الجدولة الفعّالة للعمليات الانتاجية

" دراسة تطبيقية على مصنع الغـد للمنتجات الحديدية / مصراته "

أ. ســالم ســليم زويتـــه
كلية العلوم التقنية/ مصراته
قسم الهندسة المدنية
Salem.54415@yahoo.com

د. القنيدي حسين الصغير
كلية الهندسة / جامعة مصراته
قسم الهندسة الصناعية والتصنيع
e.elsaghier@eng.misuratau.edu.ly

الملخص— **إن احتدام المنافسة بين الشركات المتفوقة اكسبت الجدولة الفعّالة أهمية متزايدة من خلال تحقيق التتابع الأفضل للعمليات الإنتاجية وتصنيع وتسويق المنتجات في الوقت المناسب وصولاً الى تعزيز العلاقات مع الزبائن والمجهزين ومواجهة تهديدات المنافسين.**
تهدف هذه الورقة الى التعرف على مشكلة الجدولة في الآلة الواحدة (الخط الإنتاجي الواحد) ودراسة مدى تأثير جدولة الإنتاج في سرعة انجاز الطلبيات ومحاولة الوصول الى انسيابية العمليات الإنتاجية مما يحقق إنجازها في الوقت الأفضل، وتحين كفاءة خدمة العملاء والإسراع في تلبية طلبياتهم وذلك بتقليص الزمن الكلي للإنتاج من خلال استخدام بعض الخوارزميات والتي تعطي نتائج سريعة وقريبة من الحل النموذجي في جدولة الإنتاج.
وتأكيداً على أهمية الموضوع، تم تطبيق الجدولة بشكل عملي على مصنع الغد للمنتجات الحديدية الواقع بالمنطقة الصناعية بمصراته، والذي يقوم بإنتاج الشبك الممدد. وقد جمعت البيانات والمعلومات من سجلات المصنع، إضافة إلى المقابلات الشخصية لفريق العمل بالمصنع ومتابعة العملية الإنتاجية على أرض الواقع.
اخيراً تم عرض الاستنتاجات المتحصل عليها من خلال هذه الورقة البحثية، والتوصيات الخاصة بها.

الكلمات المفتاحية: **جدولة الانتاج، تقليص الزمن، الآلة الواحدة، الخوارزميات.**

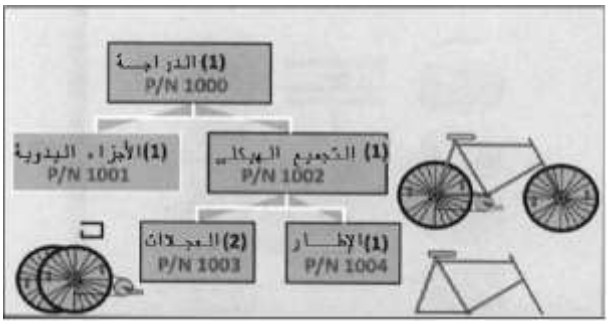
1. المقدمة

نستطيع تعريف جدولة الإنتاج الرئيسية بأنها "تعين الاعمال على مراكز الإنتاج باعتماد الاسبقيات المرغوبة لأوامر العمل وتحديد أوقات التشغيل الخاصة بها والتتابع الذي يتم بموجبه إنجاز العمل- أي أنها خطة تصنيع وليست خطة مبيعات - والاعتماد في إعدادها على إجمالي الطلبات على موارد المصنع المتضمنة مبيعات المنتج النهائي على أن تكون ممكنة التصنيع من خلال توفر طاقة تصنيعها وقدرة المجهزين على تلبية احتياجات التصنيع، وتخطيط وسائل الإنتاج من رأس المال والمواد الأولية والأيدي العاملة والمعدات لغرض تسهيل تنفيذها" [1]

استلمت الورقة بالكامل في 28 اكتوبر 2019 وروجعت في 11 نوفمبر 2019
وقبلت للنشر في 21 ديسمبر 2019

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 22 ديسمبر 2019

وتتجلى أهمية جدولة الإنتاج الرئيسية بكونها المدخل الأول والمهم لنظام الإنتاج المتكامل إذ على أساسها يقوم نظام تخطيط الاحتياجات من المواد الصناعية، وذلك باحتساب المكونات التركيبية الفنية لإنتاج المنتج النهائي بالكمية المطلوبة وبالوقت المتفق عليه من خلال الجدولة وباعتماد المهل الزمنية التجميعية لغرض إدامة تواريخ الاستحقاق لأوامر الشراء وأوامر الإنتاج. والمقصود بالمهل الزمنية التجميعية بأنها إجمالي الزمن اللازم لإنجاز المنتج النهائي ابتداء من الحصول على المواد الأولية ومروراً بالعمليات التصنيعية المختلفة لحين إتمام المنتج. و(الشكل 1) نموذج للمكونات التركيبية الفنية لمنتج دراجة هوائية. [2]



شكل 1. المكونات التركيبية الفنية للمنتج

إن جدولة الإنتاج ما هي في الواقع إلا آخر عملية من عمليات تخطيط الإنتاج والتي تبدأ بشكل متدرج من الأعم والأشمل إلى الأكثر تحديداً وتفصيلاً، فتخطيط الإنتاج يبدأ بتخطيط طويل الأجل أو ما يدعى بتخطيط الطاقة، الذي تشتق منه الخطط متوسطة الأجل أو ما يسمى بالتخطيط الإجمالي للإنتاج، وبعد ذلك تتم تجزئة الخطة متوسطة الأجل تمهيداً للبدء في عملية الجدولة كما هو واضحٌ في (الشكل 2) [3].

شكل 2. تتابع عمليات تخطيط الإنتاج

تعد جدولة العمليات ذات أهمية استراتيجية، حيث أصبح التنافس على أساس الوقت أكثر انتشاراً في بيئة الأعمال، وحيث أن التنافس بين الشركات أخذ يقوم على معايير السرعة في الإنتاج، مما قد يجعل من الجدولة التي تستند على أساس التسليم في الوقت المحدد إحدى العوامل الحاسمة في تحقيق النجاح الاستراتيجي للشركات في عالم الأعمال، بالإضافة إلى تحقيق الفوائد التالية:

1. ترجمة الخطة الإجمالية الى منتجات نهائية محددة.
2. تقديم وتقييم عدة جداول بديلة للعمليات الواجب القيام بها.
3. تحديد المستلزمات من المواد للعملية الإنتاجية.
4. ضبط خدمة الزبائن ومستويات المخزون، وكذلك التكاليف المباشرة للعمليات بشكل اقتصادى.
5. تأمين استخدام الطاقة الإنتاجية المتاحة بشكل اقتصادى.
6. التقليل في أوقات توقف الآلة والتنسيق في تدفق الأعمال وسرعة الاستجابة للزبائن.
7. تقليل وقت الاكتظاظ داخل المصنع أو مركز الخدمة، وتقليل وقت تأخر الأعمال.

وتجدر الإشارة إلى أنه في حالة عدم فعالية الجدولة فإنها تؤدى إلى مشاكل عديدة في المصنع منها:

أ. التأخير في بعض الأعمال المختلفة في النظام وبالتالي زيادة وقت الانتظار للزبائن.
ب. هدر في استخدام الموارد نتيجة الاستخدام المنخفض لها وزيادة الوقت المطلوب للتصنيع.
ت. الفوضى في ترتيب وتنظيم الأعمال وزيادة مستويات المخزون [4] .

2. أهداف الجدولة

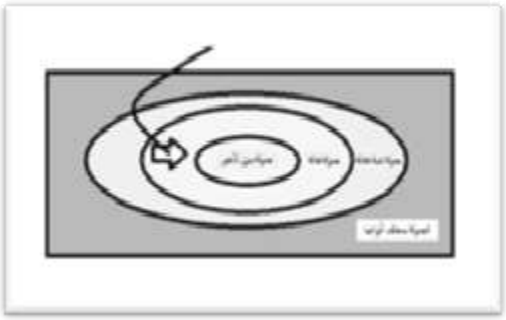
إن الهدف الأساس للجدولة يتمثل في تحديد التوقيتات اللازمة لإنجاز كل عملية من العمليات الإنتاجية، وذلك في إطار الخطة الإجمالية (المتوسطة الأجل) والخطة طويلة الأجل للإنتاج، وهذا بطبيعة الحال سيؤدى الى خفض التكاليف وتلبية الطلبيات في مواعيدها وبالتالي تحسين الربحية والقوة التنافسية للمنظمة، ويمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- تعمل الجدولة على خفض وقت التحضير والإعداد لموارد العمليات مما يؤدى إلى توفير طاقة إضافية للمنظمة، نتيجة تقصير دورة التشغيل.
- تسعى الجدولة من خلال التحكم في التوقيتات والطاقة المتاحة، إلى خفض تكاليف الإنتاج وذلك بالإسراع فى تلبية طلبات الزبون وتخفيض حجم المخزون وأيضاً خفض كمية المخلفات والعوادم.
- تهدف الجدولة إلى خفض الطاقات المهدورة في الموارد سواء البشرية أو المادية مما يؤدى إلى حسن استغلال الإمكانيات والموارد والطاقات، الأمر الذي سيزيد من ربحية المنظمة.
- من الأهداف المباشرة للجدولة هو سعيها لتسليم الطلبيات أو طرح السلع أو الخدمات بالسوق في المواعيد المتفق عليها مما يحول دون تحمل المنظمة لخسائر إضافية.

أ. تصنيف الجدولة

إن تصنيف الجدولة يعتمد أساساً على مسألة التأخير والتوقف (Non-pre-emptive)، وبشكل مختصر. هناك الجدولة الخالية من التأخير (Non-delay) والجدولة الفعالة ((Active والشبة فعالة (Semi active).

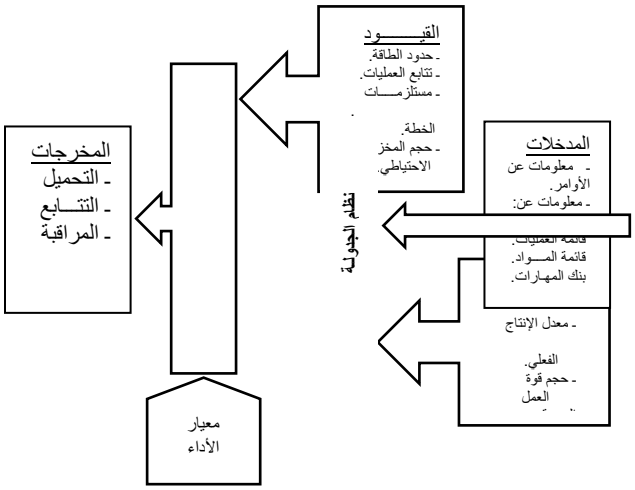
ونجد أن الجدولة النموذجية تقع في فئة الجدولة الفعالة كما في (الشكل 3).



شكل 3. أصناف الجدولة

من الطبيعي أن ينظر للجدولة على أنها نظام وهذا النظام يتكون من العناصر التالية:

المدخلات، المخرجات، القيود المفروضة على النظام، متغيرات القرار للنظام، ومعيار الأداء لهذا النظام، كما هو موضحٌ في (الشكل 4).



شكل 4. نظام الجدولة المتكامل

ب. جدولة الأعمال على الآلة الواحدة

يتمحور الحديث في هذا الورقة على جدولة الأعمال على الآلة الواحدة والتي يطلق عليها المورد المنفرد Single Resource. والمقصود بالمورد المنفرد أو الوحيد هو وجود العديد من الأعمال المختلفة في أزمنة تصنيع متباينة والتي يراد انجازها على الآلة الواحدة في الخط الإنتاجي.[7]

وهذا يتطلب تحديده بصورة دقيقة ومتتالية في الجدولة، بالإضافة الى تحديد الكيفية التي بموجبها يتم استخدام الآلة خلال الفترة الزمنية المبرمجة. ففي الكثير من الحالات وخاصة عندما يتكون مثلاً طابور Queueمن الأعمال أو الطلبيات التي تنظر دورها في العملية الإنتاجية مع المعرفة المسبقة بعدم وجود أية فرصة قد تسبب في ضياع زمن تشغيل الآلة أو توقفها عن العمل، ففي مثل هذه الحالة يتوجب تحديد مسار التتابع (أو التسلسل) المطلوب وتنظيم تدفق الأعمال بالشكل الذي يحقق السرعة والدقة في الانجاز. [8] .

جـ. أسباب اختيار الآلة الواحدة

1. الآلة الواحدة هي الأساس للآلات المتعددة.
2. تمتاز الآلة الواحدة بتنوع العمليات.
3. مشاكل الجدولة المعقدة تستطيع تفكيكها وإيجاد حلها بواسطة الآلة الواحدة.

د. قواعد ترتيب (تتابع) الأعمال

تُعد قواعد ترتيب الأعمال مرشداً ودليلاً عملياً تجريبياً مبسطاً لتحديد تتابع انجاز الأعمال في مراكز الإنتاج والخدمة وذلك بهدف تخفيض تكاليف المخزون، أو تخفيض تكاليف إعداد الآلات أو تخفيض المهل الزمنية (الانتظار) بين الآلات، ويتحقق هذا من خلال ما يلي:

- تخفيض تكاليف عدد الآلات والمخزون قيد الصنع وأوقات الأعطال والتوقفات بالنسبة للوقت الكلي للعمليات.
- تخفيض متوسط عدد الأعمال المنتظرة، ومتوسط وقت إتمام الطلبات والانحراف المعياري لوقت إتمام الطلب.

وتطبق هذه القواعد في حالة توفر آلة واحدة لمعالجة مجموعة من الأعمال لها أوقات معالجة معلومة، وتواريخ استحقاق محددة ومعروفة سلفاً، وأنها غير مرتبطة بنوع تتابع معين لتحديد أسبقيات معالجتها [4].

والهدف من قواعد تتابع الأعمال هو تحديد أسبقياتها وتشمل:

أولاً: القواعد الساكنة Static Rules وتضم ما يلي:

1 . قاعدة الوارد أولاً، يصنع أولاً: First Come، First Served(FCFS)

بموجب هذه القاعدة، فإن الأعمال التي تصل أولاً إلى محطة العمل يجرى تنفيذها أولاً، وتستخدم هذه القاعدة في توزيع الأعمال عندما تكون العدالة هي العامل الحاسم في خدمة الزبائن.

2. قاعدة موعد الاستحقاق المبكر: Earliest due date rule (EDD)حيث بموجب هذه القاعدة يتم توزيع العمل وفقاً لتاريخ الاستحقاق الأبكر أولاً إلى محطة العمل ثم التاريخ الذي يليه وهكذا. [5].

وتفيد هذه القاعدة الشركات التي تتبنى هدف التسليم كأسبقية تنافسية أو أنَّ أعمالها تكون ذات حساسية شديدة في مواعيد تسليمها ويكون أدائها جديًا لتخفيض وقت التدفق والمخزون تحت التشغيل وزيادة مستوى استخدام المورد.

3 . قاعدة البحث العشوائي: Randomized Search Rule (RS)

بموجب هذه القاعدة يتم انتقاء الأعمال عشوائياً وتكرر هذه العملية عدة مرات ويحسب الزمن الكلي في كل مرة ويتم اختيار الزمن الأقل وسيتم تفصيلها لاحقاً.

4 . قاعدة أقل وقت ضائع: Shortest Idle time rule (SIT)

يتم حساب الوقت الضائع وفق الصيغة التالية:

اقل وقت ضائع = وقت الاستحقاق بالأيام -الأعمال المتبقية بالأيام

5. قاعدة الوقت الأقصر للمعالجة: Shorting Processing Time (SPT)

يتم ترتيب الأعمال حسب وقت التصنيع أو المعالجة الأقصر أولاً ثم الذي يليه. إنَّ استخدام هذه القاعدة يؤدى إلى تقليل متوسط التدفق وحجم المخزون تحت التشغيل وعدد الأعمال المتأخرة من تواريخ وقت الاستحقاق وتعظيم استخدام المورد، ويمكن أن يسبب استخدام هذه القاعدة إلى ارتفاع حجم إجمالي المخزون لمحاولتها انجاز الأعمال قبل مواعيد التسليم المتفق عليها.

6. قاعدة الوقت الأطول للمعالجة Longest processing Time (LPT)

حسب هذه القاعدة يتم ترتيب الأعمال حسب وقت التصنيع أو المعالجة الأطول لها بحيث يأتي العمل ذي الوقت الأطول للمعالجة أولاً ثم الأقل وهكذا..، واستخدام هذه القاعدة يؤدى إلى أنَّ كثيراً من الأعمال الأقصر معالجة ربما يتأخر إكمالها بعد تواريخ استحقاقها لاستحواذ العمل الأطول على الأسبقية الأولى في المعالجة.

وهي تعتمد على المنطق الداعي إلى أن الأعمال التي تستغرق وقتاً أطول تكون عادةً ذا قيمة أكبر من غيرها للشركة الصناعية .[5]

7. قاعدة الخوارزمية النهمة Greedy algorithm (GA)

بموجب هذه القاعدة يتم ترتيب الأعمال حسب أولوية تاريخ الاستحقاق أولاً، ثم زمن الضبط الأقل للآلة ثانياً. وهكذا يتم التوفيق بين هذين المتغيرين وصولاً لأقل زمن جدولة [9].

* المقارنة بين قواعد الأسبقية

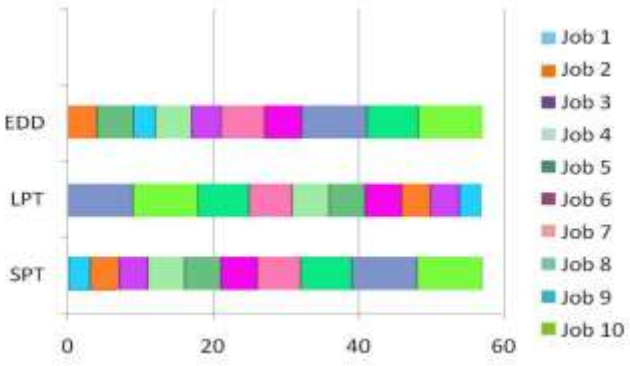
تتم المقارنة بين قواعد الأسبقية واختيار القاعدة التي تحقق الهدف المطلوب من الجدولة، ثم رسم ذلك بيانياً كما في (الشكل 5) واختيار الترتيب الملائم استنادًا على معايير محددة وهي:

1. متوسط فترة التدفق = مجموع فترات تدفق الأعمال / عدد الأعمال.
2. متوسط عدد الأعمال الموجودة في الورشة = مجموع فترات تدفق الأعمال / مجموع الوقت اللازم لإنجاز الأعمال.
3: متوسط التأخير عن المدة المحددة للتسليم = مجموع فترات تأخير الأعمال / عدد الأعمال.

حيث أنَّ:

فترة التأخير = فترة التدفق – وقت الاستحقاق

فترة التدفق = فترة الانتظار+ وقت العملية



شكل 5. مقارنة قواعد تتابع العمليات

ثانياً: القواعد الديناميكية Dynamic Rules. وتضم الكثير من القواعد ونذكر منها قاعدة النسبة الحرجة – Critical Ration (CR) هي مؤشر رقمي يُحسب بالمعادلة التالية:

النسبة الحرجة = وقت الاستحقاق / الوقت اللازم لإنجاز العمل

وحيث أنَّ: وقت الاستحقاق = تاريخ الاستحقاق – تاريخ اليوم

تُعد هذه القاعدة فعالة في التخطيط قصير الأجل وفي الرقابة لأنها مؤشر لدرجة الأمر الإنتاجي، وذلك وفقاً للمستويات الثلاث التالية:

1. النسبة الحرجة < 1 وهذا يعنى أنَّ الأمر الإنتاجي متأخر ويجب التعجيل في انجازه.
2. النسبة الحرجة = 1 وهذا يعنى أن الأمر الإنتاجي يسير حسب الخطة (الجدولة).
3. النسبة الحرجة > 1 وهذا يعنى أنَّ الأمر الإنتاجي متقدم ويمكن التباطؤ في انجازه بمقدار الوقت الفائض.

إنَّ قاعدة النسبة الحرجة هي قاعدة ديناميكية لأن قيمتها لكل عمل تتغير، ويتم تحديثها باستمرار بتغيير عدد الأعمال المتبقية، وبتغيير وقت الاستحقاق لغاية تاريخ استحقاق تلك الأعمال.
ويتم جدولة العمل الذي يكون له أقل وقت فائض متبقي أولاً، حيث الفائض معطى بالمعادلة التالية:

الفائض = (تاريخ وقت الاستحقاق – تاريخ اليوم) / وقت العملية

وبعد الانتهاء من توزيع جميع الأعمال المقررة في جدولة الإنتاج، يتوجب على الإدارة السيطرة على فعاليات الإنتاج المختلفة والتأكد من أن تنفيذ الجدولة يسير بصورة ناجحة ومرضية في اتجاه تحقيق أهداف جدولة الإنتاج.
وتعتبر أسبقيات جدولة الأعمال القاعدة الأساس للسيطرة على الفعاليات الإنتاجية والخدمية للإنتاج في الورش ومحطات العمل المختلفة. والمقصود بنظام السيطرة على العملية (أو الفعالية) الإنتاجية هنا هو ذلك النظام الذي يستخدم في تهيئة بيانات الانتفاع من التسهيلات والطاقات المتاحة في الورش والمحطات الإنتاجية بالإضافة إلى الملفات (قاعدة البيانات) الحاوية على بيانات التصنيع والفعاليات المختلفة الأخرى في سبيل الحصول وبسهولة على المعلومات المناسبة عن الفعاليات والأنشطة داخل الشركة الإنتاجية وكذلك الزبائن والمنافسين والسوق وغيرها[6].

وتأسيساً على ذلك، فان الوظائف الرئيسية للسيطرة على فعاليات الإنتاج المختلفة هي:

1. تخصيص الأسبقيات ذات العلاقة بالإنتاج لتلبية طلبيات الزبائن.
2. تامين المعلومات المتعلقة بالمخزون وخاصة مخزون المواد تحت الصنع.
3. تمرير المعلومات المتعلقة بطلبيات الورش الإنتاجية والخدمية إلى الإدارة.
4. تامين البيانات المتعلقة بالمخرجات الفعلية لغرض السيطرة على الطاقات الإنتاجية.
5. تامين الكمية (أو الكميات) بواسطة تخصيص طلبيات الإنتاج على المواد تحت الصنع لغرض محاسبة التكلفة.
6. تأمين معيار قياس الكفاءة والانتفاع وكذلك الإنتاجية بالنسبة لقوة العمل والآلات ووسائل الإنتاج المختلفة.[5]

3. توصيف الحالة الدراسية في المصنع

تلجأ إدارة المصنع إلى اعتماد سياسة التخزين كوسيلة لمواجهة تنوع الطلب على منتجات المصنع وكذلك لمعالجة بطأ العمليات الإنتاجية مما نجم عنه تراكم المخزون بكميات كبيرة لمعظم المنتجات، وتكبد المصنع جراء ذلك تكاليف إضافية متمثلة في تكاليف الاحتفاظ بالمخزون وهدر في الموارد المتاحة. وتُعد هذه الاستراتيجية مناسبة عموماً للشركات التي تواجه طلباً موسمياً على منتجاتها فتحتفظ بالمخزون تحسباً لارتفاع الطلب بشكل كبير فترة الموسم. أما المنتجات غير الموسمية والتي نحن بصددها فلا حاجة لها بهذه السياسة.
وتأسيساً على ذلك فالمصنع في حاجة لوسائل لمعالجة هذا الأمر، والجدير بالذكر أن هذه الوسائل لا نقصد بها القرارات المتعلقة بشراء آلات أخرى تعمل على الإسراع في إنجاز الطلب عوضاً عن التخزين، ولكن الهدف هو كيفية خفض الزمن الكلي للإنتاج وتسليم الطلبيات في تاريخ استحقاقها في ظل ثبات المعطيات المتوفرة.
هذا الوضع دفع لإيجاد حلول لهذه المسألة واستخدام الخوارزمية النهمة والتي أعطت نتائج مميزة مقارنة بالخوارزميات الأخرى في جدولة الإنتاج تأخذ في الاعتبار تاريخ استحقاق الطلبيات وكذلك طول زمن الجدولة الأقصر، وذلك تحقيقاً للموائمة بين السرعة في تلبية طلبية الزبون وعدم تأخرها والتقليل من كمية المخزون.
وقد احتاج لجدولة إنتاج المصنع معرفة زمن تصنيع كل منتجات الشبك المدد الخاص بالخط الإنتاجي الأول وقد أدرجت في (الجدول 1).

جدول 1. أزمنة تصنيع المنتجات (pj)

n	4	5	8	10	3062	2862	2562	2062
pj	0.17	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03

n	1562	2028	1528	2028	1528	# 20	# 15	2076
pj	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03

حيث: **n** أصناف المنتجات & **pj** زمن تصنيع المنتجات (بالساعة).

وتم كذلك تحديد الزمن اللازم لضبط الآلة لكل منتج مع سابقه من المنتجات الأخرى في (الجدول 2) اللاحق.

جدول 2. الأزمنة اللازمة لضبط الآلة لكل المنتجات (بالساعة)

	4	5	8	10	3062	2862	2562	2062	1562	2028	1528	# 20	# 15	2076
4	0	0.04	0.04	0.05	6	6	6	6	6	4	4	6	6	6
5	0.04	0	0.04	0.04	6	6	6	6	6	4	4	6	6	6
8	0.04	0.04	0	0.04	6	6	6	6	6	4	4	6	6	6
10	0.05	0.05	0.04	0	6	6	6	6	6	4	4	6	6	6
3062	6	6	6	6	0	4	4	4	4	6	6	6	6	6
2862	6	6	6	6	5	0	4	4	4	6	6	6	6	6
2562	6	6	6	6	6	6	0	4	4	6	6	6	6	6
2062	6	6	6	6	6	6	6	0	4	6	6	6	6	6
1562	6	6	6	6	6	6	6	4	0	6	6	6	6	6
2028	4	4	4	4	6	6	6	6	6	0	4	6	6	6
1528	4	4	4	4	6	6	6	6	6	4	0	6	6	6
# 20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	4	6
# 15	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	0	6
2076	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0

جدولة منتجات المصنع

قد وردت إلى مصنع الغد أربع طلبيات، كل طلبية لها بيانات خاصة تتضمن: **DS** أصناف المنتجات المطلوبة & **W*L** أبعاد المنتجات(ملم) & **Q**الكمية المطلوبة (القطعة) & **DD** تاريخ الاستحقاق(بالساعة). وهي متتالية حسب (الجداول 3، 4، 5، 6)

جدول 3. طلبية الزبون الأول

DS	628	628	3062	2562
W X L	1000×4000	1000×10000	1000×2000	1000×2000
Q	500	200	100	200
DD	120	192	360	528

جدول 4. طلبية الزبون الثاني

DS	628	628	2862	2062
W X L	1000×4000	1000×8000	1000×2000	1000×2000
Q	300	100	100	200
DD	360	144	480	528

جدول 5. طلبية الزبون الثالث

DS	628	2562	2062	3062
W X L	1000×4000	1000×2000	1000×2000	1000×2000
Q	400	200	200	100
DD	720	576	576	720

جدول 6. طلبية الزبون الرابع

DS	628	628	2028	2076
W X L	1000×5000	1000×10000	1000×2000	1000×2000
Q	200	100	300	100
DD	528	480	720	576

الحـــــــــــل:

أولاً / ترتيب المنتجات تصاعدياً حسب تاريخ استحقاقها (**EDD**) كما في) الجدول 7)، وتم استعمال الرمز(**J**) للدلالة على المنتج بدلاً من التصنيف الطويل له في (الجدول 1) .

جدول 7. ترتيب المنتجات حسب استحقاقها تصاعدياً

J	Pj	EDD	DS	W×L
1	85	120	628	1000×4000
2	3	144	628	1000×8000
3	10	192	628	1000×10000
4	3	360	3062	1000×2000
5	51	360	628	1000×4000
6	3	480	2862	1000×2000
7	5	480	628	1000×10000
8	6	528	2562	1000×2000
9	6	528	2062	1000×2000
10	6	528	628	1000×5000
11	6	576	2062	1000×2000
12	6	576	2562	1000×2000
13	3	576	2076	1000×2000
14	15	720	2028	1000×2000
15	3	720	3062	1000×2000
16	68	720	628	1000×4000

ثانياً / الخطوة 1: البدء بالمنتج الأول (**J1**) ووضعه في الصف الأول وتحديد زمن تصنيعه.

الخطوة 2: أخذ المنتج الثاني حسب تاريخ الاستحقاق وفق (الجدول 2) وترتيبه في صفين جدد قبل وبعد المنتج الأول وتحديد الزمن الكلي لضبط الآلة لكل صف، من خلال (الجدول 2) الخاص بالضبط، ثم انتقاء الزمن الكلي الأقل إن وجد من بين الصفين (**C max)** والتأكد من عدم التأخير في تاريخ الاستحقاق واعتماد هذا الترتيب. والاستمرار بهذه الآلية إلى حين إتمام كل المنتجات المدرجة في الطلبيات الأربعة المذكورة سابقاً والتوصل إلى التتابع النهائي لهذه

المنتجات وتحديد الزمن الكلي له كما موضح في الجداول (9.8) التاليـــة:

جدول 8. خطوات تتابع المنتجات وتحديد الزمن الكلي الأقل لها

1 J1 C max

85			85

2 J2 J1

3	0.04+85		88.04

J1 J2

85	0.04+3	√	88.04

3 J3 J1 J2 C max

10	0.05+85	0.04+3		98.09

J1 J3 J2

85	0.05+10	0.04+3		98.09

J1 J2 J3

85	0.04+3	0.04+10	√	98.08	

4 J4 J1 J2 J3 C max

3	6+85	0.04+3	0.04+10		107.08

J1 J4 J2 J3

85	6+3	6+3	0.04+10		113.04

J1 J2 J4 J3

85	0.04+3	6+3	6+10		113.04

J1 J2 J3 J4

85	0.04+3	0.04+10	6+3	√	107.08	

5 J5 J1 J2 J3 J4 C max

51	0+85	0.04+3	0.04+10	6+3		158.08

J1 J5 J2 J3 J4

85	0+51	0.04+3	0.04+10	6+3	√	158.08

J1 J2 J5 J3 J4

85	0.04+3	0.04+51	0.05+10	6+3		158.13

J1 J2 J3 J5 J4

85	0.04+3	0.04+10	0.05+51	6+3		158.13

J1 J2 J3 J4 J5

85	0.04+3	0.04+10	6+3	6+51		164.08

وهكذا نستمر في هذه الخطوات إلى نهاية المنتجات.

ثالثاً / الحصول على التتابع النهائي لكل المنتجات كما هو مدرج في (الجدول 9) ومعرفـــة الطول الكلـــي لهذا التتابـــع بالساعـــة (C max = 317.12 H).

جدول 9 التتابع النهائي للمنتجات

J1	J5	J2	J7	J3	J10	J14	J12
85	0+51	0.04+3	0.04+5	0+10	0.04+6	4+15	6+6

J8	J6	J4	J1	J15	J9	J11	J13	J16
0+6	6+3	4+3	85	0+3	6+6	0+6	6+3	6+68

C max
317.12

4. الاستنتاجات

1- **إن** عملية جدولة الإنتاج عملية معقدة وتتطلب تركيز كبير ووقت طويل وخاصة أنها فعالية ديناميكية تتغير باستمرار وتتم في المصنع يدوياً وبالاعتماد على الخبرة، للاعتقاد السائد بأنه لا يوجد ما يسهل عملية التخطيط آلياً بسبب التقلبات والمتغيرات العديدة التي تواجه هذه العملية.

2- إن استخدام الخوارزميات في جدولة الإنتاج يؤدي لتقليص الزمن الكلي للإنتاج وبالتالي تخفيض تكاليفه من خلال تقليل مجموع تكلفة الضبط والتهيئة للعملية، وكذلك التكاليف المرتبطة بالمخزون.

3- انتقاء الخوارزمية الملائمة يعتمد على مدى قدرتها على تحقيق الهدف المطلوب من الجدولة. والتي تمثلت في تقليص الزمن الكلي للإنتاج في هذا البحث.

4- استخدام الخوارزمية النهمة في الجدولة أعطى نتائج أفضل من الخوارزمية العشوائية.

5- أن الزمن هو المعيار الأهم لمعرفة كفاءة الخوارزمية والحصول على الجدولة الأفضل.

6- إدارة المصنع لا تعطي أهمية كبيرة لعامل الوقت الكلي للإنتاج رغم أهميته وذلك لاعتمادها سياسة التخزين، وهذا ما يقلل من فاعلية وكفاءة المصنع.

5. التوصيات

يوصى بالنقاط التالية:

1- استخدام البرمجيات المتخصصة بدلاً من العمل اليدوي في جدولة الإنتاج، وذلك لقدرتها على استيعاب إي تغيير مفاجئ ومستقبلي في أي وقت بجهد أقل وبكفاءة وسرعة عالية.

2- ضرورة متابعة التغيرات والتطورات التي تحصل في مجال استخدام التقنيات الحديثة وخاصةً المتعلقة باستخدام الخوارزميات. وبالاستفادة من النتائج التي خرج بها البحث فيما يتعلق بتقليص الزمن الكلي لأهميته الكبيرة في خفض التكاليف وزيادة الربحية.

3- دراسة تأثير الصيانة الدورية على جدولة الإنتاج.

4- اختيار نماذج أخرى مثل آلات متتالية **(Flow Shop)** أو آلات موزعة **(Job Shop)** بدلاً من الآلة الواحدة.

5- إجراء دراسات مقارنة، خاصة بالأساليب العلمية في إدارة الوقت المطبقة في الدول المتقدمة والدول النامية ومعرفة الفروقات بينها وأسباب ذلك.

المراجـــــــع

أ. المراجـــع العربية

1. منعم زمزير الموسوي (1995). إدارة الإنتاج والعمليات، النظرية والتطبيق. عمان، دار زهران، للنشر والتوزيع.
2. اسعد صالح العقيلي (2009). المعوقات المؤثرة في استخدام الأساليب العلمية في إدارة الوقت، دراسة تطبيقية على شركـــة (**Rama**) وشركة (**H G T**) السويسريتين).
3. حسن ياسين طعمة(2008). نماذج وأساليب كمية في الإدارة والتخطيط، الطبعة الأولى. عمان، دار صفاء للنشر والتوزيع.
4. عبد الستار محمد العلى (2007). التخطيط والسيطرة على الإنتاج والعمليات، الطبعة الأولى. عمان، دار المسيرة للنشر والتوزيع.
5. كاسر نصر المنصور، وآخرون (2011). إدارة العمليات الإنتاجية مدخل استراتيجي. جدة، دار خوارزم العلمية للنشر والتوزيع.
6. علي كريم الخفاجي، وآخرون(2010). استغلال الوقت الضائع لتحسين الإنتاج وفقاً للتغيرات التكنولوجية. العراق، جامعة كربلاء، مجلة جامعة بابل، العلوم الإنسانية.

ب. المراجـــع الأجنبية

[7] Chen, J. (2006), *"Single-machine scheduling with flexible and periodic maintenance*", The Journal of the Operational Research Society. Vol. 57, No.6. Pp.703-710.
[8] Chantaravarapan, S. (2004), "*Single Machine Group Scheduling with setups to Minimize Total Tardiness*".
[9] Steve, J. Kanet, J. (2006), " *Single-machine scheduling with early and tardy completion costs*", Research Logistics , Vol.40,pp.85-101.