ISSN (1681- 6870)

التصميم الأمثل لخط الإنتاج باستعمال الخوارزميات الاجتهادية ـ دراسة حالة في معمل القابلوات الضوئية

م.د عمر فلاح حسن
o.f1986@yahoo.com
كلية الرافدين الجامعة ـ قسم إدارة الاعمال

م.م محمد عبد احمد
laredomaster@gmail.com
كلية المأمون الجامعة ـ قسم إدارة الاعمال

المستخلص

تعد عملية تصميم وموازنة خط الإنتاج من الاساليب الضرورية والمهمة التي تعتمدها الشركات الإنتاجية لتحسين عملياتها، ومن هذه الأساليب (الخوارزميات) ما هي اجتهادية وأخرى أمثليه، ويعد البحث محاولة لتطبيق بعض هذه الخوارزميات في معمل القابلوات الضوئية، ومن هذه الخوارزميات هي خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة، كامسول، مودي-يونغ، الاعمدة، هوفمان وقاعدة المرشح الأكبر، اذ اعتمد البحث منهج دراسة الحالة للوقوف بشكل دقيق على مشكلة البحث والمتمثلة بانخفاض كفاءة محطات العمل وزيادة الوقت الفائض فضلا عن عدم انسيابية التدفق، ففي ضوء التحليل الميداني للمشكلات التي يعانيها معمل القابلوات الضوئية يهدف البحث الى معالجة وتحسين المشكلات المشار اليها أعلاه ومحاولة الوصول الى الأمثلية من خلال المفاضلة بين الخوارزميات الست المعتمدة في البحث كأدوات. ووفق سياق البحث العلمي اكدت النتائج بان الأسلوب الحالي للمعمل يعاني من ضعف كفاءة محطات العمل وزيادة الوقت العاطل، فضلا عن عدم وجود انسيابية لعملية التدفق، وبالمقابل تبين ان الخوارزميات بشكل عام حسنت كفاءة محطات العمل وقللت الوقت العاطل وبشكل كبير، مما يجعل هذه الخوارزميات تتفوق على أسلوب الشركة الحالي، وبالنسبة لعملية المقارنة بين الخوارزميات الست فقد تفوقت خوارزمية الاعمدة من حيث الوقت العاطل، اما بالنسبة للتدفق (سلاسة الخط) فقد تفوقت خوارزمية المرشح الأكبر، ومن هنا نوصي باعتماد الأساليب العلمية وخصوصا الخوارزميات الاجتهادية في عملية تصميم وموازنة خط الانتاج لمعالجة الاختناقات والذي يحقق للشركة القدرة على تحسين كفاءة محطات العمل وتقليل الوقت العاطل.

الكلمات المفتاحية: موازنة خط الإنتاج، خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة، خوارزمية كامسول، خوارزمية مودي-يونغ، خوارزمية الاعمدة، خوارزمية هوفمان وخوارزمية قاعدة المرشح الأكبر.

The Optimal Design of Production Line by Using Heuristic Algorithms - A Case Study in the Photovoltaic Laboratory

Dr. Omar F. Hassan
o.f1986@yahoo.com
Al-Rafidian University College -
Department of Business Administration

Mohamed A. Ahmed
laredomaster@gmail.com
Al-Mamoon University College -
Department of Business Administration

Received 1/9/2020 **Accepted 22/9/2020**

Abstract: *The process of designing and Production Line Balancing is one of the necessary and important methods adopted by productive companies to improve their operations, and these methods (algorithms) are Heuristic and analogous. The research is an attempt to apply some of these algorithms in the photovoltaic lab. Among these algorithms are Ranked Positional Weight Algorithms, COMSOAL Algorithm, Moody-Young Algorithm, Columns Algorithm, Hoffman Algorithm, and Largest Candidate Rule Algorithm. As the research adopted the case study method to accurately determine the research problem represented by the low efficiency of workstations and the increase in excess time as well as the lack of flow. In the light of field analysis of the problems experienced by the Optical Capabilities Lab, the research aims to address and improve the*

ISSN (1681- 6870)

problems referred to above and try to reach optimization from the comparison between the six algorithms adopted in the research as tools. .According to the context of scientific research, the results confirmed that the current method of the laboratory suffers from the weak work stations efficiency and increased idle time, as well as a lack of flow for the flow process. On the other hand it was found that algorithms in general improved the efficiency of work stations and significantly reduced idle time, which makes this algorithm superior to the company's current style. As in regard to the comparison process between the six algorithms, the column algorithm has outperformed in terms of idle time, while for flow (smoothness of the line), the largest candidate algorithm has outperformed. Hence we recommend the adoption of scientific methods, especially diligent algorithms, in the process of designing and balancing the production line to address bottlenecks which achieves the company's ability to improve the efficiency of work stations and reduce the time unemployed.

Keywords: Production Line Balancing, Ranked Positional Weight Algorithms, COMSOAL Algorithm, Moody-Young Algorithm, Columns Algorithm, Hoffman Algorithm, and Largest Candidate Rule Algorithm.

المقدمة

إن معالجة الاختناقات على الخطوط الانتاجية هي من المعضلات الكبيرة التي تواجهها العديد من الشركات، فالموازنة الكفء من شأنها ان تحسن الأداء وزيادة الإنتاج وبالتالي زيادة العائد على المبيعات وهذا ما ركزت عليه جميع خوارزميات موازنة خط التجميع والتي تشير الى ان عدم كفاءة خط التجميع يعني عدم كفاءة الخط هو عدم كفاءة النظام ككل، لذا فان إحدى أدوات معالجة نقاط الاختناق معالجة مشكلة التوازن في خطوط الانتاج، بهدف تقليل العبء على المحطات التي تعاني من الاختناقات، وعلى هذا الاساس تتكون الدراسة الحالية من اربعة محاور هي: المحور الاول: منهجية الدراسة، المحور الثاني: الجانب النظري، المحور الثالث: الجانب العملي، المحور الرابع: الاستنتاجات والتوصيات.

المحور الأول: منهجية البحث

- **اولا: مشكلة البحث**

تمثل خطوط التجميع بالنسبة للشركات أهمية كبيرة، وعلى هذا الأساس فان معالجة الاختناقات على هذه الخطوط هي من المعضلات الكبيرة التي تواجهها تلك الشركات، فالموازنة الكفوءة من شأنها ان تحسن الأداء وزيادة الإنتاج وبالتالي زيادة العائد على المبيعات، اذ ان عدم كفاءة خط التجميع يرتبط بشكل مباشر بمحطات العمل ووقت الدورة، ومعدل الإنتاج، والقوى العاملة، والمكائن والمعدات وغيرها الكثير من العوامل المؤثرة على تلك المحطات، وتتمثل مشكلة البحث بانخفاض كفاءة الخط الإنتاجي المبحوث، ويظهر ذلك بصورة اكثر دقة في الجدول (1).

جدول (1): مؤشرات أداء خط التجميع لمنتج القابلو الضوئي

المؤشرات	أسلوب الشركة الحالية
عدد المحطات	9
الكفاءة	0.54
الوقت العاطل (دقيقة)	98
سلاسة خط الإنتاج (دقيقة)	39

يظهر الجدول (1) اهم المؤشرات الخاصة بخط التجميع، والتي اعتمدت كمشكلة بحثية يحاول الباحث من خلال الخوارزميات المعتمدة في البحث معالجتها وتحسينها.

- **ثانيا: أهمية البحث**

تتعزز خصوصية البحث في تعاملها مع متغيرات ذات أهمية كبيرة في المجال الميداني للشركة المبحوثة وباعتماد أساليب علمية لموازنة خطوط التجميع. لذا تكمن أهمية البحث بالتالي:

1. تتمثل أهمية البحث في تحسين كفاءة محطات العمل من خلال دراسة مجموعة بدائل واختيار الأفضل منها.
2. يعتبر البحث مرشدا للشركة التي تعاني من عدم كفاءة خطوطها الإنتاجية ونقاط الاختناق في خطوطها الإنتاجية.

ISSN (1681- 6870)

- **ثالثا: اهداف البحث**

الافتراض الجوهري للبحث يهيمن على دور معالجة مشكلة عدم التوازن في خط التجميع وكفاءته. ومن هنا نستطيع ان نجمل اهداف البحث بالآتي:

1. العمل على تحسين كفاءة الخط الإنتاجي للشركة المبحوثة في اطار القيود المفروضة.
2. تطبيق مجموعة من الخوارزميات الهادفة الى معالجة المشكلات المطروحة في مشكلة البحث الحالي.
3. المقارنة بين الخوارزميات المعتمدة في البحث كأدوات واختيار الأنسب منها.
4. معالجة الاختناقات التي ظهرت بين محطات العمل وانعكاس ذلك على كفاءة خط الانتاج.

- **رابعا: الحدود المكانية والزمانية**

1. **الحدود الزمانية:** لإنجاز البحث الحالي استغرق مدة زمنية امتدت من 2020/1/3 لغاية 2020/2/21 تخللتها زيارة ميدانية للشركة المبحوثة وتناول البحث تحليل البيانات المتعلقة بالمدة 2019.
2. **الحدود المكانية:** جرى اختيار معمل القابلو الضوئية التابع لشركة ديالى العامة.

- **خامسا: منهج البحث**

استند البحث الى منهج دراسة الحالة (Case Study)، كونه أسلوبا علميا من أساليب البحث العلمي والذي يتميز بالوصف الدقيق لمتغيرات البحث، وتقديم مؤشرات دقيقة للحالة المدروسة.

- **سادسا: أدوات البحث**

للوصول الى النتائج المتوقعة، تم استخدام الأدوات والتقنيات الآتية:

1. الخطوات العلمية لكل خوارزمية من الخوارزميات المستعملة في البحث.
2. برنامج Excel لمعالجة جداول البيانات.

المحور الثاني: الاطار التنظيري للبحث

- **أولا: مفهوم خط التجميع**

خط التجميع هو نظام إنتاج موجه نحو التدفق بحيث تكون المحطات محاذية بطريقة تسلسلية، وكل محطة تقوم بشكل متكرر بأداء مجموعة من المهام على منتج متتابع يتحرك على طول الخط بسرعة ثابتة (Sharma et al,2013:23)، اذ يتم استخدام خطوط التجميع عادة للإنتاج الضخم ذات الأحجام الكبيرة نسبياً ومستوى محدود من المتغيرات، ومن أشهر الأمثلة على المنتجات التي تم انتاجها على خط التجميع هي السيارات، وتشترك جميع هذه العناصر في أن المادة المنتجة يتم تصنيعها بكميات كبيرة وتتحرك بسرعة ثابتة خلال المصنع من محطة إلى محطة (Ivanov,2016:258).

يتم إعداد خط التجميع ليتم فيه إنتاج منتج معين من خلال تسلسل ثابت بين محطات العمل، مصمم لتحقيق معدل إنتاج معين (Jacobs & Chase,2018:153)، وهنا أشار (Heizer et al,2017:386). الى نوعين من الخطوط وهي خطوط التصنيع (Fabrication line) والتجميع، اذ يقوم خط التصنيع ببناء المكونات، مثل إطارات السيارات أو الأجزاء المعدنية لثلاجة، على سلسلة من الآلات، في حين يضع خط التجميع الأجزاء المصنعة في سلسلة من محطات العمل، فخطوط التجميع هي طريقة شائعة لتنظيم الإنتاج الضخم للمنتجات القياسية. يحدد وقت الدورة المدة الزمنية التي يجب أن يقوم بها عمال و / أو آلات المحطات بأداء مهامهم قبل نقل قطعة العمل إلى المحطة التالية (Pape,2015:32).

- **ثانيا: تصميم خط التجميع**

إن الهدف من تصميم خط التجميع هو إنشاء تدفق سلس ومستمر على طول خط التجميع مع أقل وقت عاطل في كل محطة عمل (Tomar & Manoria,2016:23)، اذ يتم تعيين المهام في وقت واحد على الخط، بدءاً من محطة العمل الأولى، وفي كل خطوة يتم التحقق من المهام التي لم يتم تعيينها لتحديد المؤهلات لتعيين تلك المهام، وبعد ذلك يتم التحقق من المهام المؤهلة لمعرفة أي منها سيتم احتوائه في محطة العمل ليتم تحميلها، في هذه العملية يتم استخدام تقنيات الاستدلال لتحديد واحدة من المهام التي تناسب المحطة وهكذا لكل المهام الاخرى. (Stevenson,2012:63)، والسؤال المهم هنا كيفية تحديد المهمة الى محطات العمل وفقا للأسبقية، أي ما هي القواعد التي يتم اعتمادها في اتخاذ قرارات لتعين المهمة لمحطة العمل التي يتم انشاؤها او ما هي المهمة التي يتم تعيينها للمحطة الجديدة. القواعد ادناه تجيب عن هذا السؤال: (Krajewski et al,2016:211)

1. أطول وقت للمهمة Longest work element: المهمة المرشحة أولا للمحطة هي الأطول من حيث الوقت وهكذا نزولا.
2. أقصر وقت للمهمة Shortest work element: يتم تعيين المهام الأقصر أولا، وهي عكس القاعدة الأولى لأنها تفضل المهام الأسرع في إنجازها.
3. الأكثر اتباعاً Most followers: يتم اختيار المهام التي لها أنشطة متبوعة أكثر أي المهام التي لا يمكن تجزئتها.

ISSN (1681- 6870)

4. الأقل اتباعاً Fewest followers: هذه القاعدة هي عكس القاعدة الثالثة حيث تعطي الأولوية لتلك المهمة التي لها اتباع اقل، تلك المهمة التي يمكن تأديتها بشكل منفصل عن المهام الأخرى ولا تتأثر بالمهام الأخرى.

ان موازنة خط التجميع (ALB) هو المصطلح المستخدم عادة للإشارة إلى عملية اتخاذ القرار لتعيين المهام إلى محطات العمل لنظام إنتاج تسلسلي، وتتكون المهمة من العمليات التي تهدف الى تحويل الاجزاء إلى سلع تامة الصنع، ان موازنة الخط هي تقنية من تقنيات "بحوث العمليات" الكلاسيكية التي لها أهمية في الصناعة ونظام الإنتاج الرشيق. ينطوي مفهوم الإنتاج الضخم أساساً على موازنة الخط في تجميع أجزاء أو مكونات متطابقة أو قابلة للتبديل إلى منتج النهائي وعلى مراحل مختلفة وفي محطات عمل مختلفة (Kumar & Mahto,2013:29)، ان مشكلة موازنة خط التجميع هي مشكلة هندسية صناعية كلاسيكية، على الرغم من أن هذه المشكلة تعود إلى منتصف الخمسينات وأوائل الستينات، إلا أن هذه المشكلة موجودة الى اليوم حتى في المصانع المؤتمتة تكمن مشكلة موازنة خط التجميع بمجموعة من المهام التي يجب إكمالها، وذلك لان الوقت المطلوب لإكمال المهمة ثابت ومعروف. يجب موازنة خط التجميع عن طريق تعيين المهام لمحطات العمل بطريقة تحقق هدف التجميع، ومطابقتها للطلب والقيود. لذلك، فإن موازنة خط التجميع هي أداة فعالة لتحسين الإنتاجية وزيادة الكفاءة. (Imad, et al,2017:34). ان عملية الموازنة هذه تحتاج ثلاثة أنواع من المعلومات وهي:(Evans & Collier,2015:164)

- مجموعة المهام التي يجب القيام بها والوقت المطلوب لكل مهمة.
- علاقات الاسبقية بين المهام.
- معدل الإنتاج المطلوب او الطلب المتنبئ به لخط التجميع.

للوصول الى النتائج الخاصة بكفاءة الخط الإنتاجي، جرى اعتماد عدة مؤشرات أساس بهدف اجراء المقارنة بين الأساليب المستعملة في البحث نفسها وأسلوب الشركة الحالي المستخدم في عملية الموازنة، وهذه المؤشرات هي:

1. وقت الدورة (CT): يمثل هذا المؤشر الوقت اللازم لإنتاج وحدة واحدة في اليوم.

$$CT = \frac{T}{\mathrm{D}} \tag{1}$$

2. عدد محطات العمل (n): وتشير الى العدد الكلي لمحطات العمل اللازمة لإنتاج المنتجات المطلوبة وهذه المحطات تحتوي على نشاط او أكثر من نشاط واحد، وتعتمد عدد المحطات بصورة رئيسة على الوقت الاجمالي الأنشطة (∑t).

$$n = \frac{\sum \mathrm{t}}{\mathrm{CT}} \tag{2}$$

3. الكفاءة (E): اذ تشير الكفاءة الى مدى الاستغلال الحالي للوقت المتاح في كل محطة عمل.

$$E = \frac{\sum \mathrm{t}}{\mathrm{CT} * \mathrm{n}} \tag{3}$$

4. الوقت العاطل (Idle time): ويشير الى الوقت الذي لم يستغل في محطات العمل.

$$\text{Idle time} = \mathrm{n} * CT - \sum \mathrm{t} \tag{4}$$

5. مؤشر سلاسة خط الإنتاج Smoothness Index (S): يمثل هذا المؤشر مدى قدرة خط الإنتاج إتمام العمليات الإنتاجية بدون عوائق وقت الدورة، ويتم اعتماد أطول وقت لإحدى محطات العمل (S) مطروحا منه وقت كل محطة على حدى (ni)

$$S = \sqrt{(S * ni - S)^{\ 2}} \tag{5}$$

- **ثالثا: تقنيات وأساليب موازنة خط التجميع**

Techniques and methods of balancing the Assembly line

تعاني العديد من الشركات من مشكلة عدم توازن خطوط التجميع، حيث تنوعت وتعددت تلك المشاكل، وبتعدد وتنوع هذه المشاكل تعددت معها اساليب وطرق معالجتها، فهناك طرق ارشادية استدلالية، وهناك طرق علمية تعتمد على العلوم الرياضية والاحصائية فضلا عن الطرق الكمية، في هذه الفقرة يحاول الباحث استعراض اهم التقنيات او الخوارزميات التي استخدمت في هذا البحث وهي كالآتي:

ISSN (1681- 6870)

1. خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة

Ranked Positional Weight Algorithms (RPW)

طورت هذه الخوارزمية من قبل الباحثين Birnie & Helgeson لصالح شركة General Electric Com. عام 1961، وهذه الخوارزمية تعتمد على تحديد الأوزان لكل مهمة على وفق مجموع وقت أداء تلك المهمة وأوقات أداء المهام التي تتبعها وفق مخطط الأسبقية. إذ يتم تخصيص المهام لمحطات العمل ابتداءً من المهمة التي تحمل أكبر وزن وعلى وفق الترتيب المطبق. ومن ثم تخصص المهمة اللاحقة ذات الوزن الأقل للمحطة الثانية وهكذا بشكل تنازلي يتم الترتيب مع الاعتماد على قيود الأسبقية. ويضمن هذا التوزيع الحل الأكثر تكافؤ لعمل المحطات (ماجود،2011: 84). تأخذ RPW في الاعتبار كل من "وقت المهمة الأولية وقيمة العنصر وموضعه في الرسم البياني الخاص بالأسبقية. بعد ذلك يتم تعيين العناصر إلى محطات العمل في الترتيب العام لقيم RPW الخاصة بها. (Rahman et al,2014:118). ان استخدام هذه الخوارزمية يتطلب العديد من الخطوات هي: (Tomar & Manoria,2016:24)

- ❖ الخطوة 1: رسم مخطط الأسبقية.
- ❖ الخطوة 2: تحديد وزن لكل عنصر عمل. وهو الوقت الإجمالي على أطول مسار من بداية العملية إلى آخر عملية في المخطط.
- ❖ الخطوة 3: ترتيب عناصر العمل تنازليا لترقيم الاوزان.
- ❖ الخطوة 4: اختيار أعلى عنصر وفقا للأوزان ثم تعيين عنصر العمل الى المحطة. تستمر هذه العملية لضمان عدم التجاوز على وقت الدورة وحسب الاسبقية. وهكذا يتم تكرار هذه العملية ليتم تخصيص المهام لكل محطة.

2. الطريقة المحوسبة لتتابع العمليات لخطوط التجميع

Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines (COMSOAL)

طور هذا الأسلوب من قبل A.L Arcus سنة 1966 والذي يهدف الى إيجاد التتابع الأفضل للمهام على خط التجميع باستخدام الحاسوب، يمكن توليد عدد كبير من الحلول الممكنة، الفكرة الأساسية لـ COMSOAL هي توليد مجموعة من الحلول العشوائية المناسبة، ويمكن إنشاء مثل هذا التسلسل من خلال تخصيص الموارد لكل مهمة تناسب الوقت الحالي ثم اختيار واحدة من المهام بشكل عشوائي، يتم تكرار هذا الإجراء حتى يتم تعيين كافة المهام، يتم توليد هذه الحلول العشوائية في ظل وجود القيود، وحفظ عدد من المحطات التي يحتاجها، يتم تكرار هذه العملية مع الحفاظ على أفضل حل واستبعاد الحلول غير المناسبة (Prasad et al,2013:24).وتتمثل الأغراض الأكثر شيوعًا لـ COMSOAL في تقليل الوقت العاطل، وتحسين كفاءة خط التجميع، وتقليل عدد محطات العمل. (Tomar & Manoria,2016:24) تعتمد خوارزمية (COMSOAL) عدة خطوات وهي: (Prasad et al,2013:24)

- ❖ الخطوة 1: تحديد كل مهمة من المهام التي تتبعها مباشرة في مخطط الأسبقية.
- ❖ الخطوة 2: انشاء قائمة (A) لكل مهمة في خط التجميع، العدد الإجمالي للمهام التي تسبقها مباشرة في مخطط الأسبقية.
- ❖ الخطوة 3: من القائمة (A) يتم انشاء القائمة (B) تحتوي على المهام التي لا تسبقها مهمة او عملية في التنفيذ.
- ❖ الخطوة 4: من القائمة (B)، يتم انشاء قائمة (C) تتكون من المهام التي لا تكون أوقات أدائها أكبر من الوقت المتاح في المحطة. إذا كانت (C) فارغة، يتم فتح محطة جديدة مع توفر وقت الدورة الكاملة ومن ثم الانتقال إلى الخطوة الرابعة مرة أخرى.
- ❖ الخطوة 5: اختيار مهمة بصورة عشوائية من (C) وتعينها للمحطة.
- ❖ الخطوة 6: تحديث الوقت المتاح في المحطة والقائمة B لتعكس الوقت المستغرق والأسبقية المنجزة في هذه المرحلة.

3. طريقة قاعدة المرشح الأكبر

Largest Candidate Rule Method (LCR)

في هذه الطريقة يتم تحديد عناصر العمل لتخصيصها للمحطات استنادًا إلى وقت الدورة الخاصة بها، وقيم عناصر العمل. ان الهدف الرئيسي من توازن الخط هو توزيع عبء العمل الكلي على خط التجميع بالتساوي قدر الإمكان، على الرغم من استحالة الحصول على توازن مثالي للخط بين العمال. ومن ثم التركيز على كفاءة التوازن الذي يرتبط بالاختلافات وقيود الأسبقية بين عناصر العمل. وفقا لهذه الطريقة يتم ترتيب عناصر العمل بشكل تنازلي (مع الإشارة إلى وقت المحطة وعناصر العمل) لكل محطة بحيث لا تتجاوز الوقت المسموح به. (Hamza & Al-Manaa,2013:70). ادناه الخطوات المستخدمة في حل مشكلة موازنة الخط وفقا لهذه الطريقة: (Tomar & Manoria,2016:24)

- ❖ الخطوة 1: رسم مخطط الشبكة لعنصر العمل.
- ❖ الخطوة 2 : ترتيب كل عناصر العمل تنازلياً حسب وقت المهمة.
- ❖ الخطوة 3: لتعيين عنصر العمل في محطة عمل، يجب أن تبدأ من بداية القائمة تنازليا بحثًا عن مكان وضع العنصر الأول في محطة العمل. والمحطة التي يتم وضع العنصر بها هي المحطة التي تستوفي متطلبات الأسبقية وعندما توضع في محطة عمل، يجب ألا يتجاوز ذلك وقت الدورة. وهكذا لبقية المهام المدرجة في القائمة.

ISSN (1681- 6870)

4. طريقة الاعمدة لكلبرج ووستر

Kilbridge and Wester Column(KWC) Method

طريقة Kilbridge و Wester هي عبارة عن إجراء استدلالي يحدد عناصر العمل لتخصيصها للمحطات وفقًا لمواقعها في مخطط الأسبقية. هذه الطرق معروفة لموثوقيتها في التغلب على الصعوبات كما في أسلوب قاعدة المرشح الأكبر حيث يمكن اختيار عنصر العمل اعتمادا على القيمة الاكبر وبغض النظر عن موقعها في مخطط الأسبقية، واعتماد الاعمدة في ترتيبها. (Hamza & Al-Manaa,2013:70).

5. مصفوفة الاسبقية لهوفمان

Hoffmann (Precedence Matrix)

قدم Hoffmann هذه الخوارزمية سنة 1963، وتهدف الى تحويل علاقات الترابط بين العناصر والمهام الخاصة بخط التجميع ومن ثم عرض تلك العلاقات بشكل مصفوفة. وهذه المصفوفة تتم من خلال مجموعة من الخطوات وكما يأتي: (Sharma et al,2009:529)

- ❖ تكون البداية من المحطة الاولى حيث يتم اعداد قائمة بالمهام وحسب الاسبقية والتي يتم من خلالها العثور على مجموعة من المهام التي ستقلل من الوقت العاطل للمحطة بالكامل.
- ❖ يتم تعيين هذه المهام إلى المحطة الاولى وتستمر العملية مع المحطة الثانية باستخدام قائمة أسبقية محدثة. يتم تكرار هذه العملية لكل محطة بترتيب رقمي، حتى يتم تعيين جميع المهام.

6. طريقة مودي –يونغ

Young –Moodie Method

قدم Moodie وYoung عام 1965 صياغة معدلة لمشكلة موازنة خط التجميع (ALB) تتضمن تقلبات وقت المهمة. تعتبر أوقات المهام مستقلة في العادة ووفقا لهذه الطريقة فيتم توزيع الوقت العاطل بين محطات العمل وفقا للمصفوفة المعدة لهذا الغرض. يقوم نظام التوجيه المعياري بوضع المهام في المحطات التي تبدأ بالمهام التي لها أطول وقت للتجهيز، ولا يمكن وضع مهمة في دائرة نصف قطرها من التوازن الأمثل للخط فيما يتعلق بالاضطرابات في بعض أوقات التشغيل وهي من الشروط اللازمة والكافية لاستقرار توازن الخط الأمثل. يعرض المؤلفان الحد الأعلى لنصف القطر لتوازن مثالي للخط (Rekiek & Delchambre, 2002:3)

المحور الثالث: الجانب التطبيقي

تعد مشكلة تصميم وموازنة خط الإنتاج من المشكلات الشائعة والمعقدة خصوصا لخطوط الإنتاج المزجية والمزدوجة، وعلى هذا الأساس عمل الباحثان على إيجاد العديد من التقنيات والخوارزميات منها خوارزميات اجتهادية وأخرى خوارزميات ذكاء صناعي للتعامل مع هذه المشكلات، وفي هذا البحث اعتمد الباحثان على الخوارزميات الاجتهادية كأدوات لمعالجة المشكلات المطروحة في البحث بغية تحسين موازنة خط الإنتاج في معمل القابلوات الضوئية في شركة ديالى العامة، ومن هذا المنطلق فأن جميع الخوارزميات تتطلب المدخلات نفسها الا انها تختلف بطريقة معالجتها، وبالاستناد الى المعادلات (1,2,3,4,5) يجري حساب مدخلات الخوارزميات الست وهي (خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة، خوارزمية مودي –يونغ، كامسول، هوفمان، قاعدة المرشح الأكبر وخوارزمية الاعمدة).

جدول (2): الوضع الحالي لمعمل القابلوات الضوئية

الطلب الشهري	الطلب اليومي بالأمتار	وقت الدورة بالدقائق	عدد المحطات	الكفاءة	عدم الكفاءة	الوقت العاطل بالدقائق
400	18.18182	23.1	9	0.53	0.47	98.9
390	17.72727	23.69231	9	0.52	0.48	104.2308
400	18.18182	23.1	9	0.53	0.47	98.9
420	19.09091	22	9	0.56	0.44	89
350	15.90909	26.4	9	0.47	0.53	128.6
415	18.86364	22.26506	9	0.55	0.45	91.38554
470	21.36364	19.65957	9	0.63	0.37	67.93617
340	15.45455	27.17647	9	0.45	0.55	135.5882
350	15.90909	26.4	9	0.47	0.53	128.6
500	22.72727	18.48	9	0.67	0.33	57.32
400	18.18182	23.1	9	0.53	0.47	98.9
410	18.63636	22.53659	9	0.55	0.45	93.82927
المعدل	18.35227	23.15917		0.54	0.46	99.4325

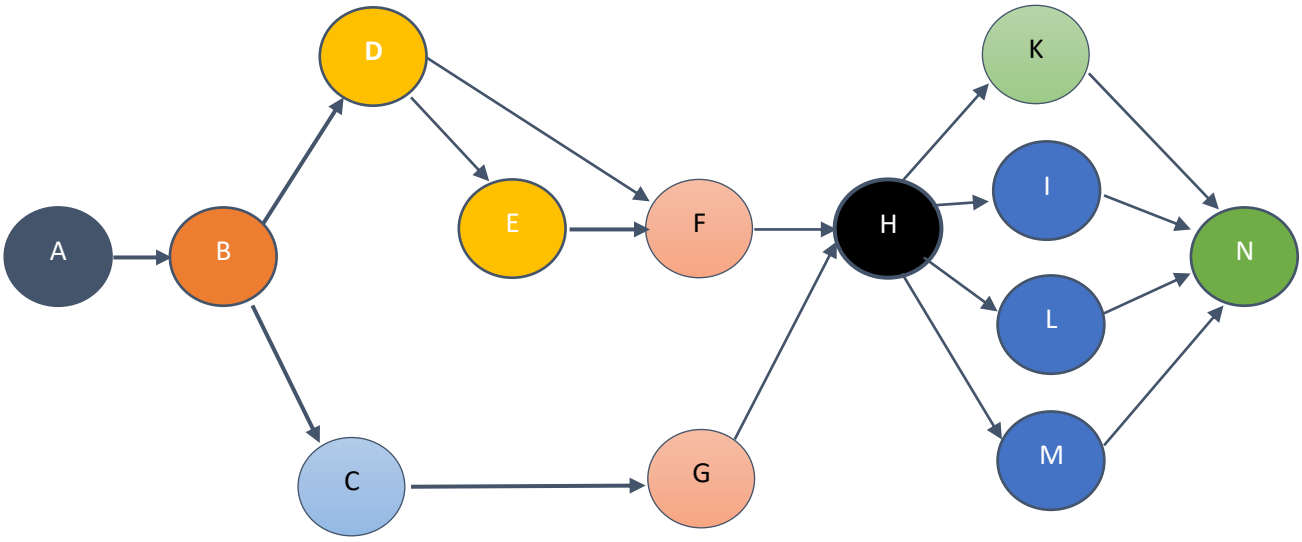
ISSN (1681- 6870)

جرى في بادئ الامر تقييم الوضع الحالي لمعمل القابلو الضوئي في ظل المعطيات الحالية، ولمدة سنة كاملة، وهنا نشير الى اعتماد المتوسط العام للمدخلات في التعامل مع الخوارزميات وذلك لاختصار الإجراءات الخاصة بجانب العمل من 12 شهر الى فترة واحدة متمثلة بالمتوسط، ومن خلال الجدول (2) يتضح ان متوسط وقت الدورة بلغ (23) دقيقة وبعدد محطات معتمدة حاليا من قبل الشركة (9) محطات موزع بضمنها العديد من الأنشطة، كما تبلغ الكفاءة بشكل عام (0.54).

يشير الجدول (2) الى الوضع الحالي والمعتمد من قبل الشركة في عمليات انتاجها، وهي تعتمد (9) محطات عمل و(13) عنصر عمل (أنشطة)، اذ بلغ وقت الدورة كمعدل (23) دقيقة، ووفقا للمؤشرات المعتمدة في البحث بلغت كفاءة الخط الإنتاجي (54%)، بينما بلغ الوقت العاطل كمعدل (99) دقيقة، وان مؤشر سلاسة الخط الإنتاجي بلغت (39 دقيقة) بينما الموازنة اليومية كانت (46%)، وهذا ما يؤشر الى وجود العديد من المشكلات تتطلب من الشركة معالجتها بهدف تحسين هذه المؤشرات، ونقدم في هذا البحث عدة خوارزميات تسهم بشكل كبير في معالجة مثل هذه المشكلات، والجدول (3) يوضع التوزيع الحالي لعناصر العمل والوقت المطلوب لكل عنصر من هذه العناصر، والشكل (1) يوضح أيضا علاقات الاسبقية لهذه الأنشطة.

جدول (3): محطات العمل والوقت اللازم للأنشطة

المحطات	اسم العملية	النشاط	الوقت بالدقائق	النشاط السابق
1	تلوين الشعيرات	A	17	——
2	العزل	B	14	A
3	الجدل	C	20	B
4	فحص التضعيف	D	2	B
	التسليح بالألمنيوم	E	16	D
5	فحص قوة الشد	F	2	D,E
	الخيط الزجاجي	G	13	C
6	التغليف الخارجي	H	18	F,G
	فحص قابلية الصدمة	I	1	H
7	فحص نفاذية الماء	K	1	H
8	فحص قابلية الالتواء	L	1	H
	فحص قابلية الحني	M	1	H
9	فحص نهائي	N	3	K,I,M,L
	المجموع		109	



شكل (1): مسار العمليات الانتاجية

يبين الشكل (1) علاقات الاسبقية بين محطات العمل والعناصر التي تحويها بعض تلك المحطات، وإعادة ما تتقيد عدد المحطات بعلاقات الاسبقية او وقت الدورة والتي تمثل العائق الأكبر في اختزال عدد محطات العمل بهدف تحسين أداء الخط الإنتاجي بشكل اجمالي، ومن هذا المنطلق هناك العديد من الخوارزميات والتقنيات المهمة تعمل على تحسين كفاءة خطوط الإنتاج، والتي سوف نعتمد على جزء منها لمعالجة المشكلة المطروحة في هذا البحث، وهذه الخوارزميات هي خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة (قاعدة المرشح الأكبر) وخوارزمية مودي-يانغ وخوارزمية كوكسوال، ونهاية المطاف سيجري الباحث مقارنة منطقية بين هذه الخوارزميات الثلاث وفقا لمؤشرات كفاءة الخط والوقت العاطل وسلاسة خط الإنتاج فضلا عن الموازنة اليومية.

ISSN (1681- 6870)

1. خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة

انطلاقا من الخطوات المشار اليها في متن البحث والخاصة بهذه الخوارزمية، جرى في المصفوفة (1) بيان العلاقات والاسبقيات بين عناصر العمل، وذلك بهدف بيان الارتباط المباشر (-) وغير المباشر (+) او عدم وجود ارتباط (0) بين هذه العنصر.

المصفوفة (1): خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة

النشاط	وقت النشاط	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	الوزن الموقعي المرجح
A	17	0	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	109
B	14		0	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	92
C	20			0	0	0	0	-	+	+	+	+	+	+	38
D	2				0	-	+	0	+	+	+	+	+	+	45
E	16					0	-	0	+	+	+	+	+	+	43
F	2						0	0	-	+	+	+	+	+	27
G	13							0	-	+	+	+	+	+	38
H	18								0	-	-	-	-	+	25
I	1									0	0	0	0	-	7
K	1										0	0	0	-	6
L	1											0	0	-	5
M	1												0	-	4
N	3													0	3

ان الاوزان الموقعية المبينة في العامود الأخير من جهة اليسار تشير الى مجموع أوقات الأنشطة (عناصر العمل) التي ترتبط بصورة مباشرة او غير مباشرة بالنشاط (A) بعد استبعاد أوقات الأنشطة غير المرتبطة، اذ بلغ الوزن الموقعي المرجح له (109) دقيقة كون جميع الأنشطة ترتبط به بصورة مباشرة وغير مباشرة، اما النشاط (B) فقد بلغ (92) دقيقة وذلك بعد استبعاد الوقت الخاص بالنشاط (A) والبالغ (17) دقيقة وذلك لعدم وجود ارتباط للنشاط (B) بـ (A) وفقا للمصفوفة (1).

بعد انجاز مصفوفة العلاقات المطلوبة وفقا لهذه الخوارزمية يتم توزيع الأنشطة على محطات العمل، وهذا التوزيع يبدأ بالمحطة التي تحمل وزن موقعي الأكبر لتحتل المحطة الأولى بشرط عدم تجاوز الاسبقية، ومن ثم يتم الحاق المحطة التي تحمل وزن موقعي اقل وبشكل تنازلي بالمحطة الأولى نفسها وإذا كان الوقت التراكمي يتجاوز وقت الدورة والبالغ (23) دقيقة يتم فتح محطة ثانية، وهكذا لبقية الأنشطة وكما في الجدول (4).

جدول (4): توزيع الأنشطة على محطات العمل وفقا لخوارزمية الاوزان

محطة العمل	النشاط	الوزن الموقعي المرجح	النشاط السابق	وقت النشاط	الوقت التراكمي للنشاط	الوقت العاطل (المتبقي)
1	A	109	——	17	17	6
2	B	92	A	14	14	7
	D	38	B	2	2	
3	E	45	D	16	16	5
	F	43	D,E	2	18	
4	C	27	B	20	20	3
5	G	38	C	13	13	10
6	H	25	F,G	18	18	5
7	I	7	H	1	1	15
	K	6	H	1	2	
	L	5	H	1	4	
	M	4	H	1	5	
	N	3	K,I,M,L	3	8	

ISSN (1681- 6870)

بالاستناد الى خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة فأن عدد محطات العمل بلغت (7) بعد ان كانت (9) محطات معتمدة من قبل الشركة، وان الوقت العاطل انخفض من (239) دقيقة الى (51) دقيقة، وهذا يرجع الى قدرة هذه الخوارزمية على توزيع الوقت العاطل على محطات العمل، وهنا لا بد من الإشارة الى ان النشاط (F) على الرغم من انخفاض وزنه إلا انه يمكن ادراجه ضمن محطة أخرى لأنه لا يتجاوز الاسبقية من جهة وكفاية وقت الدورة لتغطية هذا النشاط في تلك المحطة من جهة أخرى.

2. خوارزمية مودي يونغ

تعتمد خوارزمية مودي-يونغ بشكل أساس في توزيع الأنشطة على محطات العمل على خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة، الا ان ما يميز هذه الخوارزمية هو الاعتماد على الوقت الأكبر لأي محطة عمل كمعيار في تخصيص المهام، وتعمل هذه الخوارزمية على توزيع الأوقات الفائضة بين محطات العمل شريطة عدم تجاوز الاسبقية، والقائمة (A) تبين عملية الاعداد الأولية لهذه الخوارزمية، اذ يتم في هذه القائمة ادراج الأنشطة والأنشطة السابقة والتابعة لها لو اللاحقة، ويجري تخصيص الأنشطة في المحطة الأولى للأنشطة التي تحمل وقت عمل اكبر وتحمل إشارة (-)، وبعد اشغال المحطة الأولى يتم اعداد قائمة ثانية وتسمى قائمة (B)، اذ تحوي هذه القائمة الأنشطة المتبقية بعد حذف الأنشطة التي تم تخصيصها في المحطة الأولى، وبنفس الطريقة لبقية الأنشطة والموضحة في الجدول (5).

جدول (5): قائمة توزيع الأنشطة على محطات العمل وفقا لخوارزمية مودي-يانغ

النشاط	الوزن الموقعي المرجح	النشاط السابق	النشاط اللاحق	وقت النشاط	الأنشطة غير التابعة
A	109	——	B	17	-
B	92	A	C,D	14	
C	38	B	G	20	
D	45	B	E,F	2	
E	43	D	F	16	
F	27	D,E	H	2	
G	38	C	H	13	
H	25	F,G	K,I,L,M	18	
I	7	H	N	1	
K	6	H	N	1	
L	5	H	N	1	
M	4	H	N	1	
N	3	K,I,M,L	-	3	

كما أشرنا أعلاه الى ان هذه الخوارزمية تعتمد الوزن الموقعي كمعيار أساس في توزيع الأنشطة على مراكز العمل (محطات العمل)، وبهذا يتم فتح محطة العمل الأولى والتي تضم النشاط (A)، وبسبب عدم كفاية الوقت يتم فتح محطة العمل الثانية لتضم النشاط (B)، وهكذا لبقية محطات العمل المبينة في الجدول (6).

جدول (6): توزيع الأنشطة على محطات العمل وفقا لخوارزمية مودي-يانغ

محطة العمل	النشاط	الوزن الموقعي المرجح	النشاط السابق	وقت النشاط	الوقت العاطل (المتبقي)
1	A	109	——	17	6
2	B	92	A	14	9
3	C	38	B	20	3
4	D	45	B	2	5
	E	43	D	16	
5	G	27	C	13	10
6	F	38	D,E	2	3
	H	25	F,G	18	
7	I	7	H	1	16
	K	6	H	1	
	L	5	H	1	
	M	4	H	1	
	N	3	K,I,M,L	3	

ISSN (1681- 6870)

النشاط	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
A		1											
B			1	1									
C							1						
D					1	1							
E						1							
F								1					
G								1					
H									1	1	1	1	
I													1
K													1
L													1
M													1
N													
عدد العلاقات	0	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	4

(A}

النشاط	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
B			1	1								
C						1						
D					1							
E					1							
F							1					
G							1					
H								1	1	1	1	
I												1
K												1
L												1
M												1
N												
عدد العلاقات	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	4

(B)

النشاط	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
C					1						
D				1	1						
E				1							
F						1					
G						1					
H							1	1	1	1	
I											1
K											1
L											1
M											1
N											
عدد العلاقات	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	4

(C)

ISSN (1681- 6870)

1. خوارزمية كامسول

تقوم هذه الخوارزمية على ست خطوات أساس في عملية تصميم الخط الإنتاجي، يجري في الخطوة الأولى انشاء قائمة تسمى قائمة (A)، وتحوي هذه القائمة جميع الأنشطة والأنشطة التي تعقبها مباشرةً وعدد هذه الأنشطة، وكما مبين في القوائم ادناه.

قائمة (A)

الانشطة	الأنشطة التي تعقبها المباشرة	عدد المهام التي تسبقها مباشرة
A	B	0
B	C,D	1
C	G	1
D	E	1
E	F	1
F	H	2
G	H	1
H	K,I,M,L	2
I	N	1
K	N	1
L	N	1
M	N	1
N	-	4

بعد الانتهاء من تحضير القائمة الأولى، يتم في الخطوة الثانية انشاء قائمة (B) والتي تتضمن المهام التي لا تسبقها أي مهمة أخرى، وبهذه الحالة يتم نقل المهام التي يتم اختيارها من القائمة هذه الى قائمة جديدة تسمى قائمة (C) وهي تمثل الخطوة الثالثة، والتي تتضمن التخصيص النهائي للأنشطة على محطات العمل، كما يتم في الخطوة اللاحقة حذف الأنشطة التي تم تخصيصها، ليتم من جديد تحديث القائمة (A)، ليتم في الخطوة الخامسة ترشيح الأنشطة الجديدة بعد التحديث الى القائمة (B)، ومن ثم في الخطوة الأخيرة نقلها الى القائمة (C).

قائمة (B)

المرحلة	1	2	3	4	5	6	7	8
المهام	A	B	C,D	E,G	F	H	I,K,L,M	N
اوقات المهام	17	15	20,2	16,13	2	18	1,1,1,1	3

قائمة (C)

المهام	A	B,D	C,D	E	F,G	H,I,K,L,M	N
اوقات المهام	17	15,2	20,2	16	2,13	18,1,1,1,1	3
الوقت العاطل	6	6	1	7	8	1	20
المحطات	1	2	3	4	5	6	7

2. خوارزمية هوفمان

تعتمد هذه الخوارزمية مصفوفة في توزيع الأنشطة على محطات العمل، اذ يجري من خلالها تحديد علاقات الاسبقية المباشرة بين الأنشطة، وتبين المصفوفة الاولى (A) العلاقات بين هذه الأنشطة، ويتم في المرحلة الأولى تخصيص المهام التي ليس لها اسبقية مباشرة (0)، وبهذا فان النشاط (A) هو النشاط المؤهل ليخصص في المحطة الأولى وكما في الجدول (7)، ويجري هنا حساب الوقت المتبقي بعد تخصيص النشاط (A) في المحطة الأولى ليتم تقييم مدى قدرة تخصيص نشاط اخر لهذه المحطة، بما ان وقت الدورة هو 23 دقيقة وان النشاط (A) يتطلب 17 دقيقة، وهذا يعني إمكانية تخصيص نشاط اخر بما لا يتجاوز 6 دقائق فقط، وهنا يتم اعداد مصفوفة ثانية بعد حذف الصف الأول والعامود الأول من المصفوفة الأولى أي استبعاد النشاط الأول الذي جرى تخصيصه، وبهذا تتكون المصفوفة الثانية (B)، اذ يلاحظ عدم وجود أي نشاط اخر يحمل (0)، وهذا يعني التوجه الى الأنشطة الي لها علاقات اقل وهي تحمل (1)، وهناك العديد من هذه الأنشطة التي تحمل الإشارة (1)، اذ يجري هنا اختيار النشاط الذي يلبي عدة شروط منها: عدم تجاوز وقته الوقت المتبقي وهو 6 دقائق والشرط الاخر هو الاسبقية فضلا عن نوع المكائن المستخدمة في محطات العمل، وهنا لا يمكن تخصيص أي نشاط اخر لان الأنشطة المؤهلة وبحسب الأسبقية هو النشاط (B) و(C)، وهذان النشاطان يتجاوز وقتهما 6 دقائق، وبهذا يتم فتح محطة ثانية، وهكذا لبقية الأنشطة وكما مبين في الجدول (7).

ISSN (1681- 6870)

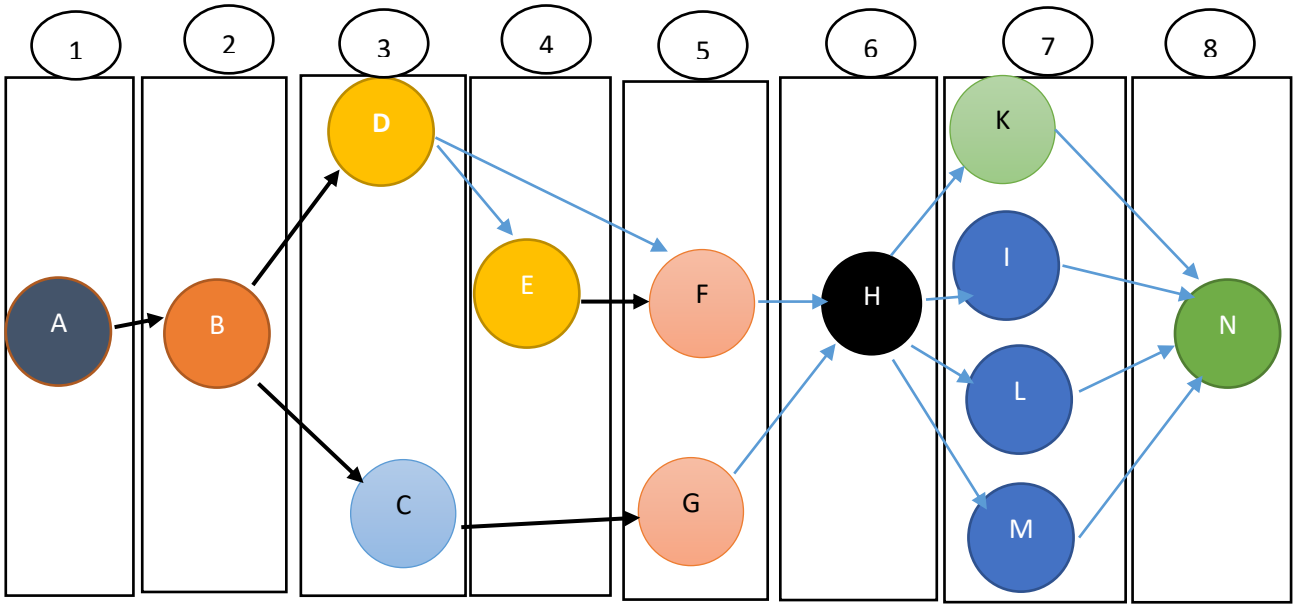
جدول (7): توزيع الأنشطة على محطات العمل وفقا لخوارزمية هوفمان

محطة العمل	النشاط	النشاط السابق	وقت النشاط	الوقت العاطل (المتبقي)
1	A	——	17	6
2	B	A	14	7
	D	B	2	
3	C	B	20	3
4	F	D,E	2	8
	G	C	13	
5	E	D	16	7
6	H	F,G	18	1
	K	H	1	
	I	H	1	
	L	H	1	
	M	H	1	
7	N	K,I,M,L	3	20

بعد تخصيص الأنشطة على محطات العمل يتبين ان هناك 7 محطات عمل وبوقت فائض اجمالي بلغ 52 دقيقة.

3. خوارزمية الاعمدة لـ Kilbridge & Western

تعمل هذه الطريقة على أساس الاعمدة كما في الشكل (2)، اذ يجري تقسيم محطات العمل على شكل أعمدة ليتم دراسة مدى إمكانية ادراج الأنشطة ضمن كل عامود وبحدود وقت الدورة والاسبقية، حيث يتم في المرحلة الأولى تخصيص النشاط في العامود الأول الى المحطة الأولى، ليتم بعد ذلك دراسة مدى إمكانية دمج النشاط الاخر في العامود الثاني الى المحطة الأولى، ففي دراسة الحالة هذه لا يمكن لان وقت الدورة لا يسمح بذلك والبالغ 23 دقيقة وان وقت العمليات للنشاطين في العامود الأول والثاني اكبر من ذلك واللذان يبلغان (14+17= 31 دقيقة)، وبهذه الحالة يتم استحداث محطة عمل ثانية.



شكل (2): تقسيم الانشطة بحسب خوارزمية الاعمدة

من خلال الشكل (2) يمكن ان نقوم بتخصيص الأنشطة على محطات العمل، والجدول (8) يبين هذا التخصيص، اذ يمكن ادراج بعض الأنشطة القابلة للنقل (+) ضمن محطة معينة اذا كان وقت الدورة يسمح بذلك، كما هناك أنشطة أخرى غير قابلة للنقل (-) إما بسبب وقت عملياتها الكبير او بسبب قيود الاسبقية.

ISSN (1681- 6870)

جدول (8): توزيع الأنشطة على محطات العمل وفقا Kilbridge & Western method

محطة العمل	النشاط	النشاط السابق	الأنشطة القابلة للنقل	وقت النشاط	الوقت العاطل (المتبقي)
1	A	——	-	17	6
2	B	A	-	14	9
3	D	B	+	2	1
	C	B	-	20	
4	F	D,E	-	2	5
	E	D	-	16	
5	G	C	-	13	10
6	H	F,G	-	18	
7	K	H	+	1	16
	I	H	+	1	
	L	H	+	1	
	M	H	+	1	
	N	K,I,M,L	-	3	

4. قاعدة المرشح الأكبر Largest candidate rule method

ترتكز هذه الطريقة بصورة أساس على وقت الانشطة، وبالتالي النظر في مدى إمكانية تخصيص الأنشطة الى محطات العمل بالاستناد الى الوقت الأطول لكل نشاط، اذ يتم في المرحلة الأولى اعداد قائمة تسمى (A) تحتوي على الأنشطة مرتبة تنازليا، اذ يتم تخصيص النشاط الأطول الى المحطة الأولى وفي حدود الاسبقية، وهنا يظهر ان النشاط (C) هو الأطول من حيث الوقت لكن لا يمكن تخصيصه بسبب الاسبقية، لذا نتجه الى النشاط الثاني من حيث الوقت الأطول وهو النشاط (H) وهو الاخر الذي لا يمكن تخصيصه الى المحطة الأولى بسبب قيود الاسبقية، وبطبيعة الحال فان النشاط الثالث (A) هو النشاط الذي يمكن تخصيصه الى المحطة الأولى، وبهذا يمكن ادراج أي نشاط اخر ضمن هذه المحطة بشرط ان لا يتجاوز وقت الدورة و الاسبقية وهنا لا يمكن ادراج نشاط اخر ضمن هذه المحطة وبالتالي نقوم باستحداث قائمة أخرى تسمى (B) يتم في هذه القائمة شطب النشاط او الأنشطة التي خصصت في المحطة الأولى وهنا يتم اشطب النشاط (A) كونه خصص في المحطة الأولى، ومن خلال القائمة الثاني يمكن ان نختار الوقت الأطول وهو النشاط (C) ليتم به فتح محطة عمل ثانية، اذ يمكن هنا ادراج نشاط اخر لان وقت الدورة المتبقي هو 3 دقيقة (23-20=3)، وهنا يمكن ضمن هذه المحطة إضافة النشاط (D) وذلك لان هذا النشاط والبالغ وقته 2 دقيقة ولا يتجاوز الوقت المتبقي وهو 3 دقيقة ولا يتجاوز الاسبقية، بعد هذه العملية يجري استحداث قائمة ثالثة تسمى قائمة (C) يتم فيها شطب الأنشطة التي تم تخصيصها في المحطة الثانية، وبنفس الأسلوب لجميع الأنشطة الأخرى، والجدول (9) يبين عملية تخصيص جميع الأنشطة على محطات العمل وفقا لهذه الخوارزمية.

(A)

النشاط	النشاط السابق	وقت النشاط
C	B	20
H	F,G	18
A	——	17
E	D	16
B	A	14
G	C	13
N	K,I,M,L	3
D	B	2
F	D,E	2
I	H	1
K	H	1
L	H	1
M	H	1

(B)

النشاط	النشاط السابق	وقت النشاط
C	B	20
H	F,G	18
E	D	16
B	A	14
G	C	13
N	K,I,M,L	3
D	B	2
F	D,E	2
I	H	1
K	H	1
L	H	1
M	H	1

(C)

النشاط	النشاط السابق	وقت النشاط
H	F,G	18
E	D	16
B	A	14
G	C	13
N	K,I,M,L	3
D	B	2
F	D,E	2
I	H	1
K	H	1
L	H	1
M	H	1

ISSN (1681- 6870)

جدول (9): توزيع الأنشطة على محطة العمل وفقا لخوارزمية قاعدة المرشح الاكبر

محطة العمل	النشاط	النشاط السابق	وقت النشاط	الوقت العاطل (المتبقي)
1	A	——	17	6
2	C	B	20	1
	D	B	2	
3	B	A	14	9
4	E	D	16	5
	F	D,E	2	
5	G	C	13	10
6	H	F,G	18	5
7	H	F,G	18	13
	K	H	1	
	I	H	1	
	L	H	1	
	M	H	1	
	N	K,I,M,L	3	

5. تقييم خوارزميات تصميم وموازنة خط الإنتاج

النتائج الظاهرة في الجدول (10) تبين المؤشرات المعتمدة في البحث لأغراض الحكم على افضلية الخوارزمية في تصميم خط الإنتاج، وهنا لابد من الإشارة ان كلما زادت عدد الأنشطة لاي منتج تزداد كفاءة هذه الخوارزميات في الوصول الى الامثلية فضلا عن ظهور اختلافات كبيرة في النتائج التي تتوصل اليها كل خوارزمية، اذ بسبب قلة الأنشطة لمنتجات القابلوات الضوئية كان هناك تشابه في كثير من النتائج والمؤشرات لأغلب هذه الخوارزميات، اذ تبين ان مؤشر الكفاءة متساو لجميع الخوارزميات وهذا يرجع الى عدم القدرة في تغير عدد المحطات وفقا لجميع الخوارزميات أيضا، اما بالنسبة للوقت العاطل فظهرت ان تقنية الاعمدة هي الأفضل من بين الخوارزميات المعتمدة في البحث، اذ بلغ الوقت العاطل وفقا لهذه الخوارزمية 47 دقيقة فقط وهو الأدنى من بين جميع الخوارزميات الاخرى، اما على مستوى سلاسة خط الإنتاج (التدفق)، فكانت الأفضلية لخوارزمية قاعدة المرشح الأكبر، ومن هنا يمكن ان نقول ان جميع هذه الخوارزميات حققت نتائج جيدة قياسا بالأسلوب المعتمد حاليا من قبل الشركة في تصميم خطوطها الإنتاجية ولك على مستوى جميع المؤشرات والمبينة بشكل تفصيلي في الجدول (10).

جدول (10): مؤشرات المفاضلة بين خوارزميات تصميم خطوط الانتاج

الخوارزمية / المؤشرات	أسلوب الشركة الحالية	خوارزمية الاوزان الموقعية المرجحة	خوارزمية مودي لانغ	خوارزمية كومسوال	خوارزمية هوفمان	خوارزمية الاعمدة	قاعدة المرشح الأكبر
عدد المحطات	9	7	7	7	7	7	7
الكفاءة	0.54	%68	%68	%68	%68	%68	%68
الوقت العاطل (دقيقة)	98	51	52	49	52	47	49
سلاسة خط الإنتاج (دقيقة)	39	22	23	24	25	22	21

المحور الرابع: الاستنتاجات والتوصيات

- **أولا: الاستنتاجات**

1. الدور الكبير والمهم لخوارزميات تصميم خط الإنتاج في تحسين كفاءة خط الإنتاج.
2. قدرة خوارزميات تصميم خطوط الإنتاج التعامل مع جميع اشكال خطوط الإنتاج كخط الإنتاج المنفرد او المزدوج او المزجي...الخ.
3. إمكانية خوارزميات تصميم خط الإنتاج من تقليل الوقت العاطل الى مستويات كبيرة، وذلك من خلال توزيع الوقت العاطل بين محطات العمل.
4. إمكانية تقليل عدد محطات العمل، بما يسهم ذلك بتحسين كفاءة تلك المحطات.
5. عدم قدرة هذه الخوارزميات من تجاوز قيود الاسبقية او وقت الدورة او نوعية المكائن في كل محطة عمل.
6. تحسين وقت الدفق للإنتاج بين محطات العمل، الامر الذي يسهم بشكل كبير في تقليل الوقت العاطل بين تلك المحطات.
7. سهولة فهم وتطبيق هذه الخوارزميات من قبل الشركات.

ISSN (1681- 6870)

- **ثانيا: التوصيات**

1. انطلاقا من قدرة هذه الخوارزميات في تحسين كفاءة محطات العمل، نحث الشركة على استعمال هذه الخوارزميات او خوارزمية الاعمدة لما لها من دور كبير في تحسين الكفاءة وتقليل الوقت العاطل.
2. الاهتمام بصورة اكبر بأهمية تصميم خط الإنتاج المدروس في البحث الحالي.
3. تقليل محطات العمل الحالية بهدف تحسين الكفاءة والوقت العطل وتحسين عملية التدفق في نفس الوقت.
4. إمكانية تكيف هذه الخوارزميات في بيئة الشركة الامر الذي يمكن من خلاله إعادة تصميم الخط الإنتاجي باستعمال هذه الخوارزميات.
5. تحديد نقاط الاختناق لكل حجم دفعة ولكل فترة من الفترات لتغلب على الصعوبة المتوقعة.

المصادر

[1] ماجود، هالة حمد (2011)، "موازنة خط التجميع المتعدد باستخدام خوارزميتي الاوزان الموقعية المرجحة وكومسوال، دراسة حالة لخط الخياطة في معمل (7) الشركة العامة للصناعات الجلدية"، اطروحة دكتوراه في ادارة الاعمال غير منشورة، جامعة بغداد، كلية الادارة والاقتصاد.

[2] Collier, David Alan & Evans, James R. (2015), Operations Management, Student Edition 5.

[3] Hamza, Riyadh Mohammed Ali & Al-Manaa, Jassim Yousif (2013), "Selection of Balancing Method for Manual Assembly Line of Two Stages Gearbox", Global Perspectives on Engineering Management, Vol. 2 No.. 2, PP. 70-81.

[4] Heizer, Jay & Render, Barry & Munson, Chuck, (2017), Operations Management, Sustainability and Supply Chain Management, 10th Ed., Always Learning, New Jersey.

[5] Imad, Belassiria & Mohamed, Mazouzi & Said, ELfezazi & Anass, Cherrafi (2017), "Solving Assembly Line Balancing Problem Using a Hybrid Genetic Algorithm with Zoning Constraints", International Journal of Business and Management Invention, Vol. 6, Issue 5.

[6] Ivanov, Dmitry & Tsipoulanidis, Alexander & Schonberger, Jorn, (2017), Global Supply Chain and Operations Management. A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value, 2nd Ed., Springer Texts in Business and Economics

[7] Jacobs, F. Robert, Chase, Richard, B., (2018), Operations and supply chain Management, 15th Ed., McGraw – Hill, New York.

[8] Krajewski, Lee J. Ritzman, Larry P. & Malhotra Manoj K. (2016), Operations management: processes and Supply chains, 11th Ed., Person Prentice – Hall, New Jersey.

[9] Kumar, Naveen & Mahto, Dalgobind (2013), Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application, Global Journal of Researches in Engineering Industrial Engineering, Volume 13, Issue 2.

[10] Pape, Tom (2015), "Heuristics and lower bounds for the simple assembly line balancing problem type 1: Overview, computational tests and improvements", European Journal of Operational Research, Vol. 240, No. 1, 32–42.

[11] Prasad, M. Mohan & Ganesan, K. & Suresh, R.K. (2013), "An Optimal Balancing of Multiple Assembly Line for A Batch Production Unit", International Journal of Lean Thinking Vol. 4, Issue 2.

[12] Rahman, Md. Mahbubur & Nur, Farjana & Talapatra, Subrata (2014), "An Integrated Framework of Applying Line Balancing in Apparel Manufacturing Organization: A case Study", Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 44, No. 2.

[13] Rekiek, Brahim & Delchambre, Alain & Dolgui, Alexandre & Bratcu, Antoneta (2002), "Assembly Line Design: A survey", 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain.

[14] Sharma, Pallavi & Thakar, G. & Gupta, R.C. (2013), "Evaluation of assembly line balancing methods using an analytical hierarchy process (AHP) And technique for order preferences by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) Based Approach", International Journal for Quality Research Vol. 7, No. 4 523–544.

ISSN (1681- 6870)

[15] Stevenson, William, (2012), Operation Management, 11th Ed., Irwin MC GRAW-Hill, New York.

[16] Tomar, Ankit. T & Manoria, Ashish (2016), Increasing Line efficiency with COMSOAL, RPW and LCR Methods of Assembly Line Balancing Problem, International Journal of Software & Hardware Research in Engineering, Vol. 4, Issue 1 January.