عدد رقم 6 – جوان 2017

إشكالية جدولة عمليات الإنتاج بتدفق ثابت و غير ثابت لدى المؤسسة الصناعية.

د. زكرياء جمعـــة

كلية العلوم الاقتصادية، العلوم التجارية و التسيير–جامعة تلسمان–

د. علي لحول

كلية العلوم الاقتصادية، التجارية و التسيير–جامعة سيدي بلعباس–

الملخص:

تهدف هذه الورقة البحثية إلى معالجة إشكالية مسألة جدولة العمليات الإنتاجية في الحالتين: تدفق ثابت، و تدفق غير ثابت لأوامر الإنتاج من خلال إجراء دراسة تطبيقية لكل واحدة منها في الميدان الصناعي، و العمل على حلها و ذلك من أجل تحقيق الحل الأمثل للمسألة الذي يهدف إلى تدنية الزمن الكلي للتصنيع الذي يُعتبر أهم معيار يتم البحث عن أمثليته في مسائل الجدولة لما له من أثر إيجابي على تحسين باقي المعايير كتقليل أوقات العطل لموارد الإنتاج مما يتيح الإستخدام الجيِّد لهذه الموارد.

الكلمات المفتاح: جدولة الإنتاج و العمليات، مسائل الجدولة، جدولة التدفق الثابت، جدولة التدفق غير الثابت.

Résumé :

Le but de cet article est de traiter la problématique d'ordonnancement des opérations de production dans les cas de « Flow shop » et « Job shop » à travers une étude pratique de ces deux cas dans le domaine industriel afin d'arriver à une solution optimale du problème garantissant une minimisation du temps total de production ce qui permet une utilisation efficace des ressources de production.

Mots-clé : Ordonnancement des opérations, problèmes d'ordonnancement, ordonnancement flow-shop, ordonnancement job-shop.

Code JEL : C19, C61, C69

1- تمهيد:

الوحدة الإنتاجية هي ذلك المكان الذي ستجري فيه العملية الإنتاجية، و بذلك فإن تسيير هذه الوحدات الإنتاجية يُعد أمراً أساسياً من حيث أنها هي التي يُفترض أن تمدَّنا بالمنتَج الذي يفي بالغرض و الأهداف المرجوة منه.

في مسائل جدولة الوحدات الإنتاجية "Ordonnancement d'Ateliers" تكون الموارد عبارة عن آلات لا يمكنها معالجة (إنجاز و تنفيذ) إلا عملية واحدة في نفس الوقت، و هو ما يُعرف بالموارد التمييزية، كما أن المهام الواجب إنجازها تكون عبارة عن أوامر إنتاجية تُعبِّر عن وحدة متكاملة لا يمكن تجزئتها، بمعنى أنه لا يمكن لأمر إنتاجي معين أن يكون متواجدًا في نفس الوقت على أكثر من آلة بل يُنجز عملية بعد عملية على أن تؤدِّي كل آلة عملية معينة.

2- الترميز الثلاثي لمسائل الجدولة:

لقد قدم [Graham et al :1966] وصفاً مختصراً لمسألة الجدولة قيد الدراسة من خلال ثلاثية الرموز $\alpha|\beta|\gamma$ لوصف محيط المسألة من آلات و خصائصها (الحقل α)، القيود المتعلقة بإنجاز الأنشطة (الأعمال) (الحقل β) و أخيراً المعيار أو المعايير التي نعمل على تحقيق أمثليتها (الحقل γ).[1]

يُمكننا شرح هذا الترميز المختصر على النحو التالي:

- الحقل الأول α: ينطوي هذا الحقل بدوره على حقلين فرعيين هما α_1 و α_2 يوضح الأول نوع الآلات في حين يدل الثاني على عدد هذه الآلات المكوِّنة لنظام التصنيع. لدينا:

$$\alpha_1 \in \{\phi, P, Q, R, F, O, J\}$$

حيث:

$\alpha_1 = \varnothing$: تشير إلى حالة الآلة الواحدة (m = 1)؛

[1] - Groupe GOThA (sous la direction de Philipe Baptiste, Emmanuel Néron, Francis Sourd), Modèles et Algorithmes en Ordonnancement, exercices & problèmes corrigés, ellipses, Paris, 2004, p11.

P =α_1: تدل على أن هناك عدة آلات ذات تشغيل متوازي و متطابقة؛

Q =α_1: عدة آلات ذات تشغيل متوازي منتظمة (غير متطابقة)؛

R =α_1: عدة آلات ذات تشغيل متوازي مستقلة عن بعضها البعض.

لتوضيح هذه التوصيفات الثلاثة نعتبر P_{ij} مدة أو زمن إنجاز العمل (الأمر) j من قبل الآلة i. إذن:

- Si α_1= P : $P_{ij} = P_j$;
- Si α_1= Q : $P_{ij} = P_j / V_i$ (V_i سرعة الآلة i)
- Si α_1= R : $P_{ij} = P_j / V_{ij}$ ($V_{ij} \neq V_i$ أي: j لتصنيع الأمر i سرعة الآلة)

F =α_1: تدفق العمليات داخل وحدة التصنيع هو إنسيابي بمعنى أنه ثابت و لهذا يُعرف هذا النوع من المسائل بورشات التصنيع ذات التدفق الثابت (Flow–shop) أو ذات التشغيل المتسلسل؛

O =α_1: هنا تُعرف ورش التصنيع (وحدات الإنتاج) بالوحدات المفتوحة ((Open–shop أين تأخذ الأعمال منحاً حراً في عملية تصنيعها.

J =α_1: هذا التصنيف جدٌّ مهم ومعقد كذلك في مسائله حيث تسلك الأعمال هنا نظاماً غير ثابت من آلة إلى أخرى عند عملية التصنيع بل مُتعدد حسب خاصية كل عمل. يُعرف هذا النظام في التصنيع إختصاراً بورش العمل (Job–shop).

هذه التصنيفات الثلاثة تُعد جد مهمة عند دراسة مسائل الجدولة و بالخصوص التصنيف الأوّل و الأخير.

أما α_2 التي تدل على عدد الآلات داخل النظام الإنتاجي فهي:

$$\alpha_2 \in \{\Phi, m\} = \begin{cases} \alpha_2=\phi & \text{عدد الآلات متغير} \\ \alpha_2=m(m>0) & \text{عدد الآلات ثابت و يساوي m} \end{cases}$$

- الحقل الثاني β : تمثل قيود وخصائص النظام مثلاً:

$\beta = Pmtn$: تصنيع العمليات يتم مع إمكانية إنقطاع إنجاز عملية ما من على الآلة لفائدة أخرى أكثر أولوية.

$\beta = Prec$: للدلالة على وجود قيود أسبقية بين الأعمال.

- الحقل الثالث γ : يُعبر عن المعيار أو المعايير التي نبحث في أمثليتها؛ أي المعايير التي سوف نُقيِّم على أساسها الجدولة.

3- فعاليات السيطرة و قرارات الجدولة:

هناك عدة فعاليات يُمكن من خلالها السيطرة على الإنتاج في المصنع. هذه الفعاليات تُعد أمراً أساسياً و مهماً لأن أي قصور في أدائها سوف يُؤدي إلى ضعف عملية الجدولة و بالتالي فقدان السيطرة على وحدات الإنتاج؛ وهي مُرتبطة بالقرارات المتخذة عند الجدولة؛ تتمثل هذه الفعاليات، كما يُحددها [Slack et al :2004]، في التحميل [Loading] و التتابع [Sequencing].

3-1- التحميل: تُشير عملية التحميل إلى تخصيص المهام أو الواجبات على الآلات أو مراكز التشغيل، و يُحاول مدير الإنتاج إجراء عملية التخصيص بالشكل الذي يجعل إما التكاليف أو الوقت العاطل أو وقت الإنجاز أقل ما يُمكن؛ و عملية التحميل لها شكلين الأول يُركز على طاقة الورشة أما الشكل الأخير فيُركز على تخصيص مهام مُعينة على مراكز العمل و الإنتاج.[2]

إن التحميل الجيد للعبء على مراكز الإنتاج يُؤدي إلى إستغلال الطاقة الإنتاجية المتاحة بكفاية، و يزيد من فعالية نظام الرقابة على تدفق العمليات في النظام؛ و قد تتخذ عملية التحميل أسلوبين هما:[3]

- أسلوب التحميل غير المحدود: أين يتم تحميل الآلات أو مراكز الإنتاج بكامل العبء اليومي دون الأخذ بالحسبان للطاقة الإنتاجية المتاحة يومياً، حيث تُحمل المراكز كما لو

[2]- د.جلال إبراهيم العبد، إدارة الإنتاج و العمليات: مدخل كمي، الدار الجامعية، بدون رقم طبعة، 2002 ص 78.

[3]- د.كاسر نصر المنصور، إدارة العمليات الإنتاجية، الأسس النظرية و الطرائق الكمية، دار الحامد للنشر و التوزيع عمان، الطبعة الأولى 2010، ص 428 و ص 430.

كانت طاقتها الإنتاجية غير محدودة. ويُستخدم كوسيلة مساعدة في عملية التحميل خرائط "قانت" Gant.

- أسلوب التحميل المحدود: أين يتم تحميل الآلات أو مراكز الإنتاج بالعبء اليومي، مع الأخذ بالحسبان للطاقة الإنتاجية المتاحة يومياً. و لهذا إذا كان العبء أكبر من الطاقة الفعلية المتاحة فإنه يتم نشر العبء على فترة طويلة، وبحيث يتم دمج عملية التحميل، و تحديد ترتيب الأعمال و الجدولة للعمليات في نظام واحد.

و بالتالي فإن التحميل يُعد كأداة للسيطرة على الطاقة الإنتاجية حيث أنه يُبين التحميل الزائد عن هذه الطاقة، و كذلك التحميل الذي هو دون الطاقة ليتم إتخاذ قرارات بشأن ذلك و إجراء عمليات تسوية من خلال برمجة العمليات و الأعمال وفق أسلوب مبكر أو متأخر.

3-2- التتابع: المقصود به تحديد تتابع الأعمال (أوامر الإنتاج) على مراكز التصنيع أو محطات العمل بغرض إنجازها؛ فإذا كانت هناك مجموعة من الأعمال يجب أن تتم معالجتها بإستخدام آلة معينة فإنه يجب أولاً تحديد صفة تتابع هذه الأعمال على تلك الآلة ثُم يجري برمجتها وفق ذلك التتابع المخطط. و يتم تحديد التتابع باستعمال قواعد الأولوية المختلفة.

و عادة ما يتم التميز في هذا الجانب بين: [4]

– القواعد المحلية و القواعد الإجمالية: حيث تُعد القاعدة محلية إذا لم تأخذ بعين الإعتبار إلا المعطيات المحلية الخاصة بصف الإنتظار، بخلاف تلك التي تُراعي حمولة الآلة اللاحقة؛

– القواعد الستاتيكية و الديناميكية: حيث تُعتبر القاعدة ستاتيكية إذا بقيت قيمة الأولوية ثابتة خلال الفترة الذي يقضيها الأمر في صف الإنتظار، أما القاعدة الديناميكية فيُمكن أن تحتفظ بنفس الترتيب

[4] - Pierre Lopez, Francois Roubellat : Ordonnancement de la production , Paris, Hermes Sciences Publications , 2001.p:185-187.

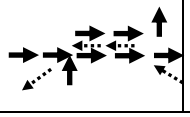
الموجود بين أمرين إنتاجيين معينين لكن ورود أي أمر جديد إلى صف الإنتظار يوجب تحديث قيم الأولوية بما يتوافق مع المعطيات المستجدة.

و فيما يلي ذِكراً لأهم قواعد الأولوية التي تُستعمل في مسائل الجدولة:

- أقل مدة إجمالية لإنجاز الأمر؛
- حسب أقرب موعد لتسليم الأمر؛
- الوارد أولاً يُنجز أولاً؛
- الوارد أخيراً يُنجز أولاً؛
- العمليات التي يلزمها وقت قصير أولاً؛
- العمليات ذات أطول وقت أولاً؛
- أقل إجمالي أوقات العمليات المتبقية لإنجاز الأمر؛
- أكبر مجموع أوقات العمليات المتبقية لإنجاز الأمر؛
- ترتيب الأوامر حسب أقل عدد من العمليات المتبقية.

4- أصناف الجدولة حسب نظام الإنتاج:

يُمكن تصنيف مسائل الجدولة بحسب نظام التصنيع داخل وحدة الإنتاج و الذي على أساسه تتم جدولة الأعمال في الجدول التالي:

Organisation de l'atelier	Ressource unique		Ressource multiples		
	Une machine	Parallèle	Flow shop	Job shop	Open shop
Flux					Ordre des opérations

					non défini
Caractéristiques du process	Industrie lourde	Standards	Grande série (gamme unique)	Petite et moyenne série (gammes)	
Type d'industrie	Verre	Caisse supermarché Tissage	Ligne d'assemblage automobile	Mécanique Micro-électronique	Réparation Maintenance industrielle

الجدول 1: تصنيف مسائل الجدولة حسب نظام الإنتاج.

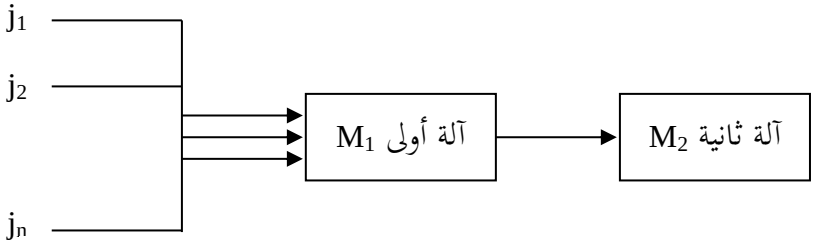
المصدر: Michel N., L'essentiel du management industriel, Dunod, Paris, 2006.p10

5- دراسة حالة جدولة الأعمال على آلتي تصنيع:

5-1- جدولة الأعمال على آلتين بنظام تصنيع متسلسل (تدفق ثابت Flow shop): $F2|Prmu|C_{max}$

5-1-1- تحديد إشكالية المسألة و طريقة الحل:

في هذه الحالة يُفترض وجود عدة أعمال يستدعي كل منها عمليتين تصنيعيتين على آلتين مختلفتين ذات تشغيل متسلسل، و بالتالي سوف نبحث في جدولة هذه الأعمال على الآلتين بحيث يجب أن يُعالج كل عمل من قبل الآلة الأولى أولاً ثم يمر إلى الآلة الثانية؛ بمعنى أن التصنيع هنا سوف يتم بتسلسل على الآلتين و هو ما يُعرف **بالورشة ذات التدفق الثابت** كما يُوضحه الشكل:



الشكل 1: جدولة الأعمال على آلتين بنظام تصنيع متسلسل.

نعمل في هذه الدراسة على البحث عن تدنية الزمن الكلي للتصنيع "C_{max} " الذي يُعتبر أهم معيار يتم البحث عن أمثليته لما له من تأثير إيجابي بالغ على باقي المعايير كتقليل أوقات العطل والإستخدام الجيِّد للموارد، ومنه تحديد نمط الجدولة الأمثل؛ علماً أن الجدولة هنا تسري بدون إنقطاع (prmu) ، فإذا تم الشروع في إنجاز عمل ما سوف لن يتم التوقف عن تصنيعه على الآلة إلى غاية الإنتهاء الفعلي من معالجته عليها.

يُمكن حل مثل هذه المسائل الّتي نرمز لها بـ $F2|prmu|C_{max}$ والتوصل آنيا إلى أحسن جدولة إعتماداً على قاعدة "جونسون" ؛ فإذا كنا نعلم أنّ :

- P_{1j} : مدة معالجة الأمر j على الآلة 1 ؛
- P_{2j} : مدّة معالجة الأمر j على الآلة 2.

تقول هذه القاعدة أنّ الأمر j يسبق الأمر j' في التتابع الأمثل إذا :

$$Min\ (P_{1j}, P_{2j'}) < Min\ (P_{1j'}, P_{2j})$$

تقوم خوارزمية "جونسون" على جدولة أوّلاً الأوامر الّتي لا تستدعي وقتاً طويلاً على الآلة الأولى ونترك تلك الّتي توجب وقتاً قصيراً على الآلة الثانية إلى آخر التتابع ، و ظاهر أنّ جونسون كان محققا تماماً في تفكيره حيث أنّه طالما أنّ الآلة الثانية تكون تنتظر (وهي بعد الأولى) ، فمن الأَوْلى بنا أن نمرّر الأمر ذي أقل وقت على الآلة الأولى لنُعجِّل من تشغيل الآلة الثانية بما يرفع من درجة استغلالها.

وبالتالي تدنية أوقات العطل غير المبرر داخل نظام التصنيع؛ وترك الأعمال ذات أقل زمن تصنيع على الآلة الثانية لنهاية الجدولة مما يسمح بسرعة معالجتها مباشرة بعد انتهاء الآلة الأولى منها.

تتلخّص خوارزمية "جونسون" في المراحل التالية:*

i. من قائمة أوقات عمليات الأوامر على الآلتين ، أوجد أدناها { P_{1j}, P_{2j} }Min ؛

ii. إذا كان هذا الوقت الأدنى يقع على الآلة الأولى، قم بتخصيص الأمر الذي يقابله قدر الإمكان في أوّل التتابع؛ أمّا إذا كان هذا الوقت يقع على الآلة الثانية، فقم بتخصيص الأمر المعني في آخر التتابع قدر الإمكان.

iii. اشطب الأمر المجدول من قائمة الأوامر؛

أعد الخطوات من الأوّل إلى حين يتمّ ترتيب جميع الأوامر.

صيغة أخرى لخوارزمية "جونسون" :

1- قم بإعداد مجموعتي الأوامر U و V بحيث :

$U= \{j \mid P_{1j} < P_{2j}\}$ et

$V= \{j \mid P_{1j} > P_{2j}\}$

2- قم بترتيب الأوامر المكوّنة للمجموعة U وفقا للقاعدة "SPT"على الآلة الأولى (أي وفق ترتيب متصاعد لـ P_{1j})؛ والأوامر المكونة للمجموعة V وفقا للقاعدة "LPT" على الآلة الثانية (أي وفق ترتيب تنازلي لـ P_{2j}).

3- الجدولة المثلى تكمن إذن في تصنيع المجموعة المرتبة U متبوعةً بالمجموعة المرتبة V.

5-1-2- دراسة حالة عن المسألة و حلها:

* – يمكن إستعمال نفس الخوارزمية للوصول إلى الحلّ الأمثل إذا كان الهدف هو تدنية متوسط الوقت الذي يقتضيه كل أمر داخل النظام (إجمالي الوقت/ عدد الأوامر).

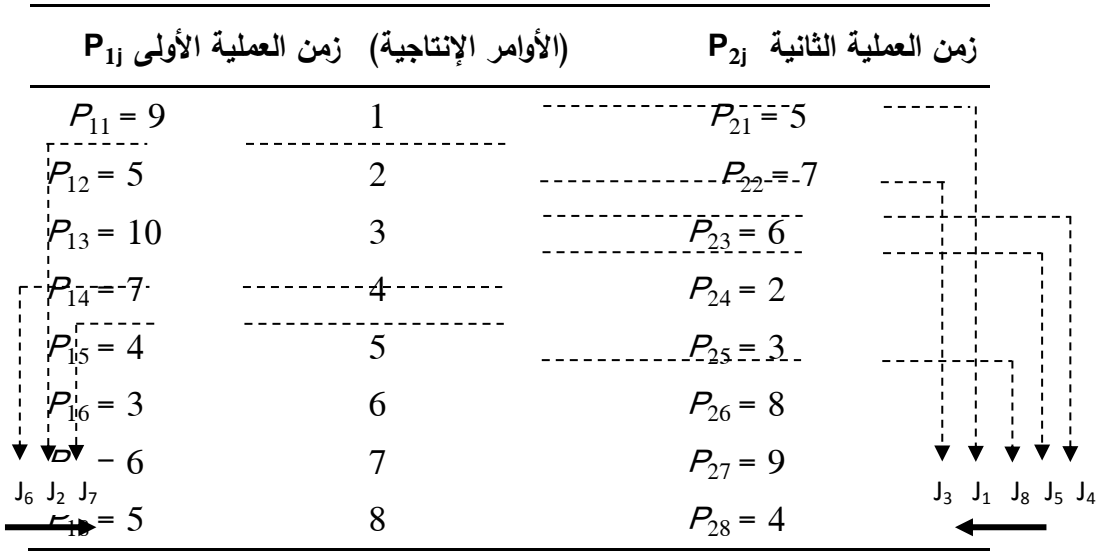
بعد جمع المعطيات في دراسة ميدانية قادتنا إلى "المؤسسة الوطنية للصناعات الإلكترونية" الكائن مقرها بولاية سيدي بلعباس تم وضع تصميم و تصور لهذه المسألة و من ثم صياغتها و العمل على حلها بتطبيق الخوارزمية السابقة.

الجدول التالي يُعبر عن مجموعة من الأوامر الإنتاجية (أعمال، أنشطة) المراد تصنيعها بإستعمال آلتين وفق الفرضيات السابقة. زمن التصنيع (بالدقيقة) الخاص بكل أمر على الآلتين مبين في الجدول:

(الأوامر الإنتاجية)	زمن العملية الأولى P_{1j}	زمن العملية الثانية P_{2j}
1	$P_{11} = 9$	$P_{21} = 5$
2	$P_{12} = 5$	$P_{22} = 7$
3	$P_{13} = 10$	$P_{23} = 6$
4	$P_{14} = 7$	$P_{24} = 2$
5	$P_{15} = 4$	$P_{25} = 3$
6	$P_{16} = 3$	$P_{26} = 8$
7	$P_{17} = 6$	$P_{27} = 9$
8	$P_{18} = 5$	$P_{28} = 4$

الجدول 2: دراسة حالة عن جدولة الأعمال على آلتين بنظام تصنيع متسلسل.

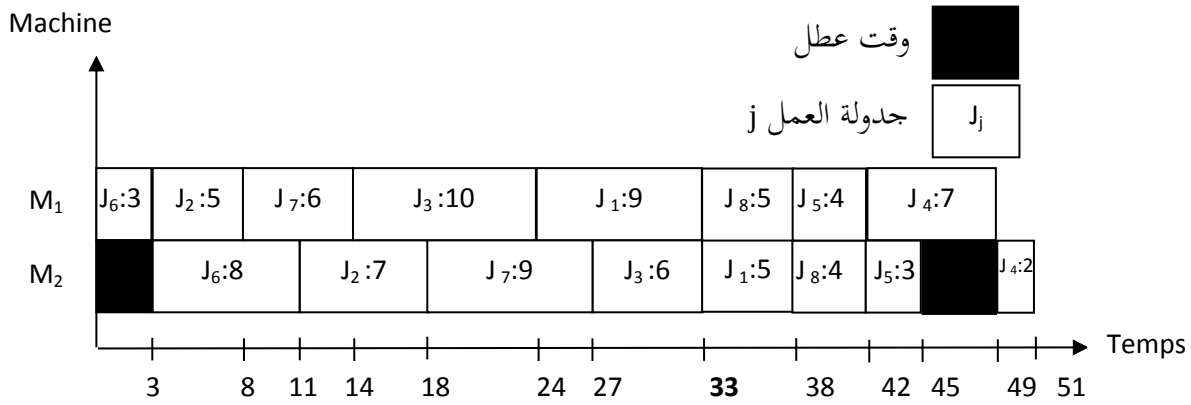
نبحث الآن عن نمط الجدولة الأمثل لإنجاز هذه الأعمال على الآلتين بإستخدام قاعدة "جونسون" كما يلي:



الجدول 3: حل دراسة الحالة عن جدولة الأعمال على آلتين بنظام تصنيع متسلسل.

وبغرض التأكد يُمكن إستخدام الطريقة الثانية حيث لدينا المجموعة U مكونة من الأوامر U={ J_7 , J_6 , J_2 } و المجموعة V مكونة من الأعمال V={ J_1 , J_3 , J_4 , J_5 , J_8 } ثم نقوم بترتيب أوامر المجموعة الأولى وفق قاعدة "أقل زمن تصنيع" فنحصل على الترتيب U={ J_6 , J_2 , J_7 }؛ و أوامر المجموعة الثانية وفق قاعدة "أطول زمن تصنيع" فيكون ترتيبها هو V={ J_3 , J_1 , J_8 , J_5 , J_4 }.

و منه فإن نمط الجدولة الأمثل في هذا المثال سوف يأخذ الشكل: { J_6 , J_2 , J_7 , J_3 , J_1 , J_8 , J_5 , J_4 }. وهي ممثلة في الشكل 2 الموالي الذي يمكّن من إستقراء مختلف الملاحظات و المؤشرات المساعدة على قيادة عملية التصنيع و متابعة الإنجاز، كأوقات العطل و غيرها كحساب مدى فعالية و كفاءة كل آلة على حدى أو وحدة التصنيع مجتمعة؛ و ما يهمنا هنا هو أن المدة الإجمالية للإنجاز هي أقل ما يُمكن الوصول إليه، و هي تساوي 51 دقيقة عمل، طالما أن الشكل يعكس أمثل جدولة ممكنة من حيث البحث عن تدنية هذا المعيار.



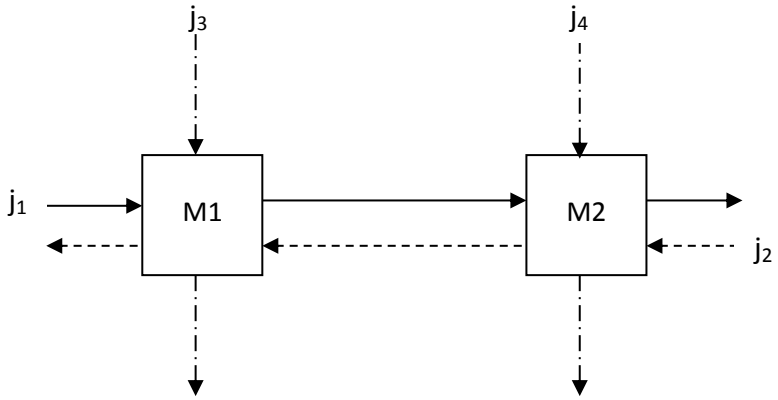
الشكل2 : التمثيل البياني لحل دراسة حالة جدولة الأعمال على آلتين بنظام تشغيل متسلسل من خلال مخطط "قانت".

5-2- جدولة الأعمال على آلتين بنظام تصنيع غير متسلسل (تدفق غير ثابت Job shop) $|C_{max}|$ F2|

5-2-1- تحديد إشكالية المسألة و طريقة الحل:

تختلف هذه الحالة عن سابقتها في عدم وجود تدفق ثابت للأوامر على مراكز الإنتاج، إذ أن لكل أمر إنتاجي تدفقه الخاص به على حسب ما تمُليه طريقة صُنعه؛ فمنها من يستدعي المرور على الآلة الأولى أولاً ثم الثانية و منها من يتطلب المرور على الآلة الثانية أولاً ثم الأولى، و منها من لا يلزمه إلا عملية واحدة على إحدى هاتين الآلتين.

يعبر الشكل التالي عن مثال لهذه المسائل ذات $(n!)^2$ إمكانية:



الشكل 3: جدولة عدة أوامر إنتاجية و آلتين بنظام تشغيل غير متسلسل (تدفق غير ثابت).

يُمكن حل هذه المسألة Cmax||J2 حلاً آنياً أمثلاً عن طريق تطبيق خوارزمية جاكسون.

خوارزمية جاكسون Algorithme de Jackson:[5]

1. نقوم بتصنيف الأوامر الإنتاجية في أربعة مجموعات :

- $\{E_1\}$: مجموعة الأوامر ذات عملية واحدة على الآلة M_1؛
- $\{E_2\}$: مجموعة الأوامر ذات عملية واحدة على الآلة M_2؛
- $\{E_{12}\}$: مجموعة الأوامر المكونة من عمليتين، الأولى على M_1 و الثانية على M_2.
- $\{E_{21}\}$: مجموعة الأوامر المكونة من عمليتين، الأولى على M_2 و الثانية على M_1.

2. يتم ترتيب أوامر المجموعتين $\{E_{12}\}$ و $\{E_{21}\}$ حسب خوارزمية جونسون؛ و تلك الخاصة بالمجموعتين $\{E_1\}$ و $\{E_2\}$ في أي ترتيب كان.

3. الجدولة الأمثل تكون إذن وفق الترتيبات التالية :

- على الآلة M_1 : $\{E_{21}\} > \{E_1\} > \{E_{12}\}$؛

[5] Pierre Lopez, Francois Roubellat, op. cit. p48.

- على الآلة M_2 : $\{E_{12}\} > \{E_2\} > \{E_{21}\}$.

5-2-2- دراسة حالة عن المسألة و حلها:

بنفس المنهجية السابقة تم جمع و تحديد المعطيات حول هذه المسألة فكان لدينا عشرة أعمال نبحث في جدولتها داخل نظام التصنيع، خصائص كل عمل من زمن و طريقة تصنيع موضحة في الجدول الآتي:

(الأوامر الإنتاجية)	شكل التتابع	زمن العملية بالدقائق
J_1	*1, 2*	$P_{11} = 40,\ P_{21} = 60$
J_2	1, 2	$P_{12} = 70,\ P_{22} = 50$
J_3	2, 1	$P_{23} = 100,\ P_{13} = 80$
J_4	1	$P_{14} = 40,\ P_{24} = 0$
J_5	2	$P_{25} = 60,\ P_{15} = 0$
J_6	2, 1	$P_{26} = 30,\ P_{16} = 70$
J_7	1, 2	$P_{17} = 110,\ P_{27} = 30$
J_8	2, 1	$P_{28} = 80,\ P_{18} = 60$
J_9	2	$P_{29} = 50,\ P_{19} = 0$
J_{10}	1	$P_{110} = 50,\ P_{210} = 0$

الجدول 4: دراسة حالة عن جدولة الأعمال على آلتين بنظام تدفق غير ثابت.

نقوم أولاً بجدولة هذه الأوامر (الأعمال) بإنشاء المجموعات الفرعية للجدولة كما يلي:

$E_2 = \{J_5 , J_9\}$

J	J_5	J_9
P_{1j}	60	50

جدول فرعي2: الآلة 2

$E_1 = \{J_4 , J_{10}\}$

J	J_4	J_{10}
P_{1j}	40	50

جدول فرعي1: الآلة 1

$E_{21} = \{J_3 , J_6 , J_8\}$

J	J_3	J_6	J_8
P_{2j}	100	30	80
P_{1j}	80	70	60

جدول فرعي4: الآلة 2 ثم 1

$E_{12} = \{J_1 , J_2 , J_7\}$

J	J_1	J_2	J_7
P_{1j}	40	70	110
P_{2j}	60	50	30

جدول فرعي3: الآلة 1 ثم 2

نقوم الآن بجدولة (S) أوامر (أعمال) كل من الجدول الفرعي 1 و 2 مستخدمين قاعدة "أقل زمن تصنيع" كما في حال الآلة الواحدة لنحصل على الجدولتين:

$SE_1 : J_4 , J_{10}.$ et $SE_2 : J_9 , J_5.$

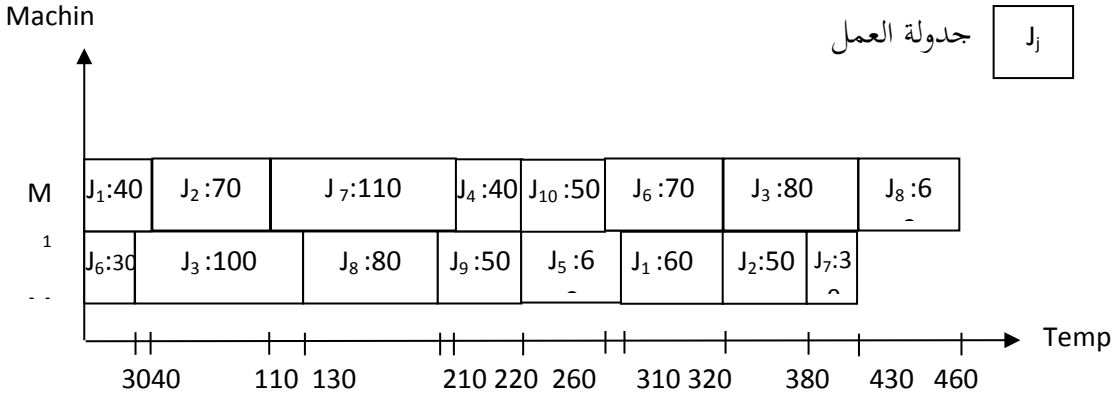
في حين يتم جدولة أوامر الجدولين الفرعيين 3 و 4 باستعمال خوارزمية "جونسون" فنحصل على:

$SE_{12} : J_1 , J_2 , J_7.$ et $SE_{21} : J_6 , J_3 , J_8.$

وبالتالي نحصل على الجدولة النهائية التالية لهذه الأعمال:

- على الآلة الأولى M_1 : $J_1 , J_2 , \rightarrow J_4 , J_{10} , J_6 , J_3 , J_8.$
- على الآلة الثانية M_2 : $J_6 , J_3 , \rightarrow J_9 , J_5 , J_1 , J_2 , J_7.$

ويُمثل الشكل الموالي هذه الجدولة:



الشكل 4: التمثيل البياني لحل مسألة جدولة الأعمال على آلتين بنظام تدفق غير ثابت بإستعمال مخطط "قانت".

6- خاتمة:

تم التطرق عبر هذه الورقة البحثية إلى معالجة مسألتين مهمتين من مسائل جدولة عمليات الإنتاج و هما مسألتي جدولة مجموعة من الأنشطة و المهام ممثلة في عدد من الأوامر بالإنتاج على مركزي تصنيع (آلتين) في حالة التدفق الثابت و حالة التدفق غير الثابت، و إلى جانب توضيح و وضع الإطار النظري لهاتين المسألتين فقد تم إجراء تطبيق و دراسة حالة لكل واحدة منها في المؤسسة الصناعية و حلها بما أدى إلى الوصول إلى أمثل جدولة و وضع أحسن خطة في التنفيذ و الإنجاز ترتب عن ذلك العمل على تحسين و تفعيل نظام التصنيع في إطار الرفع من الكفاءة الإنتاجية لوحدة الإنتاج.

7- الإحالات و المراجع:

- جلال إبراهيم العبد، إدارة الإنتاج و العمليات: مدخل كمي، الدار الجامعية، بدون رقم طبعة، 2002.
- كاسر نصر المنصور، إدارة العمليات الإنتاجية، الأسس النظرية و الطرائق الكمية، دار الحامد للنشر و التوزيع عمان، الطبعة الأولى 2010.

- عبد الستار محمد العلي، التخطيط و السيطرة على الإنتاج و العمليات، دار المسيرة، عمان، الطبعة الأولى 2007.

- د. عبد الكريم محسن، د. صباح مجيد النجار، إدارة الإنتاج و العمليات، مكتبة الذاكرة بغداد، دار وائل للنشر عمان، الطبعة الثالثة 2009.

- د. محمود أحمد فياض، د. عيسى يوسف قدادة، إدارة الإنتاج و العمليات (مدخل نظمي)، دار صفاء للنشر و التوزيع–عمان، الطبعة الأولى 2010.

- Groupe GOThA (sous la direction de Philipe Baptiste, Emmanuel Néron, Francis Sourd), Modèles et Algorithmes en Ordonnancement, exercices & problèmes corrigés, ellipses, Paris, 2004.

- Michel N., L'essentiel du management industriel, Dunod, Paris, 2006.

- Pierre Lopez, Francois Roubellat : Ordonnancement de la production , Paris, Hermes Sciences Publications , 2001.

- Slack N., Chambers S., Harrison A., Johnston R., Operations Management, London Pitman Publishing, 4th edition, 2004.