2	H. C. OF DEMI WATER	A1

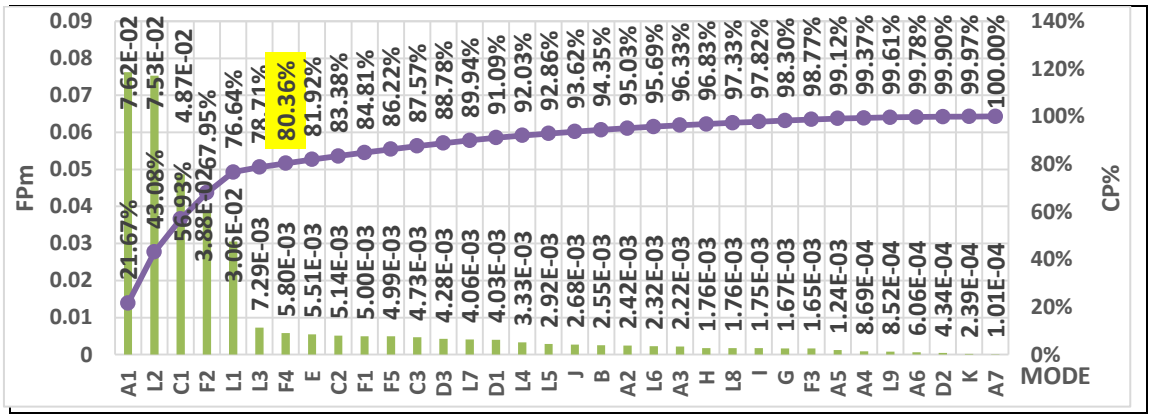


الشكل رقم (٩) مخطط باريتو لأنماط فشل المعدات وفقا لأزمنة التوقف

الجدول (١٠) الأنماط الحرجة التي يشترك بها تحليلي باريتو وشجرة الخطأ

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

2	BAD CHEMICAL ANALYSIS	C1	STATOR EARTH FAULT	F2	THRUST BEARING WEAR	L2
3	HIGH VIBRATION	L1	H. C. OF DEMI WATER	A1	BAD CHEM. ANALYSIS	C1
4	CONTROL VALVE CLOSED	L3	BAD CHEM. ANALYSIS	C1	STATOR EARTH FAULT	F2
5	THRUST BEARING WEAR	L2	HIGH VIBRATION	L1	HIGH VIBRATION	L1
6	HIGH CONDENSER PRESSURE	C2	HIGH CONSUMP. OF H2	F4	CONT. VALVE CLOSED	L3
7	GENERATOR TRIP	F1	DIF. P. (OIL- H2) < MIN	F5	HIGH CONSUM. OF H2	F4
8	FWP FAILURE	E	CONT. VALVE CLOSED	L3		
9	STATOR EARTH FAULT	F2				
10	LIFTING PUMPS FAILURE	G				
11	EXHAUSTHOOD TEMP > MAX	L4				
12	TURBINE TRIP	L5				
13	R.O.TRIP VALVE CLOSED	A2				
14	F.C.V 601 FAILURE	A3				
15	FUEL VALVE CLOSED	A4				
16	DRUM LEVEL > MAX	A7				



Web Site: www.kujss.com Email: kirkukjoursci@yahoo.com, kirkukjoursci@gmail.com

الشكل رقم (١٠) مخطط باريتو لأنماط فشل المعدات وفقا لاحتمالية فشلها الناتجة من تحليل شجرة الخطأ

Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS)
Volume 12, Issue 3, June 2017
ISSN 1992 – 0849

٤. الاستنتاجات: Conclusion

تعتبر المحاكاة من اهم وسائل ومفاتيح العمليات التنبؤية بفضل النماذج الرياضية التي تربط العلاقات بين مدخلات وظروف النظام التي تنعكس على مخرجاته، حيث من خلال الدراسة الحالية

يمكن استنتاج أهم النقاط الاتية:

أ) النماذج الرياضية المختارة لعلاقات البيانات المحاكاة ذات موثوقية عالية وصلت الى ($0.9984 \geq R^2 \geq$ ٠.٩٧٣١) بعد ان كانت في البيانات التاريخية الاصلية وللنماذج الرياضية ذاتها ($0.9653 \geq R^2 \geq$ ٠.٩١٠٣).

ب) اتفقت طرائق التحليل المعتمدة في هذه الدراسة (شجرة الخطأ وباريتو) واعطت نتائج فيها تطابق بنسبة عالية لا سيما في تحليل أوقات العطل لكل من المعدات وانماط فشلها، وقت أظهرت ان أنماط الفشل الحرجة تعود للمعدات الحرجة (المرجل، المكثف، المولد، والتوربين).

ت) وسائل التحليل المعتمدة تساعد في وضع استراتيجيات الصيانة وطرائق ادارتها حيث تشير الى أهمية شمول المعدات وانماط فشلها الحرجة بالصيانة الوقائية.

References :المصادر

[1] بوعنينبة وهيبة، **" دور ادارة الصيانة في تخفيض تكاليف الإنتاج – دراسة حالة مؤسسة نفثك NAFTEC لتكرير البترول بسكيكدة "**، رسالة ماجستير، جامعة ٢٠ أوت ١٩٥٥ سكيكدة، ص ٢٧-٣٠ ، ٢٠٠٧.

[2] محمد عبود طاهر، رياض خزعل شريف، **" دور الصيانة المنتجة الشاملة في تحسين أداء العمليات باستخدام اسلوب عملية التحليل الهرمي "**، مجلة كلية الادارة والاقتصاد – جامعة البصرة، المجلد ٦، العدد ١٢، ص ٢٤، ٢٠١٤.

[3] عدنان ماجد عبد الرحمن بري، **" النمذجة والمحاكاة باستخدام *Excel*، *SIMAN*، *Arena*، *GPPS WORID* "**، جامعة الملك سعود، ص ٧٠-١٠٠، ٢٠٠٢.

[4] منصور حماد عبد، **" تحليل أساليب الإدارة الهندسية وتطبيقاتها في صيانة محطات الطاقة الكهربائية "**، رسالة ماجستير، جامعة تكريت، ص ٣١-٣٥، ص ٥٠-٥١، ٢٠١٤.

[5] بتول ابراهيم، **" بناء نظام معان بالحاسوب لتحليل بيانات أعطال خط انتاج المنظفات "**، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، ص ٣٥-٣٦، ٢٠٠٨.

[6] Godfrey O. Ariavie, Godwin E. Sadjere, "Development of Fault Tree Diagram for the Production Line of a Soft Drink Bottling Company in Benin City, Nigeria", WCE 2012, Vol III, London, U.K.

[7] رياض جميل وهاب، **" قياس وتحليل مؤشرات أداء الصيانة في معمل الألبسة الولادية في الموصل "**، مجلة القادسية للعلوم الإدارية والاقتصادية، المجلد ١٣، العدد ٤، ص ٣٧، ٢٠١١.

[8] سالم عبدالله صالح، **" الانسياب الشبكي ومشكلة النقل وتطبيقها على نقل السمنت "**، رسالة ماجستير، الكلية الفنية العسكرية، ص ١١٥، ١٩٨٧.

[9] Monardo Giani، "***A Cost – based optimization of a fiber board pressing plant using Monte-Carlo simulation (A reliability program)*** "، MSc thesis، Queensland University of technology، P.125-126, 2009.

[10] Cristina Hora, Adriana Catanase, "Fault tree analysis used in athermo-electrical power plant Oradea, Romania", The 6th International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania, October 21 - 22, P.111,2004.

[١١] U.S. Nuclear Regulatory Commission، ***"Fault Tree Handbook "***، Office of Nuclear Regulatory research، Washington, P.IV-3,1981.

[12] Massimo Lazzaroni, Loredana Cristaldi, Lorenzo Peretto, Paola Rinaldi, and Marcantonio Catelani, " Reliability Engineering Basic Concepts and Applications in ICT", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, P.148,2011.

[13] عبد الغاني تغلابت، **" تأثير الصيانة على تكاليف اللاجودة في المؤسسة الصناعية – دراسة حالة ملبنة الأوراس – باتنة – ٢٠٠٢/٢٠٠٣**، رسالة ماجستير، جامعة لخضر – باتنة، ٢٠٠٥-٢٠٠٦.

[14] سوسن صبيح، بتول ابراهيم، **" بناء نظام معان بالحاسوب لتحليل بيانات أعطال خط إنتاج المنظفات "**، مجلة جامعة كربلاء العلمية -المجلد الثامن -العدد الثالث، ص ١٢٨، ٢٠١٠.