

حل مشكلات الجدولة بتطبيق تقنيات اعادة جدولة العمليات*

بحث تطبيقي في الشركة العامة للمعدات الهندسية
الثقيلة - مصنع المبادلات الحرارية

الاستاذ الدكتور غسان قاسم داود اللامي
كلية الادارة والاقتصاد / جامعة بغداد

الاستاذ المساعد مها عبد الكريم حمود الراوي
قسم علوم الحاسوب / الجامعة التكنولوجية

* بحث مستل من اطروحة الدكتوراه الموسومة (اعادة جدولة عمليات الانتاج باستعمال خوارزميات ذكاء السرب / بحث تطبيقي)

مستخلص:

يقدم البحث الحالي مدخل لحل مشاكل تنفيذ الجدولة في انظمة التصنيع الديناميكية المتمثلة بظهور اضطرابات وتغيرات مختلفة اهمها وصول اوامر عمل جديدة عاجلة الى الورشة، او العطلات التي تصيب الماكائن التي تؤثر بشكل كبير على تنفيذ الجدولة الاولية وبالتالي الحاجة الى تعديل الجدولة وتغيير تتابع اوامر العمل لمعالجة الاضطراب الحاصل بما يقلص من ازمنا اكمال اوامر العمل وازمنة التدفق وازمنة التأخير قدر الامكان . وقد أُختير مصنع المبادلات الحرارية في الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة كمكان لاجراء البحث كونه يمثل ورشة عمل حقيقية ديناميكية.

اعتمد البحث تطبيق تقنيتي اعادة الجدولة بتحويل الازمنة الى اليمين ، واعادة الجدولة بتعديل تواريخ الاستحقاق . وتم مقارنة نتائج تطبيق التقنيتين وتحديد التقنية الافضل من خلال تطوير مقياس كفاءة الجدولة، فضلاً عن المقاييس التقليدية المتمثلة بزمن الاكمال الكلي، وزمن التدفق، واجمالي زمن التأخير التراكمي، وعدد اوامر العمل المتأخرة ضمن الجدولة. وقد اظهرت نتائج تطبيق تقنيات اعادة الجدولة في مصنع المبادلات الحرارية ملائمة تقنية التحول الى اليمين لحالات عطل الماكائن في حالة اعتماد قاعدة EDD في توليد الجدولة الاولية . وافضلية تقنية اعادة الجدولة بتعديل تواريخ الاستحقاق في حالة عطل الماكائن وفي حالة ادراج اوامر عمل جديدة ضمن الجدولة في حالة اعتماد قاعدة FCFS في توليد الجدولة الاولية.

المصطلحات الرئيسية: اعادة جدولة العمليات، الجدولة التنبؤية-الاستجابية، زمن التأخير التراكمي، اعادة الجدولة بتحويل الازمنة الى اليمين، كفاءة الجدولة.

Abstract:

This study presents an approach to solve the Scheduling Problems in dynamic manufacturing systems which represented by the occurrence of different changes and disruptions such as new rush jobs, and machines breakdown which affected the execution of the current schedule and may need to repair the initial schedule and change the sequence of job orders to handle the disruption and minimize makespan, flow times, and tardiness as could as possible. This study was applied at the Heat Exchange Factory \ Heavy Engineering Equipment State Company.

The Right Shift Rescheduling Technique (RSRT) and the Due Dates Modification Rescheduling Technique (DDMRT) were applied in this study. The results were compared by developing schedule efficiency measure beside the traditional ones such as makespan, flow time, total accumulative tardiness, and number of tardy jobs. The application of rescheduling techniques showed that the RSRT is appropriate to machine breakdown in case of developing initial schedule by EDD rule, and the optimality of DDMRT to machine breakdown and new rush jobs cases when using FCFS rule to develop initial schedule.

Key Words: Operations Rescheduling, Predictive-Reactive Scheduling, Accumulative Tardiness, Right-Shift Rescheduling, Schedule Efficiency.

مقدمة:

لا تخلو جدولة العمليات في بيئات التصنيع من التعقيدات والصعوبات التي تتسبب في ظهور مشاكل عدة تحيط بعملية اعداد الجدولة وتنفيذها فيما بعد على ارض الواقع. فعلى الرغم من الدراسات المكثفة التي تناولت وظيفة الجدولة والتي أخذت طابعاً تطبيقياً بعد ان كانت مجرد ممارسات أكاديمية صرفة، الا ان التطبيقات الفاعلة لتقنيات حل مشاكل الجدولة في الواقع العملي لازالت نادرة لاسيما في البيئة العراقية. من ناحية اخرى، لا يمكن اشباع جميع اهداف الجدولة معاً، اذ ربما ينتج عن زيادة مستوى الانتفاع من المكائن والمعدات والعاملين الى زيادة كميات مخزون المواد تحت التشغيل، وبالتالي زيادة الكلف. وحيث انه من بين الامور التي تحدد اهداف الجدولة بشكل واضح نوع بيئة الانتاج، ودرجة مرونة الجدولة، واستقراريتها. فضلاً عن دور المدخل او التقنية المستخدمة في الجدولة. فهذا كله من شأنه ان يجعل مهمة جدولة الانتاج تصبح أكثر تعقيداً، وتكون محفوفة بالكثير من المشكلات والعراقيل.

المبحث الاول/ منهجية البحث

يمكن تعميق الرؤية حول الاطار الفكري والتطبيقي للبحث عبر منهجية التي تم بلورتها وطرحها على وفق الاتجاه الآتي:

١-١ **مشكلة البحث:** تتجلى مشكلة البحث من ما تتصف به بيئة التصنيع العراقية من تغيرات وتقلبات ادت الى تحولها الى بيئة انتاج حسب الطلب. لذا برزت الحاجة الى دراسة مشكلة اعادة الجدولة التي تستدعي تقديم تقنيات حديثة ومنتطورة لتقدم امثل الحلول التي تتلائم مع متغيرات هذه البيئة التي تتسم بالتعقيد والصعوبة. لذا تتبع مشكلة البحث من الاتي:

١. تتعرض ورش العمل التي تتبع استراتيجيات الانتاج حسب الطلب الى العديد من التغيرات والتطورات التي تحصل في عمليات الانتاج، سواء ما يتعلق منها بالدخول في تعاقدات جديدة، او تعديل في العقود القديمة (تحت التشغيل)، او الغاء البعض منها، او شحة المواد الاولية، او العطلات التي تصيب المكائن والخطوط الانتاجية، او تغيير اسبقيات الاعمال. مما يدفع الشركات الى التفكير باعادة جدولة اعمالها بما يضمن لها الايفاء بالتزاماتها امام الزبائن، والاستجابة السريعة للطلبات والتغيرات المستمرة.
٢. قلة اهتمام الشركات الصناعية بمشاكل اعادة جدولة العمليات التشغيلية واجراء التعديلات في الجدولة الحالية على وفق اسلوب علمي، واعتمادها على الاجتهاد الشخصي في حل المشاكل في هذا المجال.
٣. عدم أمثلية ما تقدمه قواعد الجدولة الساكنة او الديناميكية فيما يتعلق بتقليص ازمة انجاز او اكمال الطلبات واوامر العمل في حالة حدوث اي تغير او حدث طارئ في بيئة التصنيع.

٢-١ أهداف البحث: يركز البحث على تحقيق الاهداف الاتية :

١. تطبيق اهم تقنيات اعادة الجدولة في ورش العمل الديناميكية وكبيرة الحجم لما تمتاز به من خصائص تتطلب منها الاستجابة السريعة لتغيرات كثيرة في ظروف واجراءات العمل .
٢. تقديم افضل او امثل نتاج ممكن لاوامر العمل، يتميز بالمرونة التامة لاجراء التعديلات في حالة حدوث اضطرابات او تغيرات في الورشة. وبالتالي امتلاك القدرة على حل المشكلات الكثيرة والمعقدة التي تواجه الشركات الصناعية.
٣. تحسين اداء الشركة المبحوثة من حيث ازمدة اكمال اوامر العمل وازمدة تدفق العمليات وازمدة التأخير في حالة حدوث تغير في ظروف العمل في الورشة وبالتالي تحسين تنافسيتها في مجال اعمالها.

٣-١ اهمية البحث: تبرز اهمية البحث في الاتي:

١. دراسة تقنيات حديثة ومتطورة تقدم حلاً مئلياً، في وقت قياسي، لها دور كبير في اجراء تعديلات سريعة في الجدولة الحالية كأستجابة سريعة للتغيرات، ولتحسين الاداء والارتقاء بتنافسية الشركة.
٢. تبرز اهمية هذا البحث في كونه محاولة جادة لبناء جدولة كفوءة قادرة على استيعاب التغيرات التي تحدث في البيئة خاصة اذا كانت الشركة المبحوثة هي شركة عراقية تعمل في ظل الظروف الديناميكية المعقدة التي تمتاز بها في ظل الوضع الراهن.

المبحث الثاني / الاطار النظري

اولاً : مشاكل وصعوبات الجدولة في التطبيق العملي:

تهتم مشاكل الجدولة عادة بتوزيع الموارد على المهام والانشطة ضمن فترة زمنية معينة ، وان من بين اهم اهداف الجدولة الفاعلة للعمليات تحسين اداء نظام التصنيع، لذا فان اغلب هذه المشاكل تعرف على انها مشاكل اتخاذ القرار Decision-Making problems ، تهدف الى تحقيق معيار او اكثر من معايير الجدولة لتحسين اداء النظام . وان تنوع مشاكل الجدولة، وطبيعتها الديناميكية، جعلها من الناحية الحسابية معقدة جداً ، ومن الناحية التطبيقية غير مئلياً وغير مجدية للوصول الى افضل الحلول خاصة عندما تواجه الشركات عراقيل وصعوبات خلال مرحلة تنفيذ الجدولة (Stoop and Wiers, 1996: 37). بناء على ذلك، يمكن ادراج اهم الصعوبات التي تواجه عملية اعداد وتنفيذ الجدولة بالاتي:

- ١) ظهور ثغرة كبيرة بين النظرية والتطبيق في مسائل جدولة الانتاج. اذ ان لنظرية جدولة الانتاج تأثير محدود على التطبيق الفعلي. السبب وراء ذلك ان اغلب تطبيقات اعداد الجدولة لا تتضمن الخصائص المهمة لبيئة التصنيع التي أعدت ضمنها (Vieira et. al., 2003: 57). بهذا ستنشأ مشاكل عدة عند تنفيذ الجدولة، تتمثل باعداد حلول ليس بإمكانها الا حل جزء من مشاكل الجدولة، وانها لن تكون قادرة على توقع، والاستجابة ، ومن ثم التكيف بسهولة مع التغيرات التي تحدث في تلك البيئة.

(٢) قد تظهر في بيئة التصنيع تغيرات عدة يكون ظهورها متكرر احياناً بسبب الطبيعة الديناميكية للبيئة. مما يستوجب اعادة توليد الجدولة بشكل متكرر وربما بشكل يدوي في بعض الاحيان، هذا ما يجعل عملية اعداد وتنفيذ الجدولة عملية صعبة ومعقدة وقد يتطلب الامر اجراء بعض التعديلات السريعة عليها . ومن هذه التغيرات: عطل الماكثن، وشحة الموارد، والتغيير في اسبقيات اوامر العمل، وتغيير تواريخ استحقاق الاعمال، والتقدير الخاطيء لافوات المعالجة، وغياب المشغلين، والغاء بعض الاعمال، وغيرها. فقد تصل طلبيات او اوامر عمل ذات اسبقية عالية تستلزم جدولتها مباشرة لغرض التنفيذ الفوري، وهذا ما سيقود الى الغاء او تأجيل بعض الاعمال ضمن الجدولة. ان تقنيات الجدولة لا تتوفر عندها مثل هذه الامكانية لاجراء التعديل، ولا يمكنها ان تضطلع بالتغيرات والاضطرابات تلك من دون ان يتم اعادة توليدها بشكل كامل، مما قد يسبب اوقات استجابة غير مقبولة. (Stoop and Wiers, 1996 : 43).

(٣) لا تعكس اغلب افتراضات الجدولة الواقع الحقيقي لورش العمل. اذ تفترض مسائل الجدولة من الناحية النظرية دائماً ان الموارد متوفرة، وان لبيانات محددة مسبقاً ومعلومة. الا ان هذا الوضع غير صحيح في الواقع الفعلي، فقد تكون البيانات غير مؤكدة، او انها تتغير مع الوقت (1: Larsen and Pranzo, 2012).

(٤) تحدث بعض التعارضات بين قرارات الجدولة خاصة قراري الارسال Dispatching والتعجيل Expediting. اذ يقصد بقرار الارسال Dispatching الاطلاق الفعلي لاوامر العمل من مرحلة التخطيط والسيطرة على الانتاج الى العمليات (Meredith & Shafer, 2011: 319). وهو القرار الذي يسعى عن طريق استخدام قواعد الجدولة الى اختيار امر العمل من ضمن قائمة من الاعمال المتاحة ليتم ارساله الى محطات او مراكز العمل (Kunnathur et. al., 2004: 208). اي الشروع بتنفيذ الأعمال طبقاً للجدولة (سليم، ٢٠٠٧: ٣٣). اما قرار التعجيل فيقصد به التسريع في اكمال امر العمل عند او قبل تاريخ استحقاقه . فمثلاً عند اطلاق (ارسال) امر عمل من قسم التخطيط والسيطرة على الانتاج الى اقسام الانتاج، فان مسؤولية تنفيذ هذا الامر ستصبح من ضمن مهام مدير العمليات. الذي بدوره عليه التأكد من تنفيذه قبل تاريخ الاستحقاق. وعند ظهور بعض اوامر العمل الحرجة التي تتأخر عن الجدولة ، سيكون على مدراء العمليات العمل على دفع هذه الاعمال ضمن العمليات (Zwebwn & Fox, 1994: 293).

(٥) نظراً لتنوع انظمة التصنيع مثل نظام ورش العمل Job Shop، ونظام الانتاج بالدفعة Batch Process، والتدفق المستمر Continuous Flow (صناعات العمليات Process Industry)، والانتاج الواسع Mass Production، والانتاج على اساس المشروع Project. لذا تختلف قرارات ووظائف الجدولة من نظام انتاجي الى آخر. لهذا تتركز مشكلات الجدولة في انظمة الانتاج الواسع على تحديد سرعة تغذية الخط الانتاجي بالاجزاء، وعدد ساعات عمل الخط (محسن والنجار، ٢٠٠٩: ٤٤٠). بينما في انظمة الانتاج المستمر فانه سيكون من الصعوبة الفصل بين الجدولة والتخطيط الإجمالي للإنتاج، ذلك لان تحديد مزيج المكونات الداخلة في انتاج المنتجات، وتتابع العمليات تحدد في مرحلة التخطيط. (Davis & Jones, 2003: 63). في حين تكون مشكلات الجدولة في انظمة الانتاج على اساس المشروع كثيرة ومتداخلة نظراً لطبيعة الأنشطة المتنوعة والمتداخلة للمشروع. اما انظمة الانتاج بالدفعة او ورش العمل ، يجب ان تجدر كل مرحلة بصورة

منفصلة مع الاخذ بالحسبان تنسيق الجدولة مع المراحل الاخرى (محسن والنجار، ٢٠٠٩: ٤٤٠). فعلى الرغم من بعض مظاهر الجدولة التي يتم تصميمها بشكل مبكر مع تصميم النظام (Stevenson, 2007: 722)، الا ان هناك بعض المشاكل التي تبقى بحاجة الى حل، خاصة عندما يتعلق الامر باختيار مدخل الجدولة المناسب لكل بيئة انتاج.

تستدعي مثل هذه المشاكل والصعوبات التي تواجه الجدولة ضرورة البحث عن استراتيجيات وسياسات بإمكانها تقديم تقنيات وطرق لاعادة جدولة العمليات وتعديلها او تصحيحها بشكل آني وفوري خلال تنفيذ الجدولة، ليكون بمقدورها تحسين استجابة الورش للتغيرات من جهة، وتحقيق هدف التسليم في الوقت المحدد .On Time Delivery

ثانياً: تقنيات اعادة جدولة العمليات **Operations Rescheduling Techniques**:

عندما تظهر الحاجة الى اعادة جدولة اوامر العمل والعمليات كأستجابة لأي حدث او تغيير يمكن ان يحدث في بيئة التصنيع، سيكون من الضروري توليد جدولة جديدة تحقق معايير معينة. لهذا السبب، ظهر المدخل المدخل التنبؤي- الاستجابي Predictive \ Reactive Approach الذي عد الاكثر شيوعاً من بين المداخل الديناميكية للجدولة في انظمة التصنيع، الذي يسعى لايجاد أمثل طريقة للاستجابة لتلك الاحداث بعد حدوثها ومن ثم تعديل الجدولة الاولية. لذا يعد المدخل التنبؤي- الاستجابي مدخل اعادة جدولة عمليات الانتاج. فقد اطلقت بعض الدراسات على عملية اعادة الجدولة بانها جدولة تنبؤية - استجابية Predictive-Reactive Scheduling (PRES) (Huaccho Huatucu et. al., 2007: 2).

تعد الجدولة التنبؤية- الاستجابية عملية تكرارية Iterative Process، تتضمن خطوتين اساسيتين: التوليد Generation، والرقابة Control (Zhang et. al., 2012: 260). اذ تعنى الاولى بتوليد جدولة انتاج اولية تعرض السلوك المرغوب لورشة العمل، وتأخذ بنظر الاعتبار المشاكل المحددة ضمنها فقط (Katragjini et. al., 2010: 4). اما الثانية فتعنى بتحديث الجدولة الاولية استجابة للاضطرابات او اية تغيرات اخرى، ولتقليل تأثيرها على اداء النظام (Vieira et. al., 2003: 50). حيث انه من غير المحتمل ان تنفذ الجدولة الاولية بالضبط كما أعدت، لذا يأتي الدور الرقابي للمدخل الاستجابي لتحديث الجدولة الاساس.

تستخدم في الخطوة الاولى قواعد الجدولة لتوليد الجدولة الاولية، اما تعديل الجدولة فيجري باستخدام اساليب او تقنيات اعادة الجدولة (Duenas & Petrovic, 2006: 76). كما تستخدم معايير معينة ضمن المرحلة الثانية من هذا مثل استقرارية Stability/ او عدم استقرارية Instability الجدولة الاستجابية، ومعيار جودة الجدولة Schedule Quality، او المتانة Robustness و كفاءة الجدولة Schedule Efficiency (وقت الاكمال الكلي Makespan).

يمكن ان تأخذ هذه الاستجابة احدى الصيغتين الاتيتين (Sabuncuoglu & Goren, 2009: 150):

- اما تعديل الجدولة الحالية ، اي تصحيح الجدولة (Schedule Repairing (SREP).

- أو توليد جدولة جديدة بالكامل Schedule Generation أو تسمى إعادة الجدولة الكلية أو الشاملة Total Rescheduling (TRS).

هناك عدد من التقنيات التي يمكن من خلالها تصحيح الجدولة الحالية، أو إعادة الجدولة بشكل جزئي، أو إعادة توليد جدولة جديدة بالكامل كأستجابة لاي تغير أو حدث يحدث في بيئة الانتاج. وقد اعتمد البحث الحالي تطبيق التقنيات الاتية:

١) تقنية إعادة الجدولة بتحويل الزمن الى اليمين (RSRT) Right Shift Rescheduling Technique:

هي واحدة من التقنيات الاكثر شيوعاً لتحديث الجدولة خاصة في حالة عطل الماكائن (Sun, 2012: 6). اذ يتم على وفق هذه التقنية دفع عمليات الانتاج قدماً الى الامام لغاية ان يتم تبديد الاضطراب (Chan & Wee, 2003: 238). اي تأجيل تنفيذ العمليات الخاصة بأوامر العمل بعد ظهور اضطراب في النظام الانتاجي بتحريكها الى اليمين على خرائط جاننت، لذا يؤجل وقت اكمال اوامر العمل Completion Time بمقدار زمن الاضطراب (Vieira et. al., 2003: 54). ولا تؤثر هذه التقنية على تتابع اوامر العمل، او تتابع المهام والعمليات (Suwa & Sandoh, 2012: 65).

الخطوة الاولى في هذه الطريقة هي تحديد العملية التي تتأثر بشكل مباشر بالاضطراب. ففي حالة حدوث عطل بالماكائن، فان العمليات تحت المعالجة لامر عمل معين، او التي كان من المقرر بدء معالجتها، تعتبر عمليات متأثرة مباشرة بالعطل. وبعد حدوث العطل، وكخطوة ثانية، تُختبر المعادلة الاتية لكل عملية من عمليات امر العمل التي حدثت بالخطوة الاولى (Sun, 2012: 6).

$$t_{BDk} + Rt_k + P_{ijk} \leq \min (St_{i (j+1)k'}, St_{j suc,k}) \dots\dots\dots (1)$$

حيث ان:

$$t_{BDk} = \text{زمن عطل الماكينة } M_k.$$

$$Rt_k = \text{الزمن اللازم لتصلح الماكينة}$$

$$P_{ijk} = \text{زمن معالجة العملية } j \text{ لامر العمل } i \text{ على الماكينة } k.$$

$$St_{i (j+1)k'} = \text{زمن بدء عملية المعالجة التالية للعملية } j \text{ على ماكينة اخرى } k'.$$

$$St_{j suc,k} = \text{زمن بدء العملية التالية للعملية } j \text{ لامر عمل تالي. suc على الماكينة } k.$$

فاذا تحققت المعادلة اعلاه لعملية ما، يمكن عندها نقل تلك العملية فقط الى اليمين من دون ان تؤثر على

العمليات الاخرى وان تبدأ عند الزمن $(t_{BD}^k + R_k^k)$. بخلاف ذلك، سيتم تحويل العمليات الاخرى ايضاً.

تكمّن فاعلية تقنية RSRT بعدم زيادة الكلف المترتبة على تغيرات اوقات التهيئة والاعداد. وانها لا تتطلب

اعادة تخصيص بعض الموارد كالقوى العاملة. وفضلاً عن انها سهلة الاستخدام وتتطلب جهود حسابية قليلة

(Wang & Xi Yu, 2006: 667)، وتعد التقنية الاكثر وضوحاً بالنسبة للمشغلين والمجدولين بسبب اعتمادها

على الخرائط المرئية (Suwa & Sandoh, 2012: 67). الا انها تقدم أقل اداء فيما يختص بمقياس كفاءة

الجدولة Efficiency.

٢) تقنية اعادة الجدولة بتعديل تواريخ الاستحقاق Due Dates Modification Rescheduling Technique (DDMRT)

تناول العديد من الباحثين تقنية اعادة الجدولة بتعديل تواريخ استحقاق اوامر العمل والعمليات لما اثبتته من فاعلية كبيرة في تخفيض اجمالي وقت التأخير ، كما اثبتت تقديمها لامثل جدولة في حالات معينة قياساً بالتقنيات الاخرى من حيث وقت التأخير خاصة في حالة عطل المكائن وتوقف العمليات بسبب شحة المواد. وتبنى هذه التقنية كالاتي (Nyirenda, 2006: 78-79):

لاي تتابع Sq لعدد من اوامر العمل N ، يمكن ايجاد تتابع فرعي r مكون من عدد من اوامر العمل المتتالية يبدأ عند امر العمل l بالموقع k من التتابع Sq. ويتحقق الشرط في المعادلة (٢) ادناه يمكن ترتيب افضل تتابع بتبديل امر العمل بالموقع k (J_k) بالتتابع الفرعي المكون من (J_{k+1}, J_{k+2}, J_{k+3}, , J_{k+r-1}).

فاذا تحقق الشرط عندها يتم التبديل بين امري العمل (ويفضل اختيار امر عمل تالي يكون وقت المعالجة له قصير مقارنة بالامر J_k)، وتعديل تواريخ الاستحقاق لاوامر العمل المتبادلة. بهذا، سيمن تخفيض اجمالي زمن تأخير تنفيذ اوامر العمل. مما ينتج عن ذلك الترتيب جدولة مثلى.

$$T_k + t_{k+1} < T_k + T_{k+1} \quad \dots (2)$$

اذ ان:

=k موقع امر العمل الذي يتم البدء به في r.

t_k = الوقت اللازم لمعالجة امر العمل k.

T_k = زمن التأخير التراكمي لامر العمل k.

يكون اختيار امر العمل J_k على اساس زمن التأخير الاكبر له. (وكما هو معروف ، زمن التأخير يمثل الفرق بين زمن اكمال امر العمل وتاريخ الاستحقاق، ويكون مساوياً للصفر اذا كان زمن المعالجة اقل من تاريخ الاستحقاق). اما اذا لم يتحقق الشرط فيترك امر العمل المقترح في موقعه ضمن الجدولة، وتنتقل التقنية نحو الامام لاختيار امر عمل اخر لاحق بحيث يكون مجموع وقت التأخير لامر العمل J_k مع وقت معالجة الامر المقترح الجديد اقل من مجموع وقت التأخير للعمل J_k ووقت التأخير للامر الجديد. وبذلك يتم التبديل بين مواقع امري العمل وتعديل الجدولة. ومرة اخرى تنفذ التقنية باختيار امر العمل الاخير ضمن التتابع المعدل في الجدولة المعدلة باعتباره اطول امر عمل من حيث وقت التأخير، واختيار امر عمل تالي ذو وقت معالجة قصير، واتخاذ نفس الاجراء اعلاه. الى ان يتم تقليص اجمالي زمن تأخير اوامر العمل ضمن الجدولة.

المبحث الثالث / الجانب العملي

اولاً: نبذة عن مصنع المبادلات الحرارية:

يعد مصنع المبادلات الحرارية ، احد مصانع الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة* (HEESCO Heavy Engineering Equipment State Company) الذي تأسس سنة (١٩٩٥) من قبل شركة اجنبية، من الاقسام المهمة في الشركة كونه متخصص بتصنيع انواع مختلفة من المبادلات الحرارية وهي:

- المبادلات الحرارية ذات الانابيب الثابتة Fixed Heat Exchange.
- المبادلات الحرارية ذات الانابيب العائمة Floating Heat Exchange.
- المبادلات الحرارية على شكل حرف U U-Tube Heat Exchange.
- المبادلات الحرارية ذات الانابيب الزعنفية Fin Tube Heat Exchange.
- تصنيع روافد جسرية حديدية رئيسية وثانوية.

اضافةً الى اجراء اعمال اعادة تأهيل المبادلات الحرارية لصالح جهات عدة.

تعد عمليات المصنع من نوع ورش العمل Job Shop، اذ تختلف كل طلبية عن الاخرى من حيث مواصفات المبادل الحراري حسب الجهة الطالبة من حيث عدد الانابيب او قطر القواطع او سمك القاطع او سمك القشرة او قطر صفيحة الانابيب (tube sheet) او سمكها.

ثانياً: الاسلوب الفعلي في توليد الجدولة الاولى لمصنع المبادلات الحرارية:

يقوم قسم تخطيط الانتاج في الشركة بوضع خطة الانتاج السنوية (بموجب الموازنة وبموجب التحميل الفعلي)، والتي تترجم الى خطط شهرية لجميع مصانع الشركة ومحطات العمل التابعة لها. ويكون تنفيذ الخطة من قبل مصانع الشركة اما حسب ورود الطلبات الى الشركة وتوقيع العقد وفتح امر عمل، او حسب اهمية امر العمل، او بالاعتماد على تواريخ الاستحقاق.

يوضح الجدول (١) خطة الانتاج الشهرية بموجب الموازنة وبموجب التحميل الفعلي، والانتاج الفعلي المتحقق بموجب تقارير الانجازات المقدمة من المصنع للنصف الثاني من سنة ٢٠١٣ للشركة لمصنع المبادلات الحرارية. وتكون وحدات القياس بالطن.

جدول (١): خطة الانتاج الشهرية والانتاج الفعلي للنصف الثاني من سنة ٢٠١٣

لمصنع المبادلات الحرارية (طن).

الاشهر	تموز	اب	ايلول	تشرين الاول	تشرين الثاني	كانون الاول
خطة الانتاج الشهرية بموجب الموازنة	٦٨	٦٨	٨٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠
خطة الانتاج الشهرية بموجب التحميل الفعلي	٢٢,٦٢	١٥,١٠	٣٥,٦٤	٣٨,٨٥	٢٦,٥٧	٢٠,٦٦
الانتاج الفعلي المتحقق	١١,٨٩٩	٣,٢٠٥	١٠,١٤٥	٣٤,٩٧٧	١٠,٠٥٣	٦,٣٣٣

* تقع الشركة في المجمع النفطي في منطقة الدورة في بغداد وهي احد تشكيلات وزارة النفط ، تأسست سنة ١٩٦٣.

يتضح من الجدول اعلاه ظهور اختلاف كبير بين كميات الانتاج المخططة بموجب الموازنة، وبموجب التحميل الفعلي وبين الانتاج الفعلي المتحقق. يعزى ذلك الاختلاف الى عوامل واسباب عدة منها الاسلوب المتبع من قبل الشركة في اعداد الخطة الانتاجية بموجب الموازنة الذي يعتمد على التقدير حسب كميات الانتاج الفعلية للاشهر السابقة مضافاً اليه تقديرات الادارة حول العقود خارج الخطة التي من المتوقع ابرامها مع بعض الجهات مثل الانشطة التي تقوم بها الشركة لتعظيم الموارد والتي من اهمها عقود ارسال فرق العمل الخارجية الى مواقع الجهات المستفيدة . من ناحية اخرى، تعد صعوبة التكهن بعدد الاوامر التي سيتم البدء بتنفيذها والتي تعطلت بسبب الاجراءات الروتينية المطولة المعتمدة في توقيع العقود مع الجهات الطالبة، والمحددات المتمثلة ببعض الاجراءات الروتينية مثل عدم فتح امر العمل الا بعد تسديد الدفعة الاولى من مبلغ العقد، والصعوبات المترتبة على استحصال الموافقات حول التصاميم التي تحددها الجهات الطالبة من بين عوامل ظهور ذلك الاختلاف بين الخطة الانتاجية وبين الانتاج الفعلي.

الأهم من ذلك كله هو واقع الحال الذي تعيشه معظم مصانع الشركة، مثل مصنع المبادلات الحرارية، المتمثل بتأخير بعض أوامر العمل عن تواريخ الاستحقاق لأسباب عدة من أهمها عطل المكينات الانتاجية، او شحة المواد الاولية اللازمة للانتاج او التأخير في توفيرها من قبل القسم التجاري ، او وصول اوامر عمل جديدة الى الورشة، او عدم الاتفاق على تصاميم بعض الاجزاء الداخلة في تصنيع المبادل الحراري. او الغاء تنفيذ امر العمل لاسباب ادارية واجراءات روتينية متمثلة بشروط التعاقد. كل تلك العوامل تعرض الشركة ، الى عدم الايفاء بالالتزامات مع الجهات الطالبة وتأخير انجاز اوامر العمل الى ما بعد الافق الزمني للجدولة الموضوعية، وبالتالي انخفاض كميات الانتاج الفعلي المتحقق عن المخطط. فضلاً عن ما يترتب على ذلك من غرامات تأخيرية تنص عليها شروط التعاقد مع الشركة والتي تقدر بأكثر من مئة الف دولار امريكي لسنة ٢٠١٣. وهذا ما يمثل خسارة كبيرة بالنسبة للشركة لا سيما وانها تعتمد مبدأ التمويل الذاتي.

لغرض تطبيق تقنيات اعادة الجدولة ، ركز البحث على خمسة اوامر عمل كانت قد أبرمت عقودها مع الشركة في فترة زمنية واحدة تقريباً ، تختلف فيما بينها من حيث المواصفات وطبيعة العقد. فبعض العقود تتضمن تصنيع حزمة مبادل حراري سواء ثابت او عائِم، في حين تتضمن اخرى اعادة تأهيل حزمة مبادل حراري وكما موضح في الجدول (٢). كما يوضح الجدول (٣) المكينات المستخدمة لمعالجة عمليات اوامر العمل الخمسة واوقات المعالجة لكل عملية. ولغرض الاستفادة من حزم برمجية WinQSB المتضمنة حزمة جدولة الاعمال Job Schedule package، امكن تنظيم البيانات الخاصة بالعمليات اللازمة لتشغيل كل امر عمل، والمكينات الخاصة بكل عملية على وفق متطلبات تنفيذ الحزمة لحل مشاكل ورش العمل كما في الجدول (٤).

يعتمد المصنع في جدولة اوامر العمل قاعدتي مايصل اولاً يخدم اولاً FCFS ، او تاريخ الاستحقاق الاقرب EDD. ويعرض الجدول (٥) النتائج الامثل لاوامر العمل، وازمنة الاكمال الفعلية والمعالجة والتدفق والتأخير، بتطبيق الاسلوب الفعلي على وفق قاعدتي FCFS، و EDD .

جدول (٢): اوامر العمل عينة البحث لمصنع المبادلات الحرارية وتواريخ الاستحقاق.

امر العمل	وصف امر العمل	المواصفات الفنية	الجهة الطالبة	تاريخ الاستحقاق (يوم من تاريخ فتح امر العمل)
J1	تأهيل حزمة مبادل حراري U-Tube	٤٤٢ أنبوب، ١٤ حاجز، قطر الحاجز ٨٤٥,٥ ملم، السمك ١٠ ملم، سمك الصفيحة ٧٢ ملم، قطر الصفيحة ٩١٥ ملم.	شركة مصافي الشمال	١٢٠
J2	تصنيع حزمة مبادل حراري عائم Floating	٣٦٥ أنبوب، ٢٦ حاجز، قطر الحاجز ١١٠٠ ملم، السمك ٧ ملم، سمك الصفيحة ٣٤ ملم، قطر الصفيحة ١٠٢٥ ملم.	الشركة العربية لكيمياويات المنظفات	٣٥
J3	تأهيل حزمة مبادل حراري	٩٩٤ أنبوب، ٢٠ حاجز، قطر الحاجز ١٢٤١ ملم، السمك ٧ ملم، سمك الصفيحة ٨٤ ملم، قطر الصفيحة ١٣٠٣ ملم.	شركة مصافي الجنوب	١٣٥
J4	تصنيع حزمة مبادل حراري عائم Floating	١٤٨ أنبوب، ٥٤ حاجز، قطر الحاجز ٩٣٠ ملم، السمك ٧ ملم، سمك الصفيحة ٥٠ ملم، قطر الصفيحة ٩٢٥ ملم.	شركة غاز الشمال	٢١٠
J5	تأهيل حزمة مبادل حراري ثابت Fixed	١٧٦ أنبوب، ٧ حاجز، قطر الحاجز ٦٢٢ ملم، السمك ١٢ ملم، سمك الصفيحة ٩٦ ملم، قطر الصفيحة ٦٢٨ ملم.	شركة مصافي الجنوب	٥٢

جدول (٣): الماكائن المستخدمة لمعالجة عمليات اوامر العمل و اوقات المعالجة.

رمز الماكينة	الماكينة					اوقات المعالجة الفعلية (يوم)
	J5	J4	J3	J2	J1	
M1	١	١	-	١	-	جهاز العصف الرملي
M2	-	-	٣	-	٢	منشار شريطي
M3	٧	-	٦	-	٦	ماكينة اخراج الاعقاب
M4	١	١	-	١	-	ماكينة المسر لقطع صفيحة الانابيب
M5	-	٣	٤	٢	٣	ماكينة قطع الحواجز (البفلات)
M6	-	٣	-	٢	-	مخرطة لتصفية القطر الخارجي للصفحة
M7	٢	٦	٨	٤	٦	ماكينة خراطة الحواجز
M8	-	٤	-	٣	-	مثقب مبرمج NOVESA لنتقيب الصفائح
M9	-	٤	-	٢	-	مثقب شعاعي
M10	-	٢	٢	١	٢	جهاز رايمر للتنعيم
M11	١	٢	٢	١	٢	مثقب لعمل اخاديد التثبيت (Groove)
M12	٥	١٢	٨	٥	٦	مثقب مبرمج TNC لنتقيب الحواجز
M13	٢	٣	٢	٢	٢	مخرطة لفصال القضبان الرابطة
M14	-	-	-	١	٣	جهاز حني الانابيب
M15	٤	١	٢	١	٣	جهاز سحب الانابيب
M16	٤	٢	٦	٢	٢	جهاز توسيع الانابيب
M17	١	٢	٢	١	١	ماكينة لحام + فرن تسخين اسلاك اللحام
M18	١	١	١	١	١	جهاز قطع الانابيب (لقطع الزيادة بالطول)
M19	١	٢	١	٢	١	رولة تدوير لتجميع الهيكل

جدول (٤): العمليات الخاصة بكل امر عمل والمكانن المتخصصة واوقات المعالجة.

اوقات المعالجة (يوم)					العمليات
J5	J4	J3	J2	J1	
1\m1	1\m1	3\m2	1\m1	2\m*2	Operation 1
7\m3	1\m4	6\m3	1\m4	6\m3	Operation 2
1\m4	3\m5	4\m5	2\m5	3\m5	Operation 3
2\m7	3\m6	8\m7	2\m6	6\m7	Operation 4
1\m11	6\m7	2\m10	4\m7	2\m10	Operation 5
5\m12	4\m8	2\m11	3\m8	2\m11	Operation 6
2\m13	4\m9	8\m12	2\m9	6\m12	Operation 7
4\m15	2\m10	2\m13	1\m10	2\m13	Operation 8
4\m16	2\m11	2\m15	1\m11	3\m14	Operation 9
1\m17	12\m12	6\m16	5\m12	3\m15	Operation 10
1\m18	3\m13	2\m17	2\m13	2\m16	Operation 11
1\m19	1\m15	1\m18	1\m14	1\m17	Operation 12
	2\m16	1\m19	1\m15	1\m18	Operation 13
	2\m17		2\m16	1\m19	Operation 14
	1\m18		1\m17		Operation 15
	2\m19		1\m18		Operation 16
			2\m19		Operation 17
30	49	47	32	40	محتوى العمل (WC)

يتضح من الجدول (٥) افضلية تطبيق قاعدة EDD على قاعدة FCFS في توليد الجدولة الاولية لاوامر العمل الخمسة الخاصة بالمصنع من حيث اجمالي ازمنا الاكمال والتدفق، واجمالي زمن التأخير لاوامر العمل.

جدول (٥) : التتابع الامثل وازمنة الاكمال والمعالجة والتدفق والتأخير على وفق الجدولة الاولية للمصنع.

زمن التأخير (يوم)	تاريخ الاستحقاق (يوم من تاريخ فتح امر العمل)	زمن التدفق (يوم)	زمن المعالجة (يوم)	وقت الاكمال الفعلي	امر العمل	قاعدة التتابع
--	١٢٠	٤٠	٤٠	٤٥	Job١	FCFS
٣٧	٣٥	٧٢	٣٢	٣٢	Job٢	
--	١٩٥	١١٩	٤٧	٧١	Job٣	
--	٢١٠	١٦٨	٤٩	٦٠	Job٤	
١٤٦	٥٢	١٩٨	٣٠	٥١	Job٥	
١٨٣		٥٩٧	١٩٨			المجموع
--	٣٥	٣٢	٣٢	٤٧	Job٢	EDD
١٠	٥٢	٦٢	٣٠	٣٤	Job٥	
--	١٢٠	١٠٢	٤٠	٦٨	Job١	
١٤	١٣٥	١٤٩	٤٧	٥٧	Job٣	
--	٢١٠	١٩٨	٤٩	٣١	Job٤	
٢٤		٥٤٣	١٩٨			المجموع

*يشير الحرف m الى الماكنة التي تؤدي عليها العملية. اي يشير m2 الى تنفيذ العملية على الماكنة الثانية وهكذا بالنسبة لباقي العمليات.

ثالثاً: تطبيق تقنيات اعادة جدولة العمليات في مصنع المبادلات الحرارية:

يهدف توضيح فلسفة وآلية عمل ومنافع تقنيات اعادة الجدولة ، تعنى هذه الفقرة بتطبيق تقنيات اعادة جدولة عمليات الانتاج في مصنع المبادلات الحرارية لتوليد جدولة جديدة معدلة في حالة ظهور احداث او اضطرابات معينة في ورش المصنع. لذا تتضمن هذه الفقرة محورين اساسين: الاول يختص باعادة الجدولة بتطبيق تقنية التحويل الى اليمين RSRT بسبب بساطتها ووضوحها بالنسبة للمجدول والمشغل. فضلا عن كونها التقنية الاكثر شيوعاً لتحديث الجدولة في حالة عطل المكائن. في حين يختص المحور الثاني بتطبيق تقنية اعادة الجدولة بتعديل تواريخ الاستحقاق DDMRT في حالة عطل المكائن، ووصول اوامر عمل جديدة طارئة، لما اثبتته هذه التقنية من فاعلية كبيرة بتقديمها لامثل جدولة قياساً بالتقنيات الاخرى من حيث تخفيض اجمالي وقت التأخير

Total Tardiness

١-٣ اجراءات تطبيق تقنية اعادة الجدولة بتحويل الوقت الى اليمين RSRT:

١-١-٣ تطبيق تقنية RSRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة FCFS.

الخطوة الاولى في هذه التقنية هي تحديد العملية التي تتأثر بشكل مباشر بالاضطراب. ففي حالة حدوث عطل بالماكينة (M12) في اليوم الخامس للجدولة ، واعتمادا على الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة FCFS ، فان العملية (١٠) لامر العمل (J2) تعتبر عملية متأثرة مباشرة بالعطل. وكخطوة ثانية، بعد حدوث العطل، وبعد اختبار وتحقق الشرط في المعادلة (١) كما في ادناه ، يمكن نقل تلك العملية فقط الى اليمين من دون ان تؤثر على العمليات الاخرى وان تبدأ عند الزمن $(t_{kBD} + Rt_k)$. وتوضيح ازمنا اكمال اوامر العمل في الجدول (٦) .

$$t_{BDk} + Rt_k + P_{ijk} \leq \min (St_{i(j+1)k}, St_{j suc,k})$$

$$t_{BD12} + Rt_{12} + P_{2,10} k_{12} \leq \min (St_{2(11)} k_{13}, St_{7, J1, k_{12}})$$

$$5 + 12 + 5 \leq \min (22 , 26)$$

$$22 \leq 22$$

يمكن حساب مقياس كفاءة الجدولة المعدلة حسب المعادلة (٣) ادناه، اذ يقدر زمن الاكمال الكلي للجدولة المعدلة MS_n واعادة جدولة اوامر العمل على وفق تقنية RSRT بـ (٧٣) يوماً باستخدام برمجية WinQSB . وقد أحتسب سابقاً وقت الاكمال الكلي للجدولة الاولية MS_o على وفق قاعدة FCFS ويساوي (٧١) يوماً ، اذ تشير هذه النسبة الى فاعلية التصحيح او التعديل في الجدولة المعدلة عن الجدولة الاولية على الرغم من زيادة زمن التصنيع من (71) يوماً الى (٧٣) يوماً .

$$EM = \left\{ 1 - (MS_n - MS_o) \setminus MS_o \right\} * 100 \quad \dots (3)$$

$$EM = \left\{ 1 - (73 - 71) \setminus 71 \right\} * 100 = \% 97.2$$

٣-١-٢ تطبيق تقنية RSRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD.

في حالة اعتمادا الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD، وعند حدوث عطل بالماكنة (M12) في اليوم الخامس للجدولة، فان العملية (٦) لامر العمل (J5) تعتبر عملية متأثرة مباشرة بالعطل، وتؤثر على العمليات الاخرى بشكل واضح. فبعد حدوث العطل، واختبار الشرط (١) كما في ادناه ، يمكن تحويل جميع العمليات الى اليمين على خارطة جاننت . وان تبدأ العملية (٦) لامر العمل (J5) عند الزمن $(t_{kBD} + Rt_k)$. ومن الواضح في الجدول (٦) ان زمن الاكمال الكلي لم يزداد بموجب هذه التقنية وهو يساوي (٦٨) يوم. الا ان ازمنا اكمال بعض اوامر العمل ازدادت بسبب تحريك جميع عملياتها المتأثرة بعطل الماكنة الى اليمين على خارطة جاننت.

$$t_{BD12} + Rt_{12} + P_{5,6} k_{12} \leq \min (St_{5(7)} k_{13} , St_{10, J2, k_{12}})$$

$$5 + 12 + 5 \leq \min (18, 18)$$

$$22 \leq 18$$

تحتسب كفاءة الجدولة المعدلة على وفق المعادلة (٣) كما في ادناه، التي تشير الى ارتفاع كفاءة الجدولة الى ١٠٠% عند تطبيق تقنية RSRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD وهي افضل منه عند تطبيق التقنية نفسها لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق FCFS.

$$EM = \left\{ 1 - (68 - 68) \backslash 68 \right\} * 100 = \%100$$

يوضح الجدول (٦) النتائج الامثل وازمنة الاكمال الفعلية والمعالجة والتدفق والتأخير، بتطبيق تقنية RSRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدتي FCFS و EDD .

جدول (٦) : النتائج الامثل وازمنة المعالجة والاكمال والتدفق والتأخير على وفق تقنية RSRT

قاعدة التتابع	امر العمل	وقت الاكمال (يوم)	زمن المعالجة (يوم)	زمن التدفق Flow Time (يوم)	تاريخ الاستحقاق (يوم من تاريخ فتح امر العمل)	زمن التأخير (يوم)
FCFS	Job١	٤٥	٤٠	٤٠	120	--
	Job٢	٣٢	٣٢	٧٢	٣٥	٣٧
	Job٣	٧٣	٤٧	١١٩	١٣٥	--
	Job٤	٦٠	٤٩	١٦٨	٢١٠	--
	Job٥	٥١	٣٠	١٩٨	٥٢	١٤٦
المجموع			١٩٨	٥٩٧		١٨٣
EDD	Job٢	٣٢	٣٢	٣٢	٣٥	--
	Job٥	٤٠	٣٠	٦٢	٥٢	١٠
	Job١	٤٧	٤٠	١٠٢	١٢٠	--
	Job٣	٦٨	٤٧	١٤٩	١٣٥	١٤
	Job4	٥٧	٤٩	١٩٨	٢١٠	--
المجموع			١٩٨	٥٤٣		٢٤

٣-٢ إجراءات تطبيق تقنية تعديل تواريخ الاستحقاق DDMRT :

لغرض تنفيذ إجراءات هذه التقنية، تعد أولاً جداول لاحتساب زمن التأخير التراكمي. فبعد تحديد التتابع الامثل لاوامر العمل على وفق قاعدة جدولة معينة ، اذا كان تاريخ الاستحقاق لامر عمل معين ابعد من زمن المعالجة (محتوى للعمل) ، عندها يكون زمن التأخير يساوي صفرًا. ولامر العمل التالي (الثاني مثلاً)، يمثل زمن التأخير التراكمي الفرق بين اجمالي ازمدة معالجة امر العمل الحالي (الثاني) واوامر العمل السابقة (الاول)، وبين تاريخ الاستحقاق لامر العمل الحالي. وهكذا . وسيتم دراسة تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق كلاً من قاعدتي FCFS و EDD كما في ادناه:

٣-٢-١ تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة FCFS.

يمثل الجدول (٧) حساب زمن التأخير التراكمي لاوامر عمل مصنع المبادلات على وفق الجدولة الاولية المعدة باعتماد قاعدة FCFS.

جدول (٧): زمن التأخير التراكمي للجدولة الاولية لاوامر عمل مصنع المبادلات على وفق FCFS.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٥	J٤	J٣	J٢	J١	اسم امر العمل
٣٠	٤٩	٤٧	٣٢	٤٠	زمن المعالجة
٥٢	٢١٠	١٣٥	٣٥	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
198-52=146	168<210=0	119<135=0	72-35=37	٠	زمن التأخير التراكمي
١٨٣ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

يتضح من الجدول اعلاه، ان اجمالي زمن التأخير التراكمي للجدولة الاولية على وفق قاعدة FCFS يساوي (١٨٣) يوم. واعتماداً على نتائج هذه الجدولة يمكن اختيار تتابع فرعي ضمن الجدولة الاولية (مكون من امر عمل واحد او مجموعة جزئية من اوامر العمل المتتالية)، الذي يبدأ عند امر العمل J بالموقع k من التتابع الاصلي . وتعديل الجدولة الاولية عن طريق تبديل موقع التتابع الفرعي (او امر العمل) ضمن الجدولة مكان امر عمل اخر. ولغرض توضيح فلسفة هذه التقنية ومنافع تطبيقها، تركز هذه الفقرة على دراسة كلاً من حالتَي عطل الماكائن وادراج امر عمل جديد وكما في ادناه:

أ) الحالة الاولى / عطل الماكائن :

تكمن المشكلة الاساسية بعد حدوث عطل في ماكينة من ماكائن المصنع في زيادة ازمدة التأخير في انجاز الاعمال. وزيادة اجمالي ازمدة التأخير التراكمية للتتابع المحدد على وفق قاعدة الاسبقية. واعتماداً على الجدول (٧) اعلاه ، بما ان امر العمل (J5) آخر عمل ضمن الجدولة، لذا يُختار امر العمل الثاني (J٢) كونه ذو ثاني اكبر زمن تاخير تراكمي للتبديل بينه وبين امر عمل تالي له. وبما ان ازمدة معالجة اوامر العمل (J3) و (J4) اكبر من زمن معالجة امر العمل (J٢). لذا تختبر التقنية التبديل بينه وبين امر العمل (J5). وباختبار الشرط في المعادلة

(٢) كما في ادناه، يمكن تغيير تتابع اوامر العمل وتعديل ازمنا استحقاق التتابع الاولي، وحساب اجمالي زمن التأخير التراكمي كما في الجدول (٨).

$$T_2 + Pt_5 < T_2 + T_5$$

$$37 + 30 < 37 + 146$$

$$67 < 183$$

جدول (٨): زمن التأخير التراكمي للدورة الاولى لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT للجدولة الاولية المعدة على وفق FCFS في حالة عطل المكان.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٢	J٤	J٣	J٥	J١	اسم امر العمل
٣٢	٤٩	٤٧	٣٠	٤٠	زمن المعالجة
٣٥	٢١٠	١٣٥	٥٢	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
١٦٣	٠	٠	١٨	٠	زمن التأخير التراكمي
١٨١ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

من الواضح انه لم يحدث تخفيض كبير ولموس في اجمالي زمن التأخير التراكمي للتتابع الجديد، لذا تختبر التقنية دورات اخرى لتعديل الجدولة وتحسين الحل. يمكن اختيار الدورة الثالثة والاخيرة في الجدول (٩) كافضل جدولة معدلة وتتوقف التقنية عند هذا الحد. بهذا يمكن من خلال تطبيق تقنية DDMRT تقليص اجمالي زمن التأخير التراكمي لاوامر العمل في مصنع المبادلات الحرارية من (١٨٣) يوم الى (٩٩) يوم. اي بنسبة تقليص حوالي (٤٦ %):

جدول (٩): زمن التأخير التراكمي للدورة الثالثة لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT للجدولة الاولية المعدة على وفق FCFS في حالة عطل المكان.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٤	J٣	J٢	J٥	J١	اسم امر العمل
٤٩	٤٧	٣٢	٣٠	٤٠	زمن المعالجة
٢١٠	١٣٥	٣٥	٥٢	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
٠	١٤	٦٧	١٨	٠	زمن التأخير التراكمي
٩٩ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

تقاس كفاءة الجدولة المعدلة كما في ادناه، اذ يقدر زمن الاكمال الكلي للجدولة المعدلة بـ (٦٩) يوماً وكما هو موضح في الجدول (٢٠). ووقت الاكمال الكلي للجدولة الاولية على وفق نفس القاعدة، (٧١) يوماً :

$$EM = \left\{ 1 - (69 - 71) \setminus 71 \right\} * 100 = \% 102$$

تشير هذه النسبة الى تحسن فاعلية التصحيح او التعديل في الجدولة المعدلة عن الجدولة الاولية بشكل كبير. من ناحية اخرى، ادى استخدام تقنية DDMRT الى تخفيض زمن التصنيع من (71) يوماً للجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT الى (٦٩) يوماً للجدولة الاولية، وعن زمن التصنيع في حالة اعتماد تقنية RSRT الذي وصل الى (٧٣) يوماً.

ب) الحالة الثانية / ادراج اوامر عمل جديدة.

تكمن المشكلة الاساسية في حالة وصول اوامر عمل عاجلة الى الورشة في اتخاذ القرار المناسب حول تحديد التتابع الامثل الجديد واعادة جدولة اوامر العمل السابقة التي قد جُذلت فعلاً على وفق قاعدة معينة. وهذا ما سيؤدي بالتأكيد الى ايقاف او تأجيل امر عمل حالي، او اكثر، للبدء بتنفيذ امر العمل الجديد. ففي حالة وصول امر عمل سادس الى الورشة، الموضحة عملياته في الجدول (١٠) يمكن تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية التي أُعدت على وفق قاعدة FCFS بتنظيم الجدول (١١) لحساب زمن التأخير التراكمي بعد ادراج امر العمل الجديد كأخر امر عمل ضمن الجدولة الاولية.

جدول (١٠): ازمنا معالجة عمليات امر العمل الجديد (J6).

الملاحظات	زمن المعالجة / (يوم) / الماكنة	العمليات
تتضمن هذه العملية تفكيك وفصل القشرة وسحب حزمة الانابيب.	14\m2	Operation 1
تتضمن هذه العملية سحب الانابيب من الحزمة باستخدام معدة خاصة (Jug Hummer) جنباً الى جنب مع جهاز اخراج الاعقاب	26\m3	Operation 2
تبدأ هذه العملية (ارسال اجزاء المبادل الى ماكنة العصف الرملي لتنظيف سطح الاجزاء (القشرة والحزمة)) بعد عملية التفكيك	8\m1	Operation 3
	30\m14	Operation 4
تتضمن هذه العملية ادخال الانابيب في الحزمة وقطع الزيادة في الطول. وتتم قبل عملية توسيع الانابيب	18\m18	Operation 5
	12\m16	Operation 6
	3\m17	Operation 7
	12\m19	Operation 8
	١٢٣	محتوى العمل

جدول (١١): زمن التأخير التراكمي للجدولة المعدلة الفعلية

في حالة ادراج امر عمل جديد للجدولة الاولية المعدلة على وفق FCFS.

٦	٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J6	J٥	J٤	J٣	J٢	J١	اسم امر العمل
١٢٣	٣٠	٤٩	٤٧	٣٢	٤٠	زمن المعالجة
١٦٠	٥٢	٢١٠	١٣٥	٣٥	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
١٦١	١٤٦	٠	٠	٣٧	٠	زمن التأخير التراكمي
٣٤٤ يوم						اجمالي زمن التأخير التراكمي

يتضح من الجدول اعلاه ان اجمالي زمن التأخير التراكمي للجدولة على وفق قاعدة FCFS بعد ادراج امر عمل جديد يساوي (٣٤٤) يوم. وبما ان امر العمل الجديد (J6) آخر عمل ضمن الجدولة، يتم اختيار امر العمل الخامس (J5) كأول امر عمل ضمن التتابع المقترح حسب اجراءات تقنية DDMRT ، على الرغم من ان زمن التأخير التراكمي لامر العمل (J6) اكبر من زمن التأخير التراكمي لامر العمل (J5). ويختبر الشرط (٢) لتبديل موقع امر العمل (J5) مكان امر العمل (J6) كما في ادناه:

$$T_5 + Pt_6 < T_5 + T_6$$

$$146 + 123 < 146 + 161$$

$$269 < 307$$

بما ان الشرط متحقق، لذا يجري التبديل بين امري العمل الخامس والسادس، وتعديل ازمنا استحقاق تتابع اوامر العمل ، وحساب زمن التأخير التراكمي وجمالي زمن التأخير التراكمي للجدولة المعدلة كما في الجدول (١٢).

جدول (١٣): زمن التأخير التراكمي للدورة الاولى لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT للجدولة الاولى المعدلة على وفق قاعدة FCFS في حالة ادراج امر عمل جديد.

٦	٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J5	J6	J٤	J٣	J٢	J١	اسم امر العمل
٣٠	١٢٣	٤٩	٤٧	٣٢	٤٠	زمن المعالجة
٥٢	١٦٠	٢١٠	١٣٥	٣٥	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
٢٦٩	١٣١	٠	٠	٣٧	٠	زمن التأخير التراكمي
٤٣٧ يوم						اجمالي زمن التأخير التراكمي

على الرغم من تحقق الشرط، الا ان التتابع المختار غير ملائم. والسبب وراء ذلك هو الزيادة الواضحة في اجمالي زمن التأخر التراكمي بدلاً من انخفاضها. لذا ، تحسناً للحل، تختبر التقنية ترتيب آخر لتخفيض اجمالي زمن التأخير التراكمي. وبعد عدة دورات للحل امكن تقليص زمن التأخير التراكمي بنسبة ٢٥% تقريباً ليكون الترتيب المختار كما في الجدول (١٣) ادناه، وازمنة الاكمال والتدفق والتاخير في الجدول (٢١).

جدول (١٣): زمن التأخير التراكمي للدورة الاخيرة لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT للجدولة الاولى المعدلة على وفق قاعدة FCFS في حالة ادراج امر عمل جديد.

٦	٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J6	J٤	J٣	J٢	J٥	J١	اسم امر العمل
١٢٣	٤٩	٤٧	٣٢	٣٠	٤٠	زمن المعالجة
١٦٠	٢١٠	١٣٥	٣٥	٥٢	١٢٠	تاريخ الاستحقاق
١٦١	٠	١٤	٦٧	١٨	٠	زمن التأخير التراكمي
٢٦٠ يوم						اجمالي زمن التأخير التراكمي

يمكن حساب كفاءة الجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT في حالة ادراج امر عمل جديد كالآتي:

$$EM = \left\{ 1 - \frac{(129 - 71)}{71} \right\} * 100 = 18.3\%$$

من الجدير بالذكر هنا ان ظهور قيمة مؤشر كفاءة الجدولة منخفضة لا يشير الى انخفاضها فعلاً وانما ظهرت القيمة منخفضة بسبب اعتماد زمن الاكمال الكلي للجدولة الاصلية (٧١) اي قبل ادراج امر العمل الجديد.

٣-٢-٢ تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD.

في حالة اعتماداً التابع الامثل لاوامر العمل على وفق قاعدة EDD ، يمكن حساب زمن التأخير التراكمي كما في جدول (١٤):

جدول (١٤): زمن التأخير التراكمي للجدولة الاولية لاوامر عمل مصنع المبادلات على وفق EDD.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٤	J٣	J١	J٥	J٢	اسم امر العمل
٤٩	٤٧	٤٠	٣٠	٣٢	زمن المعالجة
٢١٠	١٣٥	١٢٠	٥٢	٣٥	تاريخ الاستحقاق
٠	١٤	٠	١٠	٠	زمن التأخير التراكمي
٢٤ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

يتضح من الجدولين (٧) و (١٤)، ان اجمالي زمن التأخير التراكمي للجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD (٢٤ يوم) افضل منه لقاعدة FCFS (١٨٣ يوم). يعود السبب وراء ذلك الى امثلية القاعدة الاولية قياساً بالثانية من حيث ترتيب اوامر العمل على وفق اقرب تاريخ استحقاق، وبالتالي ما يترتب عليه من انخفاض كبير في اجمالي زمن التأخير التراكمي وفقاً لذلك.

يمكن تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD كما في ادناه:

(أ) الحالة الاولية / عطل الماكائن :

لغرض تطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة على وفق قاعدة EDD في حالة عطل الماكينة (١٢) ، يتم البدء اولاً بأمر العمل (J٣) (اذ يمثل امر العمل ذو اكبر زمن تأخير تراكمي) في الجدول (١٤). لذا تختبر التقنية امكانية التبديل بينه وبين امر العمل التالي (J٤). ولكون وقت المعالجة لامر العمل الاخير اكبر من وقت المعالجة لامر العمل (J٣) ، وامر العمل (J٤) مبكر (اي زمن التأخير التراكمي له يساوي صفر)، تنتقل التقنية الى الخلف الى امر العمل (J١) . وحيث انه مبكر ايضاً (اي زمن التأخير التراكمي له يساوي صفر)، تنتقل التقنية الى امر العمل التالي له وهو (J٥). ولغرض اجراء التبديل يختبر الشرط (٢) كالآتي:

$$T_3 + Pt_5 < T_3 + T_5$$

$$14 + 30 < 14 + 10$$

$$44 < 24$$

نظراً لعدم تحقق الشرط، يختبر تتابع فرعي مكون من أمرين عمل (2 = r) هما (J١ ، J٥) ، حيث ان ازمنا المعالجة لكل امر منهما اقل منه لامر العمل (J٣). وبعد اختبار الشرط، يمكن التبديل بين امر العمل (J٣) والتتابع الفرعي المكون من امرين العمل (J١ ، J٥)، وتكون الجدولة المعدلة كما في الجدول (١٥).

جدول (١٥): زمن التأخير التراكمي للدورة الاولى لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة المعدة على وفق EDD في حالة عطل المكنائن.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٤	J١	J٥	J٣	J٢	اسم امر العمل
٤٩	٤٠	٣٠	٤٧	٣٢	زمن المعالجة
٢١٠	١٢٠	٥٢	١٣٥	٣٥	تاريخ الاستحقاق
٠	٢٩	٥٧	٠	٠	زمن التأخير التراكمي
٨٦ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

وحيث ان اجمالي زمن التأخير التراكمي لاوامر العمل على وفق هذا الترتيب (٨٦ يوم) اكثر منه للجدولة الاولى (٢٤ يوم) وبفارق كبير ،لذا لا تُعتمد الجدولة المعدلة على وفق هذه الدورة. ومرة اخرى ، كدورة ثانية، تختبر التقنية اختيار امر عمل جديد. وبما ان اختيار امر العمل الثالث غير مجدي ، لذا تنتقل التقنية الى اختيار امر عمل اخر يكون ذو ثاني اكبر زمن تاخير تراكمي بالاعتماد على الجدول (١٥)، وهو امر العمل (J٥) الذي يكون زمن التأخير التراكمي له يساوي (١٠) يوم. وحيث انه متبوعاً باوامر عمل ذوات ازمنة معالجة اكبر، الا انه مسبقاً بامر عمل ذو زمن معالجة اكبر بفارق قليل. لذا تختبر التقنية التبديل بين امري العمل (J٥) و (J٢) كما في الجدول (١٦).

جدول (١٦): زمن التأخير التراكمي للدورة الثانية لاعادة جدولة اوامر عمل مصنع المبادلات على وفق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة المعدة على وفق EDD في حالة عطل المكنائن.

٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٤	J٣	J١	J٢	J٥	اسم امر العمل
٤٩	٤٧	٤٠	٣٢	٣٠	زمن المعالجة
٢١٠	١٣٥	١٢٠	٣٥	٥٢	تاريخ الاستحقاق
٠	١٤	٠	٢٧	٠	زمن التأخير التراكمي
٤١ يوم					اجمالي زمن التأخير التراكمي

وهو يمثل افضل زمن تأخير تراكمي بعد اختبار دورات عدة. لذا يعتمد هذا الترتيب ويكون وقت الاكمال لاوامر العمل على وفق تقنية DDMRT (٦٩) يوماً وكما موضح في الجدول (٢٠) . كما يمكن حساب كفاءة الجدولة كالاتي:

$$EM = \left\{ 1 - (69 - 68) \setminus 68 \right\} * 100 = \% 98.53$$

يشير مقياس كفاءة الجدولة الى ان كفاءة الجدولة المعدلة بتطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولى المعدة على وفق قاعدة EDD في حالة عطل المكنائن افضل من كفاءة الجدولة المعدلة على وفق التقنية نفسها في حالة اعتماد قاعدة FCFS في توليد الجدولة الاولى . والسبب وراء ذلك ان الجدولة الاولى المعدة على وفق قاعدة EDD تعطي حل افضل من الجدولة المعدة على وفق قاعدة FCFS .

ب) الحالة الثانية / ادراج اوامر عمل جديدة.

لتطبيق تقنية DDMRT لتعديل الجدولة الاولية المعدة باعتماد قاعدة EDD يحتسب زمن التأخير التراكمي لاوامر العمل بعد تعديل الجدولة وادراج امر العمل الجديد كأمر عمل ضمن الجدولة الاولية كما في الجدول (١٧) ادناه:

جدول (١٧): زمن التأخير التراكمي للجدولة المعدلة في حالة ادراج امر عمل جديد على وفق EDD.

٦	٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٦	J٤	J٣	J1	J٥	J٢	اسم امر العمل
١٢٣	٤٩	٤٧	٤٠	٣٠	٣٢	زمن المعالجة
١٦٠	٢١٠	١٣٥	١٢٠	٥٢	٣٥	تاريخ الاستحقاق
١٦١	٠	١٤	٠	١٠	٠	زمن التأخير التراكمي
١٨٥ يوم						اجمالي زمن التأخير التراكمي

يتضح من الجدول اعلاه ان اجمالي زمن التأخير التراكمي للجدولة المعدلة على وفق قاعدة EDD بعد ادراج امر عمل جديد يساوي (١٨٥) يوم. وحيث ان امر العمل الجديد ذو اطول زمن معالجة، فهو لم يؤدي الى زيادة اجمالي زمن التأخير التراكمي للنتابع الاولي بشكل واضح وكبير في الجدول اعلاه. الا ان الزيادة في اجمالي زمن التأخير التراكمي ستظهر جليةً في الدورات اللاحقة للبحث عن الجدولة الامثل. وبتطبيق نفس الاجراءات السابقة، يوضح الجدول (١٨) زمن التأخير التراكمي للدورة الاخيرة لتعديل الجدولة في حالة ادراج امر عمل جديد .

جدول(١٨): زمن التأخير التراكمي للدورة الاخيرة لتعديل الجدولة على وفق EDD\DDMRT في حالة ادراج امر عمل جديد.

٦	٥	٤	٣	٢	١	تسلسل امر العمل
J٦	J٣	J٤	J1	J٥	J٢	اسم امر العمل
١٢٣	٤٧	٤٩	٤٠	٣٠	٣٢	زمن المعالجة
١٦٠	١٣٥	٢١٠	١٢٠	٥٢	٣٥	تاريخ الاستحقاق
١٦١	٦٣	٠	٠	١٠	٠	زمن التأخير التراكمي
٢٣٤ يوم						اجمالي زمن التأخير التراكمي

اما كفاءة الجدولة فتحسب على وفق المعادلة كالاتي:

$$EM = \left\{ 1 - (130 - 68) \backslash 68 \right\} * 100 = 9\%$$

يوضح الجدول (١٩) النتابع الامثل لاوامر العمل قيد البحث، وازمنة الاكمال والمعالجة والتدفق والتأخير بتطبيق تقنية DDMRT في حالة عطل المكائن، والجدول (٢٠) النتابع الامثل لاوامر العمل، وازمنة المعالجة والتدفق والتأخير بتطبيق تقنية DDMRT في حالة ادراج امر عمل جديد .

جدول (١٩) : التتابع الامثل وازمنة المعالجة والتدفق والتأخير على وفق تقنية DDMRT

لجدولة اوامر العمل عينة الدراسة في حالة عطل المكنان .

قاعدة التتابع	امر العمل	وقت الاكمال (يوم)	زمن المعالجة (يوم)	زمن التدفق (يوم)	تاريخ الاستحقاق (يوم من تاريخ فتح امر العمل)	زمن التأخير (يوم)
FCFS	Job١	٤٨	٤٠	٤٠	١٢٠	--
	Job٥	٣٥	٣٠	٧٠	٥٢	١٨
	Job٢	٣٨	٣٢	١٠٢	٣٥	٦٧
	Job٣	٦٩	٤٧	١٤٩	١٣٥	١٤
	Job٤	٥٨	٤٩	١٩٨	٢١٠	--
المجموع			١٩٨	٥٥٩		٩٩
EDD	Job٥	٣٥	٣٠	٣٠	٥٢	--
	Job٢	٣٨	٣٢	٦٢	٣٥	٢٧
	Job١	٤٨	٤٠	١٠٢	١٢٠	--
	Job٣	٦٩	٤٧	١٤٩	١٣٥	١٤
	Job4	٥٨	٤٩	١٩٨	٢١٠	--
المجموع			١٩٨	٥٤١		٤١

جدول (٢٠) : التتابع الامثل وازمنة المعالجة والتدفق والتأخير على وفق تقنية DDMRT

لجدولة اوامر العمل في حالة ادراج امر عمل جديد.

قاعدة التتابع	امر العمل	وقت الاكمال (يوم)	زمن المعالجة (يوم)	زمن التدفق (يوم)	تاريخ الاستحقاق (يوم من تاريخ فتح امر العمل)	زمن التأخير (يوم)
FCFS	Job١	٤٨	٤٠	٤٠	١٢٠	--
	Job٥	٣٢	٣٠	٧٠	٥٢	١٨
	Job٢	٣٥	٣٢	١٠٢	٣٥	٦٧
	Job٣	٦٩	٤٧	١٤٩	١٣٥	١٤
	Job٤	٥٨	٤٩	١٩٨	٢١٠	--
	Job٦	١٢٩	١٢٣	٣٢١	١٦٠	١٦١
المجموع			٣٢١	٨٨٠		٢٦٠
EDD	Job٢	٣٤	٣٢	٣٢	٣٥	--
	Job٥	٣١	٣٠	٦٢	٥٢	١٠
	Job١	٤٧	٤٠	١٠٢	١٢٠	--
	Job٤	٥٧	٤٩	١٥١	٢١٠	--
	Job3	٦٨	٤٧	١٩٨	١٣٥	٦٣
	Job6	١٣٠	١٢٣	٣٢١	١٦٠	١٦١
المجموع			٣٢١	٨٦٦		٢٣٤

يعرض الجدول (٢١) خلاصة بمقاييس وقت الاكمال ، وكفاءة كلا من الجدولة الاولية والجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT ، وتقنية RSRT ، في حالتني عطل المكائن ، وادراج امر عمل جديد.

جدول (٢١): ازمنا الاكمال وكفاءة الجدولة الاولية والمعدلة على وفق تقنيات اعادة الجدولة .

EDD		FCFS		التفاصيل	نوع الاضطراب
كفاءة الجدولة EM	وقت الاكمال (يوم)	كفاءة الجدولة EM	وقت الاكمال (يوم)		
---	٦٨	---	٧١	الجدولة الاولية	
%١٠٠	٦٨	% ٩٧,٢	٧٣	الجدولة المعدلة على وفق تقنية RSRT	عطل المكائن
% ٩٨,٥٣	٧٠	% ١٠٢	٦٩	الجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT	
% ٩	١٣٠	% 18.3	١٢٩	الجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT	ادراج امر عمل جديد

يتضح من الجدول اعلاه، ان تطبيق تقنية RSRT ملائم لحالات عطل المكائن . فقد امكن الحفاظ على زمن الاكمال الكلي لاوامر العمل (٦٨) يوم دون زيادة في حالة اعتماد الجدولة الاولية المعدلة على وفق قاعدة EDD وتحسن كفاءة الجدولة المعدلة الى %١٠٠ مقارنة مع تطبيق التقنية نفسها لتعديل الجدولة الاولية المعدلة على وفق قاعدة FCFS. حيث ازاد زمن الاكمال الكلي من (٧١) يوماً للجدولة الاولية الى (٧٣) يوماً للجدولة المعدلة. يعود السبب وراء ذلك الى ما تقدمه قاعدة EDD من نتائج افضل من قاعدة FCFS من حيث ازمنا الاكمال لاعتمادها على ترتيب اوامر العمل على وفق اقرب تاريخ استحقاق. من ناحية اخرى، اشارت النتائج الى افضلية تطبيق تقنية DDMRT في حالة تعديل الجدولة الاولية المعدلة على وفق قاعدة FCFS في حالة عطل المكائن. اذ انخفض زمن الاكمال الكلي الى (٦٩) يوماً وهو اقل من زمن الاكمال للجدولة الاولية نفسها. وهذا ما يشير الى كفاءة التقنية العالية بسبب اعتمادها اجراءات ترتيب اوامر العمل على وفق ازمنا التأخير التراكمية، ومن ثم تعديل الترتيب وتعديل تواريخ استحقاق التتابع المحدد. من ناحية اخرى، اشارت النتائج الى تحسن كفاءة الجدولة المعدلة على وفق تقنية DDMRT في حالة ادراج اوامر عمل جديدة عاجلة الى الجدولة في حالة اعتماد الجدولة الاولية المعدلة على وفق قاعدة FCFS ايضاً. والمبرر وراء ذلك هو الاجراءات الحسابية للتقنية التي تبحث عن ترتيب اوامر العمل بعد اضافة امر عمل جديد بتتابع جديد يقلص من زمن التأخير التراكمي للجدولة. كما اوضحت الجداول (٥) و (٦) و (١٩) و (٢٠) ان ازمنا التدفق وازمنا التأخير قد انخفضت بشكل واضح باعتماد تقنية DDMRT في حالة عطل المكائن من (٥٩٧) يوماً الى (٥٥٩) يوماً لازمنا التدفق. ومن (١٨٣) يوماً الى (٩٩) يوماً بالنسبة لازمنا التأخير على الرغم من زيادة عدد اوامر العمل المتأخرة من أمري عمل الى ثلاثة اوامر عمل في حالة عطل المكائن.

المبحث الرابع / الاستنتاجات والتوصيات

٤-١ الاستنتاجات: توصل البحث الى عدد من الاستنتاجات المهمة وهي كما في ادناه:

٤-١-١ الاستنتاجات المعرفية:

١. اعادة الجدولة هي عملية اتخاذ القرارات في الاوقات الحرجة، استجابة للاحداث والاضطرابات غير المتوقعة سواء الداخلية منها او الخارجية خلال تنفيذ العمليات المخططة والمجدولة بهدف تعديل وتصحيح الجدولة الحالية.
٢. تتطلب استجابة وتكيف الشركات للبيئات المتغيرة، وحاجات السوق المتغيرة، ضرورة اعتماد اساليب وتقنيات يمكن من خلالها تعديل او تصحيح الجدولة الحالية وفقاً للتغيرات الحاصلة، او إعادة توليد الجدولة من جديد لضمان عدم توقف النظام الانتاجي من جهة، والمحافظة على مركزها التنافسي في السوق من جهة ثانية .

٤-١-٢ الاستنتاجات المتعلقة بواقع مصنع المبادلات الحرارية:

١. يمثل مصنع المبادلات الحرارية ورشة عمل تتبع استراتيجية الانتاج حسب الطلب، اذ تختلف كل طلبية ترد الى المصنع عن الاخرى. وتكمن الاختلافات في نوع امر العمل (تصنيع او اعادة تأهيل المبادل الحراري او بعض اجزائه)، ومواصفات المنتج ، ونوع المواد الاولية المستخدمة، وحجم الطلبية، وغيرها.
٢. تواجه المصنع مشكلة اساسية تتمثل بتأخير تنفيذ بعض اوامر العمل عن تواريخ الاستحقاق المتفق عليها. والسبب الرئيس وراء ذلك هو حدوث بعض الاضطرابات التي تواجه الشركة خلال تنفيذ الجدولة، اهمها العطلات التي تصيب بعض المكائن الرئيسة في المصنع التي تمر عليها اغلب اوامر العمل، او وصول اوامر عمل جديدة عاجلة ، او شحة المواد الاولية او غيرها من الاحداث التي تمثل جميعها المعضلات والاسباب الحقيقية وراء عدم قدرة الشركة على الايفاء بمواعيد التسليم. وهذا ما يحمل الشركة تكاليف باهضة تتمثل بكلف الغرامات التأخيرية التي تقدر بمئات الالاف من الدولارات الامريكية، والتي من المؤكد ان تزداد كلما ازدادت عدد ايام التأخير عن تاريخ الاستحقاق.
٣. تبين من المعايشة الميدانية العشوائية في اعادة جدولة عمليات الانتاج في المصنع في حالة ظهور اي اضطراب، والافتقار الى الاساليب العلمية في ذلك. وان اسلوب التعامل مع الاضطرابات الحاصلة لا يتعدى كونه مسألة اجتهادية تستند الى التراكم المعرفي لمدير المصنع او مسؤول الشعبة، التي تتماشى مع متطلبات العمل، واهمية امر العمل من حيث وزن الجهة الطالبة، ونوع امر العمل فيما اذا كان تصنيع او اعادة تأهيل مبادل حراري، وطبيعة عملياته، والمدة اللازمة لانجاز كل عملية من عملياته.

٤-١-٣ الاستنتاجات الخاصة بتطبيق تقنيات اعادة الجدولة:

١. تتناسب تقنيات اعادة الجدولة المستخدمة في هذا البحث بيئة ورش العمل بسبب الطبيعة الديناميكية لهذه الورش. إذ تتصف هذه الورش بتدفق مرن والصعوبات التي تواجه اعداد وتنفيذ الجدولة بسبب تغير المسالك التكنولوجية لأوامر العمل ووصول أوامر العمل بشكل مستمر . فضلاً عن المكائن والمعدات ذات الاغراض العامة التي يؤدي عطل احداها على الاقل الى توقف عمليات الانتاج .
٢. أظهرت نتائج تنفيذ تقنيات اعادة الجدولة أداءً جيداً من حيث تخفيض زمن الاكمال الكلي لاوامر العمل ، واجمالي ازمة التدفق، واجمالي ازمة التأخير التراكمي، وعدد اوامر العمل المتأخرة بعد تعديل الجدولة الاولية كاستجابة لحدوث تغير او اضطراب في نظام التصنيع.
٣. اظهرت معطيات تنفيذ تقنيات اعادة الجدولة ان هناك تبايناً في النتائج على وفق قاعدة FCFS عنه في حالة قاعدة EDD. وهذا ما يشير الى اهمية اختيار القاعدة المناسبة في توليد الجدولة الاولية. ويجب ان يكون اختيار تلك القاعدة على اساس علمي بما يتلائم ونوع بيئة الانتاج.
٤. تلائم تقنية RSRT تعديل الجدولة في حالة عطل المكائن بعد ان اثبتت كفاءتها في تقليص زمن اكمال اوامر العمل. وهي تقنية بسيطة وواضحة يسهل فهمها من قبل المجدول والمشغل لاعتمادها على خرائط جانث المرئية التي تعرض بوضوح ازمة انجاز العمليات الخاصة بكل امر عمل، وفترات الانقطاع او التوقف بسبب العطلات التي تصيب المكائن، وطول فترة التصليح.
٥. اثبتت نتائج تطبيق تقنية DDMRT ملائمتها لحالات مختلفة من التغيرات التي من الممكن ان تحدث في بيئة لتصنيع. فقد تحسنت كفاءة الجدولة على وفق هذه التقنية فضلاً عن تخفيض عدد اوامر العمل المتأخرة وازمنة التأخير التراكمية ، بعد اختبار تطبيقها لحالتي عطل المكائن وادراج امر عمل جديد.

٤-٢ التوصيات :

١. تنمية الوعي والمعرفة الفنية والإدارية للقيادات العليا والتنفيذية سواء في الشركة المبحوثة بشكل خاص، او في اغلب الشركات الصناعية والانتاجية العراقية بشكل عام، بأهمية ومنافع تبني الاستراتيجيات والسياسات والتقنيات الحديثة في ادارة العمليات وعلى وجه الخصوص ما يختص منها باعادة جدولة العمليات لا سيما وانه قد تم تلمس ضعفاً وتراجعاً كبيرين باهتمامات الشركة بمثل تلك الاستراتيجيات والمفاهيم والاساليب وعلى المستويين الاداري والفني.
٢. أن تولي الشركة اهتماماً حقيقياً بتطوير قواعد جدولة العمليات والابتعاد عن الاعتماد على قاعدة واحدة او أكثر من قاعدة من دون التركيز على اختيار القاعدة الملائمة لطبيعة وظروف الورشة. والسعي نحو اتباع قواعد جدولة امثل مثل قاعدة SIROP ، او CR .
٣. قيام الشركة بتطبيق تقنيات اعادة الجدولة نظراً للنتائج المتحققة عنها، واسهاما بتقليص ازمة الاكمال والتأخير لاوامر العمل وبالتالي تحقيق وفورات في كلف الغرامة التي تتحملها الشركة.

المصادر:**الكتب العربية:**

(١) محسن، عبد الكريم والنجار، صباح مجيد، ادارة الانتاج والعمليات، دار وائل للنشر، الطبعة الثالثة، عمان – الاردن، ٢٠٠٩.

الاطاريح العربية:

(١) سليم، مها كامل جواد، تصميم وتطبيق المدخل التفاعلي لجدولة ورش التدفق باستعمال المحاكاة: دراسة حالة في مطبعة رقم (١)/الشركة العامة لانتاج المستلزمات التربوية، كلية الادارة والاقتصاد / جامعة بغداد، ٢٠٠٧.

الكتب الاجنبية:

- 1) Meredith, Jack R & Shafer, Scott M. "Operations Management , John Wiley & Sons, Inc. New York, 2011.
- 2) Stevenson, William , J., Operation Management, 9th , Ed McGraw – Hall , NewYork , 2007.
- 3) Suwa, Haruhiko & Sandoh, Hiroaki, Online Scheduling in Manufacturing: A Cumulative Delay Approach, Springer , London, 2013 .
- 4) Weies, Thomas, Global Optimization Algorithms: Theory and Application, 2nd. Ed. www.it-weise.de, 2009.
- 5) Zweben Monte & Fox Mark S., Intelligent Scheduling, Morgan Kaufmann Publishers, U.S.A., 1994.

البحوث و الدوريات الاجنبية:

- 1) Chan Weng & Wee Tan A Multi-Heuristic GA for Schedule Repair in Precast Plant Production, American Association for Artificial Intelligence, 2003, PP. 236-244.
- 2) Davis W. and Jones A., a real-time Production Scheduler for a Stochastic Manufacturing Environment, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 41, No.16, 2003, PP.59-64.
- 3) Duenas Alejandra & Petrovic Dobrila , An Approach to Predictive-Proactive Scheduling of Parallel Machines Subject to Disruptions, Mathematical & Information Science Journal, 12(4) , 2006, PP. 74-91.
- 4) Huaccho Huatuco et. al., Comparing the Impact of Different Rescheduling Strategies on Entropic-Related Complexity, Working Paper Series, Leeds University Business School, Vol. 2, No. 4, Leeds, U.K. , 2007, PP. 2-14.
- 5) Katrajini Ketrina, Vallada Eva, & Ruiz Ruben, Flow Shop Rescheduling Under Different Types of Disruptions, Optimization Technologies Journal, July 2010, Spain, PP.3-7.
- 6) Kulcsar Gyula & Erdely Ferenc , A New Approach to Solve Multi-Objective Scheduling and Rescheduling Tasks, Information Engineering Researches, Hungary, 2008, PP. 4-10.
- 7) Kunnathur Anand S. , Sundararaghavan P. S., & Sampath Sriram , Dynamic Rescheduling Using A Simulation – Based Expert System, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 15, Iss 2, 2004, PP. 199-212.

- 8) Larson Rune & Pranzo Marco, A Framework for Dynamic Rescheduling Problems, Technical report of Research Group, April 2012, PP.16-43.
- 9) Nyirenda JC, A Rescheduling Heuristic for the Single Machine Total Tardiness Problem, Statistical Science Journal, Vol. 22, No. 1 , 2006, PP. 77-87.
- 10) Rahija A. S. , Reddy K. R. , & Subramaniam V., A Generic Mechanism for Repairing Job Shop Schedules, National University of Singapore, 2003, PP. 1-6.
- 11) Sabuncuglu, Ihsan & Goren, Selcuk, Hedging Production Schedules Against Uncertainty in Manufacturing Environment with A Review of Robustness and Stability Research, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 22, No. 2, February 2009, Ankara-Turkey, PP. 138-157.
- 12) Stoop Paul P. M. & Wiers Vincent C., S., The Complexity of Scheduling in Practice, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 16 Iss. 10 , 1996, PP.37-53.
- 13) Sun Wei He-Di Hua, Scheduling Flexible Job Shop Problem Subject to Machine Breakdown with Rout Changing and Right Shift Strategies, International Journal of Manufacturing Technology, Vol.10 ,2012 , PP.1-13.
- 14) Vieira Guilherme E, Herrmann, J.W., & Lin, E., Rescheduling manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies, and Methods, Journal of Scheduling, no. 6, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 2003, PP.38-64.
- 15) Wang Bing & Xi Yu-Geng, Rolling Partial Rescheduling with Dual Objectives for Single Machine Subject to Disruptions, National Natural Science Foundation of China, Vol. 32, No. 5 , September 2006, PP. 667-673.
- 16) Zhang Liping, Li Xinyu, Gao Liang, Yang Yang & Jiang Ping, Predictive \ Reactive Scheduling with Uncertain Disruptions, Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering, Huazhong University of Science & Technology, 2012, PP.260-265.