جدولة الإنتاج في نموذج الآلة الواحدة لتقليل عدد الطلبيات المتأخرة: حالة دراسية

إبراهيم أحمد بادي
كلية الهندسة- قسم الهندسة الميكانيكية- جامعة مصراتة
ليبيا
i.badi@eng.misuratau.edu.ly

جمال محمد بن ساسي
كلية الهندسة- قسم الهندسة الصناعية- جامعة مصراتة
ليبيا
bensasij@yahoo.com

الملخص- **إن مفهوم جدولة وتخطيط الإنتاج بالمؤسسات الصناعية له مدلولات متعددة، حيث أن منظومات التحكم في مدخلات ومخرجات أي مصنع أصبحت حديثاً جزءاً لا يتجزأ من النظام التشغيلي المتكامل. وتعتبر جدولة وتخطيط الإنتاج إحدى الركائز الرئيسية التي تتضمنها علوم بحوث العمليات بصورة عامة والبرمجة الخطية واللاخطية بصورة خاصة.**

تم في هذه الورقة التطرق إلى بعض قواعد الجدولة والمفاهيم المتعلقة بها وكيفية توزيع الأعمال على الآلات مع الأخذ في الاعتبار الفترات الزمنية ذات العلاقة. إن الأهداف التي يمكن أخذها في الاعتبار متنوعة، ولقد تم في هذه الورقة اعتماد تقليل عدد الطلبيات المتأخرة كدالة للهدف، حيث أن هذا هو الهدف الذي يسعى المصنع لتحقيقه واقعيا.

أستخدمت أربعقواعدلتحليل ودراسة وترتيب الأعمال وهيقاعدة زمن الاستحقاق الأقرب، وقاعدة زمن التشغيل الأطول، وقاعدة زمن التشغيل الأقصر، وقاعدة النسبة الحرجة وتم مقارنة نتيجة هذه القواعد بنتائج خوارزمية تأخير الأعمال الأطول، وتم تطبيق هذه الطرق على حالة دراسية تمثلت في مصنع لإنتاج كراسي البلاستك. لقد تم إعداد نماذج الحسابات باستخدام برنامج اكسل.

وأوضحت النتائج التي تم الوصول إليها من مقارنة هذه القواعد مع خوارزمية تأخير الأعمال الأطول أن الأخيرة هي الأفضل بالنسبة للمصنع في حال الرغبة في تقليل عدد الطلبيات المتأخرة، بينما توجد طرق أخرى لها الأفضلية عند تغيير دالة الهدف.

الكلمات المفتاحية- **جدولة، الطلبيات المتأخرة، الآلة الواحدة**

1. مقدمة

يمكن تعريف الجدولة (Scheduling)بأنها عملية تخطيط الإنتاج على فترات قصيرة الأجل مثل الأيام أوالساعات أو الدقائق،و تشمل توزيع الموارد المتاحة (مثل المعدات أو المواد) على الأعمال والأنشطة المختلفة، أو على الأوامر الإنتاجية،ومن أمثلتها جدولة الإنتاجحيث يتم تخصيص آلات معينة لتنفيذ أوامر إنتاجية محددة.

أما مصطلح جدولة العمليات فتعني تحديد توقيت العمليات المعينة اللازمة لإنتاج السلعة أو إنجاز الخدمة بشكل دقيق، وتحديد دور كل قسم من الأقسام الإنتاجية في أداء هذه الأعمال.

وتهدف جدولة الإنتاج إلى ايجاد أفضل تسلسل ممكن لإنجاز عدد من الأعمال (الطلبيات) على آلة واحدة أو مجموعة من الآلات، وذلك بغرض تحقيق هدف معين يتم تعريفه بأفضل ما يمكن. ومن خلال هذا الترتيب يمكن حساب زمن بدء وانتهاء كل عمل من الأعمال وحساب المؤشرات الخاصة بهذه الأعمال وكذلك المؤشرات الخاصة بالآلات.

استلمت الورقة بالكامل في 3 سبتمبر 2015 وروجعت في 5 سبتمبر 2015 وقبلت للنشر في 19 سبتمبر 2015 ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 30 سبتمبر 2015 .

إن الجدولة الجيدة تؤدي إلى زيادة كفاءة وفاعلية العملية الإنتاجية عن طريق الاستغلال الأمثل للموارد والقدرة على الإيفاء بمتطلبات الزبائن في توقيتها المحدد وتقليل حجم المخزون.

قامت البياتي [1]بدراسة أداء معمل إنتاج محركات المبردات بهدف تقليل المبيعات المفقودة الناتجة من ضعف جدولة العمليات الإنتاجية من خلال تطبيق بعض قواعد جدولة العمليات. وتوصل البحث إلى إمكانية تخفيض الوقت من خلال استبدال القاعدة المستخدمة حاليا وهي ما يصل أولا ينجز أولا لأنها تسبب ضعفاً في النظام، وقامت باستبدالها بطريقتي زمن التشغيل الأقصر وزمن التشغيل الأطول.

في ورقة كومورا تم دراسة نموذج الآلة الواحدة مع زمن استحقاق مشترك بهدف تقليل عقوبة التقديم والتأخير. تم اقتراح خوارزمية branch and bound، حيث تم حساب الحد الأدنى. كما تم اختبار الخوارزمية المقترحة ومقارنتها بخوارزميات أخرى لحل 280 مسألة[2].

أما شن فقد درس نموذج الآلة الواحدة والآلات المتوازية مع اعتبار مرونة عمليات الصيانة وبهدف تقليل زمن التدفق الكلي. في هذا النموذج تتوقف الآلة لإجراء أعمال الصيانة لفترة زمنية ثابتة خلال الجدولة. تم دراسة حالتين مختلفتين في نموذج الآلة الواحدة ونموذج الآلات المتوازية. وتم اقتراح أربع نماذج رياضية للوصول إلى الحل المثالي[3].

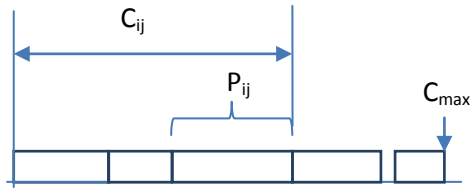
كما قام يوان[4] وآخرين بدراسة مسألة جدولة الإنتاج في الآلة الواحدة مع وجود زمن للتهيئة. وقد تم اقتراح مجموعة من الخوارزميات للحل.

في مسائل الجدولة يتم افتراض أن عدد الأعمال والآلات يكون محدوداً.وعادة مايستخدم الرمز nليدل على عدد الأعمالوالرمز mليدل على عدد الآلات،كما يشير الرمز j إلى العمل في حين يشير الرمز i إلى الآلة. وعندما يتطلب الأمر العمل على عدد من خطوات المعالجة أو عمليات التشغيل يتم استخدام الزوج (i,j) ليشير إلى خطوة تجهيز أو تشغيل العمل j على الآلة i . ويمكن تعريف بعض الأزمنة المهمة على النحو التالي:

- **الوقت اللازم للتشغيل (p_{ij})** يمثل p_{ij} الوقت اللازم لتشغيل العمل j على الآلة i. ويحذف الرمز iعندما يكون الوقت اللازم لتشغيل العمل j لا يعتمد على الآلة، أو إذا كان العمل jيمثل عملية تتم معالجتها على آلة واحدة فقط .
- **مواعيد الاطلاق (r_j)** موعد اطلاق العملr_j يمثل وقت وصوله للنظام، أي أقرب وقت يمكن أن يبدأ به العمل jالتشغيل.
- **تاريخ الاستحقاق (d_j)** يمثل تاريخ الاستحقاق d_jللعملj تاريخ التسليم أو تاريخ الانتهاء (أي التاريخ الذي تم الاتفاق عليه مع الزبون لاستلام طلبيته). وفي حال الانتهاء من العمل

بعد تاريخ استحقاقه يتكبد المصنع شرطا جزائياً، وعند الإيفاء بها ما بعد تاريخ الاستحقاق يشار إليها بتاريخ نهائي $deadline\ date$ بواسطة الرمز $\bar{d}_j$.

ويوضح (الشكل 1) التعاريف الأساسية، حيث تمثل C_{max} الزمن الكلي المطلوب لإنهاء جميع الأعمال.



شكل 1. الأزمنة المختلفة المتعلقة بالعمل

وتوصف مشاكل الجدولة عادة بواسطة الحقول الثلاثية α | β | γ، حيث يصف المجال α الوسط الخاص بالآلاتويحتوي على مدخلواحد فقطيوضح الوسط الذي يتم تشغيل الأعمال به كأن يكون آلة واحدة أو آلات متوازية مثلاً،بينما يصف المجال β خصائص التشغيل والقيود وقد يحتوي على مدخل واحد أو عدة مدخلات وربما لا يحتوي على أي إدخال على الإطلاق، ويصف المجال γ الهدف المطلوب تحقيقه بواسطة الجدولة وغالبا ما يحتوي على مدخل واحد فقط.

إن قيود المعالجة المحددة في المجال βيمكن أن تتضمن عدة مدخلات،منها على سبيل المثال:

موعدالإطلاق (r_j) إن ظهور الرمز r_j في المجال βيعني عدم إمكانية معالجة العمل j قبل تاريخ الإطلاق r_j،أما إذا لم يظهر الرمز r_jفي المجال βفيمكن أن تبدأ معالجة العمل j في أي وقتمن الأوقات.

فترة التهيئة (s_{jk}) يمثل s_{jk}وقت التهيئة أو الإعداد المطلوب بين معالجة الأعمال j و k ؛ ويدل s_{0k} على وقت الإعداد للعمل k إذا كان العمل k هو الأول في التسلسل ، ويمثل s_{j0}وقت التشطيب بعد العمل j وبذلك يكون العمل j هو الأخير في التسلسل.وإذا كان وقت الإعداد بين الأعمال j و k يعتمد على الآلة ، يتم تضمين الرمز i ، أي بمعني s_{ijk} . وإذا لم يظهر s_{jk}في المجال β، يفترض لجميع أوقات الإعداد أن تكون صفرا أو ذات تسلسل مستقل بمعنى عدم الاحتياج للتهيئة بين الأعمال، وفي هذه الحالة يتم إدراجها في أوقات التشغيل.

الهدف قد يكون تقليل توقيت انهاء آخر عمل، والذي بالطبع يعتمد على الجدول الزمني، ويدل علي وقت الانتهاء من تشغيل آخر عمل j على الآلة iويشار له بالرمز C_{ij}، وهو وقت خروج العمل j من النظام (هو وقت استكماله على الآلة الأخيرة التي تقوم بمعالجتها) ويرمز له في هذه الحالة بالرمز C_{max}، وقد يكون الهدف أيضا دالة لتواريخ الاستحقاق.

يتم تعريف وقت الإكمال المبكر $lateness$ للعمل J كالتالي:

$$L_j = C_j - d_j \qquad (1)$$

وتدل الإشارة الموجبة على أن العمل j اكتمل في وقت متأخر عن زمن الاستحقاق، بينما تدل الإشارة السالبة على اكتماله في وقت مبكر.

و تعرف مدة التأخير $Tardiness$ للعمل j كالتالي :

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0) \qquad (2)$$

وتكون مدة التأخير دائما موجبة.

كما يمكن تعريف العمل المتأخر j كالتالي :

$$U_j = \begin{cases} 1 \text{ if } C_j > d_j \\ 0 \ otherwise \end{cases} \qquad (3)$$

إن من أمثلة دوال الهدف (معايير الجدولة) هي:

فترة التصنيع (C_{max}) وتمثلمدة الصنع،وتعرَّف بأنها زمن إنهاء آخر عمل $\max(C_1, \ldots, C_n)$، ويدل تقليل مدة الصنع عادة على الاستفادة الجيدة من الآلة.

الحد الأقصى لوقت الإكمال المبكر(L_{max})وهو أقصى قيمة لتأخر الأعمال عن تواريخ استحقاقها $\max(L_1, \ldots, L_n)$.

عند الحديث عن نموذج الآلة الواحدة مع دالة هدف متمثلة في تقليل عدد الطلبيات المتأخرة فيمكن كتابتها على النحو التالي:

$$1|\ |\sum_{j=1}^{n} U_j \qquad (4)$$

ويمكن إعادة صياغة النموذج الرياضي للنموذج المقترح بواسطة مقدم[6] على النحو التالي:

$$\min \sum_{i=1}^{n} U_i \qquad (5)$$

بالأخذ في الاعتبار

$$C_i + E_i - T_i = D_i \qquad (6)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{n} x_{ij} \qquad (7)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ if } C_j > d_j \\ 0 \ otherwise \end{cases} \qquad (8)$$

$$C_i\ , \mathrm{Ci}_i\ , \mathrm{T}_i \ \geq\ 0 \qquad (9)$$

تمثل المعادلة رقم (5) دالة الهدف، وهي هنا تقليل عدد الطلبيات أو الأعمال المتأخرة. بينما يمثل القيد الوارد في المعادلة رقم (6) تقوم بحساب مقدار التأخر أو التقدم في زمن انتهاء العمل بناء على زمن اكتماله. ويمثل القيد الوارد بالمعادلة رقم (7) ضمانا بتشغيل أي عمل مرة واحدة وواحدة فقط على الآلة. والقيد الوارد في المعادلة رقم (9) هو شرط عدم السلبية.

إن عدد الحلول الممكنة لهذه المسألة هو !n، ولمسألة متمثلة في 10 أعمال يتطلب جدولتها على آلة واحدة فإن عدد الحلول الممكنة يبلغ 3,628,800.

2. قواعد الجدولة

توجد العديد من القواعد التي يتم استخدامها للجدولة، ويعتمد استخدام القاعدة على الهدف الذي يرغب من يقوم بالجدولة بتحقيقه. وفيما يلي بعض من هذه القواعد.

أ. الجدولة باستخدام قاعدة زمن الاستحقاق الأقرب

Earliest Due Date

حيث يتم جدولة الأعمال بناء على تاريخ استحقاقها، وفي هذه الطريقة يتم ترتيب الأعمال وفقا لتاريخ استحقاقها ومن ثم جدولتها وفقا لهذه التواريخ.

ب. الجدولة باستخدام قاعدة زمن التشغيل الأطول

Longest Processing Time

حيث يتم ترتيب الأعمال بموجب هذه القاعدة ترتيبا تنازليا وفقا لطول زمن التشغيل، ومن ثم توزيع الأعمال على محطات العمل (أو الآلات) وفقا لهذا الترتيب. وتعتمد هذه القاعدة على المنطق الداعي إلى أن الأعمال التي تستغرق زمناً أطول عادة ذات قيمة أكبر من غيرها بالنسبة للشركة الصناعية، مما يستوجب إنجاز هذه الأعمال قبل غيرها بحيث تكون عاملا في تعظيم حجم المبيعات و الربح بالإضافة إلى تحسين خدمة الزبائن المنطقي. إلا أن المشكلة المترتبة عليها هو في تأخيرها للأعمال الأخرى فترة أطول.

ج. الجدولة باستخدام قاعدة زمن التشغيل الأقصر

Shortest Processing Time

بموجب هذه القاعدة يجري توزيع الأعمال على الآلات ومحطات العمل على أساس الزمن الأقصر الذي تستغرقه العمليات التصنيعية في إنجاز ذلك العمل أو الطلبية. وهذا يعني البدء في إنتاج الأعمال أو الطلبيات التي تستغرق زمناًأقصر للتصنيع ومن بعدها العمل أو الطلبية التي تستغرق الزمن الأقصر الثاني لإنجازها والذي يلي الأول وهكذا. وبعكس القاعدة السابقة فهذه القاعدة سيترتب عنها ترتيب العمل الأطول، والذي يحقق مبيعات أعلى، إلى نهاية الجدولة.

د. الجدولة باستخدام قاعدة النسبة الحرجة

Critical Ratio Rule

حيث تهدف هذه القاعدة إلى محاولة التوفيق ما بين القواعد السابقة ودمجها في قاعدة موحدة تعتمد بالأساس على كل من قاعدة تاريخ الاستحقاق و قاعدة زمن التشغيل الأقصر و الأطول، كما تستند هذه القاعدة على إيجاد النسبة الحرجة بدلالة النموذج التالي :

النسبة الحرجة = تاريخ الاستحقاق d_j / زمن التشغيل p_j.

هـ. الجدولة باستخدام خوارزمية تأخير الأعمال الأطول

تقوم الفكرة العامة لهذه الخوارزمية على ترتيب الأعمال حسب تواريخ استحقاقها، وفي حالة تأخر العمل فيتم البحث على أطول زمن تشغيل ويتم تأخير هذا العمل. ويمكن توضيح الخوارزمية في الخطوات التالية[7]:

Step 1.

Set J= Ø, J_c= {1, . . ., n}, and J_d= Ø.
Set the counter k = 1.

Step 2.

Add job k to J.
Delete job k from J_c.
Go to Step 3.

Step 3.

If

$$\sum P_j \leq \sum d_k$$

go to Step 4.

Otherwise, let L denote the job that satisfies

$p_L = \max_{j \in J}(p_j)$.

Delete job L from J.

Add job L to J_d.

Step 4.

Set J_k= J.
If k = n STOP,
otherwise set k = k + 1 and go to Step 2.

وتقوم فكرة الخوارزمية على ترتيب الأعمال ترتيباً تصاعدياً وفق تواريخ استحقاقها، ومن ثم البدء في إضافة الأعمال إلى قائمة الأعمال التي سيتم تنفيذها حسب هذا الترتيب طالما لا يوجد تأخر في تسليم هذه الأعمال. في حالة إضافة عمل إلى هذه القائمة واتضح أن هذا العمل سيتأخر فيتم البحث عن العمل ذو زمن التشغيل الأطول وتأخيره إلى نهاية هذه القائمة.

3. الحالة الدراسية

أصبح نمو الصناعات الخاصة بالمنتجات البلاستيكية سريعاً في السنوات الأخيرة، كما أصبح استخدام البلاستيك على نطاق واسع حتى أنه يمكن القول أنها قد تكون يوماً ما بديلاً للكثير من المنتجات المعدنية والمواد الحديدية نظراً لما لها من مميزات مثل قصر الفترة الزمنية لدوران الإنتاج،التشطيبات النهائية الجيدة للمنتجات، وسهولة صب الأشكال المعقدة.

وتمثل الحالة الدراسية مصنعا لصناعة المنتجات البلاستيكية بمدينة مصراتة. حيث تم في هذه الورقة دراسة العملية الإنتاجية للمصنع، وتم اختيار منتج واحد من ضمن المنتجات المختلفة للمصنع وهو الكراسي البلاستيكية، حيث يمثل هذا المنتج أحد المنتجات الرئيسية بالمصنع والذي يسعى لتطوير برنامجه الإنتاجي ليقلل عدد الطلبيات المتأخرة بالنسبة لزبائنه.

وبشكل عام، يمكن القول أن التصنيع الخاص بهذه المنتجات البلاستيكيةيضم ثلاث مراحل:مرحلة التعبئة،ومرحلة التغليف والمرحلة الأخيرة هي مرحلة التبريد. وتعتبر مرحلة التعبئة هي المرحلة الأساسية في إنتاج النوعية الجيدة بسبب عدة عوامل ومؤشرات تعتمد عليها والتي من أهمها معدل تدفق حقن المادة وصبها، وضغط الحقن، ودرجة حرارة الذوبان لمادة الحقن والفترة الزمنية للحقن.

ويمكن تلخيص المعلومات الخاصة بالمصنع في الآتي:

المصنع: صناعة المنتجات البلاستيكية

المادة الخام المستعملة: مادة البولي بروبيلين (P.P) ذات الألوان المتعددة حسب طلبات الزبائن.

تستخدم لتصنيع المنتجات المختلفة، والمتمثلة في منتجات بلاستيكية مختلفة، آلة واحدة. ويمر المنتج بعدة خطوات لإنتاجه هي:

- تعبئة المادة الخام بالخزان السفلي على الارض.
- شفط المادة الخام من الخزان السفلي إلى خزان علوي على هيئة قمع (HOPPER).
- يوجد أنبوب متصل بأسفل الخزان العلوي لإمرار المادة الخام وهي في حالتها السائلة (حوالي 200 درجة مئوية) إلىآلة تصنيع المنتج النهائي.
- يتم كبس المادة الخام في القالب المعد خصيصاً لإنتاج المنتج النهائي بماكينة التصنيع.
- الحصول على المنتج النهائي.

ويوضح (الشكل2) الخطوات التي تمر بها صناعة الكرسي حتى تسليمه للزبون بعد إجراء الفحص عليه.

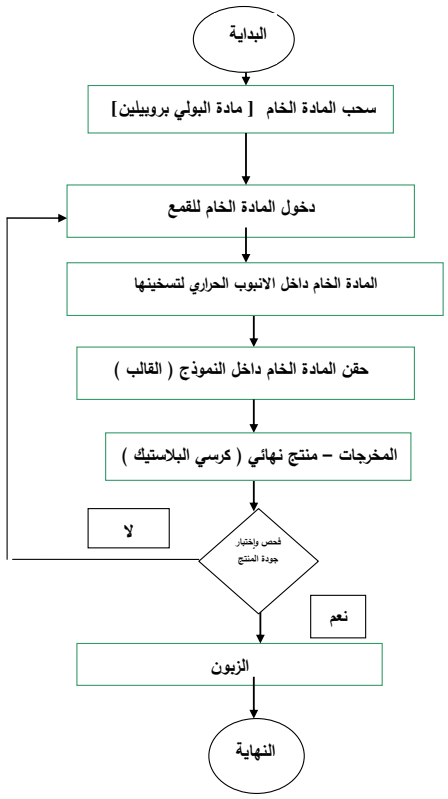
في هذه الدراسة تم افتراض منتج واحد فقط وهو الكراسي، والتي يمكن إنتاجها بألوان مختلفة وفي هذه الحالة لا تحتاج لأي زمن تهيئة بينها. معدل الإنتاج حوالي كرسي واحد لكل دقيقتين ونصف الدقيقة (أي بمعدل إنتاجي قدره 24 كرسي في الساعة).

ويوضح (الجدول1) طلبيات مجموعة من الزبائن، حيث أن جميع هذه الأعمال ستكون جاهزة عند البداية ($r_j = 0$) وزمن التشغيلبالدقائق ووزن (يقصد بالوزن هنا هو أهمية الزبون وليس الوزن الفيزيائي) كل عمل من الأعمال كما موضح بالجدول (1).

جدول 1. مجموعة طلبيات لزبائن

العمل	زمن الاستحقاق	الوزن	زمن التشغيل
J001	3800	1	1250
J002	4000	2	1750
J003	3500	2	2500
J004	7000	3	1000
J005	8000	1	2000
J006	12000	2	1250
J007	17000	3	1500
J008	15000	2	2000
J009	12000	2	1750
J010	9000	1	1500

ويمثل العمود الخاص بزمن الاستحقاق الزمن الذي يجب تسليم الطلبية فيه للزبون (بالدقيقة).

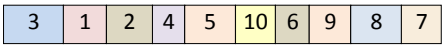


شكل 2. خطوات التصنيع

لقد تم إعداد نماذج الحسابات باستخدام برنامج اكسل، وذلك للمقارنة بين الخوارزميات المختلفة.

الحل باستخدام طريقة EDD

في هذه الطريقة يتم ترتيب الأعمال حسب تاريخ استحقاقها دون النظر لأي اعتبار آخر. من الواضح هنا أن أهمية الزبون لا يتم أخذها بعين الاعتبار، وهذا يعني أن تأخر الزبون المهم لا يتم الاهتمام به. واقعيا هذا سيؤدي إلى خسار الزبائن المهمين بالنسبة للمؤسسة. ويوضح (الشكل 3) مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام هذه الطريقة. الزمن الكلي لاكمال جميع الأعمال يساوي 16,500دقيقة، وهذا الزمن ثابت ولا يتغير بتغير ترتيب الأعمال.



شكل 3. مخطط غانت لترتيب الأعمال

ويوضح (الجدول 2) الحسابات الخاصة بالأزمنة لكل عمل من الأعمال العشرة. يمثل الحقل T زمن التأخير لكل عمل من الأعمال، بينما يمثل الحقل wT زمن التأخير الموزون لهذه الأعمال.

جدول 2. نتيجة ترتيب الأعمال باستخدام طريقة EDD

العمل	الاستحقاق	Pj	بداية	نهاية	T	w	wT
j001	3800	1250	2500	3750	0	1	0
j002	4000	1750	3750	5500	1500	2	3000
j003	3500	2500	0	2500	0	2	0
j004	7000	1000	5500	6500	0	3	0
j005	8000	2000	6500	8500	500	1	500
j006	12000	1250	10000	11250	0	2	0
j007	17000	1500	15000	16500	0	3	0
j008	15000	2000	13000	15000	0	2	0
j009	12000	1750	11250	13000	1000	2	2000
j010	9000	1500	8500	10000	1000	1	1000

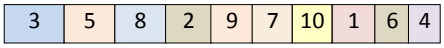
وبالتالي يمكن إعداد ملخص للحسابات كما في (الجدول 3). يوضح الجدول أن عدد الأعمال المتأخرة يساوي 4، وأن مجموع أزمنة انهاء جميع الأعمال يساوي 92,500، ومجموع تأخير الأعمال يساوي 4,000، أما مجموع التأخير المرجح فيساوي 6,500.

جدول 3. ملخص النتيجة باستخدام EDD

C_{max}	16,500
T_{max}	1,500
$\sum Uj$	4
$\sum C_j$	92,500
$\sum T_j$	4,000
$\sum w_j C_j$	185,750
$\sum w_j T_j$	6,500

الجدولة باستخدام طريقة LPT

وهنا يتم ترتيب الأعمال حسب طولها، حيث يوضع العمل الأطول في البداية. وفي هذه الطريقة أيضا لا يوجد اعتبار لأهمية الزبون، وإنما الاهتمام باستكمال الأعمال الأطول وعدم تأخيرها. ويلاحظ هنا أن هذا القرار يترتب عليه تأخيراً أكثر في عدد الأعمال، بحكم أنها ستنتظر دورها لاستكمال الأعمال الطويلة. وبالتالي من المتوقع دائما عند استعمال هذه الطريقة أن يكون عدد الأعمال المتأخرة كبيراً. ويوضح (الشكل 4) مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام طريقة LPT.



شكل 4. مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام طريقة LPT

وكملخص للحسابات تم إعداد (الجدول4). ويلاحظ هنا أن زمن التأخير مرتفع لعدد 5 أعمال، والتي عليها أن تنتظر استكمال الأعمال الأطول.

جدول 4. نتيجة ترتيب الأعمال باستخدام طريقة LPT

العمل	الاستحقاق	Pj	بداية	نهاية	T	w	wT
j001	3800	1250	13000	14250	10450	1	10450
j002	4000	1750	6500	8250	4250	2	8500
j003	3500	2500	0	2500	0	2	0
j004	7000	1000	15500	16500	9500	3	28500
j005	8000	2000	2500	4500	0	1	0
j006	12000	1250	14250	15500	3500	2	7000
j007	17000	1500	10000	11500	0	3	0
j008	15000	2000	4500	6500	0	2	0
j009	12000	1750	8250	10000	0	2	0
j010	9000	1500	11500	13000	4000	1	4000

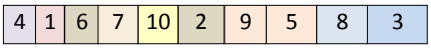
ويوضح (الجدول 5) ملخصا للنتائج الخاصة باستخدام هذه الطريقة. يلاحظ هنا أن زمن التأخير الأقصى وصل إلى 10,450، ومجموع أزمنة التأخير يصل إلى 31,700، أما مجموع أزمنة التأخير المرجحة فيصل إلى 58,450 ساعة.

جدول5. ملخص النتيجة باستخدام LPT

C_{max}	16,500
T_{max}	10,450
$\sum Uj$	5
$\sum C_j$	102,500
$\sum T_j$	31,700
$\sum w_j C_j$	201,250
$\sum w_j T_j$	58,450

الجدولة باستخدام طريقة SPT

بعكس الطريقة السابقة ففي هذه الخوارزمية يتم ترتيب الأعمال الأصغر فالأصغر، والفكرة هنا تكمن في تقليل عدد الأعمال المتأخرة، ومرة أخرى فلا يتم أخذ أهمية الزبون في الاعتبار. ويبين (الشكل5) مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام هذه الطريقة.



شكل 5. مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام طريقة SPT

ويبين (الجدول 6) ملخصا للأزمنة باستخدام هذه الطريقة. يلاحظ في هذا الجدول أن عدد الأعمال المتأخرة يساوي 3.

جدول 6. نتيجة ترتيب الأعمال باستخدام طريقة SPT

العمل	الاستحقاق	Pj	بداية	نهاية	T	w	wT
j001	3800	1250	1000	2250	0	1	0
j002	4000	1750	6500	8250	4250	2	8500
j003	3500	2500	14000	16500	13000	2	26000
j004	7000	1000	0	1000	0	3	0
j005	8000	2000	10000	12000	4000	1	4000
j006	12000	1250	2250	3500	0	2	0
j007	17000	1500	3500	5000	0	3	0
j008	15000	2000	12000	14000	0	2	0
j009	12000	1750	8250	10000	0	2	0
j010	9000	1500	5000	6500	0	1	0

أما (الجدول 7) فيلخص نتائج هذه الطريقة.

جدول 7. ملخص ترتيب الأعمال باستخدام طريقة SPT

C_{max}	16,500
T_{max}	13,000
$\sum Uj$	3
$\sum C_j$	79,000
$\sum T_j$	21,250
$\sum w_j C_j$	143,250
$\sum w_j T_j$	38,500

الجدولة باستخدام طريقة CR

يتم في هذه القاعدة حساب النسبة الحرجة كما أشير إليه في الفقرة السابقة، ومن ثم ترتيبها ترتيبا تصاعديا، وترتيب الأعمال بناء على هذه النسبة. ويبين (الشكل 6) مخطط غانت لترتيب العمال باستخدام طريقة CR.

3	2	1	5	4	10	9	6	8	7

شكل 6. مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام طريقة CR

أما (الجدول8) فيوضح حسابات الأزمنة باستخدام هذه الطريقة

جدول 8. نتيجة ترتيب الأعمال باستخدام طريقة CR

العمل	الاستحقاق	Pj	بداية	نهاية	T	w	wT
j001	3800	1250	4250	5500	1700	1	1700
j002	4000	1750	2500	4250	250	2	500
j003	3500	2500	0	2500	0	2	0
j004	7000	1000	7500	8500	1500	3	4500
j005	8000	2000	5500	7500	0	1	0
j006	12000	1250	11750	13000	1000	2	2000
j007	17000	1500	15000	16500	0	3	0
j008	15000	2000	13000	15000	0	2	0
j009	12000	1750	10000	11750	0	2	0
j010	9000	1500	8500	10000	1000	1	1000

و (الجدول 9) يبين ملخصا للنتائج.

جدول 9. ملخص النتيجة باستخدام CR

C_{max}	16,500
T_{max}	1,700
$\sum Uj$	5
$\sum C_j$	94,500
$\sum T_j$	5,450
$\sum w_j C_j$	191,000
$\sum w_j T_j$	9,700

ويوضح (الجدول 10) ملخصا لنتائج الطرق الأربع. والخلاصة التي يمكن الوصول إليها أن الطريقة الأفضل تعتمد على الهدف المطلوب تحقيقه.

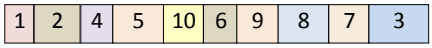
الجدول 10. مقارنة نتائج الطرق الأربع

	EDD	LPT	SPT	CR	
Cmax	16500	16500	16500	16500	
Tmax	**1500**	10450	13000	1700	
∑Uj	4	5	**3**	5	
∑Cj	92500	102500	**79000**	94500	
∑Tj	**4000**	31700	21850	5450	
∑wjCj	185750	201250	**143250**	191000	
∑wjTj	**6500**	58450	38500	9700	

الجدولة باستخدام طريقة تأخير الأعمال الأطول

تم ترتيب الأعمال وفقاً لتاريخ استحقاقها. عند الوصول للعمل ذي الاستحقاق الثالث (وهو العمل رقم 2) فإن زمن الاستحقاق هو 4,000، إلا أن زمن الانتهاء من العمل هو 5,500، أي أنه سيحدث تأخير في التسليم، وبالتالي يتم البحث عن العمل ذو زمن التشغيل الأطول قبله (وهو العمل رقم 3) وتأخيره إلى نهاية القائمة. إن هذا الإجراء يعني التقليل من الأعمال التي يمكنها أن تتأخر، إلا أنه لا يضمن تأخير الأعمال وفقاً لأهميتها. وكناتج لهذا

الترتيب فإن عدد الأعمال المتأخرة سيكون واحدا فقط. ويوضح (الشكل 7) مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام خوارزمية تأخير الأعمال الأطول.



شكل 7. مخطط غانت لترتيب الأعمال باستخدام خوارزمية تأخير الأعمال الأطول

ويوضح (الجدول 11) لنتائج ترتيب الأعمال باستخدام هذه الخوارزمية. كما يوضح (الجدول 12) ملخصاً للنتائج الخاصة، ويمكن هنا تسجيل عدة ملاحظات عند مقارنة النتائج المتحصل عليها من هذه الخوارزمية بالطرق السابقة:

- قيمة أقصى تأخير وصلت إلى 13,000، وهي قيمة مرتفعة مقارنة بطريقة الاستحقاق الأبكر والتي تبلغ 1,500. هذه القيمة ترتبط بالعمل ذي الزمن الأطول (أي الطلبية الأكبر)، وهذا يعني تأخير الطلبية الأكبر إلى آخر قائمة الطلبيات.
- مجموع الأزمنة المتأخرة ليس هو الأطول بين باقي طرق الجدولة، وهذا ناتج من وجود طلبية واحدة فقط متأخرة.

جدول 11. نتيجة ترتيب الأعمال باستخدام خوارزمية تأخير الأعمال الأطول

العمل	الاستحقاق	Pj	بداية	نهاية	T	w	wT
j001	3800	1250	0	1250	0	1	0
j002	4000	1750	1250	3000	0	2	0
j003	3500	2500	14000	16500	13000	2	26000
j004	7000	1000	3000	4000	0	3	0
j005	8000	2000	4000	6000	0	1	0
j006	12000	1250	7500	8750	0	2	0
j007	17000	1500	12500	14000	0	3	0
j008	15000	2000	10500	12500	0	2	0
j009	12000	1750	8750	10500	0	2	0
j010	9000	1500	6000	7500	0	1	0

جدول 12. ملخص ترتيب الأعمال باستخدام خوارزمية تأخير الأعمال الأطول

C_{max}	16,500
T_{max}	13,000
$\sum Uj$	1
$\sum C_j$	84,000
$\sum T_j$	13,000
$\sum w_j C_j$	171,250
$\sum w_j T_j$	26,000

4. الاستنتاجات والتوصيات

من خلال ما انتهت إليه الدراسة في الورقة البحثية من نتائج يمكن حصر الاستنتاجات الآتية:

- مسألة الجدولة هي من المسائل المعقدة حتى في حالة اعتماد محددات قليلة للمسألة.
- يعتمد اختيار الطريقة المناسبة للجدولة على الهدف المراد تحقيقه، ولا توجد طريقة واحدة بإمكانها أن تكون مناسبة لتحقيق جميع الأهداف.
- الزمن الكلي لاستكمال جميع الأعمال لا يعتمد على طريقة الجدولة المستخدمة، بل هو متساوٍ لجميع الطرق.
- بالرغم من أن الخوارزمية المستخدمة في الحل أعطت عدداً أقل للأعمال المتأخرة مقارنة بباقي الطرق، إلا أنه نتج عنها تأخير كبير في زمن العمل المتأخر، كما أنها لا تأخذ في عين الاعتبار أهمية الأعمال المتأخرة.

المراجع

1. إمكانيةتطبيقبعضقواعدجدولةالعمليات: دراسةفيمعملإنتاجمحركاتالمبردات، .أميرة شاكر ولي البياتي، مجلة العلوم الاقتصادية والإدارية، المجلد 18 العدد 66، الصفحات 101-122.
2. Miloš Šeda,Mathematical Models of Flow Shop and JobShop Scheduling Problems, International Journal of Applied Mathematics and Computer Sciences, Volume 4, Number 4, 2007.
3. Jen Chiang Shen, Using integer programming to solve the scheduling machine problem with a flexible maintenance activity, Journal of statistics & management systems, Vol. 9 (2006), No.1, pp. 87-104.
4. J. J. Yuan · Z. H. Liu · C. T. Ng · T. C. E. Cheng,Single machine batch scheduling problem with family setup times and release dates to minimize makespan, J Sched (2006) 9: 499–513.
5. DéBora P. Ronconi and MáRcio S. Kawamura, The single machine earliness and tardinessscheduling problem: lower bounds and a branch-and-bound algorithm, Computational and applied mathematics, Volume 29, N. 2, pp. 107‑124, 2010.
6. R. Tavakkoli-Moghaddam, F. Jolai, Y. Khodadadeghan and M. Haghnevis, A mathematical model of a multi-criteria parallel machine scheduling problem: a genetic algorithm, IJE Transactions, Vol. 19, No. 1, November 2006.
7. M. Pinedo,Scheduling: theory, algorithms and systems, Third edition, 2008, Springer.