

Processing of Scheduling Problems in the Job Shop Using Fuzzy Logic
Baydaa S. Bhnam

baydaa_sulaiman@uomosul.edu.iq
College of Computer Sciences and Mathematics
University of Mosul, Mosul, Iraq

Received on: 19/05/2009

Accepted on: 03/11/2009

ABSTRACT

The research deals with a problem that concentrates on the use of fuzzy logic which sends the job orders for the purpose of the due dates to achieve customer's satisfaction besides efficient flow of jobs among the production cells. To achieve the aims of the research , an algorithm for scheduling jobs has been achieved in the job shop which treats N jobs (J1, J2,.....Jn) on M machines (M1, M2,....Mm) . This algorithm is based on triangular membership functions to express the fuzzy processing times and that through the treatment time of the operation and the release date and the due date.

The most notable findings of the research is the high degree of satisfaction of the job that are at the forefront of chain, while it begins to decline whenever the sequence increases, i.e is whenever the number of the acts increases in the waiting line, and that is by determining the start time and end time of each job.

Keywords: fuzzy logic, Scheduling Strategy, satisfaction degree

معالجة مشكلات الجدولة في ورش الإنتاج باستخدام المنطق المضبب

بيداء سليمان بهنام

كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل

تاريخ قبول البحث: 03/11/2009

تاريخ استلام البحث: 19/05/2009

المخلص

يتناول البحث مشكلة تتمحور حول استخدام المنطق المضبب (Fuzzy Logic) في إصدار أوامر العمل وذلك للحصول على تواريخ استحقاق تحقق رضا الزبائن بجانب تحقيق الانسياب الكفاء للأعمال بين خلايا الإنتاج. ولتحقيق أهداف البحث تم صياغة خوارزمية لجدولة الأعمال في ورشة إنتاج تعالج n من الأعمال (J1, J2, .., Jn) وعلى m من المكائن (M1, M2, ... Mm). ولقد اعتمدت الخوارزمية الدوال العضوية المثلثية للتعبير عن أوقات المعالجة المضببية (Fuzzy processing times) وذلك من خلال وقت المعالجة للعملية وتاريخ إطلاق أمر العمل (Release date) وتاريخ استحقاقه (due date).

ومن أبرز ما توصل إليه البحث هو أن درجة الرضا تكون عالية للأعمال التي تكون في مقدمة التسلسل بينما تبدأ بالانخفاض كلما زاد التسلسل أي كلما زادت عدد الأعمال في خط الانتظار، وذلك من خلال تحديد وقت بدء ووقت انتهاء كل عمل.

الكلمات المفتاحية: المنطق المضبب، استراتيجية الجدولة، درجة الرضا.

1. المقدمة ومنهجية البحث

إن ما يؤشره الواقع الحالي من وفرة للبيانات التشغيلية نتيجة للمنافسة العالمية المتزايدة وتجزئة الأسواق والتنوع في المنتج ، يؤشر وبدون شك الخطوة الضرورية باتجاه التوصل إلى حلول تسهم في الارتقاء بكفاءة نظم التخطيط والسيطرة على الإنتاج لدعم القرارات التي تتسم بالصعوبة وخاصة تلك التي تعالج نشاطات جديدة غير متكررة مثل جدولة الأعمال في بيئة ذات التنوع العالي للمنتجات . هذا وإن الميزة التنافسية لكثير من الشركات يكمن في إنتاج منتجات مصنعة وفق احتياجات الزبائن وبما يلبي رغباتهم وبأسرع ما يمكن. لقد أصبحت سرعة الاستجابة لطلبات الزبائن عاملا حاسما يميز منتج شركة ما عن منتجات الشركات الأخرى ، لذا فإن قدرة الشركة ومرونتها في تقديم مثل هذه المنتجات في الوقت والنمط المحددين يشير إلى ضرورة توفر معلومات متكاملة ودقيقة لدورة حياة المنتج.

وفي ضوء ما سبق ، فقد شهدت تقنيات المعلومات تطبيقات طموحة تركز على أسس علمية رصينة تضمن معالجة كميات كبيرة من البيانات . وعليه ينطلق البحث من مشكلة تتمحور حول استخدام المنطق المضبب (Fuzzy Logic) في إصدار أوامر العمل والحصول على تواريخ استحقاق تحقق رضا الزبائن بجانب الانسياب الكفاء للأعمال بين خلايا الإنتاج.

وبناءً عليه ينطلق البحث من فرضية مفادها

ما مدى إمكانية الإيفاء بتحقيق الاستجابة السريعة لمتطلبات الزبائن من خلال تبني المنطق المضبب في إصدار أوامر العمل وتحقيق رضا الزبائن.
هذا وتكمن أهمية البحث في استخدام المنطق المضبب لجدولة الأعمال في خلايا الإنتاج واستخدامها لدعم القرارات في عالم يتزايد فيه التنوع في الطلبات .
وتتجلى أهداف البحث:

1. صياغة خوارزمية لجدولة ورش العمل وذلك باستخدام المنطق المضبب لمعالجة مشكلات الإيفاء بأوقات الاستحقاق لطلبات الزبائن.

2. اختبار فرضية البحث للتحقق من مدى ملائمة الخوارزمية المصممة لجدولة الإنتاج في ورش العمل .

تشكل الدراسات التطبيقية السابقة أهمية بالغة عند إعداد هذا البحث خاصة وإن نتائجها تصبح بمثابة الأساس الذي تقارن به نتائج تطبيق الخوارزمية المصممة. ومن هذه الدراسات:

1. فقد تناولت دراسة (song,x. and petrovic,s.) نموذجا للتعامل مع محددات المنطق المضبب في ورشة الإنتاج. وقد اعتمد تاريخ الاستحقاق و تاريخ الإطلاق إضافة إلى وقت المعالجة

(الإنتاج) للأعمال كمجاميع مضببة. حيث اقترحا طريقة لحساب درجة الرضا grade satisfaction للجدولة بما يتعلق بتاريخ الإطلاق المضبب وتاريخ الاستحقاق المضبب للأعمال. إذ يهدف البحث إلى الحصول على جدولة ذات درجة رضا. حيث أن الطريقة التي اقترحاها تم استخدامها ضمن local search heuristics التي تبحث عن أفضل جدولة (song and prtrovic,2005).

2. بينما قدمت دراسة (winley,g.) خوارزمية (Intelligent heuristic search algorithm(IHSA)) لحل مشكلات ورش الإنتاج لماكنتين أو ثلاثة وعدد n من الأعمال. حيث تم تحديث خوارزمية (IHSA) بطريقتين مختلفتين لأجل تقليل الـ backtracking وتحسين أداء تنفيذها . ان أول تحديث يتعلق باختيار أفضل دالة heuristic لكي تستخدم. وثاني تحديث يتعلق بالطريقة التي يتم فيها تحديد أي تخمين heuristic العقد على مسار البحث كإضافات للبحث. وتبين ان تجاربه تحسن أداء الخوارزمية إضافة الى نتائج كل منها(winley,2006).

3. بينت دراسة أخرى لـ (song,x and petrovic,s.) بأنه يمكن تدنية أوقات الإنتاج في ورش العمل من خلال استخدام أعداد مضببة مثلثة لاقوات المعالجة بهدف تقليل المهل الزمنية. وقد بينت النتائج كيفية ترتيب تسلسل الأعمال بالحصول على أوقات الإنتاج والتي هي الأرقام المضببة (song and petrovic,2004).

2. المنطق المضبب وإستراتيجية جدولة الإنتاج (Fuzzy logic and Scheduling Strategy)

تعرف الجدولة بأنها: مجموعة من قواعد الانتظار أو قواعد إصدار الأوامر (Dispatching rules) لترتيب الأعمال أو الأجزاء المخطط تصنيعها على مكائن معينة (الأتروشي 1993 Tay) and Ho,2008). وتتضمن جدولة الإنتاج الرئيسية وصف لجميع المنتوجات والتراكيب المخطط إنتاجها في خطوط الإنتاج ولفترة زمنية محددة. وتتمثل قواعد إصدار الأوامر: بأن الطلب الذي يدخل أولاً ينفذ أولاً (First-in-First-Out) أو وقت الاستحقاق المبكر (Earliest Due Date) وغيرها من القواعد (Ozelkan,Duckstein,1999) (Suri,1998) .

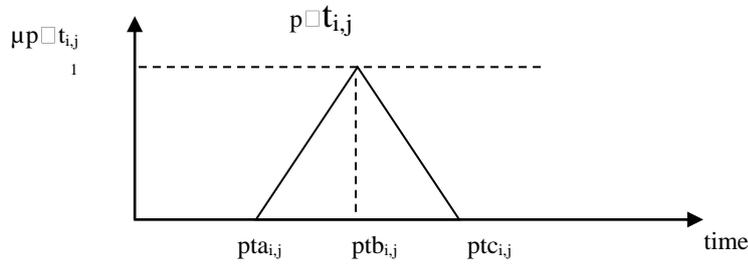
وعملياً فإن مسألة ورشة الإنتاج تعالج n من الأعمال (J_1, J_2, \dots, J_n) وعلى m من المكائن (M_1, M_2, \dots, M_m) ، ولنفترض أن هنالك ثلاث معلمات محددة لكل عمل وهي:

pt وقت المعالجة (Processing time)

RD تاريخ الإطلاق (Release date)

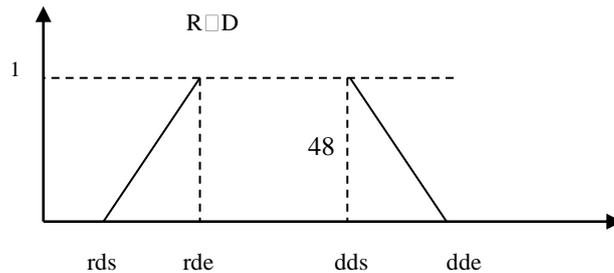
DD تاريخ الاستحقاق Due date.

لقد تم استخدام الدوال العضوية المثلثية للتعبير عن اوقات المعالجة المضطربة Fuzzy processing times للأعمال. إذ يمكن تمثيل وقت المعالجة للعمل J_i على الماكينة M_j بدالة عضوية مثلثية، حيث ان $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$. و يوضح الشكل (1) وقت المعالجة المضطرب $p \square t_{i,j}$ بثلاث ($pta_{i,j}$, $ptb_{i,j}$, $ptc_{i,j}$) حيث ان $pta_{i,j}$ ، $ptb_{i,j}$ و $ptc_{i,j}$ تمثل القيم العضوية ذات الحد الأدنى ، الوسط وكذا الأعلى من وقت المعالجة المضطرب $p \square t_{i,j}$ على الترتيب (Mccaaon and Lee ,1992) , (song and petrovic,2006). و تستخدم عادةً $pta_{i,j}$ ، $ptb_{i,j}$ و $ptc_{i,j}$ للتعبير عن القيم التشاؤمية Pessimistic ، المعتدلة Moderate والتفاؤلية Optimistic لوقت المعالجة على الماكينة (Dvorakj and Maj,2003) (Monlgomery and .etal,2006),(Song and Petrovic,2006).



الشكل (1): وقت المعالجة المضطرب

وبنفس الوقت تم وصف تاريخ الإطلاق وتاريخ الاستحقاق للعمل بمجاميع مضطربة التي تمكن النموذج من أداء التنفيذ ومساندة صنع القرار . هذا ويوضح الشكل (2) تاريخ الإطلاق المضطرب ($R \square D$) Fuzzy Release date ، والمشار له بمتغيرين (rds, rde) ، حيث تم وصفها بدالة عضوية مثلثية علماً بان $\mu_{R \square D}(rds)=0$ و $\mu_{R \square D}(rde)=1$. وتشير دالة العضوية لتاريخ الإطلاق $R \square D$ ، انه من الأفضل إطلاق العمل بعد rde إذ من غير المقبول إطلاقه قبل rds . وان تاريخ الاستحقاق المضطرب ($D \square D$) Fuzzy Due date، المشار له بالمتغيرين (dds, dde) هو الآخر تم وصفه بدالة عضوية مثلثية. وان $\mu_{D \square D}(dds)=1$ و $\mu_{D \square D}(dde)=0$. وهذا يؤشر أفضلية إكمال العمل قبل dds ، وغير مقبول اكماله بعد dde . (Itoh and Ishii,1999),(Dvorak,2001),(Montgmerly and .etal,2006).



الشكل (2): تاريخ الاطلاق المضطرب وتاريخ الاستحقاق المضطرب

لنفرض أن :

$R \square D_i$ تاريخ الإطلاق المضبيب للعمل J_i على الماكنة M_j ؛

$p \square t_{i,j}$ وقت المعالجة المضبيب للعمل J_i على الماكنة M_j ؛

$C t_{i,j}$ وقت الاكمال completion time للعمل J_i على الماكنة M_j ؛

$C \square t_{i,j}$ وقت الاكمال المضبيب Fuzzy completion time للعمل J_i على الماكنة M_j ؛

حيث ان $i=1,2,\dots,n$ ، وان $j=1,2,\dots,m$. وعليه يمكن حساب $C \square t_{i,j}$ حسب

(Sakawa and Kubota,2000),(Dvorak and Majer,2003),(Song

:and Petrovic,2005)

$$C \square t_{i,1} = R \square D_i + \square P \square t_{i,1}$$

...(1)

$$C \square t_{i,1} = \max \square (R \square D_i , C \square t_{i-1,1}) + \square P \square t_{i,1} \quad ; \text{ for } i = 2, \dots, n$$

...(2)

$$C \square t_{1,j} = C \square t_{1,j-1} + \square P \square t_{1,j} \quad ; \text{ for } j = 2, \dots, m$$

...(3)

$$C \square t_{i,j} = \max \square (C \square t_{i-1,j} , C \square t_{i,j-1}) + \square P t_{i,j} \quad ; \text{ for } i = 2, \dots, n \quad ; \text{ for } j = 2, \dots, m$$

...(4)

وعلى هذا الأساس يمثل ($+$ \square) الجمع المضبيب وان ($m \square ax$) يمثل الأكبر المضبيب

في إطار تمثيل وقت الإكمال المضبيب للعمل J_i خلال المكائن بدالة عضوية مثلثية (Hong and

.Wang,2000),(Fayad and Petrovic,2006),(Liu and etal,2007)

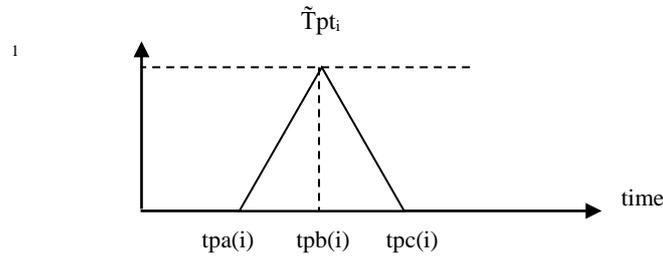
ومما يستحق التنويه اليه في هذا الصدد أن $t p t_i$ هو وقت المعالجة الكلي Total

(crisp) processing time للعمل J_i خلال المكائن ، وان $\tilde{T} p t_i$ هو وقت المعالجة الكلي المضبيب

(Fuzzy Total processing time) الذي يحتاجه العمل J_i خلال المكائن. وعليه يمكن تمثيل

$\tilde{T} p t_i$ بدالة عضوية مثلثية كما في الشكل (3) (Dvorak and (3) (Song and Petrovic,2005),

.Majer,2002)



الشكل(3): وقت المعالجة الكلي المضبيب

هذا ويتم حساب tpa, tpb, tpc باستخدام المعادلات التالية:

$$tpa(i) = \sum_{j=1}^n pta(i, j) \quad ; \text{for all } j \quad \dots(5)$$

$$tpb(i) = \sum_{j=1}^n ptb(i, j) \quad ; \text{for all } j \quad \dots(6)$$

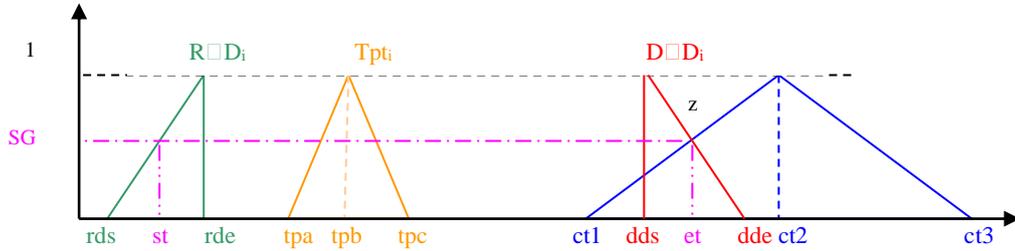
$$tpc(i) = \sum_{j=1}^n ptc(i, j) \quad ; \text{for all } j \quad \dots(7)$$

لذا فان :

$$tpt_i = tpa(i) + tpb(i) + tpc(i) \quad ; \text{for all } j \quad \dots(8)$$

بالنسبة للمعادلة (5) فقد تم حساب $tpa(i)$ الذي يمثل وقت المعالجة الكلي الاولي الذي يحتاجه العمل J_i خلال المكائن عن طريق ايجاد حاصل جمع اوقات المعالجة الاولية للعمل J_i خلال المكائن $pta(i, j)$. وكذلك الحال مع المعادلة (6) لحساب $tpb(i)$ وقت المعالجة الكلي الوسطي والمعادلة (7) لحساب $tpc(i)$ وقت المعالجة الكلي النهائي الذي يحتاجه العمل J_i خلال المكائن.

وبغية تحديد وقت البدء (st) ووقت الانتهاء (et) ودرجة الرضا (SG) Satisfaction grade للعمل J_i يتم استخدام أسلوب الميل slope ، وكما موضحة بالشكل(4).



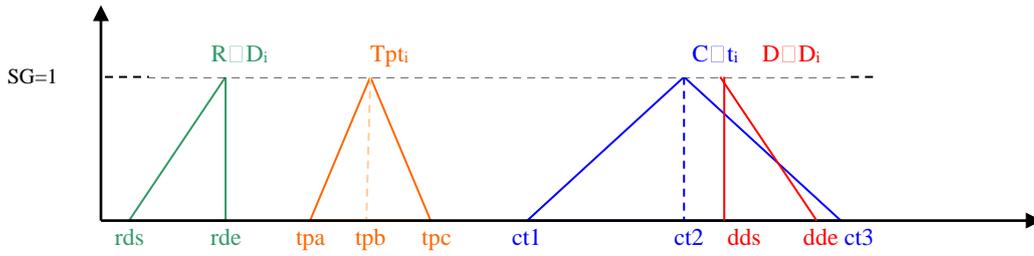
الشكل (4): حالة J_i عندما $dds < rde + tpb$

يؤشر الشكل(4) تقاطع المستقيم الذي يمثل احد أضلاع الدالة المثلثية $(ct1, ct2, ct3)$ لوقت الإكمال المضرب مع المستقيم الذي يمثل احد أضلاع الدالة المثلثية (dds, dds, dde) لتاريخ الاستحقاق المضرب. ويتقاطعان هذان المستقيمان عند النقطة (z) ، التي تتمثل أبعادها $((v, w))$. ويتبين من الشكل وجود زوجين من النقاط المعلومة ، فالزوج الأول هو: $(ct1, 0)$ ،

(ct2,1) اما الزوج الثاني فهو: (dde,0), (dds,1) . ولغرض ايجاد نقطة التقاطع هذه نستخدم معادلة الميل التالية:

$$\frac{w2 - w1}{v2 - v1} = \frac{w - w1}{v - v1} \quad \dots(9)$$

وبطبيعة الحال يتم تطبيق المعادلة (9) على الزوجين من النقاط المعلومة لاستخراج قيمة (v,w). وعليه فان قيمة v ستمثل وقت انتهاء (et) العمل J_i اما درجة الرضا للعمل J_i فهي قيمة w. ولغرض إيجاد وقت بدء العمل J_i سوف يتم تطبيق المعادلة (9) على النقطتين المعلومتين (rds,0),(rde,1) اللتان تنتميان إلى المستقيم الذي يمثل احد إضلاع الدالة المثلثية (rds,rde,rde) لتاريخ الإطلاق وبلاستفادة من درجة الرضا SG للعمل (التي تم ايجادها) سوف يتم ايجاد قيمة v من معادلة الميل (9) التي ستمثل هنا st وهي وقت بدء العمل J_i . وكما موضح في الشكل ان حالة العمل J_i هي عندما تكون dds للعمل اقل من rde+tpb (dds < rde+tpb) . في حين عندما تكون حالة العمل J_i عكس الحالة السابقة (dds ≥ rde+tpb). وكما موضحة في الشكل (5) التالي:



الشكل (5): حالة J_i عندما $dds \geq rde + tpb$

في هذه الحالة وصلت درجة الرضا للعمل J_i أعلى ما يكون وهي 1، ولأجل الوصول الى درجة الرضا هذه فان وقت بدء العمل J_i يكون ضمن الفترة [rde, dds-tpb] وينتهي ضمن الفترة [rde+tpb, dds] (song and ptrrovic,2005). وفي مجال بحثنا تم حساب st وفق الصيغة: $st = dds - tpb$ ، بينما وقت انتهائه et فإنه يمثل dds نفسها ، وبهذا فان قيمة st و et ستكون ضمن الفترة المحددة لهم .

3. تصميم الخوارزمية

تبرز أهداف البحث الحالي باستخدام المنطق المضبيب في معالجة تنفيذ الأعمال وذلك من خلال تحديد تسلسل التنفيذ استناداً إلى أوقات البدء والانتهاء لكل عمل في خط الانتظار . هذا وإن

معلومات تسلسل الأوامر تساعد الإدارة في عملية صناعة القرارات لاستغلال الفرص المتاحة في البيئة من خلال الاستجابة السريعة للطلبات المختلفة والمتنوعة للزبائن .

يوضح الشكل (6) المخطط الانسيابي للخوارزمية المصممة والذي يوضح تسلسل تنفيذ مجموعة الدوال المطلوبة لتحديد تسلسل الأعمال وفق المنطق المضرب. وينفس الاتجاه تم بناء خوارزمية للبرنامج الرئيسي بهدف تنفيذ مجموعة الدوال المستخدمة والتي نؤشرها كالآتي :

1. البرنامج الرئيسي:

The algorithm of main program:

Begin

call the file Info-jobs;

call the function comptim;

if $dds(i) \geq rde(i) + tpb(i)$; for $i=1, \dots, n$

SG = 1;

st = $dds(i) - tpb(i)$;

et = $dds(i)$;

else

[v,w] = call the function find_inter_point;

SG = w;

et = v;

[vv] = call the function find_start_point;

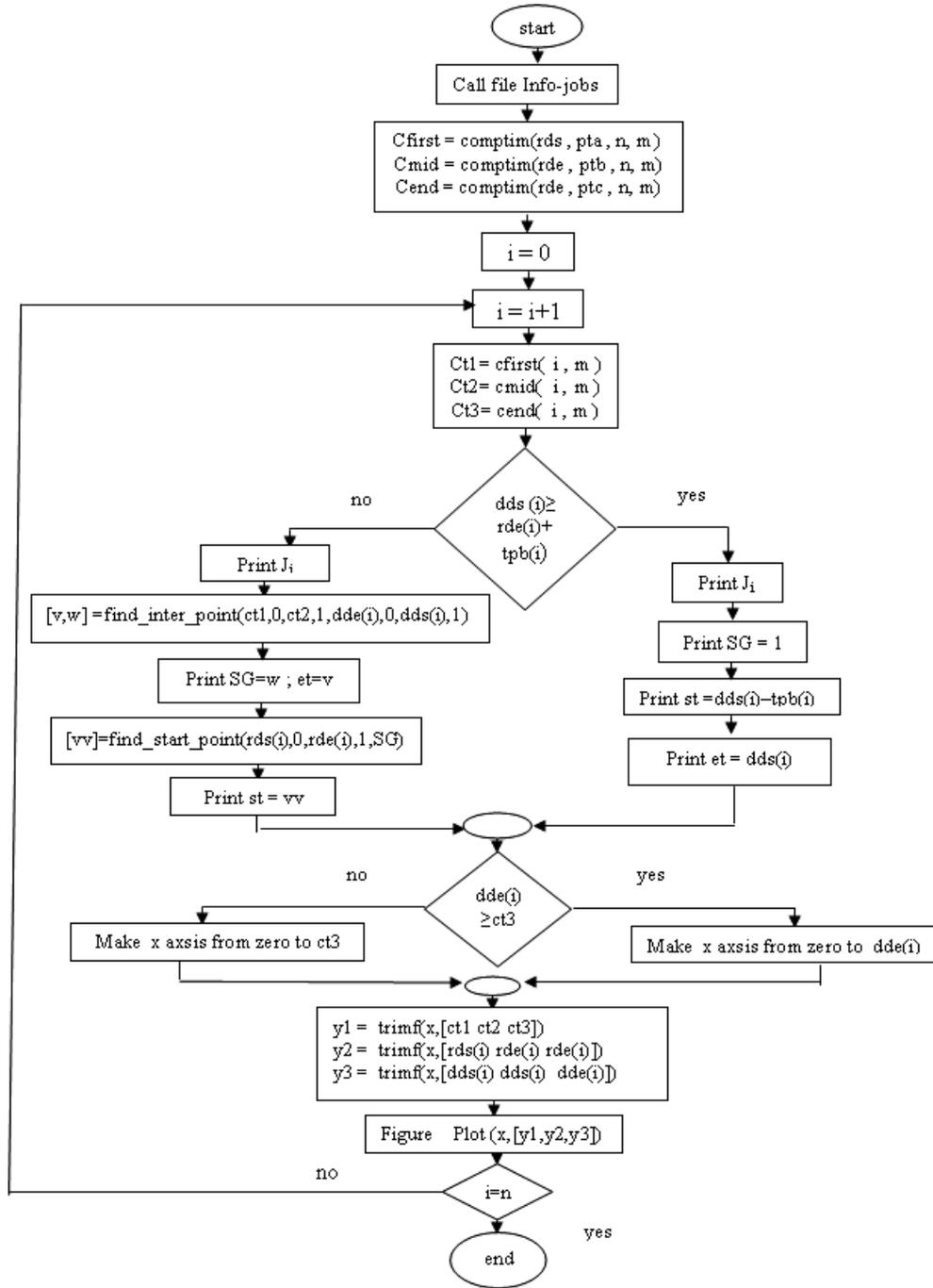
st = vv;

end

if $dde(i) \geq ct3$ then make x axis from zero to $dde(i)$

else make x axis from zero to $ct3$

plot completion time , due date , rlease date using function trimf



الشكل (6): المخطط الانسيابي للخوارزمية المصممة

2. ملف Info-jobs :

يمثل هذا الملف مختصر للكلمات (Information of jobs) إذ يحتوي هذا الملف على جميع المعلومات المتعلقة بالأعمال وكالاتي :

The algorithm of file Info-jobs:

Begin

Read : numbers of Jobs(n);

numbers of machines(m);

release date (rrs , rre);

due date (dds , dde);

processing time (pta ,ptb ptc);

compute : total processing time tpt(i) as the equation (8); for i=1,..n

tpa(i) , tpb(i) , tpc(i) as the equations (5),(6),(7) respectively.

end

3. الدالة comptim :

وتمثل هذه الدالة مختصر للكلمات completion time ، إذ يتم استدعاؤها في البرنامج الرئيسي لحساب وقت اكمال الأعمال. حيث أن المدخلات لهذه الدالة هي: عدد (n) من الأعمال، عدد (m) من المكائن ، تاريخ الاستحقاق (مصفوفة rds او rde) ووقت المعالجة (مصفوفة pta أو ptb او ptc). أما مخرجاتها فتتمثل بالمصفوفة Ct والتي تمثل وقت الإكمال .

The algorithm of the function comptim:

Begin

Repeat for all machines;

Repeat for all Jobs;

Compute Ct as the equation (1) if the job is first process at the first machine.

else

If the machine is first then Compute Ct as the equation (2)

else

if the Job is first then Compute Ct as the equation (3)

else

Compute Ct as the equation (4)

end

4. الدالة find_inter_point :

تمثل هذه الدالة مختصر لـ (find_intersection_point) ويتم استدعاؤها في البرنامج الرئيسي لإيجاد نقطة التقاطع z (التي تتمثل أبعادها بـ(v,w)) بين وقت الإكمال وتاريخ الاستحقاق

للعمل J_i وذلك باستخدام معادلة الميل (9). هذا وتستلم الدالة : أربع نقاط للمستقيمين المتقاطعين : حيث نقطتان منهما تنتميان إلى المستقيم الذي يمثل احد أضلاع الدالة المثلثية لوقت الإكمال المضرب، بينما تختص النقاط الأخرى بتاريخ الاستحقاق المضرب. أما مخرجات هذه الدالة فتتمثل بنقطة التقاطع z والتي أبعادها (v,w) مابين المستقيمين المتقاطعين ، حيث v تمثل وقت الانتهاء et و w تمثل درجة الرضا للعمل J_i .

5. الدالة `find_start_point` :

تستدعى هذه الدالة في البرنامج الرئيسي وذلك بهدف إيجاد وقت البدء st للعمل J_i . وان مدخلات هذه الدالة هي: نقطتان تنتميان الى المستقيم الذي يمثل احد أضلاع الدالة المثلثية لتاريخ الاطلاق المضرب ودرجة الرضا SG للعمل J_i . وبتطبيق معادلة الميل (9) سوف يتم إيجاد v التي تمثل وقت البدء st للعمل.

4. اختبار الخوارزمية ومناقشة النتائج

يجسد اختبار الخوارزمية الهدف الثاني للبحث ، ويعد تحليل النتائج في الوقت نفسه أداة لاختبار فرضية البحث والتي مفادها : أن المعالجة باستخدام المنطق المضرب يلائم وبشكل كبير تحقيق رضا الزبون في الإيفاء بأوقات الاستحقاق .

والجدول (1) يمثل البيانات التي استخدمها الباحث لاختبار الفرضية وذلك بافتراض عشرة أعمال وثلاثة مكائن .

الجدول (1): معلومات عن عشرة اعمال وثلاث مكائن

| J_i | $R \square D_i$ (rrs,rre) | $D \square D_i$ (dds,dde) | $P \square ti,1$ | $P \square ti,2$ | $P \square ti,3$ |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| J_1 | (5,6) | (14,17) | (2,3,4) | (1,2,5) | (4,5,6) |
| J_2 | (6,9) | (21,27) | (3,6,7) | (2,4,5) | (1,3,4) |
| J_3 | (3,8) | (34,40) | (5,6,7) | (3,4,6) | (7,9,11) |
| J_4 | (4,8) | (24,39) | (4,6,7) | (2,5,6) | (3,6,8) |
| J_5 | (7,11) | (31,47) | (8,10,11) | (5,6,7) | (4,5,8) |
| J_6 | (9,14) | (33,54) | (9,11,13) | (7,9,10) | (2,4,6) |
| J_7 | (10,15) | (38,63) | (3,6,7) | (10,12,13) | (6,7,9) |
| J_8 | (8,17) | (40,71) | (4,7,9) | (9,11,13) | (6,8,9) |
| J_9 | (11,16) | (41,79) | (8,9,11) | (10,12,13) | (5,6,7) |
| J_{10} | (12,20) | (44,94) | (7,9,10) | (12,13,15) | (9,11,12) |

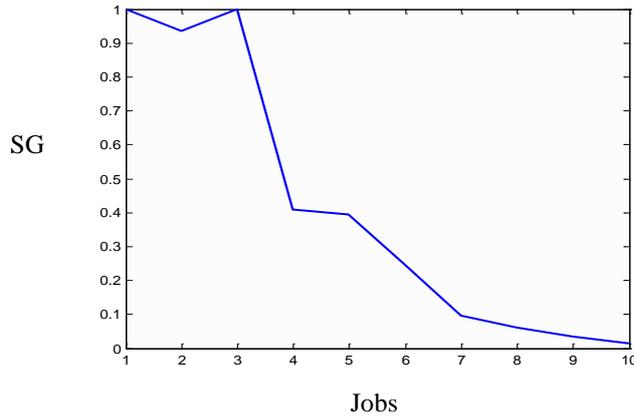
ولقد تم حساب وقت المعالجة الوسطي $ptb_{i,j}$ بالمعادلة التالية (Suri,1998):

$$E (ptb (i,j)) = \frac{pta (i,j) + 4 * ptb (i,j) + ptc (i,j)}{6} ; \text{ for } i=1, \dots, n, j=1, \dots, m \dots (10)$$

وفي مجال بحثنا تم تقريب الناتج $E(ptb(i,j))$ (للتخلص من الجزء الكسري باستخدام الدالة round الجاهزة في برنامج MATLAB. ويبين الجدول (2) النتائج التي تم الحصول عليها عند تطبيق الخوارزمية ، حيث يبين وقت المعالجة الكلي المضرب $T \square pt_i$ (tpa,tpb,tpc) ، وقت الاكمال المضرب $C \square t_i$ (ct1,ct2,ct3) ، درجة الرضا SG_i ، وقت البدء st_i ووقت الانتهاء et_i لكل عمل من الأعمال المستخدمة . بينما يوضح الشكل (7) درجة الرضا للأعمال .

الجدول(2): درجة الرضا وبداية ونهاية عشرة اعمال (J₁-J₁₀)

| J _i | T \square pt _i (tpa,tpb,tpc) | C \square t _i (ct1,ct2,ct3) | SG _i | st _i | et _i |
|-----------------|--|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| J ₁ | (7,10,15) | (11,14,16) | 1 | 6 | 14 |
| J ₂ | (6,13,16) | (13,22,26) | 0.9333 | 8.8000 | 21.4000 |
| J ₃ | (15,19,24) | (25,34,41) | 1 | 15 | 34 |
| J ₄ | (9,17,21) | (28,40,49) | 0.4074 | 5.6296 | 32.8889 |
| J ₅ | (17,21,26) | (36,48,57) | 0.3929 | 8.5714 | 40.7143 |
| J ₆ | (18,24,29) | (45,61,71) | 0.2432 | 10.2162 | 48.8919 |
| J ₇ | (19,25,29) | (59,76,87) | 0.0952 | 10.4762 | 60.6190 |
| J ₈ | (19,26,31) | (68,88,100) | 0.0588 | 8.5294 | 69.1765 |
| J ₉ | (23,27,31) | (77,98,111) | 0.0339 | 11.1695 | 77.7119 |
| J ₁₀ | (28,33,37) | (93,116,131) | 0.0137 | 12.1096 | 93.3151 |



الشكل (7): درجة الرضا لـ 10-Jobs

هذا وقد أسفرت نتائج التطبيق وكما في الجدول (2) والشكل (7) وكما يأتي:

1. إن درجة الرضا للأعمال الثلاثة الأولى هي عالية جدا مقارنة مع بقية الأعمال الأخرى. كما ونلاحظ تناقص شديد في درجة الرضا كلما زاد عدد الأعمال.
2. عند المقارنة بين العمل الأول والثالث J_1, J_3 : يتبين من الجدول (2) ان درجة الرضا للعميل بلغت 1 ولكن ظهرت حالة درجة الرضا لكل منهما بطريقة مختلفة عن الأخرى. حيث ظهرت درجة الرضا للعمل الاول J_1 تساوي 1 عن طريق تحقيق الشرط $dds < rde + tpb$ وظهرت ابعاد نقطة التقاطع (z) هي (14,1) لذا فان $SG_1=1$. أما درجة الرضا للعمل الثالث J_3 ظهرت $SG_3=1$ عن طريق تحقيق الشرط $dds \geq rde + tpb$ (19+8≥34). اما بالنسبة لبقية الأعمال عدا العميلين الأول والثالث (J_1, J_3) فانه تم تحقيق الشرط $dds < rde + tpb$ مع إيجاد نقطة التقاطع (z) التي أبعادها (v,w) لتكون $SG=w$ و $et=v$.
3. أسفرت نتائج التطبيق بالنسبة للعمل الثاني J_2 أن كل زيادة في dde_2 يؤدي الى زيادة درجة الرضا وكما في الجدول (3) .

الجدول(3): تأثير تغيير قيمة dde_2 ل J_2

| dde_2 | SG_2 | st_2 | et_2 |
|---------|--------|--------|---------|
| 21 | 0.8889 | 8.6667 | 21 |
| 22 | 0.9000 | 8.7000 | 21.1000 |
| 23 | 0.9091 | 8.7273 | 21.1818 |
| 24 | 0.9167 | 8.7500 | 21.2500 |
| 25 | 0.9231 | 8.7692 | 21.3077 |
| 26 | 0.9286 | 8.7857 | 21.3571 |
| 27 | 0.9333 | 8.8000 | 21.4000 |
| 28 | 0.9375 | 8.8125 | 21.4375 |
| 29 | 0.9412 | 8.8235 | 21.4706 |
| 30 | 0.9444 | 8.8333 | 21.5000 |
| 31 | 0.9474 | 8.8421 | 21.5263 |
| 32 | 0.9500 | 8.8500 | 21.5500 |
| 33 | 0.9524 | 8.8571 | 21.5714 |

| | | | |
|-----|--------|--------|---------|
| 34 | 0.9545 | 8.8636 | 21.5909 |
| 35 | 0.9565 | 8.8696 | 21.6087 |
| 36 | 0.9583 | 8.8750 | 21.6250 |
| 37 | 0.9600 | 8.8800 | 21.6400 |
| 38 | 0.9615 | 8.8846 | 21.6538 |
| 39 | 0.9630 | 8.8889 | 21.6667 |
| 40 | 0.9643 | 8.8929 | 21.6786 |
| 50 | 0.9737 | 8.9211 | 21.7632 |
| 60 | 0.9792 | 8.9375 | 21.8125 |
| 70 | 0.9828 | 8.9483 | 21.8448 |
| 80 | 0.9853 | 8.9559 | 21.8676 |
| 100 | 0.9886 | 8.9659 | 21.8977 |
| 150 | 0.9928 | 8.9783 | 21.9348 |
| 200 | 0.9947 | 8.9840 | 21.9551 |
| 300 | 0.9965 | 8.9896 | 21.9688 |

إذ أكدت نتائج التطبيق أن الزيادة في dde_2 إلى القيمة 300 يؤدي إلى زيادة في درجة SG_2 مع زيادة طفيفة ملحوظة في الجزء الكسري بـ st_2 و et_2 . لكن الزيادة في SG_2 لا تؤدي في جميع الأحوال إلى الوصول إلى 1 مهما بلغت الزيادة في dde_2 ، والسبب في عدم وصول $SG_2=1$ لأنه مازال الشرط: $dds_2 < rde_2 + tpb_2$ يتحقق. وان $tpb_2=13$, $rde_2=9$, $dds_2=21$. لذا فإن $21 < 9+13$. ولكن في حالة تغيير $dds_2=22$ فإن الشرط الأخر سوف يتحقق وهو: $dds_2 \geq rde_2 + tpb_2$ لذا فإن $22 \geq 9+13$ فسوف تصبح $SG_2=1$ مهما كانت قيمة dde_2 أي حتى لو كانت $dde_2=23$ أو أكثر.

4. تؤكد لنا النتائج في الجدول (4) أن تغيير dde_1 للعمل العاشر J_{10} يحقق الآتي:

الجدول (4): تأثير تغيير قيمة dde لـ J_{10}

| dde_{10} | SG_{10} | st_{10} | et_{10} |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 93 | 0 | 12 | 93 |
| 92 | -0.041 | 11.8873 | 92.6761 |

فمثلاً عند تغيير $dde_{10}=93$ فإن وقت الإكمال يبقى نفسه بدون تغيير وهو $(93,116,131)$ عند تغيير (dde_{10}) فسوف يحدث تقاطع مابين وقت الإكمال وتاريخ الاستحقاق عند النقطة z التي ابعادها $(93,0)$ لذا فان $SG_{10}=0$ و $et_{10}=93$. اما عند تغيير $dde_{10}=92$ ، فان هذه الحالة تعني انه ينتهي تاريخ الاستحقاق للعمل العاشر قبل البدء بالعمل لان وقت الإكمال والذي هو $(93,116,131)$ وكما في الجدول (2). اي لا يحدث تقاطع بين وقت الإكمال وتاريخ الاستحقاق بالجزء الموجب بل بالسالب لهذا تظهر SG_{10} سالبة.

5. اما بالنسبة للعمل الاول J_1 لو جعلنا تاريخ الاستحقاق يبدأ $(dds_1=17, dde_1 \geq 18)$ أي بعد انتهاء وقت الإكمال $(11,14,16)$ ، فسوف تبقى $SG_1=1$ حيث ان هذه الحالة ممتازة إذا تم إكمال العمل على جميع المكائن قبل بدء تاريخ الاستحقاق او قبل انتهاء تاريخ الاستحقاق في حالة العمل الاول في الجدول (1) ويشكل عام تحدث هذه الحالة المتميزة عندما يتحقق الشرط $dds \geq rde + tpb$. أي عندما تكون dds مساوية او اكبر من $rde + tpb$ ومهما كانت قيمة dde (اكيد $dde > dds$).
6. بينما عند تغيير dds_1 للعمل الاول J_1 مع بقاء $dde_1=17$ يحقق النتائج الآتية وكما في الجدول (5).

الجدول (5): تأثير تغيير قيمة dds لـ J_1

| dds_1 | SG_1 | st_1 | et_1 |
|---------|--------|--------|--------|
| 14 | 1 | 6 | 14 |
| 16 | 1 | 6 | 16 |

ففي الحالة الاولى ظهرت $SG_1=1$ ليس عن طريق تحقيق الشرط $dds_1 \geq rde_1 + tpb_1$ بل عكسه $dds_1 < rde_1 + tpb_1$ $(14 < 6 + 10)$ وهنا تم حساب نقطة التقاطع z مابين وقت الإكمال وتاريخ الاستحقاق والتي ابعادها $(14,1)$ لذا فان $SG_1=1$ و $et_1=14$. اما في الحالة الثانية فان سبب ظهور $SG_1=1$ هو بتحقيق الشرط $dds_1 \geq rde_1 + tpb_1$. ويبقى الشرط هذا نافذاً في إطار جعل $dds_1=17, dde_1=18$ ، فان $SG_1=1, st_1=7, et_1=17$.

5. طريقة جديدة في الخوارزمية المصممة

وكإضافة جديدة حاول الباحث اختبار شروط محددة متمثلة في $(dds(i) \geq rde(i) + tpb(i))$ والذي تم تطبيقه على جميع الأعمال وكانت النتائج كالاتي باختبار العمل الثالث J_3 :

1. عند مساواة وقت الاستحقاق الحقيقي (dds) مع وقت الإكمال (الثاني ct2) فإن درجة الرضا تبلغ أعلى درجاتها (SG=1) ، فمثلاً عند تطبيقها على العمل الثالث J₃ كانت النتيجة :

$$dds=34 \quad dde=40 \quad , \quad C \square t=(25, 34, 41)$$

أي عندما dds=ct2 فمباشرة تظهر SG=1 .

2. عند مساواة وقت الاستحقاق الحقيقي (dds) مع وقت الإكمال (الثالث ct3) فإن درجة الرضا تبلغ أعلى درجاتها (SG=1) ، فمثلاً عند تطبيقها على العمل الثالث J₃ كانت النتيجة :

$$(\quad dds=41 \quad dde=42 \quad , \quad C \square t=(25, 34, 41))$$

أي عندما dds=ct3 فمباشرة تظهر SG=1 .

3. وعند اختيار اي قيمة لـ dds بحيث تكون محصورة بين ct2,ct3 ، أي ct2<dds<ct3 (وفي هذه الحالة عند تطبيقها على العمل الثالث J₃ ستمثل القيم ب:35,36,37,38,39,40). تبين لنا ايضا أن درجة الرضا تبلغ أعلى درجاتها (SG=1) . أي عندما ct2<dds<ct3 فمباشرة تظهر SG=1 .

وفي ضوء ما سبق، نستنتج انه يمكن تبديل الشرط $dds \geq rde + tpb$ بثلاثة شروط وهي:
 $ct2 < dds < ct3$, $dds = ct2$, $dds = ct3$. وهذا يعني انه عندما dds تساوي ct2 او $ct2 < dds < ct3$ او تكون dds محصورة ما بين ct2 و ct3 فانه مباشرة تكون درجة الرضا للعمل مساوية 1 . اما الشرط $dds < rde + tpb$ فيستغنى عنه ايضا ويتم الوصول الى نفس هدفه في حالة عدم تحقق الشروط الثلاثة. اما بالنسبة لحساب وقت بدء ووقت انتهاء العمل فيبقى كما هو وكما موضح في المخطط الانسيابي هذا عند عدم تحقق الشروط الثلاثة معا لذلك العمل. اما في حالة تحقق احدى الشروط الثلاثة للعمل فان حساب وقت بدء ذلك العمل هو بايجاد الفرق ما بين dds و rde ثم قسمة الناتج على 2 وكالاتي:

$$st = \frac{dds - rde}{2} \quad \dots(11)$$

وفي هذه الحالة سيكون وقت بدء العمل ضمن الفترة [rde,dds]. اما بالنسبة لوقت انتهاء العمل فيبقى كما هو et=dds .

وعند تطبيق هذه الحالة (ايجاد وقت بدء وانتهاء العمل) على العمل الثالث J₃ عند تحقق احدى الشروط الثلاثة ظهرت النتائج كما موضحة ادناه في الجدول (6)، علما ان وقت الاكمال

المضيب هو $(C \square t = (25, 34, 41)$ وتاريخ الاطلاق المضيب $R \square D = (3, 8)$ للعمل J_3 (كما موضحة في الجدول 2):

الجدول (6): وقت بدء ووقت انتهاء ودرجة الرضا للعمل J_3 عند تحقق احدى الشروط الثلاثة.

| condition | $D \square D(dds, dde)$ | st | et | SG |
|-------------|-------------------------|------|----|----|
| dds=ct2 | (34,40) | 13 | 34 | 1 |
| dds=ct3 | (41,42) | 16.5 | 41 | 1 |
| ct2<dds<ct3 | (35,42) | 13.5 | 35 | 1 |
| | (36,42) | 14 | 36 | |
| | (37,42) | 14.5 | 37 | |
| | (38,42) | 15 | 38 | |
| | (39,42) | 15.5 | 39 | |
| | (40,42) | 16 | 40 | |

وفي هذه الطريقة الجديدة سوف يتم اختصار حساب دالة كاملة وهي حساب $T \square pt_i(tpa, tpb, tpc)$ التي كنا نعتمد عليها اعتمادا رئيسيا في المقارنة للطريقة السابقة. اضافة الى الاعتماد عليها في حساب وقت بدء العمل عند تحقق الشرط $dds \geq rde + tpb$.

6. الاستنتاجات والبحوث المستقبلية (Conclusions & Future Research)

استناداً إلى ما تم عرضه في الجانب النظري والجانب التطبيقي يمكن تأشير أهم الاستنتاجات :

أولاً. أكدت لنا نتائج التطبيق :

1. أن درجة الرضا تكون عالية للأعمال التي تكون في مقدمة التسلسل بينما تبدأ بالانخفاض كلما زاد تسلسل الاعمال. أي كلما زادت عدد الأعمال كلما قلت درجة الرضا.
 2. تبين لنا ان زيادة dde للعمل يؤدي إلى زيادة في درجة الرضا مع زيادة طفيفة في الجزء الكسري للـ st و et للعمل . لكن الزيادة في درجة الرضا لا تؤدي ابدأ الى الوصول الى 1 مهما زادت قيمة dde لان العمل مازال تحت الشرط $dds < rde + tpb$.
- ثانياً. الذي يتحكم في وصول درجة الرضا للعمل الى القيمة 1 هو الزيادة في dds له بمقدار معين بحيث يحقق الشرط $dds \geq rde + tpb$ ، مهما كانت قيمة dde ($dde > dds$).

ثالثاً. لتؤثر زيادة او نقصان dds و dde على قيم $C_{\square}t$ المحسوبة للعمل نفسه ولاعلى الاعمال التي بعده لان حساب $C_{\square}t$ لايعتمد على dde ولاعلى dds .
 رابعاً. تقريبا كل حالات وصول درجة الرضا للعمل تساوي 1 هي عندما $dds \geq rde + tpb$ لذلك العمل. لكن في حالات قليلة جدا تصل درجة الرضا للعمل تساوي 1 تحت الشرط $dds < rde + tpb$ عندما يحث تقاطع بين وقت الاكمال ووقت الاستحقاق عند نقطة (v, w) وتكون $w=1$ والذي يمثل .SG

خامساً. أسفرت نتائج التطبيق عن أن الطريقة الجديدة في الخوارزمية المصممة تتسم بالسهولة والبساطة والسرعة لانها لاتعتمد على حساب وقت المعالجة الكلي المضرب $T_{pt_i}(tpa, tpb, tpc)$ للاعمال ، أي ان في هذه الطريقة تم اختزال حساب دالة كاملة كنا نعتمد عليها اعتمادا رئيسيا في المقارنة للطريقة السابقة. وايضا تم الاعتماد عليها في حساب وقت بدء العمل عند تحقق الشرط $dds \geq rde + tpb$. فضلاً عن أن اختبار الطريقة الجديدة على البيانات المعتمدة في بيانات البحث الحالي تحقق نفس النتائج وهذا يؤشر على صحة ودقة وسرعة النتائج التي تحقها الطريقة الجديدة وبشكل مختصر .

سادساً. استخدام اسلوب المنطق المضرب في مسالة ورش الانتاج سهل ووضح كيفية التعامل مع تاريخ الاطلاق ، تاريخ الاستحقاق ووقت الاكمال لتكوين دالة عضوية لكل واحدة منهم والتعامل معهم كمجاميع مضببة.

سابعاً. يعمل البرنامج مع n من الاعمال و m من المكائن وعليه فإن كفاءة تطبيقه تكمن عند تطبيقه لتصنيع منتوجات في المصانع التي تنتج بتنوع عالي من المنتوجات .
 اما البحوث المستقبلية فهي:

- استخدام الخوارزمية لتقييم الـ makespans لتسلسل الأعمال في مسالة ورش الإنتاج.
- ايجاد افضل تسلسل للاعمال عن طريق ربط هذه الخوارزمية مع الخوارزمية الجينية لايجاد افضل الحلول.
- ربط الخوارزمية المصممة مع الشبكات العصبية.

المصادر

- [1] الاتروشي.عقيلة."الاختيار الاستراتيجي لنظام التخطيط والسيطرة على الانتاج مع دراسة تطبيقية لنظامي(MRP),(OPT) في قطاع الصناعة الهندسية". رسالة دكتوراه مقدمة الى كلية الادارة والاقتصاد/جامعة الموصل، 1993.
- [2] Dvorak, J. Criteria for Fuzzy Scheduling. Proceedings of the 7th International Conference on Soft Computing MENDEL '2001, Brno, 2001, p. 319-328.
- [3] Dvorak, J.; Majer, P. Fuzzy Job Shop Scheduling. Proceedings of the 10th East West Zittau Fuzzy Colloquium 2002. Zittau (Germany), 2002, p. 284-291.
- [4] Dvorak, J.; Majer, P. Scheduling With Fuzzy Processing times. Proceedings of the 2nd International Conference APLIMAT 2003. Bratislava, 2003, p. 315-320.
- [5] Fayad, C., Petrovic, S., "A Fuzzy Genetic Algorithm for Real-World Job-Shop Scheduling", in M.Ali, F.Esposito, (Eds.), Innovations in Applied Artificial Intelligence, Lecture Notes in Artificial Intelligence 3533, Springer, 2005, pp. 524-533.
- [6] Hong, T.P.; Wang, T.T. Fuzzy Flexible Flow Shops at Two Machine Centers for Continuous Fuzzy Domains. Information Sciences, 2000, vol. 129, pp. 227-237.
- [7] Itoh, T.; Ishii, H. Fuzzy Due-Date Scheduling Problem with Fuzzy Processing Time. *International Transactions in Operational Research*, 1999, vol. 6, pp. 639-647
- [8] Liu, S., Yung, K. L., Ip, W. H. ."Genetic Local Search for Resource-Constrained Project Scheduling under Uncertainty". Supported by the National Natural Science Foundation of China and the Hong Kong Polytechnic University. Information and Management Sciences. Volume 18, Number 4, pp. 347-363, 2007
- [9] Mccahon, C.; Lee, E.S. Fuzzy Job Sequencing for Flow Shop. European Journal of Operational Research, 1992, vol. 62, pp. 294-301.
- [10] Montgomery, J., Fayad, C. and Petrovic, S., "Solution Representation for Job Shop Scheduling Problems in Ant Colony Optimisation" Faculty of Information & Communication Technologies Technical Report SUTICT-TR2006.05

-
- [11] Özelkan, E.C.; Duckstein, L. Optimal Fuzzy Counterparts of Scheduling Rules. *European Journal of Operational Research*, 1999, vol. 113, pp. 593-609.
- [12] Petrovic, S., Geiger, M., "A Fuzzy Scheduling Problem with Dynamic Job Priorities and an Extension to Multiple Criteria", in R.Meredith, G.Shanks, D.Arnott & S.Carlsson, (Eds.), *Proceedings of IFIP (International Federation of Information Processing) International Conference on Decision Support Systems*, Prato, Italy, 1-3 July, 2004, pp. 637-646, 2004, ISBN: 0-7326-2269-7.
- [13] Sakawa, M.; Kubota, R. Fuzzy programming for multiobjective job shop scheduling with fuzzy processing time and fuzzy due date through genetic algorithms. *European Journal of Operations Research*, 2000, vol. 120, pp. 393-407.
- [14] Song, X., Petrovic, S., "Ranking of Makespans in Flow Shop Problems with Fuzzy Processing Times", *Proceedings of the 5th International Conference on Recent Advances in Soft Computing (RASC2004)*, Nottingham, UK, 16-18 December, 2004, pp. 275-280, ISBN: 1-84233-110-8.
- [15] Song, X., Petrovic, S., "A Fuzzy Approach to Capacitated Flow Shop Scheduling", *Proceedings of the 11th International conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems (IPMU)*, Paris, France, July 2-7, 2006, pp. 486-493.
- [16] Song, X., Petrovic, S., "Handling Fuzzy Constraints in Flow Shop Problem", in B.De Baets, J.Fodor, D.Radojevic (Eds.), *Proceedings of the 9th Meeting of the EURO Working group on Fuzzy Sets - EUROFUSE 2005*, Belgrade, Serbia & Montenegro, June 15-18, 2005, pp. 235-244.
- [17] Suri,R., "Quick,Response Manufacturing", Productivity Press Inc, 1998,Newyork.
- [18] Tay,J.C. and Ho,N.B." Evolving dispatching rules using genetic programming for solving multi-objective flexible job-shop problems". *Elsevier Ltd . Computers & Industrial Engineering* 54 (2008) 453–473. www.elsevier.com/locate/dsw .
- [19] Winley,G. "Flow-shop problems:A Heuristic search algorithm ".*AU J.T.* 10(1):11- 22(ARP.2006)

(1) الملحق

المصطلحات المستخدمة بالبحث:

| المصطلح بالانكليزي | الرمز المستخدم | المصطلح بالعربي |
|-----------------------------|----------------|---|
| Processing time | pt | وقت المعالجة |
| | pta | وقت المعالجة الاولي |
| | ptb | وقت المعالجة الوسطي |
| | ptc | وقت المعالجة النهائي |
| Fuzzy processing time | $\tilde{p}t$ | وقت المعالجة المضبيب |
| Release date | RD | تاريخ الإطلاق |
| | rds | تاريخ الإطلاق الحقيقي |
| | rde | تاريخ الإطلاق مع التفاوت |
| Fuzzy Release date | $R\tilde{D}$ | تاريخ الإطلاق المضبيب |
| Due date | DD | تاريخ الاستحقاق |
| | dds | تاريخ الاستحقاق الحقيقي |
| | dde | تاريخ الاستحقاق مع التفاوت |
| Fuzzy Due date | $D\tilde{D}$ | تاريخ الاستحقاق المضبيب |
| Completion time | Ct | وقت الاكمال |
| | ct1 | وقت الاكمال الاولي |
| | ct2 | وقت الاكمال الوسطي |
| | ct3 | وقت الاكمال النهائي |
| Fuzzy Completion time | $C\tilde{t}$ | وقت الاكمال المضبيب |
| Total processing time | tpt | وقت المعالجة الكلي |
| | tpa | وقت المعالجة الكلي الاولي للعمل على جميع المكائن |
| | tpb | وقت المعالجة الكلي الوسطي للعمل على جميع المكائن |
| | tpc | وقت المعالجة الكلي النهائي للعمل على جميع المكائن |
| Fuzzy total processing time | $\tilde{T}pt$ | وقت المعالجة الكلي المضبيب |
| Start time | st | وقت البدء |
| End time | et | وقت الانتهاء |
| Satisfaction grade | SG | درجة الرضا |