محاضرة

الترتيب الداخلي للمصنع Facility Layout

اعتمادا على المرجع (إدارة الإنتاج والعمليات من تأليف د. عبد الكريم محسن، د. صباح مجيد النجار)

1 مقدمة Introduction

في الفصول السابقة تطرقنا إلى العوامل التي من شأنها التأثير في قرارات تصميم العملية، وكان من بين تلك العوامل نوع المنتوج والكميات المطلوب إنتاجها. كما أوضحنا كيفية إعداد تحليل تدفق العمليات لوصف العمليات التي تمر بها السلعة أو الخدمة. وذكرنا أن للمسافة التي يقطعها المنتوج في أثناء مروره بعمليات الإنتاج أهمية بالغة تؤثر في قدرة الشركة على التسليم في الوقت (أو الموعد) المحدد في كلفة المنتوج. إن المسافة التي يقطعها المنتوج من عملية لأخرى ضمن عملية التحويل (Transformation Process) يمكن إختصارها عن طريق الترتيب الجيد، ذلك لأن الترتيب الداخلي للمصنع هو عملية تهدف إلى تحقيق التنظيم المادي لأقسام الإنتاج ومحطات العمل والمكائن والمخازن وأقسام الخدمات ضمن نظام الإنتاج في الشركة.

إن أساليب الترتيب الداخلي للمصنع متعددة ويمكن تصنيفها بعدة طرائق، والتصنيف الذي سيعتمد في هذا الفصل هو: الترتيب على أساس العملية (الوظيفي) (Process Layout)، الترتيب على أساس المنتوج (السلعي) (Product Layout)، الترتيب الهجين (Hybrid Layout)، وترتيب الموقع الثابت (Fixed Layout)، والترتيب المتخصص (Specialized Layout).

يهتم الترتيب على أساس العملية بجمع المعدات ذوات الإستخدام المتشابه في مكان واحد، على حين يختص الترتيب على أساس المنتوج بجمع المعدات اللازمة بمختلف أنواعها، لإنتاج سلعة معينة، على شكل خط إنتاج. ويقوم الترتيب الهجين بالجمع بين الترتيب الوظيفي والترتيب السلعي للإستفادة من مزايا الترتيبين الوظيفي والسلعي. ومن الأمثلة على ذلك ترتيب عامل واحد وعدة مكائن، وترتيب خلايا تكنولوجيا المجاميع. أما في ترتيب الموقع الثابت فإن المنتوج يبقى في مكانه وتنقل إليه القوى العاملة والآلات والمواد كما هو الحال في بناء السفن والطائرات والسدود. وأخيراً فإن الترتيب المتخصص هو نوع من أنواع الترتيب يلائم المخازن والمكاتب والأسواق المركزية.

يستعرض هذا الفصل الأنواع السابقة للترتيب مع التركيز على الترتيب الوظيفي والترتيب السلعي بعدهما من أكثر أنواع الترتيب إستخداماً، كما سيقدم هذا الفصل تباعاً الأساليب الكمية المستخدمة في الوصول إلى الترتيب الداخلي الذي يعظم معايير الأداء.

2 تخطيط الترتيب الداخلي Layout Planning

ينطوي تخطيط الترتيب الداخلي على قرارات تتعلق بالترتيب المادي لمراكز النشـــاطات الإقتصادية ضمن نظام الإنتاج في الشركة. ويعرف مركز النشاط الإقتصادي على أنه أي نشاط يتطلب مساحة أو فضاء (Space) لإنجازه، مثل حاجة العامل إلى مساحة لإنجاز عمله، وينطبق ذلك أيضاً على المكائن والأقسام والأثاث والمخازن ... إلخ.

إن الهدف من تخطيط الترتيب الداخلي يتمثل في إتاحة الفرصة للعاملين وللمعدات لإنجاز الأعمال بأقصى كفاءة وفاعلية ممكنة. ولتحقيق ذلك ينبغي على مدير العمليات الإجابة بالتتـــابع عن الأسئلة الاتية:

- ما الأقسام التي يجب أن تشمل بالترتيب؟
- ما المساحة اللازمة لكل قسم؟
- ما هيئة أو تشكيلة كل قسم؟
- أين ينبغي أن يوضع القسم أو محطة العمل؟

للإجابة على الأسئلة السابقة يتوجب تحديد مدخلات عملية التخطيط للترتيب الداخلي وهي:

- تحديد أهداف النظام من حيث حجم المخرجات ودرجة المرونة المطلوبة .
- تحديد حجم الطلب على السلعة أو الخدمة .
- تحديد متطلبات عملية التحويل من حيث عدد العمليـــات اللازمـــة وكميـــة التـــدفق (Flow) بين الأقسام ومراكز العمل .
- تحديد المساحة المتوافرة للإستغلال ضمن نظام الإنتاج في الشركة .
- إن جميع المدخلات السابقة تعد مخرجات لنشاطي وظيفة تصميم العملية وتخطـــيط الطاقة التي تحدثنا عنهما في الفصول الســـابقة (Krajewski & Ritzman, 1993, 378-379).

3 الأهمية الإستراتيجية للترتيب الداخلي

Strategic Significance Of Facility Layout

يعكس الترتيب الداخلي للمصنع عدة مضامين عملية وإستراتيجية ذلك لأنه يمثل أحد القرارات الرئيسة التي تحدد كفاءة عمليات الشركة في الأجل الطويل، وقدرتها على تحقيق مزايا تنافسية في إطار الطاقات المتاحة ونوع العمليات ومرونة نظام الإنتاج والتكاليف ودرجات الإحتكاك بالزبائن وإنطباعهم عن الشركة. إن الترتيب الفعال والكفوء من شأنه مساعدة الشركة

في تحقيق أسبقيات تنافسية مبنية على أساس التمايز النوعي أو الكلفة أو القدرة على التسليم في المواعيد المحددة. لقد أثبت الواقع العملي إن الشركات التي تتبنى ترتيباً جيداً قد حققت ما يأتي:

- إستغلالاً عالياً للمساحات وللمعدات وللعاملين.
- تحسيناً متميزاً لتدفق المعلومات وللمواد ولحركة العاملين.
- تحسين الروح المعنوية للعاملين وتأمين ظروف عمل جيدة.
- تحسين العلاقة مع الزبائن.
- تحسين مرونة نظام الإنتاج.

وتواجه الإدارة العليا في الشركة عدة قرارات إستراتيجية متعلقة بالترتيب الداخلي مثل التخطيط للمستلزمات الآنية والمستقبلية، أو الإختيار من بين عدة تصاميم للأبنية، أو الإختيار ما بين ترتيب على أساس العملية أو على أساس المنتوج، ووضع معايير للحكم على صلاحية الترتيب في الأمد البعيد. ويمثل كل من نوع الترتيب ومعايير الأداء أهمية إستراتيجية بالغة للشركة ولذلك سوف نتطرق إليهما أولاً.

.(Heizer & Render, 1999, 322; Krajewski & Ritzman, 1993, 379-381)

4 أنواع الترتيب الداخلي Types Of Facility Layout

إن إخنيار الترتيب الداخلي يعتمد على إستراتيجية التركيز التي تعتمدها الشركة وعلى هذا الأساس فإن هناك خمسة أنواع رئيسة للترتيب الداخلي: هي الترتيب على أساس العملية (الترتيب الوظيفي)، والترتيب على أساس المنتتوج (الترتيب السلعي) والترتيب الهجين والترتيب الثابت والترتيب المتخصص والجدول (8-1) يوضح أمثلة عن المنظمات التي تطبق هذه الأنواع من الترتيب.

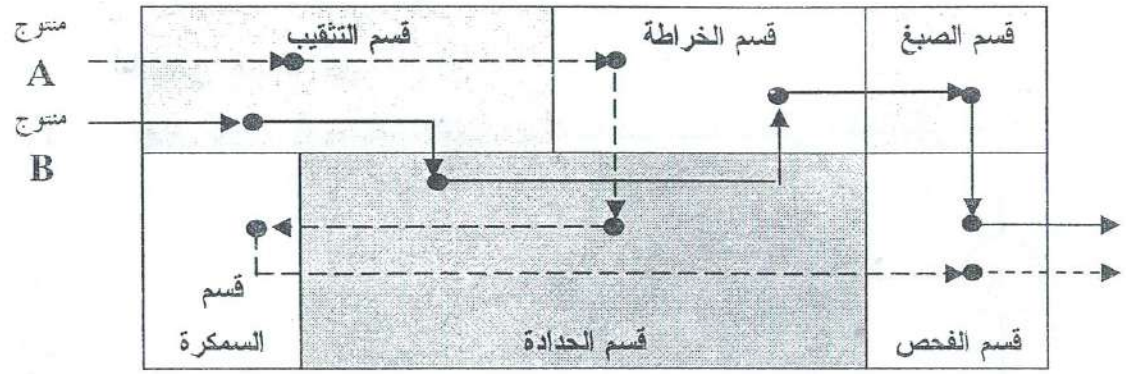
الجدول (8-1): تطبيقات الترتيب الداخلي في منظمات مختلفة

نوع الترتيب	أمثلة
الترتيب على اساس العملية	ورش العمل ، المستشفيات ، المطابخ
الترتيب على اساس المنتوج	خطوط التجميع للأجهزة الكهربائية ، مصانع الحليب
الترتيب الهجين	مطاعم الخدمة السريعة
ترتيب الموقع الثابت	بناء السفن ، الطائرات ، السدود
الترتيب المتخصص	المخازن ، المكاتب ، الأسواق المركزية

4-1 الترتيب على أساس العملية Process Layout

يستخدم هذا النوع من الترتيب عندما تتطلب إستراتيجية الشركة إنتاج كميات قليلة وبتنوع عال للمنتوج، لذا يتوجب تنظيم الموارد (كالعمال والمعدات) حول العمليات اللازمة للإنتاج، وكما هو الحال في ورش العمل (Job Shops). ويقوم الترتيب على اساس العملية على أساس تجميع عمليات الإنتاج المتشابهة في قسم واحد وذلك من خلال تطبيق مبدأ التخصص فمثلاً توضع جميع معدات التثقيب في قسم واحد من أقسام المصنع وكذلك بالنسبة لقسم الحدادة وقسم الطلاء وهكذا.

يصور الشكل (8-1) الترتيب على اساس العملية بإفتراض أن المنتوج الذي يتم تسلمه تجري عليه عمليات مختلفة، وقد جمعت الآلات والمعدات الخاصة لكـــل عملية في قسم خاص وتنقل المواد تحت التشغيل من قسم إلى آخر حتى تصبح منتجات تامة الصنع. إن المشكلة الأساسية في الترتيب على أساس العملية تكمن في تقليل كلفة حركة الاجزاء والمنتجات بين أقسام المصنع.



الشكل (8-1): ترتيب على أساس العملية لمعمل يتكون من ستة أقسام

ومن مزايا الترتيب على أساس العملية ما يأتي:

1- يحقق مرونة عالية لإنتاج منتجات متنوعة.
2- يتيح إستخدام موارد (عمال وتكنولوجيا) ذات إستخدام عام ومرنة.
3- إمكانية إستمرار عمليات الإنتاج في حال حدث عطل في أحد الأقسام الأخرى للمصنع.
4- إمكانية تغيير عمليات الإنتاج أو كميات الإنتاج من دون حاجة لتغيير المكائن.
5- إمكانية الإنتاج ولو بكميات صغيرة جداً حسب الطلب.
6- زيادة رضا الزبائن نظراً للتنوع العالي في الإنتاج.
7- تحسين أداء العاملين نتيجة للتخصص العالي للأقسام مما يجعلهم قادرين على تنفيذ طلبات دقيقة جداً.

اما عيوب الترتيب على أساس العملية فهي:

1- ملاءمة الترتيب، فقط، للإنتاج بوجبات صغيرة مما يولد نسب إستغلال منخفضة للعمال والمعدات.
2- تعقد وتداخل المسارات التكنولوجية للمنتجات وصعوبة ضبطها ومتابعتها.
3- زيادة الخزين من المواد تحت التشغيل (WIP) في اقسام الإنتاج.
4- زيادة عملية مناولة ونقل المواد بين الأقسام.
5- زيادة الحاجة لعمال ذوي مهارات عالية ومتنوعة.
6- تعقد عمليات جدولة الأعمال بسبب التنوع العالي للمنتجات.
7- صعوبة الإشراف على العمل.
8- صعوبة السيطرة على الخزين.

4-1-1 إعداد الترتيب على أساس العملية Developing a Process Layout

أشرنا فيما سبق إلى أن المشكلة الأساسية التي ينبغي التصدي لها في الترتيب على أساس العملية هي تقليل كلفة نقل المواد بين الأقسام داخل المصنع. إن المنطق المعتمد في ذلك هو جعل الأقسام التي يوجد بينها تدفق عالٍ متجاورة قدر الإمكان مع مراعاة العوامل الأخرى التي يمكن أن تحول دون تجاور قسمين بينهما تدفق عالٍ. فمثلاً قد يكون هناك تدفق عالٍ بين قسمي الصبغ والأفران ولكن لا يفضل جعل هذين القسمين متجاورين تفادياً لحصول حريق أو إنفجار في قسم الصبغ. ولإعداد ترتيب على أساس العملية توجد عدة أساليب منها ما هو بسيط ويصلح لإعداد ترتيب لمعمل صغير كطريقة التجربة والخطأ، ومنها ما هو نظمي (Systematic) ويصلح لإعداد ترتيب لمعمل يحتوي على عدد كبير من الأقسام ويتطلب إستخدام الحاسوب لذلك. والمثال (8-1) يوضح كيفية إعداد ترتيب داخلي على أساس العملية لمعمل يتكون من ستة أقسام بإستخدام طريقة التجربة والخطأ (Chase & Aquilano, 1981, 214-244).

مثال (8-1):

يحتوي أحد المعامل على ستة أقسام متساوية في المساحة مرتبة داخل بناية من طابق واحد على شكل مستطيل. وفيما يأتي خريطة بالترتيب الحالي للأقسام وعدد النقلات بين الأقسام / يوم. علماً أن المعمل يستخدم الرافعة الشوكية للنقل داخل المعمل وإن كلفة النقلة الواحدة بين الأقسام تبلغ 100 دينار /نقلة / قسم.

A	B	C 20 قدم
D	E	F 20 قدم

20 قدم 20 قدم 20 قدم

الترتيب الحالي للأقسام داخل المعمل

المطلوب /

إستخدام طريقة التجربة والخطأ لإعداد ترتيب داخلي لتخفيض كلفة النقل داخل المعمل إلى أدنى حد ممكن.

إلـــــــى

من	A	B	C	D	E	F
A	---	60	20	0	24	0
B	0	---	20	40	10	0
C	0	10	---	120	0	40
D	0	20	30	---	0	20
E	120	40	0	0	---	20
F	0	0	60	10	20	---

جدول التدفق بين الأقسام / يوم

<u>خطوات الحل بطريقة التجربة والخطأ:</u>

1- إعداد مصفوفة (من – إلى) (From- to Matrix):

من خلال جدول التدفق بين الأقسام نلاحظ وجود 60 نقلة / يوم من قسم A إلى B، كما لا توجد أي نقلات بالإتجاه المعاكس أي من قسم B إلى قسم A، فعليه يكون مجموع النقلات بالإتجاهين بين هذين القسمين 60 نقلة / يوم. وبالمثل نلاحظ وجود 10 نقلات / يوم من قسم C إلى B، وكذلك وجود 20 نقلة من قسم B إلى C، فيكون

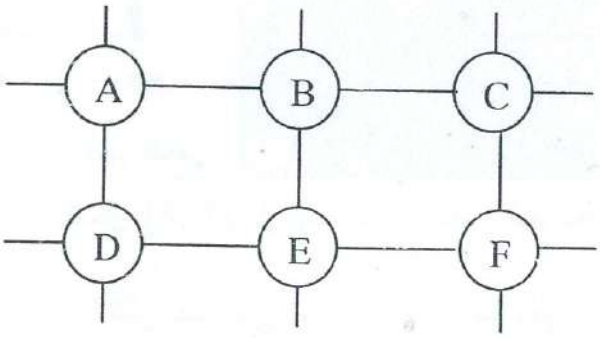
المجموع بالإتجاهين 30 نقلة / يوم. وبنفس الطريقة تجمع بقية الخلايا الموجودة في جدول التدفق فنحصل على مصفوفة النقل بالإتجاهين الآتية:

	A	B	C	D	E	F
A	---	60	20	0	144	0
B	--	--	30	60	50	0
C	--	--	--	150	0	100
D	--	--	--	--	0	30
E	--	--	--	--	--	40
F	--	--	--	--	--	--

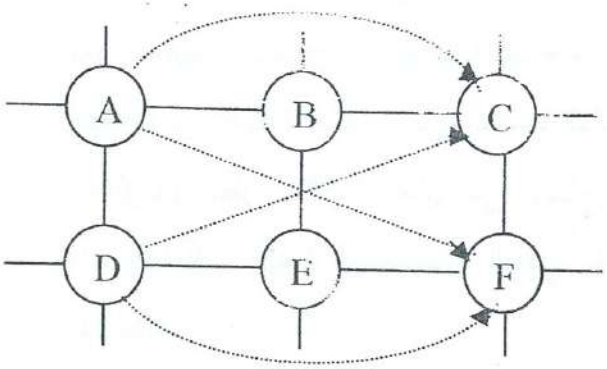
2- تحديد مساحة كل قسم : هنا تم إفتراض أن مساحة كل قسم ثابتة وهي 400 قدم ^{2} ، وكما يظهر في الترتيب الحالي للمعمل.

3- إعداد ترتيب أولي (Initial Layout): ينبغي هنا إعداد ترتيب مبدئي للأقسام شرط أن لايتجاوز أبعاد المساحة المخصصة للمعمل. وسنفترض هنا أن الترتيب الحالي هو الترتيب الأولي.

4- إعداد شبكة (Grid) بالأقسام المكونة للترتيب الحالي وكما يأتي:



إذ تمثل الدوائر مراكز الأقسام، وتمثل الخطوط المسافة الفاصلة بين الأقسام. يلاحظ هنا وجود أربعة أقسام غير متجاورة وهي A - C، A - F، D - C، D - F، وكما موضح في الشبكة الاتية:



5- حساب كلفة النقل بين الأقسام غير المتجاورة: في هذه الخطوة تحسب كلفة النقل بين الأقسام غير المتجاورة فقط بإعتبار أنه إذا كانت هناك كلفة نقل عالية بين قسمين وهما متجاوران فليس بالإمكان تحسين موقعهما. وعلى هذا الأساس فإن كلفة النقل بين الأقسام غير المتجاورة للترتيب الأولي (خطوة 3) تحسب بضرب كلفة النـــقل (100 دينار) بعدد المسافات (وهي مسافتين) بعدد النقلات بين القسمين (مصفوفة من – إلى) وكما يأتي :

A - C = 20 X 2 X 100 = 4000 دينار

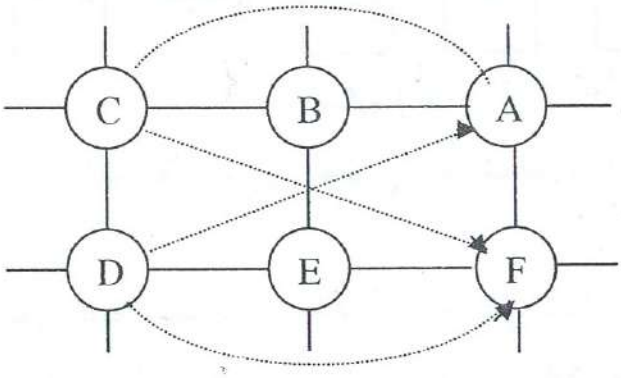
A- F = 0 X 2 X 100 = 0 دينار

D- C = 150 X 2 X 100 = 30000 دينار*

D - F = 30 X 2 X 100 = 6000 دينار

40000 دينار الكلفة الكلية للنقل بين الأقسام غير المتجاورة.

6- تحسين الترتيب: من الخطوة السابقة يلاحظ أن كلفة النقل بين قسمي D وC عالية جداً، لذلك ينبغي جعل القسمين قريبين على بعضهما لتوفير تكاليف النقل، وهنا يمكن أن يحل قسم C محل قسم A أو B أو E أو أن يحل قسم D محل قسم B أو E أو F. ولنفترض أن قسم C سيحل محل قسم A وكالآتي:



وعليه فإن الكلفة الكلية للنقل بين الأقسام غير المتجاورة ستكون:

A – D = 0 X2 X 100 = 0 دينار

D – F = 30 X 2 X 100 = 6000 دينار

C – A = 20 X 2 X 100 = 4000 دينار

C – F = 100 X 2 X 100 = 10000 دينار

20000 دينار

* القسمان الواجب تقريبهما

يلاحظ هنا أن التغيير قد اسهم في تخفيض كلفة الترتيب الأولي من 40000 دينار إلى 20000 دينار. ولو إفترضنا أن هذا التغيير قد نتج عن كلفة كلية تزيد على كلفة الترتيب الأولي وهي 40000 دينار فعند ذاك يكون المكان الذي نقل إليه قسم C غير مناسب ويتوجب تجربة إحلال قسم D محل قسم B أو E ولذلك سميت هذه الطريقة بطريقة التجربة والخطأ. وبما أن أعلى كلفة نقل كانت بين قسمي C-F وهي 10000 دينار في الترتيب السابق لذلك يجب جعل هذين القسمين متجاورين.*

7- تعاد الخطوة (6) حتى الوصول إلى الترتيب الذي يحقق الكلفة الأصغرية. وبالنسبة للمثال الحالي فإن الترتيب الأمثل الذي يختصر كلفة النقل** إلى أدنى حد ممكن (وهي 4000 دينار) هو الآتي:

D	B	A
C	F	E

الترتيب الأمثل

إن الترتيب الذي توصلنا إليه يعد مثالياً من حيث الكلفة فقط، وينبغي على مدير العمليات تقويم الترتيب السابق على وفق معايير أخرى (مثل طبيعة عمل كل قسم، الضوضاء الصادرة عن القسم، الروائح المنبعثة عن العمليات ... إلخ) من أجل الحكم على صلاحية الترتيب وإجراء التعديلات اللازمة. ويعد مخطط العلاقات الموضح في المبحث (8-4-5-2) مدخلاً جيداً لتقييم الترتيب على أساس العملية.

4-1-2 مدخل الترتيب النظمي Systematic Layout Approach

إن طريقة التجربة والخطأ السابقة تعد مفيدة لترتيب عدد قليل من الأقسام، ولكن عندما تتضمن مشكلة الترتيب 20 قسماً أو أكثر وموزعة على عدة طوابق في بناية واحدة فإن طريقة

(*) عند تقريب قسم C إلى قسم F يجب المحافظة على ما تم تحقيقه في الخطوة (6) أي بقاء قسم C قريباً على قسم D.

(**) إن كلفة النقل التي تم الوصول إليها تمثل الكلفة بين الأقسام غير المتجاورة، ويمكن حساب الكلفة الكلية بين الأقسام المتجاورة والمتباعدة وذلك بإيجاد مجموع حاصل ضرب عدد النقلات بين الأقسام المتباعدة ×2 × كلفة النقل وإضافته إلى مجموع حاصل ضرب عدد النقلات بين الأقسام المتجاورة ×1 × كلفة النقل.

التجربة والخطأ تصبح غير عملية وذلك لوجود نحو 3628800 ترتيب ممكن لمعمل يتكون من 10 أقسام فقط.* لذلك فقد تم خلال العقود الماضية تطوير برامجيات لإعداد ترتيب على أساس العملية يضم 40 قسماً. موزعة على طابق واحد أو على عدة طوابق.

أن أفضل تلك البرامجيات المتوفرة يدعى (CRAFT - Computerized Relative Allocation of Facility Technique) وهو عبارة عن برنامج حاسوب يهدف للوصول إلى ترتيب جيد ولكن ليس مثالياً وذلك عن طريق التفحص بشكل نظمي (Systematic) في التشكيلات الممكنة للأقسام بهدف تخفيض كلفة نقل المواد آخذاً في الحسبان المسافة والكلفة ونسبة الصعوبة في النقل. ويتيح CRAFT الخيار للمستخدم بتحسين الترتيب الأولي وذلك بتحويل قسمين أو ثلاثة أقسام أو أكثر في كل مرة. والشكل (8-2) يقدم نموذجين لمخرجات CRAFT . ويعد CRAFT ملائماً لترتيب مجموعة من الأقسام على أساس بعدين (طول×عرض) أي على طابق واحد، ولكنه يعد عاجزاً عن إجراء ترتيب بثلاثة أبعاد (طول × عرض × إرتفاع) أي بعدة طوابق. ولسد هذه الثغرة فلقد تم تطوير برامجيات قادرة على إنجاز ترتيب يضم عدداً من الطوابق، ومن أمثال تلك البرامجيات SPACE CRAFT و MULTIPLE و CRAFT – 3D وهي متاحة في الأسواق لإستخدامها لإعداد ترتيب على أساس العملية بعدة طوابق (Heizer & Render ,1999 , 330).

	1	2	3	4	5	6
1	A	A	A	A	B	B
2	A	A	A	A	B	B
3	D	D	D	D	D	D
4	C	C	D	D	D	D
5	F	F	F	F	F	D
6	E	E	E	E	E	D

	1	2	3	4	5	6
1	D	D	D	D	B	B
2	D	D	D	D	B	B
3	D	D	D	E	E	E
4	C	C	D	E	E	F
5	A	A	A	A	A	F
6	A	A	A	F	F	F

الشكل (8-2)

نموذجان لمخرجات CRAFT

* 3628800 هي مفكوك العدد 10.

2-4 الترتيب على أساس المنتوج Product Layout

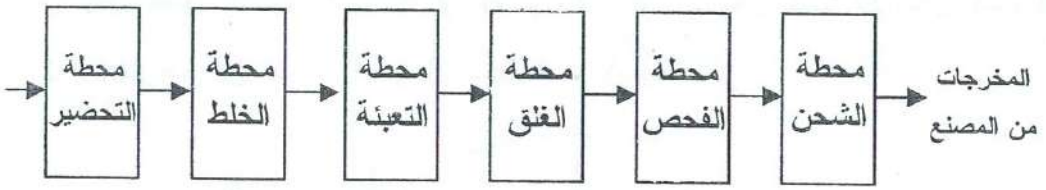
يستخدم هذا النوع من الترتيب في الشركات التي تنتهج أستراتيجية المنتوج، إذ يتم ترتيب وسائل الإنتاج على شكل خط إنتاج وعلى أساس تتابع العمليات التي تنفذ على المواد حتى تصبح منتجاً تام الصنع، وكما يظهر في الشكل (8-3). يلائم هذا النوع من الترتيب الشركات التي تنتج بكميات كبيرة كما هو الحال في مصانع السيارات، ويشترط في هذا الترتيب توفر بيئة إنتاج تتصف بما يأتي:

أ. إن حجم الإنتاج كبير بحيث يسمح بإستغلال تقنيات الإنتاج الكبير.

ب. إن الطلب على المنتوج مستقر نسبياً بما يبرر الإستثمار في تقنيات إنتاج متخصصة.

ج. إن المنتوج نمطي أو أنه قد وصل إلى مرحلة النضوج في دورة حياته ليبرر الإستثمار في تقنية متخصصة.

د. إن عملية تجهيز المواد الأولية والأجزاء التي تدخل في تجميع المنتوج مستقرة وذات جودة ثابتة لضمان إستخدام تقنية متخصصة.

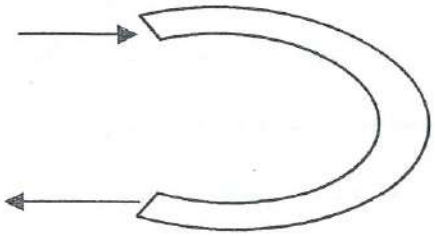


الشكل (8-3)

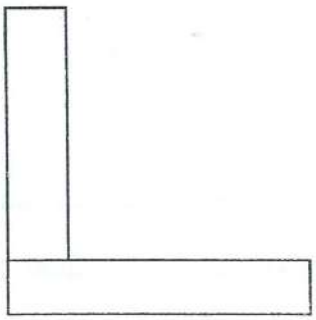
ترتيب على أساس المنتوج لأحد معامل إنتاج الأصباغ

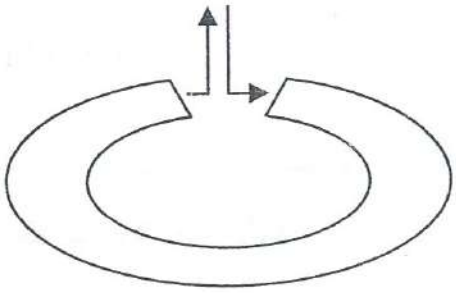
ولاينبغي أن يكون تدفق المواد في خط الإنتاج على شكل خط مستقيم (Linear) وإنما يمكن أن يأخذ خط الإنتاج شكل O أو L أو U أو أن يكون الخط متسلسلاً أو متوازياً أو متوازياً ومتسلسلاً وكما يظهر في الشكل (8-4).

تطلق على الترتيب على أساس المنتوج تسمية خط الإنتاج (Production Line) أو خط التجميع (Assembly Line). إن الفرق بين الأثنين يكمن في إقتصار خط التجميع على عمليات تجميعية (Assembly Processes) كما هو الحال في معمل تجميع التلفزيونات أو الثلاجـــات،



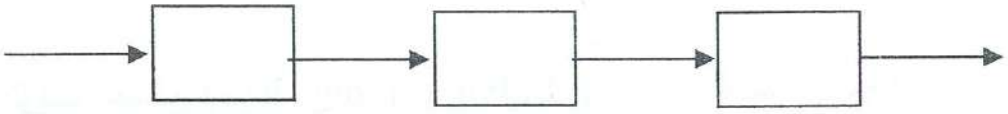
(أ) خط إنتاج على شكل U



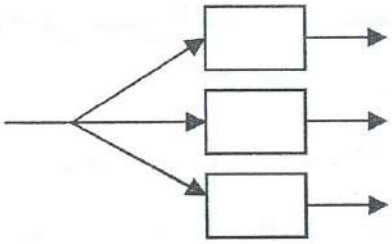


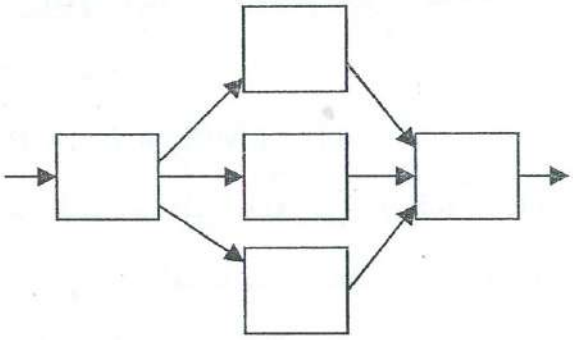
(جـ) خط إنتاج على شكل L

(ب) خط إنتاج على شكل O



(د) خط إنتاج على شكل سلسلة





(و) خط إنتاج متوازٍ

(هـ) خط إنتاج متوازٍ ومتسلسل

الشكل (8-4): نماذج مختلفة لخطوط إنتاج

بينما يسمى الترتيب في معمل صناعة الإطارات للسيارات بخط إنتاج أو خط تصنيع. إن المشكلة الأساسية في الترتيب على أساس المنتوج تتركز في ضمان الحصول على تدفق منتظم عن طريق توزيع عبء العمل بشكل متساو بين المحطات المكونة لخط التجميع وللحصول على معدل إنتاج ثابت لجميع المحطات مما يؤدي إلى القضاء على ظاهرتي الإختناق (Bottleneck)

بين محطات العمل (أو تكدس المواد تحت التشغيل بين محطات العمل)، والوقت العاطل (Idle Time) في محطات العمل (Waters, 1991, 244 - 253).

مزايا الترتيب على أساس المنتوج

1- إمكانية تحقيق معدلات عالية من الإنتاج.
2- يتيح إستغلالاً عالياً لوسائل الإنتاج مما يؤدي إلى إنخفاض كلفة الوحدة الواحدة من المنتوج.
3- سهولة مناولة ونقل المواد على خط التجميع.
4- إنخفاض كمية الخزين من المواد تحت التشغيل.
5- سهولة جدولة الأعمال.
6- سهولة السيطرة والإشراف على العمليات.
7- ثبات جودة المنتوج.
8- إنخفاض الوقت الكلي اللازم لإنتاج الوحدة الواحدة.

مساوئ الترتيب على أساس المنتوج

1- المرونة الواطئة في التكيف للتغيرات في العمليات.
2- توقف أي عملية على خط الإنتاج يؤدي إلى توقف الخط بأكمله.
3- يتطلب إستثمارات مالية كبيرة.
4- رتابة العمل على خط الإنتاج يولد الضجر والملل لدى العاملين.

4-2-1 موازنة خط التجميع Balancing The Assembly Line

إن الصفة المميزة بين الترتيب على اساس العملية والترتيب على أساس المنتوج تتمثل في نوع تدفق العمل (Work Flow)، فهو متغير في الترتيب على أساس العملية ويصعب التنبؤ به، على حين يسهل التنبؤ بتدفق العمل في الترتيب على أساس المنتوج لأنه دالة لمراحل التجميع أو الإنتاج المطلوبة لمنتوج ما. لذلك فإن ترتيب المواقع النسبية للنشاطات والتكنولوجيا المستخدمة لا تشكل تحدياً كبيراً لمدير العمليات مقارنة بالترتيب على أساس العملية.

قبل الدخول في تفاصيل موازنة خط التجميع لابد من تعريف المصطلحات الاتية:

- **خط التجميع Assembly Line:** مجموعة من محطات العمل مسؤولة عن تجميع منتوج معين وفق مراحل محددة بحيث تكون مخرجات كل محطة عمل مدخلات للمحطة التالية مباشرة،

وتنتقل المواد بين المحطات إما يدوياً أو بإستخدام الأحزمة الناقلـــــة (Conveyors) أو إنسيابياً بفعل الجاذبية الأرضية.

- **محطة العمل Work Station (WS)**: مجموعة من العمال أو الآلات أو العمال والآلات مكلفة بإنجاز نشاط أو مجموعة من النشاطات.
- **النشاط (Task)**: مجموعة من الفعاليات (Actions) يمكن تمييزها عن الفعاليات الأخرى وتنجز في محطة عمل.
- **محتوى العمل Job Content (JC)**: هو مجموع الأوقات اللازمة لإنجاز جميع الأنشطة المتعلقة بتجميع وحدة واحدة من المنتوج.
- **وقت دورة الإنتاج النظرية Theoretical Cycle Time (Ct)**: وهي حاصل قسمة الوقت المتاح للإنتاج باليوم على الطلب اليومي. وتحسب بالقاعدة الاتية:

$$Ct = \frac{PT}{D} \quad \ldots\ldots (8-1)$$

إذ إن: PT = الوقت المتاح للإنتاج باليوم (Production Time / Day)

D = الطلب اليومي (Demand / Day)

- **العدد النظري الأدنى لمحطات العمل (WS_t)**

Theoretical Minimum Number of Work Stations.

وهو عبارة عن حاصل قسمة محتوى العمل (JC) على دورة الإنتاج النظرية (Ct) ويحسب بالقاعدة الآتية :

$$WS_t = \frac{J\,C}{C\,t} \quad \ldots\ldots (8-2)$$

- **وقت دورة الإنتاج الفعلية Actual Cycle Time (C_a)**

وهي المدة الزمنية بين خروج وحدة تامة الصنع وأخرى وتحسب على أساس محطة العمل التي تحصل على أكبر مجموع من الأوقات المخصصة للأنشطة من بين جميع محطات العمل على خط التجميع وبذلك فأن وقت دورة الانتاج الفعلية هي اقصى وقت يمكن ان يقضيه المنتوج او احد اجزائه في كل محطة من محطات عمل خط التجميع.

- **الكفاءة Efficiency (E)**: وهي النسبة المئوية بين محتوى العمل وحاصل ضرب عدد المحطات النظري (WS_t) في وقت دورة الإنتاج، وتحسب الكفاءة بالقاعدة الاتية:

$$E = \frac{JC}{Ct \times WS_t} \times 100 \quad \ldots\ldots (8-3)$$

ويستعاض عن العدد النظري لمحطات العمل (WSt) بالعدد الفعلي لمحطات العمل (WS_a) في القاعدة (8-3) أعلاه عندما يضطر مدير العمليات في بعض الأحيان إلى تجاوز العدد النظري لتلك المحطات إما بالزيادة أو النقصان للوصول إلى موازنة كفوءة لخط التجميع ويسمى العدد الجديد لمحطات العمل بالعدد الفعلي لمحطات العمل (WS_a) لذلك يحل (WS_a) محل (WS_t) في القاعدة (8-3) عند حساب الكفاءة.. عند ذلك تصبح القاعدة (8-3) كالآتي:

$$E = \frac{JC}{Ct \times WS_a} \times 100 \quad \ldots\ldots (8-4)$$

كما يمكن حساب الكفاءة أيضاً عن طريق النسبة المئوية بين العدد النظري لمحطات العمل (WS_t) والعدد الفعلي لمحطات العمل (WS_a) أي بالقاعدة (8-5) الآتية:

$$E = \frac{WS_t}{WS_a} \times 100 \quad \ldots\ldots (8-5)$$

- **نسبة الوقت الضائع (B%) Balance Time**: وتحسب بالقاعدة الآتية :

$$B = 100\% - E \ldots\ldots (8-6)$$

- **الوقت العاطل أو الضائع (I) Idle Time**: وهو المجموع غير المستغل من وقت الإنتاج في جميع المحطات ويحسب بالقاعدة الاتية:

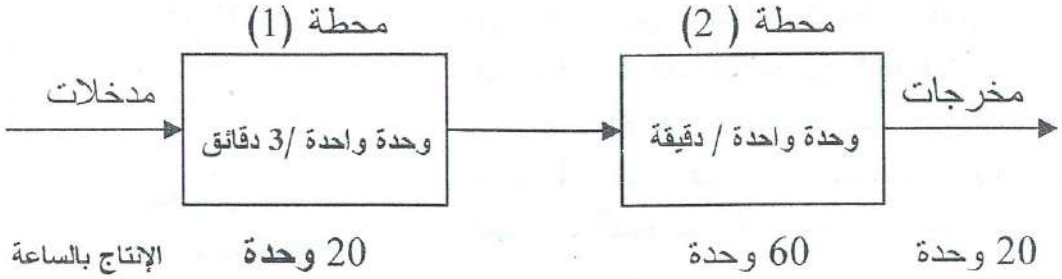
$$I = (WS_a \times Ct) - JC \quad \ldots\ldots (8-7)$$

إن الهدف من موازنة خط التجميع هو القضاء على ظاهرتي الإختناق (Bottleneck) والوقت الضائع (Idle Time) للحصول على الإنتاج المطلوب. وتحدث ظاهرة الوقت الضائع عندما يكون الوقت المخصص لإحدى المحطات أقل من الوقت المخصص للمحطة السابقة مباشرة. على حين تحدث ظاهرة الإختناق عندما يكون الوقت المخصص لإحدى المحطات أقل من الوقت المخصص للمحطة التابعة مباشرة لذلك يتراكم خزين من المواد تحت التشغيل (WIP) في خط الإنتاج عند حدوث هذه الظاهرة.

إن الظاهرتين السابقتين يمكن القضاء عليهما عن طريق توزيع النشاطات على المحطات بشكل متساوٍ قدر الإمكان. ومن المعروف أن خط الإنتاج المتوازن يحقق نسب إستغلال عالية للعمال ولتقنيات الإنتاج ويحقق أيضاً عدالة في توزيع عبء العمل بين العمال على خط التجميع.

والشكل (8-5) (أ) يوضح خط إنتاج يتضمن وجود وقت ضائع، أما الجزء (ب) فإنه يمثل حالة الإختناق.

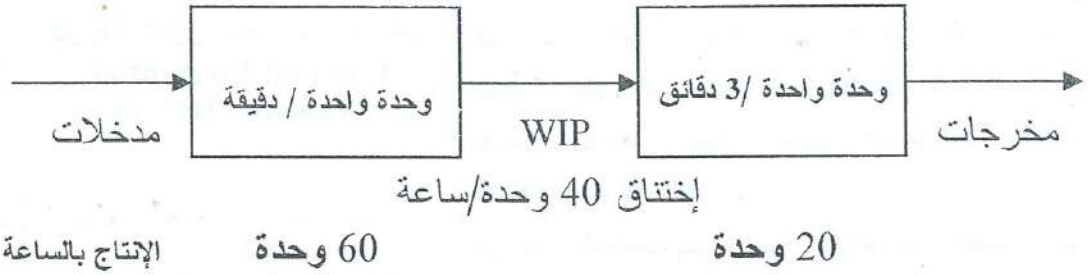
(أ) حالة الوقت الضائع



وقت ضائع 40 دقيقة / ساعة

في محطة 2

(ب) حالة الإختناق



الشكل (8-5) تمثيل حالتي الإختناق والوقت الضائع على خط الإنتاج

إن موازنة خط التجميع يمكن أن تنطلق من نقطتين:

(أ) إما إيجاد العدد النظري الأدنى لمحطات العمل لدورة إنتاج معروفة، أو (ب) إيجاد دورة الإنتاج الأصغرية لعدد معروف من محطات العمل. فإذا كان مدير العمليات أمام حالة (أ) فإن المشكلة هي مشكلة ترتيب (Layout)، وإذا كانت الحالة المطروحة هي (ب) فإن المشكلة هي جدولة أعمال (Scheduling). وتتم معالجة الحالتين أ و ب في آن واحد ذلك لأن من يقوم بالترتيب لابد له من القيام بتوزيع النشاطات على محطات العمل.

وبهدف إعداد ترتيب على أساس المنتوج ينبغي على مدير العمليات معرفة الأدوات وأساليب العمل المستخدمة والوقت اللازم لإنجاز كل نشاط وعلاقة التتابع بين النشاطات (Precedence Relationship). والمثال الاتي سيوضح كيفية إعداد ترتيب لخط تجميع وموازنته.

مثال (8-2):

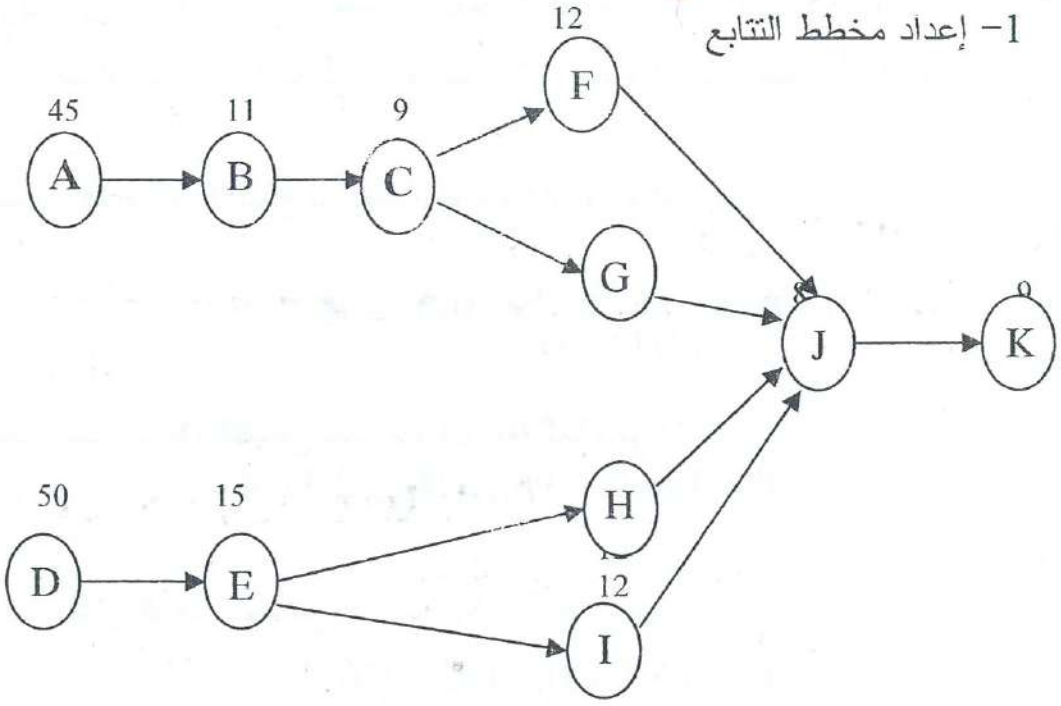
يحاول مدير العمليات إعداد ترتيب لأحد خطوط التجميع المخصصة لإنتاج أجهزة الـ Video CD بمعدل 500 جهاز / يوم. والجدول الاتي يبين النشاطات اللازمة لتجميع الجهاز

الواحد وعلاقاتها التتابعية والوقت القياسي (Standard Time) اللازم لإنجاز كل نشاط علماً أن الخط سيعمل بواقع 7 ساعات عمل يومياً.

النشاط Task	الوقت القياسي (ثانية) Standard Time (Second)	النشاط السابق Precedence
A	45	--
B	11	A
C	9	B
D	50	--
E	15	D
F	12	C
G	12	C
H	12	E
I	12	E
J	8	F , G , H , I
K	9	J

خطوات الحل كالآتي:

1- إعداد مخطط التتابع



2- حساب دورة الإنتاج النظرية Ct بالقاعدة (8-1) وكما يأتي:

$$Ct = \frac{7 \times 60 \times 60}{\text{الطلب اليومي 500 وحدة}} = 50.4 \text{ ثانية}$$

(ساعة، دقيقة، ثانية)

3- حساب العدد النظري الأدنى لمحطات العمل (WS_t) بالقاعدة (8-2) وكما يأتي:

$$WS_t = \frac{195}{50.4} = 3.87 \quad \text{محطات عمل}$$

4- توزيع النشاطات على محطات العمل بحيث لا يتجاوز مجموع الوقت المخصص لكل محطة عمل لدورة الإنتاج النظرية (50.4 ثانية) مع عدم تجاوز علاقات التتابع بين النشاطات، أي لا يجوز تخصيص نشاط لمحطة ما قبل تخصيص النشاط الذي يسبقه مباشرة. ويمكن توزيع النشاطات على محطات العمل بإحدى الطـــــرائق الإجتهادية (Heuristics) الموضحة بالجدول (8-2) والجدول (8-3).

وبإتباع الطريقة الإجتهادية الأولى (طريقة أطول وقت للنشاط) تم توزيع النشاطات على محطات العمل وكما مبين في الجدول (8-4) والشكل (8-6)، ويلاحظ من التوزيع أن دورة الإنتاج العملية (الفعلية) قد أصبحت 50 ثانية بسبب عدم إمكانية توزيع النشاطات على المحطات للوصول إلى دورة الإنتاج النظرية (50.4 ثانية).

5-حساب كفاءة خط الإنتاج بموجب القاعدة (8-4) وكما يأتي:

$$E = \frac{195}{(4)\,(50.4)} \times 100 = 96.73\ \%$$

6-حساب نسبة الوقت الضائع بالقاعدة (8-6) كما يأتي:

$$B = 100\ \% - 96.73\ \% = 3.27\ \%$$

7-حساب مقدار الوقت الضائع بالقاعدة (8-7) كما يأتي:

$$I = (4 \times 50.4) - 195 = 6.6 \quad \text{ثانية}$$

الجدول (8-2): الطرائق الإجتهادية المتبعة
في توزيع النشاطات على محطات العمل

1	طريقة أطول وقت للنشاط Longest Task Time Method	بموجب هذه الطريقة يتم إعداد قائمة بجميع النشاطات مرتبة تنازلياً من أطول وقت إلى أقصر وقت ثم توزع النشاطات على المحطات على وفق هذا المعيار ابتداء بالمحطة الأولى شرط عدم تجاوز علاقات التتابع بين النشاطات
2	طريقة أكبر عدد من النشاطات التابعة Most Following Tasks Method	يتم إعداد قائمة بالنشاطات إبتداءاً بالنشاطات المتبوعة بأكبر عدد من النشاطات نزولاً إلى النشاطات المتبوعة بأقل عدد من النشاطات. ثم توزع النشاطات على المحطات على وفق هذا المعيار شرط عدم تجاوز علاقات التتابع بينها.
3	طريقة الوزن الموقعي المرجح Ranked Positional Weight Method	ترتب النشاطات هنا على أساس مجموع وقت النشاط وأوقات النشاطات التابعة له وتوزع النشاطات على المحطات إبتداءاً من النشاط الذي يحصل على أكبر مجموع نزولاً إلى النشاط الذي حصل على أقل مجموع شرط عدم تجاوز علاقات التتابع بين النشاطات.
4	طريقة أقصر وقت للنشاط Shortest Task Time Method	ترتب النشاطات في قائمة إبتداءاً من أقصر وقت الى اطول وقت ثم توزع النشاطات على محطات العمل على وفق هذا المعيار شرط عدم تجاوز علاقات التتابع بين النشاطات.
5	طريقة أقل عدد من النشاطات التابعة Least Number of Following Tasks Method	حيث يتم ترتيب النشاطات على وفق عدد النشاطات التابعة إبتداءاً من تلك المتبوعة بأقل عدد إلى تلك المتبوعة بأكبر عدد من النشاطات ثم توزع النشاطات على محطات العمل وفق هذا المعيار شرط عدم تجاوز علاقات التتابع بين النشاطات.

Heizer & Reder, 1999, p.243.

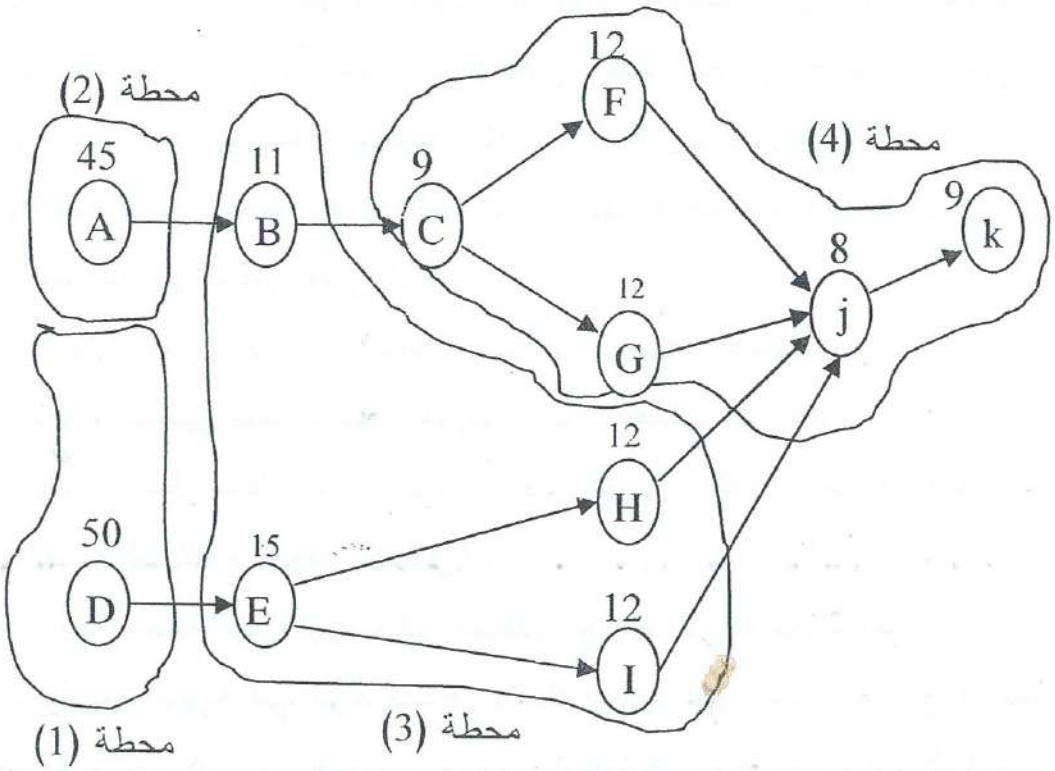
الجدول (8-3): ترتيب النشاطات وفق الطرائق الإجتهادية المختلفة

طريقة أطول وقت للنشاط		طريقة أكبر عدد من النشاطات التابعة		طريقة الوزن الموقعي المرجح		طريقة أقصر وقت للنشاط		طريقة أقل عدد من النشاطات التابعة	
النشاط	الوقت (ثانية)	النشاط	عدد النشاطات التابعة	النشاط	مجموع الأوقات (ثانية)	النشاط	الوقت (ثانية)	النشاط	عدد النشاطت التابعة
D	50	A	6	*A	106	J	8	K	0
A	45	*D	5	D	106	*K	9	J	1
E	15	B	5	B	61	C	9	*I	2
*F	12	*E	4	E	56	B	11	H	2
G	12	C	4	C	50	*I	12	G	2
H	12	*F	2	*F	29	H	12	F	2
I	12	G	2	G	29	G	12	*C	4
B	11	H	2	H	29	F	12	E	4
*C	9	I	2	I	29	E	15	*B	5
K	9	J	1	J	17	A	45	D	5
J	8	K	0	K	9	D	50	A	6

الجدول (8-4)
توزيع النشاطات على محطات العمل

(1) المحطة	(2) النشاطات المخصصة	(3) النشاط السابق	(4) الوقت المخصص (ثانية)	(5) =Ct - (4) الوقت العاطل (ثانية)
1	D	--	50	0.4
2	A	--	45	5.4
3	E H I B	D E E A	50	0.4
4	C F G J K	B C C F , G , H , I J	50	0.4
				6.6 ثانية

(*) في حالة تساوي نشاطين أو أكثر بنفس المعيار يجري الإختيار بشكل عشوائي بينهم.



الشكل (8-6) توزيع النشاطات على محطات العمل

وبهدف المقارنة فقد تم إعادة حل المثال (8-2) بإتباع الطريقة الإجتهادية الثانية وحسب ترتيب النشاطات الموضح بالجدول (8-3). والجدول (8-5) والشكل (8-7) يقدمان الترتيب الجديد.

يلاحظ من الحل السابق تخصيص محطة عمل خامسة وخاصة بالنشاط (K) وذلك لأن إضافة نشاط (K) إلى المحطة الرابعة سيجعل مجموع الوقت المخصص لتلك المحطة 53 ثانية. لقد أدى إضافة محطة عمل خاصة إلى زيادة مجموع الوقت العاطل والذي ينعكس بدوره على كفاءة خط الإنتاج، وإن كفاءة الترتيب الجديد هي :

$$E = \frac{195}{(5)\ (50.4)} \times 100 = 77.4\ \%$$

ونسبة الوقت العاطل هي:

$$B = 1 - 0.77.4 = 0.226$$

ومقدار الوقت العاطل هو:

$$I = (5 \times 50.4) - 195 = 57 \text{ دقيقة}$$

وبالمقارنة نستنتج أن الطريقة الإجتهادية الأولى تمخضت عن ترتيب أكفأ من ذلك الذي توصلنا إليه بالطريقة الإجتهادية الثانية. إن إنخفاض كفاءة خط الإنتاج مؤشر واضح على غياب حالة التوازن في الخط، وبالإمكان معالجة حالة عدم التوازن بإحدى الطرائق الاتية:

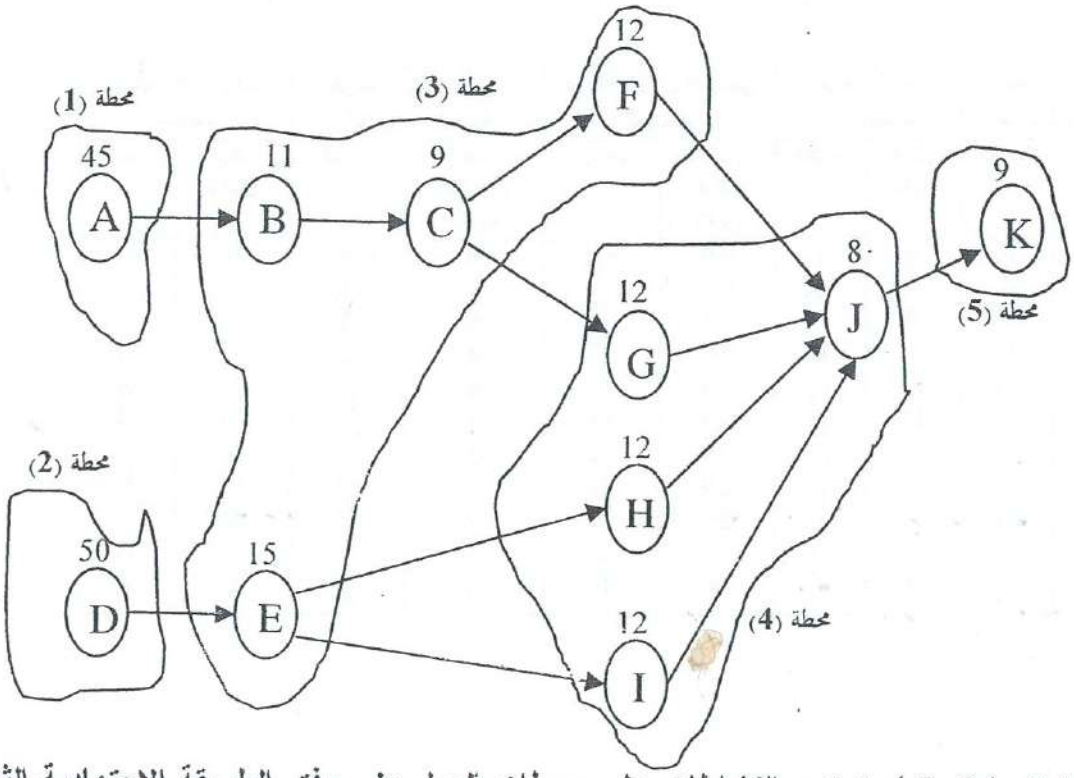
1- إعادة ترتيب الخط بإحدى الطرائق الإجتهادية الموضحة بالجدول (8-2) وإختيار الطريقة التي تحقق أقصى كفاءة.
2- تدريب العاملين لإنجاز النشاطات المكلفين بها بوقت أقصر.
3- تزويد العاملين بمعدات تساعدهم على إنجاز أعمالهم بسرعة.
4- تكليف عمال مؤقتين ومن محطات عمل أخرى لتعجيل العمل في محطة العمل التي تسبب عدم التوازن (فك الإختناق).
5- تجزئة محطة العمل البطئية إلى محطتين أو أكثر لزيادة مخرجاتها.

إن الطريقة اليدوية التي إستعرضناها لإعداد ترتيب على أساس المنتوج لا تصلح لترتيب خط تجميع يضم عدد كبير من المحطات ولحل هذه المشكلة يتوفر في الوقت الحاضر برامجيات جاهزة قادرة على إعداد ترتيب على أساس المنتوج بسرعة فائقة وتوزيع النشاطات على محطات عمل يصل عددها إلى أكثر من 100 محطة. ومن الأمثلة على تلك البرامجيات (COMSOAL) (**Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines**) و (ASYBL) (Assembly Line Configurations) . (Heizer & Render, 1999, 334 - 335).

الجدول (8-5): توزيع النشاطات على محطات العمل

على وفق الطريقة الإجتهادية الثانية

(1) المحطة	(2) النشاطات المخصصة	(3) النشاط السابق	(4) الوقت المخصص (ثانية)	(5) = Ct - (4) الوقت العاطل (ثانية)
1	A	--	45	5.4
2	D	--	50	0.4
3	B C E F	A B D C	47	3.4
4	G H I J	C E E F , G , H , I	44	6.4
5	K	J	9	41.4
				57.00 ثانية



الشكل (8-7): توزيع النشاطات على محطات العمل على وفق الطريقة الإجتهادية الثانية

3-4 الترتيب الهجين Hybrid Layout

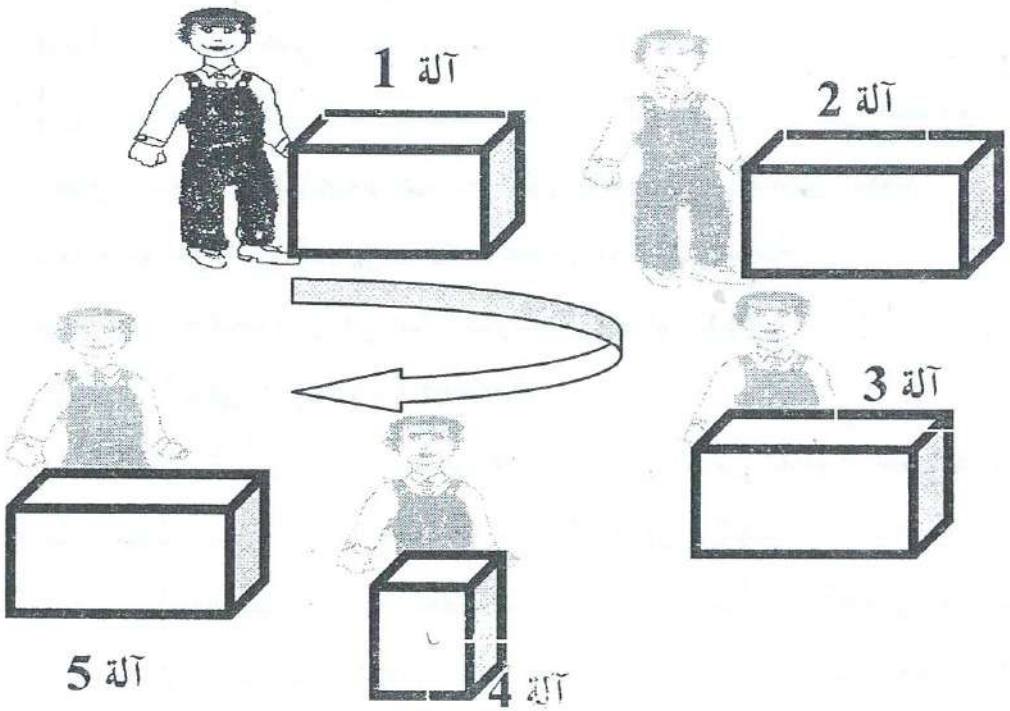
إن إزدياد الكميات المنتجة يجعل عملية الترتيب على أساس المنتوج إقتصادية وتحقق مزايا مختلفة مثل سهولة مناولة المواد والسيطرة على الخزين والجدولة ... إلخ. ولكن في أحيان عديدة لا يكون حجم الإنتاج كبيراً لتبرير تخصيص خط إنتاج وعدد من العاملين لإنتاج سلعة واحدة فقط وقد لا تكون درجة التنويع عالية جداً لإنتهاج ترتيب على أساس العملية. لذلك وفي مثل هذه الحالات يقوم مدراء العمليات بإشتقاق ترتيب خاص يجمع مزايا الترتيب على أساس العملية والترتيب على أساس المنتوج. ويطلق على هذا الترتيب تسمية "الترتيب الهجين" . ويأخذ هذا الترتيب شكلين هما: عامل واحد وعدة مكائن (One Worker Multiple Machine (OWMM) وخلايا تكنولوجيا المجاميع Group Technology Cells (GT)). وهناك نوع ثالث يسمى بالأتمتة المرنة (Flexible Automation) إذ يحقق هذا الترتيب مزايا الإنتاج الكبير

(Mass Producation) عندما يكون حجم دفعات الإنتاج صغيراً. (Krajewski & Ritzman , 1993, 385-389).

4-3-1 ترتيب عامل واحد وعدة مكائن OWMM

يستخدم هذا النوع من الترتيب عندما لا يكون حجم الإنتاج كبيراً لتخصيص خط تجميع يتضمن عدداً من المحطات والعاملين، لذلك يلجأ مدير العمليات إلى تكليف عامل واحد لتشغيل عدة مكائن بوقت واحد لتحقيق مزايا خط التجميع. من المألوف ان يقوم العامل في معمل ما بتشغيل عدة مكائن متشابهة، كأن يقوم العامل بتشغيل عدد من مكائن التنعيم أو مكائن القطع بوقت واحد، إن الإختلاف بين هذه الحالة وحالة OWMM يكمن في قيام العامل بتشغيل عدة مكائن مختلفة بوقت واحد.

يوضح الشكل (8-9) نموذج لعامل واحد يقوم بتشغيل خمس مكائن مختلفة غير مؤتمتة (Non -Automated) حيث تحيط هذه المكائن بالعامل على شكل حرف U وينتقل العامل من ماكنة إلى أخرى أما للأعداد (Setup) أو للتفريغ (Unload) أو للتحميل (Load).



الشكل (8-9): نموذج لعامل واحد يقوم بتشغيل خمس مكائن مختلفة غير مؤتمتة

ويتمكن العامل من إنتاج أنواع مختلفة من السلع بواسطة هذه المكائن وذلك عن طريق تهيئتها للمنتوج المطلوب. وعندما يكون وقت التشغيل (Running Time) أو وقت التهيئة (Set-Up Time) طويلاً جداً فإن إدارة العمليات تعمل على إضافة ماكنة ثانية متشابهة لتستخدم عندما تكون الماكنة الأولى مشغولة.

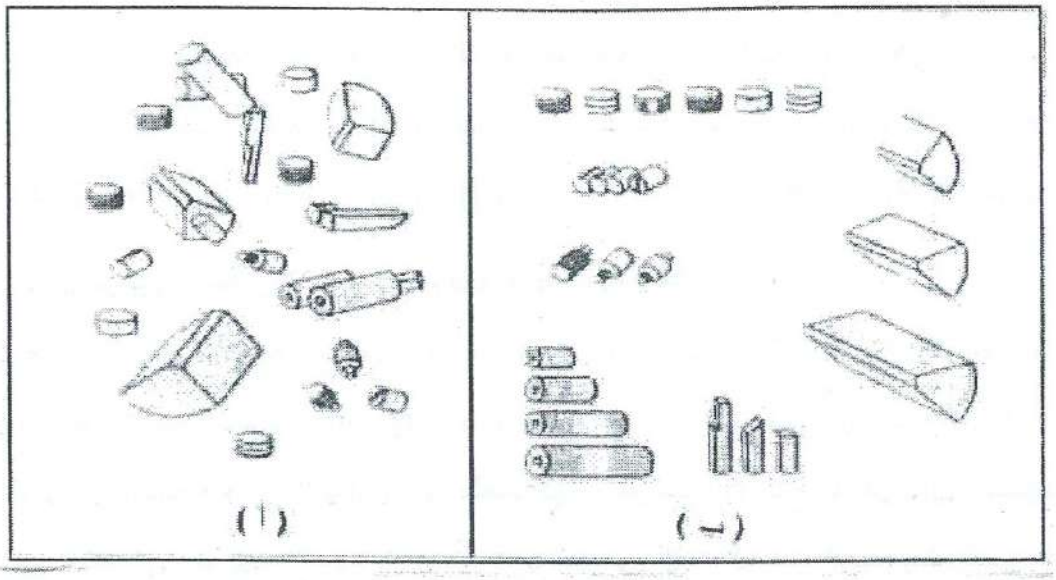
يمتاز ترتيب OWMM بقدرته على تخفيض تكاليف العمل والخزين. فالخزين لا يتكون لأن المواد تنتقل مباشرة من عملية لأخرى، وفضلاً عن ذلك فإن إضافة بعض الأجزاء المؤتمتة والمنخفضة التكاليف على بعض المكائن، في هذا الترتيب، يسمح بتعظيم الفائدة منها. ومن أمثلة هذه الأجزاء : معدات تبديل العدد الذاتية، معدات التحميل والتفريغ الذاتية، ومعدات الكشف الذاتي عن المعيب.

إن مفهوم OWMM مستخدم بشكل كبير في اليابان، وتقوم شركة Mitsubishi بتوظيف هذا الترتيب لأكثر من 25% من العمليات التي تنفذ بواسطة المكائن في هذه الشركة.

4-3-2 ترتيب خلايا تكنولوجيا المجاميع GT Layout

وفق هذا الترتيب يتم جمع الأجزاء أو المنتجات ذات الخصائص المتشابهة في عوائل (Families) ويخصص لإنتاجها مجموعة من المكائن. يمكن حصر المنتجات في عوائل على أساس الحجم أو الشكل أو متطلبات التصنيع أو المسارات التكنولوجية. إن الهدف من هذا التصنيف هو إيجاد تلك المجموعة من المنتجات التي تتطلب عمليات متشابهة لمعالجتها بأقل كلفة إعداد ممكنة دون اللجوء إلى تغيير تهيئة المكائن. ومن الأمثلة على عوائل المنتجات هي الصامولات، إذ تتطلب جميع أنواع الصامولات خطوات صناعية متشابهة بغض النظر عن حجمها، والشكل (8-10) يوضح مجموعة أجزاء تنتمي لعوائل مختلفة.

إن حصر المواد في عوائل يستند إلى معلومات تأتي من مصدرين الأول يتمثل في المشاهدة والفحص البصري للمنتجات المختلفة لتحديد إنتمائها أو عدم إنتمائها للعائلة، وهذه المعلومات تعد غير دقيقة. أما المصدر الثاني للمعلومات فيأتي عن طريق فحص تصميم المنتوج النهائي وخصائص تصميم العملية، يعد المصدر الثاني للمعلومات مكلفاً لكنه أدق من المصدر الأول (Krajewski & Ritzman, 1993, 387 - 389) (Waters, 1991, 255 – 256).



(1) (2)

الشكل (8-10)

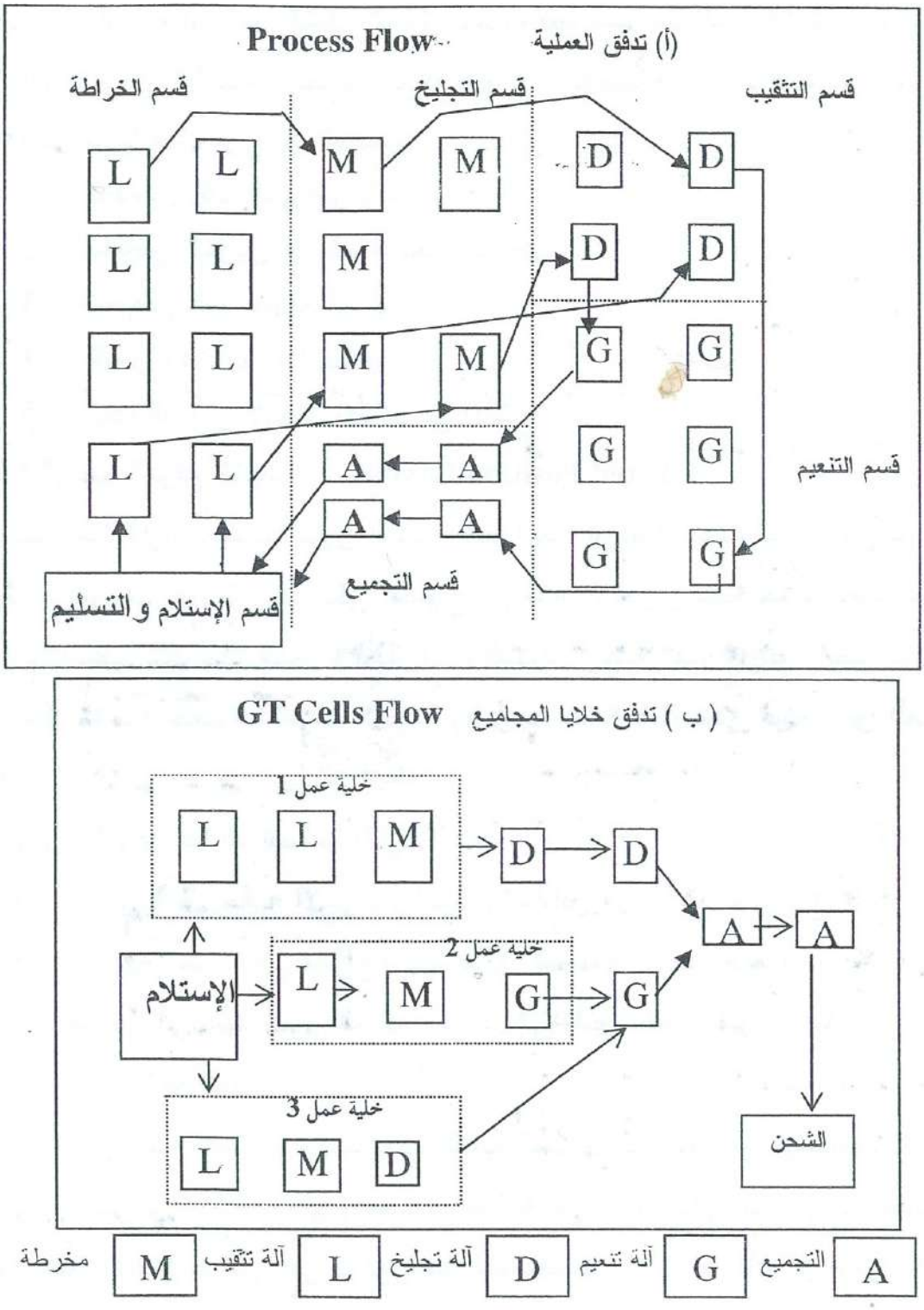
1. اجزاء مصنعة غير مرتبة في مجموعات
2. اجزاء مصنعة مرتبة في مجموعات ذات خصائص متشابهة

Source: Heizer & Render, 1997, 152.

بعد أن يتم حصر المنتجات في عوائل تأتي عملية تنظيم المكائن اللازمة لأداء العمليات الأساسية، في مساحات معينة تطلق عليها تسمية خلايا (Cells)، إذ يتم جمع المكائن لتكوين تدفقات خطية (Line Flows). بمعنى آخر إن جميع المكائن اللازمة لتنفيذ العمليات على المنتجات توضع في خلية واحدة أو مجموعة واحدة. وعلى هذا الأساس تتطلب المكائن الموجودة في كل خلية إلى إعادة تهيئة طفيفة لإنتاج كل عائلة مما يؤدي إلى إختصار المسارات والوقت والقضاء على الخزين من المواد تحت التشغيل.

يوضح الشكل (8-11) عملية تدفق قبل وبعد تكوين خلايا العمل، إذ يوضح الجزء (أ) من الشكل السابق ترتيب على أساس العملية يتسم بتخصص الآلات في ستة أقسام هي : الخراطة والتنعيم والتثقيب والتجميع والتجليخ والتسلم والتسليم. فبعد دخول الجزء إلى قسم الخراطة ينتقل إلى قسم التجليخ حيث ينتظر دوره في المعالجة إلى أن تصبح له الأسبقية في المعالجة (على وفق قواعد الأسبقية)، ثم ينتقل الجزء إلى قسم التثقيب وهكذا. إنَ خطوط إنتظار المواد داخل المصنع

يمكن أن تكون طويلة من الناحية المادية والزمنية، وهذا النوع من التدفق يكون مربكاً لأن الجزء الذي تجري معالجته على أي ماكنة داخل القسم يمكن أن تكون له مسارات مختلفة مما يولد صعوبة في متابعته وهذه تمثل جزءاً من مساوئ الترتيب على أساس العملية.



الشكل (8-11) تدفق العملية وتدفق خلايا تكنولوجيا المجاميع

أما في الجزء (ب) من الشكل السابق، فيلاحظ بأن مدير العمليات قد حدد ثلاث عوائل للمنتوج لتمثيلها للجزء الأكبر من الإنتاج في الشركة. أن أولى هذه العوائل تتطلب عمليتي خراطة متبوعة بعملية تجليخ (خلية عمل 1). أما العائلة الثانية فتتطلب عملية خراطة متبوعة بعملية تجليخ ثم عملية تنعيم (خلية عمل 2) ، وتتطلب المجموعة الثالثة عملية خراطة ثم تجليخ ثم تثقيب. إن الجزء (ب) من الشكل السابق يوضح فقط مسارات المنتجات التي تختص بها خلايا العمل 1 و 2 و 3، أما بقية منتجات الشركة فتجري معالجتها في أقسام المصنع الأخرى.

ومن مزايا هذا النوع من الترتيب:

1- إنخفاض وقت التهيئة والإعداد.
2- إنخفاض الخزين من المواد تحت التشغيل.
3- إنخفاض كلفة مناولة المواد.
4- تقليص وقت دورة الإنتاج.
5- زيادة الفرص لإدخال الأتمتة في الإنتاج.

4-4 ترتيب الموقع الثابت Fixed Position Layout

يتبع هذا الترتيب عندما يكون المنتوج كبيراً جداً أو ثقيلاً بحيث تصبح حركته ونقله شبه مستحيلة. وبموجب هذا الترتيب يبقى المنتوج في مكانه وتجري عليه جميع العمليات اللازمة. ومن الأمثلة على ذلك بناء السفن والطائرات والسدود. ويطبق هذا الترتيب أيضاً عندما يتطلب إنجاز عمل ما بيئة خاصة كالغرف المعقمة والغرف المحكمة الإغلاق لمنع تدفق الغبار في أثناء العمليات.

ومن مساوئ هذا الترتيب ما يأتي:

- ضرورة نقل جميع الأجزاء والمواد والعاملين إلى موقع المشروع.
- صعوبة الحركة في الموقع بسبب ضيق المساحة المتاحة للعمل.
- التأخير في تنفيذ إحدى العمليات يؤدي إلى تأخر تنفيذ المشروع بأكمله.
- تباين كثافة العمل.
- يتأثر إنجاز المشروع بالظروف البيئية المحيطة كالأمطار والعواصف.

ومن الطرائق المتبعة لتذليل المساوئ السابقة هي إنجاز أكبر عدد من الأعمال خارج الموقع (Off –Site) ثم نقلها إلى موقع العمل لتجميعها مع الأجزاء الأخرى. ومن الأمثلة على ذلك مشاريع البناء الجاهز.

4-5 الترتيب المتخصص Specialized Layout

يمثل هذا الترتيب تطبيقاً خاصاً لأساليب الترتيب، وكلمة "متخصص" هنا لا تعني الندرة أو الصعوبة وإنما تعني ملاءمة الترتيب مجالات وأهداف خاصة. يوجد في الواقع عدد غير محدود من انواع الترتيب المتخصص، وسوف نستعرض فيما يأتي ثلاثة أنواع هي: ترتيب المخازن، المكاتب، ومحلات البيع بالتجزئة (كالأسواق المركزية) (Waters, 1991, 255 - 262) (Heizer & Render, 1994, 234 - 239) (Krajewski & Ritzman, 1993, 395 - 410) .

4-5-1 ترتيب المخازن Warehouse Layout

تعد المخازن مشابهة للمعامل الصناعية من حيث حركة المواد بين النشاطات المختلفة في المعمل، وأما عملية التحويل (Transformation) في المخازن فهي ليست مادية أو كيمياوية وإنما تتمثل في عملية خزن المواد تمهيداً لصرفها لأغراض الإنتاج أو للزبائن لإستهلاكها.

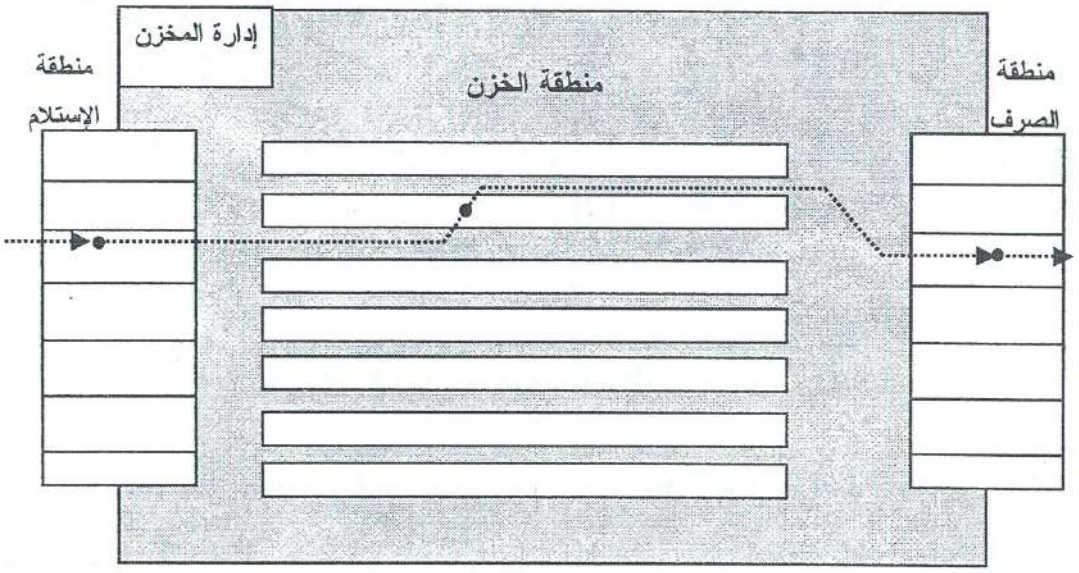
إن الغاية من ترتيب المخازن تكمن في تخفيض كلفة الوحدة المخزونة إلى أدنى حد ممكن. وتمثل التكاليف الثابتة الجزء الأكبر من كلفة المخزن، أما التكاليف المتغيرة في المخزن فتتكون من كلفة الوقت اللازم لتحديد موقع المادة المطلوبة للصرف أو للخزن وكلفة حركة المواد من وإلى المخزن وهذه التكاليف تكون مرتبطة بنوع الترتيب المتبع بالمخزن. وتشكل المساحة المتوفرة ومعدات النقل والمناولة والإستثمار الكلي في المخزن أهم القيود الحاكمة في ترتيب المخزن. وعادة ما يضم ترتيب المخزن العناصر الاتية:

- **منطقة التسلم:** إذ يتم تفريغ المواد وفحصها تمهيداً لخزنها.
- **منطقة الخزن:** وهي المكان المخصص للحفاظ على المواد.
- **منطقة الصرف:** وهي المكان المخصص لتجميع الطلب وصرفه للزبون (قسم، شخص، شركة).
- **نظام مناولة المواد:** وهي مجموعة من معدات المناولة والأفراد والبرامجيات مخصصة لنقل المواد حسب الحاجة.
- **نظام المعلومات:** وتكون وظيفته الإحتفاظ بسجلات عن مواقع خزن المواد، معلومات عن الكميات الواردة من المجهزين، معلومات عن الطلبات المصروفة وأي معلومات أخرى.

ويوضح الشكل (8-12) نموذجاً لترتيب داخلي لأحد المخازن. إن الترتيب الداخلي للمخزن يعتمد وإلى حد كبير على المواد المراد خزنها وعلى تكنولوجيا الخزن والمناولة، وفي هذا الإطار يمكن تصنيف المخازن إلى ما يأتي:

- **المخزن اليدوي:** إذ يتم خزن مواد خفيفة سهلة الحمل والنقل باليد. وتخزن المواد في رفوف قريبة من بعضها ويمكن أن يكون إرتفاع هذه الرفوف مترين أو أكثر بقليل. وينبغي إنارة المخزن بشكل كافٍ وتدفئته مع إتاحة مساحة وممرات كافية لحركة العاملين.
- **المخزن الآلي:** يستخدم في هذا النوع من المخازن الرافعات الشوكية والأحزمة الناقلة ويتطلب ذلك ممرات واسعة لتسمح بحركة الرافعة الشوكية، ويمكن أن يصل إرتفاع رفوف الخزن إلى ثمانية أمتار. تعد الرافعات الشوكية مكلفة إلا أنها ملائمة لإجراء نقلات قصيرة بين مناطق التسلم والتسليم في المخازن، على حين تعد الأحزمة الناقلة (Conveyors) أقل كلفة إلا أنها ملائمة لنقل مواد صغيرة الحجم مقارنة بتلك التي تنقل بواسطة الرافعات الشوكية.

المخزن المؤتمت (الذاتي): يرتب هذا المخزن ليسمح بإستخدام الإنسان الآلي وآلات الخزن والصرف الذاتية (Automated Storage & Retrieval System-ASRS)، وتكون ممرات هذا المخزن ضيقة والرفوف مرتفعة جداً، وبواسطة الحاسوب يتم توجيه نظام (ASRS) للوصول إلى جميع أنحاء المخزن وبسرعة فائقة وبدون تدخل الإنسان. إن إنعدام إستخدام العنصر البشري داخل المخزن يوفر الكثير من النفقات مثل كلفة الإنارة والتهوية والتدفئة وأجور العمل... إلخ.



الشكل (8-12) نموذج لترتيب داخلي لمخزن

إن ترتيب المخازن يمكن أن يأخذ أشكالاً غير محدودة ولكن جميعها تتفق في تحقيق هدف واحد هو تخفيض كلفة الوحدة المخزونة إلى أدنى حد ممكن وإستغلال المساحة أو الحجم المتاح إلى أقصى حد ممكن، والمثال (8-3) يوضح كيفية إعداد ترتيب داخلي لأحد المخازن.

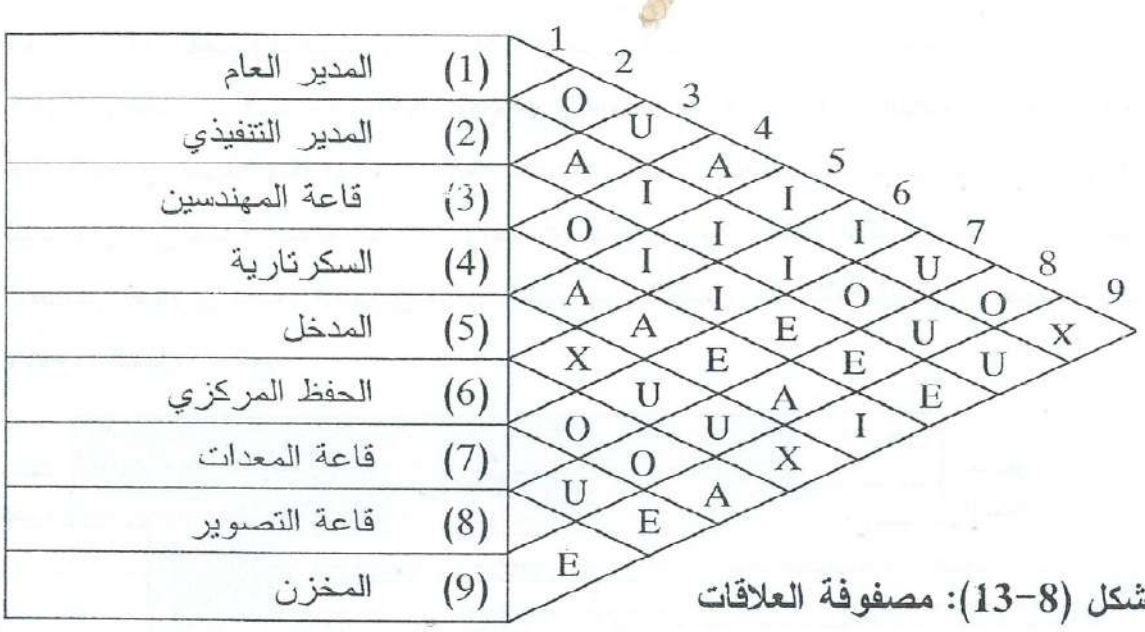
4-5-2 ترتيب المكتب Office Layout

يهدف ترتيب المكاتب إلى تنظيم العاملين ومعدات العمل والمساحات اللازمين في إطار يحقق الراحة والأمان في أثناء العمل ويضمن سهولة تدفق المعلومات بين المكاتب.

إن جوهر عملية ترتيب المكتب يكمن في أهمية المعلومات التي تتدفق بين المكاتب في الشركة الواحدة، بمعنى آخر أنه ينبغي مبدئياً وضع المكاتب ذات التدفق العالي للمعلومات قريبة من بعضها. على الرغم من أن إنتقال المعلومات بين المكاتب ينجز بالطرائق الألكترونية في الوقت الحاضر فإن ترتيب المكاتب لا يزال يعتمد مدخلاً مبنياً على النشاط (Task – Based Approach). إن هذا المدخل يحتم على مديري العمليات تفحص أنماط الإتصالات الألكترونية والتقليدية، الحاجة إلى تفريق المكاتب، وظروف أخرى تؤثر في فاعلية الإتصالات.

يستخدم مخطط العلاقات (Relationship Chart) كأداة لإعداد ترتيب المكاتب. وبموجب هذا المخطط يتم تحديد العلاقة بين أي مكتب والمكاتب الأخرى في الشركة على وفق مقياس يتراوح بين (ضروري جدا) إلى (غير مرغوب). والشكل (8-13) يوضح مخططا للعلاقات بين تسعة مكاتب تضمها شركة لإنتاج البرامجيات. ويلاحظ من هذا الشكل ما يأتي : من الضروري جداً أن يكون مدير المكتب قريباً من قاعة المهندسين، بعيداً نسبياً عن موقع خزن الملفات، بعيداً جداً عن مكتب التصوير والمخزن.

القيمة	المعيار
A	ضروري جداً
B	مهم جداً
I	مهم
O	عادي
U	غير مهم
X	غير ضروري



الشكل (8-13): مصفوفة العلاقات

توجد هنالك بعض الإعتبارات التي ينبغي مراعاتها عند إعداد ترتيب داخلي للمكاتب، فمثلاً في أميركا توجد قواعد تنص على تخصيص 100 قدم^2 لكل شخص (بضمنها الممرات) و 400 قدم^2 لكل مدير تنفيذي، و 25 قدم^2 لكل شخص في قاعة الإجتماعات لمجلس الإدارة. وهنالك أيضاً إعتبارات عالمية أخرى ينبغي مراعاتها في ترتيب المكاتب ومن هذه الإعتبارات ما يتعلق ببيئة العمل وفرق العمل والصلاحية والمنصب. وينبغي أيضاً مراعاة إتجاهين مهمين في ترتيب المكاتب. الأول يتعلق بالتقنية المستخدمة مثل الهواتف الخلوية وأجهزة الفاكس وشبكات الإنترنيت والحواسيب الشخصية إذ أتاحت هذه التقنيات زيادة في مرونة ترتيب المكاتب من خلال قدرتها على نقل المعلومات ألكترونياً، والثاني يتمثل في الشركات الجوفاء أو الافتراضية (Hollow or Virtual Companies)*.

4-5-3 ترتيب محلات البيع بالتجزئة (الأسواق المركزية)* Retail Layout

يستند ترتيب محلات البيع بالتجزئة على فكرة مفادها أن المبيعات والربحية تتباين مع درجة تعرض (Exposure) الزبائن للسلع المعروضة. لذلك فإن مدير العمليات يهدف من هذا الترتيب جعل الزبون يمر على أكبر عدد ممكن من السلع المعروضة على أمل أن يشتري الزبون ما خطط وما لم يخطط لشرائه قبل دخوله للسوق المركزية. لقد أظهرت العديد من الدراسات بأن هناك علاقة بين العائد على الإستثمار وطريقة الترتيب الداخلي لمحلات البيع بالتجزئة. ومن القواعد المفيدة في إعداد ترتيب الأسواق المركزية ما يأتي:

- وضع المنتجات ذات الطلب العالي على أطراف السوق ومن هذه المنتجات الحليب المبستر والخبز.
- تخصيص مواقع ثابتة للمنتجات التي تحقق هامش ربح عالٍ مثل مستحضرات التجميل.
- توزيع المنتجات التي تشكل أكبر جزء من مشتريات الزبون على مناطق مختلفة لكي يتعرض الزبون الى منتجات اخرى في اثناء طريقه للسلع التي يرغب بشرائها.
- إستغلال نهايات وبدايات الممرات لعرض سلع جديدة تعرض لأول مرة في السوق.

ويوضح الشكل (8-14) نموذجاً لترتيب داخلي لأحد الأسواق المركزية.

بعد أن يتم إعداد الترتيب، تأتي المهمة الثانية وهي ترتيب المنتجات في المواقع المخصصة لها. ومهما كانت طريقة العرض والترتيب فإن الهدف الذي يجب تحقيقه يتمثل في تعظيم ربحية القدم المربع الواحد المخصص للمواد المعروضة.

(*) الشركة الجوفاء هي شركة تعتمد على تنويع العلاقات بالمجهزين لتقديم خدماتها حسب الطلب، تسمى أيضاً بشركات الشبكات Network Companies ومن الأمثلة على ذلك شركات تصميم الملابس التي نادراً ما تنتج الملابس وإنما تبيع رخصة الإنتاج إلى شركات أخرى وكذلك الحال في شركات التجارة بواسطة شبكات الإنترنيت.

(*) تعتمد على مبدأ الخدمة الذاتية

يتوفر في الوقت الحاضر برامجيات جاهزة تساعد مدراء العمليات في إعداد الترتيب الملائم للأسواق المركزية، ومن الأمثلة على تلك البرامجيات (SLIM) (Store Labor and Inventory Management) والذي يستخدم لتحديد ما إذا كانت المساحة المخصصة لأحد المنتجات المعروضة على أحد الرفوف كافية لإستيعاب طلب جديد من المخازن أم لا، وكذلك COSMOS (Computerized Optimization & Simulation Modeling for Operating Supermarket) الذي يستخدم لمقارنة المساحة على الرفوف مع جداول التسليم ولتحديد مساحة كافية لتقليل نفاد الخزين في أثناء مدد الإنتظار بين عمليات التجهيز.