المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص ميكانيكا إنتاج

نظم التصنيع

265 ميك

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني و المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل و المؤسسة العامة للتدريب التقني و المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " نظم التصنيع " لمتدربي قسم" ميكانيكا إنتاج " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

تأتي هذه الحقيبة التدريبية في مجال تقنية نظم التصنيع لتسد فراغاً واضحاً في المكتبة العربية، في مجال حيوي تبلور حديثاً مع التطورات الصناعية، والقفزات التقنية الهائلة التي حدثت في العقدين الأخيرين من القرن العشرين.

وقد أعدت هذه الحقيبة التدريبية خصيصاً لمتدربي تخصص الإنتاج في كليات التقنية بالمملكة العربية السعودية، وذلك لتعريف المتدرب بالمفاهيم الأساسية المتعلقة بنظم التصنيع وأنواعها المختلفة، التقليدي منها والحديث. وكذلك لدراسة أهم مكونات نظم التصنيع من مخطط داخلي ونظامي مناولة المواد والتخزين، ومعالجة بعض المواضيع المهمة في تصميم نظم التصنيع مثل تشكيل خلايا التصنيع في نظام التصنيع بالخلايا القائم على تكنولوجيا المجموعات، وكذلك حل مشكلة موازنة خط التجميع على أساس طريقة الترتيب طبقاً للوزن الموقعي، وأيضاً تصميم المخطط الداخلي لأقسام التخزين.

وتهدف هذه الحقيبة التدريبية في مجملها لتزويد المتدرب بالمعرفة اللازمة حول المفاهيم الأساسية المتعلقة بنظم التصنيع، ومكونات تلك النظم، والعوامل المؤثرة في فعالية أدائها وكيفية تحسين هذا الأداء.

وتتكون الحقيبة من ست وحدات تدريبية مطروحة بالترتيب التالي: مدخل إلى نظم التصنيع، تصنيف نظم التصنيع، نظم التصنيع الحديثة، خطوط التجميع، نظم مناولة المواد، ونظم التخزين. وكل وحدة تدريبية تبدأ بأهداف الوحدة، ثم مقدمة تحدد إطار المواضيع التي تناقشها الوحدة، وتختتم كل وحدة بخلاصة مجملة لمواضيع الوحدة، ثم تمرين شامل يستطيع المتدرب من خلاله التعرف على مدى ما اكتسبه من معرفة في موضوع الوحدة.

ونسأل الله سبحانه أن يكون هذا الجهد خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به أمتنا في مسيرتها المباركة لتحقيق التنمية والتقدم ونقل التقنية الحديثة لكل قطاعاتها الاقتصادية.

نظم التصنيع

مدخل إلى نظم التصنيع

الأهداف

بإكمال الوحدة الأولى يكون المتدرب قادراً على:

- أن يعرف نظام التصنيع ويسمي مكوناته الأساسية ويصف العلاقات بينها.
- أن يشرح الأهداف العامة لنظم التصنيع والتدابير اللازم اتخاذها لتحقيق تلك الأهداف.
- أن يعرف المراحل الرئيسة لعملية الإنتاج الصناعي واستخدام الحاسب في كل منها.
- أن يذكر ويفسر القوانين الأساسية لنظم التصنيع.

مدخل إلى نظم التصنيع (1)

1- 1 مقدمـــــة

على مر العصور قام الإنسان بسد احتياجاته بأساليب عدة منها تحويل المواد المتوفرة في بيئته إلى منتجات تفي بأغراضه. في هذا السياق يمكن الحديث عن حقبتين زمنيتين الفاصل بينهما هو ما يسمى بالثورة الصناعية والتي بدأت في إنجلترا في سبعينيات القرن الثامن عشر وامتدت لباقي أوروبا والولايات المتحدة في بدايات القرن التاسع عشر. في حقبة ما قبل الثورة كان هناك شيء من الإنتاج الصناعي لكنه متواضع جدا من حيث إمكاناته وبالتالي تواضع نوعيات وكميات منتجاته. الإمكانات في تلك الحقبة كانت مقيده بأمور عدّة من أهمها كون جميع العدد المستخدمة في التصنيع في ذلك الوقت عدد يدوية ، مصنّعه غالبا من الخشب ، والقائمين على الإنتاج الصناعي هم فقط الفئة الحرفيّة الماهرة الذين يزاولون حرفهم في نظم تصنيع بدائية هي عبارة عن ورش صغيرة خاصة بهم غير مستغرب فيها اعتماد الإنتاج من بدايته لنهايته على شخص واحد.

حقبة ما بعد بدء الثورة الصناعية شكّلت محطات مختلفة منها علامات تحول بارزة في مسيرة الإنتاج الصناعي. بدايات تلك الحقبة شهدت اختراع المحرك البخاري على يد العالم جيمس وات في العام 1764م ، والذي أمكن من خلاله دخول عصر الميكنة حيث أصبح بالإمكان إنتاج وتشغيل ماكينات التصنيع التي تعمل بالطاقة. أيضا شهدت تلك الحقبة ظهور المغزل الآلي على يد إدموند كارترايت ممّا أحدث ثورة في صناعة النسيج.

أغلب المحطات في مسيرة التقدم الصناعي كانت في القرن الماضي (خصوصا النصف الأخير منه) والذي شهدت فيه الصناعة العالمية ، ولازالت، تطورا متسارعا نتج عن توالي ظهور العديد من مفاهيم وأساليب وتقنيات الإنتاج المتطورة، والتي أدّت لنمو غير مسبوق في الاقتصاد العالمي ولتغيير جذري في نمط الحياة للأفراد والمجتمعات.

من أبرز تلك المحطات ظهور فكرة خط التجميع الآلي التي ابتدعها رجل الصناعة الأمريكي هنري فورد وبدأ في تنفيذها في مصنعه للسيارات في العام 1909م. تلك الفكرة والتي حققت نجاحا مذهلا ركيزتها الأساسية هي استثمار التطابق أو التشابه بين المنتجات واستخدام مفهومي *تبادلية الأجزاء* و*تقسيم العمالة* للحصول على كميات إنتاج ضخمه بتكلفة منخفضة للوحدة. بعد منتصف القرن الماضي ونتيجة لتطور الحاسبات الرقمية والتقدم المتسارع في قدراتها الحسابية وتقنياتها البرمجية برز العديد من المفاهيم والتقنيات التي ساهمت بشكل كبير في التقدم الصناعي الذي يشهده العالم اليوم بإحداث نقله نوعيه من الميكنة باتجاه الأتمتة. من أهم تلك الإنجازات ظهور ماكينات التحكم الرقمي وما صاحب أو

تلا ذلك من مفاهيم وتقنيات مثل التصميم والتصنيع المدعم بالحاسب و نظم التصنيع المرنة و نظم التصنيع الخلوية و التصنيع المتكامل بالحاسب و تقنيات الروبوت، وغير ذلك الكثير مما سيتم التطرق له لاحقا. تلك الإنجازات المتراكمة وما صاحبها من تقدم في مفاهيم وأساليب إدارة العمليات جعلت نظم التصنيع الحديثة بشكل عام أكثر قدرة على زيادة عملائها وعلى الوفاء بطلباتهم والتكيف مع التغيرات في رغباتهم، إلاّ أنّ حدّة ضغوط المنافسة تزداد عليها والقدرة التنافسية لكل منها ومدى تحقيقه لأهدافه الاستراتيجية والتشغيلية مرهون بكفاءته وفعاليته الإنتاجية.

هذه الوحدة مخصصة للتعريف بماهية وأساسيات نظم التصنيع. يتضمن ذلك تعريف نظم التصنيع واستعراض مكوناتها وقوانينها الأساسية وأهدافها العامة، وكذلك استعراض المراحل الرئيسة لعملية الإنتاج الصناعي والعلاقات بينها واستخدامات الحاسب فيها.

2-1 نظام التصنيع ومكوناته الأساسية

بشكل عام، مصطلح *نظام* يشمل كل نشاط يتضمّن استقبال مدخلات معينة وإجراء عملية تحويل (إضافة قيمة) لتلك المدخلات إلى مخرجات بمواصفات محددة. لو قمت بتحليل أي نظام من حولك مثل الكلية التي تدرس فيها أو المخبز القريب من منزلك أو عيادة الأسنان التي تتعامل معها أو غير ذلك من النظم باختلاف أحجامها ونشاطاتها ستجد أنها تتضمن الثلاثة عناصر الأساسية المذكورة في التعريف الذي أوردناه للنظام (مدخلات و عمليه تحويلية، ومخرجات).

في نظام التصنيع، المدخل الأساسي هو المادة الخام والعملية التحويلية هي عملية الإنتاج والمخرج الأساسي هو المنتج. هناك مدخلات أخرى تشمل الموارد والخطط المستخدمة في تنفيذ عملية الإنتاج، وهناك مخرجات أخرى مثل الغازات المنبعثة خلال الإنتاج والرائش والمعيب وما إلى ذلك. هذا التقديم الموجز يمكن على ضوئه تعريف نظام التصنيع كما يلي:

نظام التصنيع عبارة عن نظام يقوم بتحويل مواد خام إلى منتجات من خلال تسخير مجموعة من الموارد للقيام بمجموعة من المهام التي تمليها مجموعة من الخطط المرسومة سلفا بغرض تحقيق أعلى إنتاجية ممكنة.

مجموعة الموارد في نظام التصنيع تشمل كل ما يتم استخدامه أو استهلاكه في سبيل تنفيذ عملية الإنتاج، مثل المال والمباني والآلات والعدد والعنصر البشري والطاقة. مجموعة الأعمال تشمل كل عمل يتم إجراؤه في سبيل تنفيذ عملية الإنتاج، مثل عمليات التجهيز والتصنيع والتجميع ومناولة المواد والفحص والمراقبة والتخزين والتحكم والصيانة. مجموعة الخطط تشمل التعليمات اللازمة حول الكيفية

التي يجب أن تتم بها عملية الإنتاج، وأهمها خطط العمليات (Process Plans) وخطط الإنتاج (Production Plans) واللتين سيتم الحديث عنهما لاحقا. فاعلية نظام التصنيع يمكن قياسها بنسبة قيمة مخرجاته لقيمة مدخلاته، وحيث إن عملية الإنتاج تتضمن إضافة قيمٌ فإن تلك النسبة يفترض أن تكون أكبر من الواحد بأعلى قدر ممكن.

المكونات الأساسية لنظام التصنيع تشمل بشكل عام العنصر البشري لإدارة وتشغيل النظام، آلات وعدد الإنتاج و أجهزة الفحص والقياس و نظام مناولة المواد و المخطط الداخلي لأرضية المصنع و وحدة التحكم بعمليات الإنتاج و وحدة تصميم المنتجات و وحدة تخطيط وضبط الإنتاج و وحدة السلامة و وحدة الصيانة و مستودعات تخزين المنتجات والمشتريات، والمهام الإدارية المساندة مثل التسويق والمالية والمشتريات والمحاسبة والنقل والموارد البشرية.

3-1 الأهداف العامة لنظام التصنيع

من الناحية المثالية هناك عدة أغراض تحققها نظم التصنيع للمجتمعات التي تتواجد فيها مثل المساهمة في دفع عجلة النمو الاقتصادي والرفاه الاجتماعي، وذلك من خلال توفير السلع وفرص العمل وقنوات الاستثمار، مع الالتزام بالمبادئ الأخلاقية المهنية والأنظمة القانونية في تعاملها مع عملائها والعاملين لديها ومع البيئة والمجتمع المحيط بشكل عام. إلا أن تحقيق تلك الأغراض يجب أن يكون أمرا ضمنيا في سعي تلك النظم لتحقيق هدفها الأساسي وهو تحقيق الأرباح المادية.

تحقيق الأرباح المادية كهدف أساسي يمكن بناء عليه استنباط جملة الأهداف التشغيلية و الاستراتيجية التي تسعى لها نظم التصنيع في سبيل تحقيق هدفها الأساسي. لبلوغ ذلك نحتاج لإمعان النظر في العلاقة البديهية التالية، والتي تفترض قدرة النظام على الإيفاء بكامل الطلب على منتجاته:

الربح الكلي = كمية الطلب على الإنتاج × (سعر بيع الوحدة – تكلفة إنتاج الوحدة)

بافتراض بيئة تنافسية تخضع لمبادئ العرض والطلب، سعر البيع متغير يصعب التحكم فيه إلا باتجاه خفضه. بذلك يبقى لدينا على ضوء المعادلة المعطاة وسيلتان يمكن من خلالهما تحقيق هدف زيادة الأرباح وهما زيادة الطلب على الإنتاج وتقليل تكلفة إنتاج الوحدة. لذا فإن أهداف نظم التصنيع يجب أن تتمحور حول تحقيق هاتين الغايتين.

الهدف المتعلق بزيادة الطلب على الإنتاج تحقيقه يتطلب، بالإضافة للقدرة التسويقية، توسيع قاعدة العملاء (الزبائن) وكسب رضاهم من خلال السعي الحثيث لتحقيق الأهداف التالية:

1- القدرة على توفير المنتجات بأسعار تنافسي'
2- الالتزام بمعايير الجودة
3- تقليل أوقات تسليم المنتجات

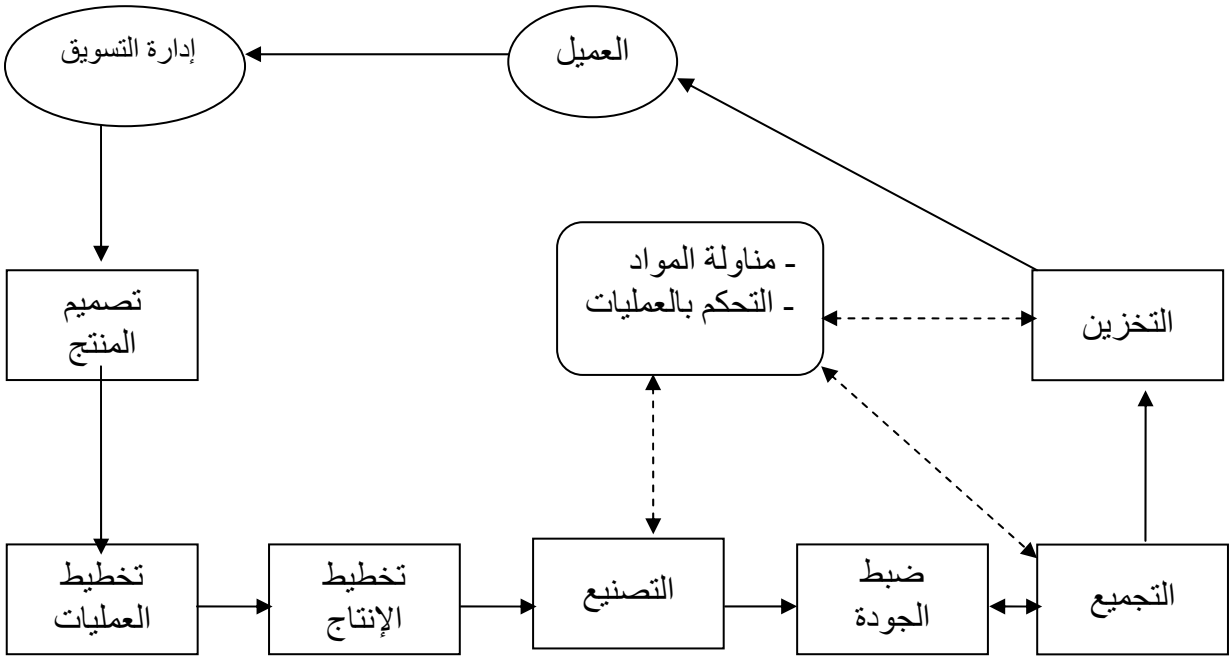
الهدف الأول وهو إمكانية البيع بأسعار تنافسية تحدده القدرة على تقليل تكاليف الإنتاج، والتي سيتم التطرق لها لاحقاً. الالتزام بمعايير الجودة يتطلب ليس فقط تصميم المنتج بمواصفات الجودة المطلوبة أو المتوقعة من العملاء، بل أيضاً ضبط الجودة خلال وبعد عملية الإنتاج لضمان مطابقة جميع المنتجات لتلك المواصفات. تقليل أوقات تسليم المنتجات يعني تلبية طلبات العملاء في أقصر وقت ممكن. بافتراض توفر الطاقة الإنتاجية المثلى للنظام، سرعة الاستجابة لطلبات العملاء أمر تحدده كفاءة نظام تخطيط الإنتاج وكفاءة ومرونة ودرجة أوتوماتية العملية الإنتاجية.

فيما يتعلق بتقليل تكلفة الإنتاج فهذا أمر استأثر بجل اهتمامات الباحثين والمشغلين لنظم التصنيع لأهميته البالغة، إذ كما أشرنا سابقا تقليل كلفة الإنتاج يصب باتجاه تحقيق الهدف الأساسي (تحقيق أعلى ربحية) باتجاهين وهما: زيادة هامش الربح (الفرق بين سعر البيع والتكلفة) وزيادة الطلب على الإنتاج من خلال القدرة على تبرير البيع بأسعار تنافسية. زيادة الطلب على الإنتاج هي الأخرى تقلل متوسط التكلفة الثابتة للوحدة الناتجة عن تكاليف مثل الإضاءة والأرضية والرسوم الحكومية وغيرها من التكاليف الثابتة. تجدر الإشارة إلى أن جميع مراحل الإنتاج توفر مجالا لتقليل التكاليف، ولذلك فإن القدرة على تقليل تكلفة الإنتاج مرتبط بمدى تحقق الأهداف التالية:

1- التصميم الأمثل للمنتج
2- الاختيار الأمثل لتقنية الإنتاج
3- التصميم الأمثل لعملية الإنتاج
4- التصميم الأمثل للعمل
5- التصميم الأمثل لنظامي مناولة المواد والتخزين
6- التصميم الأمثل لأنظمة الجودة والصيانة والسلامة
7- الاختيار والتصميم الأمثل للمخطط الداخلي
8- التخطيط الأمثل للإنتاج والمخزون
9- الاستغلال الأمثل للموارد

4-1 المراحل الرئيسة للإنتاج واستخدامات الحاسب فيها

كما هو مبين في الشكل (1- 1) هناك سلسله من المراحل الرئيسة التي تمر بها عملية الإنتاج الصناعي. تلك المراحل والترتيب الذي تتم فيه عامّ بين كل النظم تقريبا، وإن اختلفت تفاصيلها من نظام تصنيع إلى آخر بسبب اختلاف الخصوصيات. الاستثناءات تكون لمبررات معينة، مثلا كما سنرى في الوحدة الثانية المخصصة لتصنيف النظم فان عدم وجود مرحلة التجميع في بعض النظم يكون إما بسبب طبيعة المنتج مثل الإطارات والإسمنت وغيرها أو بسبب كون استراتيجية المنشأة تقتضي تصنيع أجزاء منتجات لبيعها مباشرة مثل المسامير وبعض قطع الغيار. أيضاً قد يتضمن نظام ما مرحلة تجميع ولا يتضمن مرحلة تصنيع وذلك في الحالات التي يتم فيها إنتاج منتج يتم شراء جميع أجزائه مثل بعض نظم تجميع السيارات والأجهزة المنزلية وغير ذلك.



شكل (1-1): المراحل الرئيسة للإنتاج في نظم التصنيع

يلاحظ في الشكل المعطى أن مراحل الإنتاج تشكل حلقة تبدأ من العميل وتنتهي عنده، وهذا يعني أن وجود العميل هو الركيزة الأساسية لقيام واستمرارية نظام التصنيع. أيضا يلاحظ إبراز نشاطي مناولة المواد والتحكم بالعمليات رغم أن كل منهما لايمثل بذاته مرحلة محددة من مراحل الإنتاج إنما

لأهميتهما. نظام مناولة المواد يشمل معدات نقل المواد داخل نظام التصنيع ومسارات الانتقال لتلك المعدات، وسيتم الحديث عنه بشكل مفصّل في الوحدة الخامسة. التحكم في العمليات يتضمن المراقبة والتحكم في عمليات الإنتاج لتصحيح الأخطاء وضمان سير عملها بالطريقة الصحيحة المرسومة لها.

حلقة الوصل بين العميل والنظام تتمثل في إدارة التسويق. تلك الإدارة تعتبر أحد أهم الإدارات المساندة لنظام التصنيع والتي تتضمن بالإضافة لإدارة التسويق إدارات مثل المحاسبة و المالية و المشتريات، وإدارة الأفراد (الموارد البشرية)، ودور كل منها يتم التطرق له في مقرر إدارة الإنتاج. إدارة التسويق دورها الأساسي جلب العملاء واستقراء رغباتهم واحتياجاتهم ومن ثم ترجمتها لجملة من المواصفات التي يتم على ضوئها تصميم المنتج المطلوب.

فيما يلي نبذة مختصرة عن كل مرحلة من مراحل الإنتاج الرئيسة ودورها في نظام التصنيع واستخدامات الحاسب فيها.

1- 4- 1 تصميم المنتج (Product Design)

مرحلة تصميم المنتج مرحلة مهمة جدا لتأثيرها المباشر على تكاليف الإنتاج. في تلك المرحلة يتم، بناءً على المواصفات المطلوبة من قسم التسويق التي تم إقرارها من الإدارة العليا، تحديد مادة وشكل وأبعاد المنتج والأجزاء التي يتكون منها، مع الأخذ بالاعتبار السعي لتقليل التكاليف وتسهيل مرحلتي التصنيع والتجميع للمنتج. أيضا تتضمن عملية التصميم إعداد قائمة بأجزاء المنتج وإعداد الرسومات التفصيلية والتجميعية لكل منها وعدد كل منها. بعد اكتمال التصميم يتم إجراء الاختبارات الهندسية اللازمة للتأكد من مطابقة أداء المنتج للمواصفات المستهدفة. الحاسب الآلي يتم الاعتماد عليه بشكل مكثف في مرحلة التصميم لإعداد الرسومات الفنية وإجراء الاختبارات وتوفير قواعد البيانات اللازمة. يستخدم لهذا الغرض نظم *التصميم بمساعدة* الحاسب ((Computer Aided Design (CAD) أو برامج *الرسم بمساعدة الحاسب* (Computer Aided Drafting) التي تساعد فقط في إعداد الرسومات.

1- 4- 2 تخطيط العمليات (Process Planning)

مرحلة تخطيط العمليات تتضمن بشكل أساسي تحديد نوع وتسلسل عمليات الإنتاج (مسار الإنتاج) اللازمة لتصنيع المنتج المطلوب، كما تتضمن تحديد الماكينة وظروف التشغيل لكل عملية. تلك المرحلة لا تقل أهمية عن مرحلة تصميم المنتج من حيث تأثيرها على تكاليف الإنتاج. لذا فان من يقوم بتخطيط العمليات يحتاج لخبرة واسعة في عمليات وآلات الإنتاج من حيث قدراتها وتكاليفها كي يتسنى له تحديد خطة العمليات (Process Plan) الأقل تكلفة وبدائل لتلك الخطة لاستخدامها عند الحاجة لتغيير

مسار المنتج. يمكن استخدام الحاسب في تخطيط العمليات من خلال برامج *تخطيط العمليات بمساعدة الحاسب*(Computer Aided Process Planning (CAPP)).

1- 4- 3 تخطيط وضبط الإنتاج (Production Planning and Control)

مرحلة تخطيط وضبط الإنتاج تتضمن عدة نشاطات أهمها التنبؤ بالطلب المستقبلي، تحديد كميات الإنتاج لكل منتج في كل فترة زمنية (الجداول الرئيسة للإنتاج)، الجدولة اليومية للإنتاج، التحكم بالمخزون، والتخطيط للاحتياجات من المواد ((Material Requirements Planning (MRP) وللاحتياجات من الطاقة الإنتاجية ((Capacity Requirements Planning (CRP) . الحاسب الآلي يتم الاعتماد عليه كثيرا في كل تلك النشاطات. تجدر الإشارة إلى أن تخطيط وضبط الإنتاج يتم تناوله بالتفصيل في مقرر إدارة الإنتاج.

1- 4- 4 مرحلة التصنيع (Fabrication)

في مرحلة التصنيع يتم تصنيع الأجزاء المكونة للمنتج النهائي بناء على خطط عملياتها التي تم تحديدها في مرحلة تخطيط العمليات، وحسب الكميات والجدولة التي تم تحديدها في مرحلة تخطيط الإنتاج. كما تعلمنا من مقررات سابقة، عمليات التصنيع (باستثناء تصنيع المنتجات المتصلة التي سيتم الحديث عنها في وحدة لاحقة) يمكن أن تتم بأسلوبين فقط وهما تشكيل المادة باستخدام عمليات التشكيل (السباكة و الدرفلة و البثق و الكبس و السحب و الطرق، ... الخ) أو إزالة المادة باستخدام عمليات التشغيل التقليدي التي تتضمن الإزالة باحتكاك مادتي عدة القطع والشغلة (الخراطة و التفريز و الثقب و الجلخ و الكشط و البرادة و النشر، ... الخ) أو عمليات التشغيل غير التقليدي التي تتضمن إزالة المادة باستخدام تقنيات خاصة مثل الليزر والأحماض الكيميائية والتفريغ الكهربائي. تستخدم تقنيات الحاسب في مرحلة التصنيع من خلال ماكينات التحكم الرقمي (CNC) وأنظمة *التصنيع بمساعدة الحاسب* ((Computer Aided Manufacturing (CAM) التي تساعد في عدة جوانب منها تصميم خطط العمليات وإعداد برامج تشغيل ماكينات التحكم الرقمي والتحكم بعمليات الإنتاج.

1- 4- 5 ضبط الجودة (Quality Control)

مرحلة ضبط الجودة يتم خلالها التأكد من مطابقة المنتج وأجزائه للمواصفات المطلوبة باستخدام أدوات الفحص والقياس وخرائط التحكم وغيرها من أدوات الاختبار الإحصائية. التأكد من الجودة يتم

بشكل رئيس بعد الإنتاج ولكنه أيضاً يحدث قبل وخلال عملية الإنتاج بغرض استبعاد مواد الخام غير الصالحة وتصحيح أي أخطاء في عملية الإنتاج تؤدي لمنتجات غير مطابقة. تجب ملاحظة أنه في الشكل المعطى تم وضع مرحلة ضبط الجودة بين مرحلتي التصنيع والتجميع (باستخدام أسهم مزدوجة الاتجاه) وذلك لحاجة كلا المرحلتين لضبط جودة منتجاتهما.

1- 4- 6 مرحلة التجميع (Assembly)

مرحلة التجميع تتضمن إنتاج المنتج النهائي بتجميع الأجزاء التي يتكون منها، وذلك باستخدام عمليات الربط مثل اللحام والكبس واللصق والبرشمة. تلك المرحلة يتم تنفيذها عادة باستخدام مايسمى بخطوط التجميع والتي يمر خلالها المنتج بمحطات متعاقبة كل منها يقوم بإضافة أجزاء معينة حتى يصل المنتج لشكله النهائي. تلك الخطوط عادة تكون ذات أوتوماتية عالية أو كاملة، كما تستخدم فيها تقنية الروبوت بكثافة. من أهم المسائل فيها موازنة أوقات المحطات على الخط والتي سيتم تناولها بالتفصيل في الوحدة الرابعة. تلك المسألة يتوفر لمعالجتها برامج حاسب عديدة منها برنامج *موازنة خطوط التجميع بمساعدة الحاسب* (Computer Aided Line Balancing (CALB)).

1- 4- 7 مرحلة التخزين (Storage)

مرحلة التخزين يتم فيها تخزين المنتج فترة مؤقتة حتى يحين وقت تسليمه للزبون. الفترة التي يقضيها المنتج في المخازن تحددها عوامل متعددة ولكنها بشكل أساسي تعتمد على استراتيجية الطلب والخطة الإجمالية للإنتاج واللتين يحددهما قسم تخطيط وضبط الإنتاج. يستخدم الحاسب الآلي من خلال برامج متخصصة في إدارة ومراقبة المخزون. أيضا تستخدم معدات مؤتمتة للتخزين واستعادة المخزون سيتم الحديث عنها في الوحدة السادسة المخصصة لنظم التخزين.

1-5 القوانين الأساسية لنظم التصنيع

لكل مجال من المجالات العلمية والتقنية أبجدياته وبديهياته الأساسية التي يلم بها ويتفق عليها كل المهتمين بهذا المجال بغض النظر عن اختلاف مستوياتهم. جملة تلك الأبجديات والبديهيات حينما يتم تنقيحها وصياغتها على شكل قواعد ومبادئ ونماذج رياضية أو غير رياضية تشكل ما يسمى بالقوانين الأساسية للمجال محل الاهتمام. نظم التصنيع على الرغم من استقلاليتها كمجال قائم بذاته إلا أن لها خصوصية حداثتها النسبية والتي سببت عدم اكتمال ونضج قوانين أساسية خاصة بها، إلا أن المحاولات لصياغة تلك القوانين قد بدأت وسنتطرق فيما يلي لأهم القوانين التي تمت صياغتها.

1-5- 1 القانون الأول

في حالة استقرار النظام يتناسب متوسط الوقت الكلي لإنتاج القطعة (Average Throughput Time) طرديا مع متوسط كمية المخزون البيني (Average Work-in-Process) في النظام، وثابت التناسب هو الطاقة الإنتاجية القصوى للنظام. أي أن

$$W = P \cdot T$$

حيث:

W = متوسط كمية المخزون البيني في النظام (قطعة)

T = متوسط الوقت الكلي لإنتاج القطعة (وحدة زمنية)

P = الطاقة الإنتاجية القصوى للنظام (قطعة/ وحدة زمنية)

هذا القانون يسمى قانون ليتيل (Little's Law) وهو رغم بساطته إلا أن له دلالة غاية في الأهمية، حيث يبين أن ما زاد من الكميات في أوامر الإنتاج عن طاقة الإنتاج القصوى للنظام لن يؤدي إلا إلى تكديس مخزون من المواد الخام والمنتجات غير المكتملة التصنيع على أرضية المصنع، ولن ينتج عن ذلك أي زيادة في معدل الإنتاج كما قد يتبادر إلى الذهن بل سيزداد متوسط الوقت الذي يقضيه المنتج في النظام نتيجة لزيادة وقت الانتظار.

مثال 1- 1

نظام تصنيع يقوم بإنتاج منتج واحد على مدار الساعة باستخدام خط إنتاج مكون من محطتين تعملان على التوالي. المحطة الأولى تتكون من ماكينتين تعملان على التوازي كل منهما ينتج قطعة واحدة كل خمس دقائق، بينما المحطة الثانية تتكون من ماكينة واحدة ووقت الإنتاج فيها دقيقتين للقطعة. المحطة الأولى مزودة بطابور انتظار يتسع لقطعتين فقط ويتم ملئوه لحظة شغور مكان فيه. المحطة الثانية مزودة أيضاً بطابور انتظار يكفي لتخزين أي عدد من القطع. بافتراض أن النظام في حالة الاستقرار وبإهمال الوقت اللازم لمناولة المواد احسب مايلي:

أ- الطاقة الإنتاجية للنظام

ب- متوسط كمية المخزون البيني

ج - متوسط الوقت اللازم لإنتاج القطعة

الحل

أ- حساب الطاقة الإنتاجية (P)

الطاقة الإنتاجية القصوى للنظام هي طاقة المحطة الأبطأ (عنق الزجاجة) فيه. عنق الزجاجة هنا هي المحطة الأولى حيث تنتج قطعة واحدة كل دقيقتين ونصف بينما المحطة الثانية تنتج قطعة كل دقيقتين. أي آن:

$$P = 0.4 \quad \text{(قطعة/دقيقة)}$$

ب- حساب متوسط كمية المخزون البيني (W)

متوسط المخزون البيني في النظام = مجموع متوسطات المخزون في كل خط انتظار وكل محطة

- متوسط المخزون للمحطة الأولى وخط انتظارها هو قطعتين لكل منهما
- متوسط المخزون في خط انتظار المحطة الثانية = 0.4 قطعة، وذلك لأن خط الانتظار يحتوي قطعة واحد' خلال دقيقتين من كل خمس دقائق تقضيها المحطة الأولى لإنهاء دفعة من منتجاتها
- متوسط المخزون في المحطة الثانية = 0.8 قطعة، وذلك لأن المحطة الثانية تحتوي قطعة واحدة خلال كل أربع دقائق من كل خمس دقائق.

إذاً :

$$W = 2 + 2 + 0.4 + 0.8 = 5.2 \text{ قطعة}$$

ج – حساب متوسط الوقت الكلي لإنتاج القطعة (T)

لحساب متوسط الوقت الكلي لإنتاج القطعة يمكننا تطبيق قانون لتل مباشرة كما يلي:

$$T = 5.2 \div 0.4 = 13 \text{ دقيقة}$$

لاحظ أنه يمكنك التأكد من صحة النتيجة النهائية بحساب متوسط الوقت الكلي للقطعة بدون استخدام قانون لتل، أي بجمع متوسطات الوقت الذي تقضيه القطعة في كل طابور انتظار وكل محطة ونتيجة الجمع يجب أن تكون مطابقة لما نتج عن تطبيق القانون. في هذا المثال متوسطات الوقت للقطعة في خط انتظار المحطة الأولى وفي المحطة الأولى وفي خط انتظار المحطة الثانية وفي المحطة الثانية هي على التوالي: خمس دقائق، خمس دقائق، دقيقة واحدة، و دقيقتين.

2-5-1 القانون الثاني

تزداد موثوقية النظام بازدياد عدد مكوناته التي تعمل على التوازي وتقل بازدياد عدد مكوناته التي تعمل على التوالي. إذ أن:

$$R_S = \prod_{i=1}^{m} r_i$$

$$R_P = 1 - \prod_{i=1}^{m} (1 - r_i)$$

$$0 \le r_i \le 1 \quad , \quad i = 1, 2, \ldots, m$$

حيث: R_P = موثوقية نظام يتكون من m من المكونات التي تعمل على التوازي

R_S = موثوقية نظام يتكون من m من المكونات التي تعمل على التوالي

موثوقية النظام تعبرعن احتمالية كونه يعمل (غير متعطل) في أي وقت خلال ساعات عمله المفترضة، أو بمعنى آخر هي تعبر عن نسبة الوقت الذي يحتمل أن يكون فيه النظام غير متعطل من إجمالي ساعات عمله المفترضة. لذلك فان الموثوقية لأي نظام أو محطة أو ماكينة لا يمكن أن تزيد عن الواحد (أي نسبة100٪) كما لا يمكن لها أن تأخذ قيماً أقل من الصفر. المثال التالي يوضح ألطريقة التي يتم بها حساب الموثوقية:

مثال 2- 1

نظام تصنيع يتكون من ثلاث محطات A و B و C تعمل على التوالي. المحطة A تتكون من ماكينتين تعملان على التوازي موثوقياتهما 0.72 و 0.84 . المحطة B تعمل بموثوقية مقدارها 0.91 . المحطة C تتكون من ثلاث ماكينات تعمل على التوازي موثوقياتها 0.81 و 0.62 و0.75 . احسب موثوقية النظام R .

الحل

$$R = r_A \, . \, r_B \, . \, r_C$$
$$r_A = 1 - (1-0.84)(1-0.72) = 0.96$$
$$r_C = 1 - (1-0.81)(1-0.62)(1-0.75) = 0.98$$
$$R = 0.96 \times 0.91 \times 0.98 = 0.86$$

1- 5- 3 القانون الثالث

درجة تعقيد النظام (مقاسه بعدد حالاته الممكنة) تزداد بشكل أسي بازدياد عدد مكوناته وعدد الحالات الممكنة لكل منها. تلك العلاقة يمكن وصفها بالصيغة التالية:

$$N = \prod_{i=1}^{m} n_i$$

حيث:

N = عدد الحالات الممكنة للنظام

m = عدد مكونات النظام

n_i = عدد الحالات الممكنة للمكوّن i

العلاقة الأسية بين عدد حالات النظام وعدد مكوناته وحالاتها تعني أن أي زيادة صغيرة في عدد مكونات النظام أو عدد حالاتها يقابلها زيادة هائلة في عدد الحالات الممكنة للنظام، والتي يجب أخذها جميعا بالاعتبار عند تصميم ومراقبة وتشغيل النظام. حسب العلاقة المعطاة، هناك ثماني حالات ممكنة ($2\times2\times2$) لنظام لديه ثلاثة مكونات وحالتين ممكنتين لكل منها. بمضاعفة عدد المكونات وعدد حالاتها مرة واحدة تزيد عدد الحالات الممكنة للنظام من ثماني حالات إلى 4^6 (أي 4096) حالة، مما يعني تضاعف عدد الحالات الممكنة للنظام 512 مرة.

4-5-1 القانون الرابع

سلوك مكونات النظام يؤثر فيه عنصرٌ عشوائي

هذا القانون يدعو لعدم إغفال عنصرالعشوائية الطبيعي عند محاكاة وتشغيل وصيانة النظم، إذ يؤثر هذا العنصر(بشكل بسيط غالبا) في أداء البشر والآلة والمادة بشكل عام. حينما نتحدث عن الوقت الذي تستغرقه عملية تشغيل لقطعة شغل ما أوتستغرقه عملية مناولة مواد من نقطة ما إلى أخرى فإننا في الواقع نتحدث عن متوسطات تتمحور حولها القيم الفعلية. عدم تكرارية القيم الفعلية يرجع لعنصر العشوائية الطبيعي الموجود لدى الإنسان والعناصر المادية، فلو أنك في معمل اختبار المواد قمت بقسمة شريحة من معدن ما إلى قسمين وقمت بقياس خاصية ميكانيكية معينة لكل منهما فغالبا ستخرج بنتائج متقاربة لكن غير متطابقة. الآلات كغيرها من المنتجات أيضا لديها عنصرالعشوائية ناتج عن كونها مكونة من المادة ويشارك في تصنيعها وتشغيلها عنصر بشري، ولهذا السبب تحدث الأعطال أحيانا بشكل مفاجئ وبدون سابق إنذار وقد يختلف الأداء بين آلتين يفترض تطابقهما. تخيل لو أن خمس سيارات كهربائية من نفس النوع واللون والمواصفات منتجة في نفس المصنع ونفس الوردية تم تجهيزها

وإطلاقها بدون سائق تحت نفس الظروف (في وقت واحد بنفس السرعة ومن نفس النقطة) على طريق مستقيمة غير منتهية، هل سيحدث أول عطل لكل منها في نفس اللحظة الزمنية؟ وهل سيكون أول عطل هو نفسه لكل منها؟، بدون عنصر العشوائية الذي تحدثنا عنه هنا الجواب الوحيد لكلا السؤالين هو نعم ولكن وجوده يجعل احتمال صحة تلك الإجابة ضئيل جدا.

5-5-1 القانون الخامس

الدمج والتبسيط توفر وقت ومال وطاقه

هذا القانون أصله يرجع لمنهج الإدارة العلمية للعالم الشهير تايلور وتم على ضوئه استنباط أفكار كتلك التي بني عليها خط التجميع للصناعي فورد وفكرة تكنولوجيا المجموعات واللتين سيتم الحديث عنهما بالتفصيل لاحقا.، لذا فهذا القانون بالرغم من بساطته شكليا إلا أنه يقدم جملة من المبادئ المهمة التي يجب أن ترسخ في أذهان العاملين في تشغيل أو تصميم أو تطوير النظم.

الدمج يقصد به توحيد عملين أو أكثر من الأعمال المتشابهة في عمل واحد يتم تنفيذه على كل ما كان يخضع لأحد الأعمال المتفرقة قبل دمجها. مثلا لو أن عربة مناولة مواد تقوم بنقل منتج ما من نقطة معينة إلى أخرى من خلال نقلتين (مشوارين) وهي نصف ممتلئة أو أقل من ذلك في كل نقلة فإنه من الممكن تقليل الوقت اللازم لنقل الكمية المطلوبة وتقليل استهلاك الطاقة وعمر العربة من خلال دمج النقلتين في نقلة واحدة يتم فيها نقل كامل الكمية التي كانت موزعة بين النقلتين.

التبسيط يقصد به تصميم العمليات والمنتجات بأبسط شكل ممكن لتلافي كلفة أي تعقيد غير مبرر. عند تصميم المنتج هناك مفاهيم حديثة تطبق بشكل واسع مثل التصميم لأجل التصنيع والتصميم لأجل التجميع هدفها تصميم المنتج بطريقة تسهل (تقلل تكاليف) عمليتي تصنيعه وتجميعه. العملية الإنتاجية هي الأخرى يجب استهداف البساطة عند تصميمها وأي تعقيدات فيها يجب أن تكون مدروسة ومبررة. أهمية مبدأ التبسيط في عملية الإنتاج تأتي من إمكانية انبهار البعض، غير المبرر أحيانا، ببعض التقنيات الحديثة واعتقاده بأن الحل لمشاكل الإنتاج يكمن بالاستثمار فيها. هذا الاعتقاد قد يكون صحيح أحيانا، لكن لو كان خاطئا فالأموال ستدفع والمشاكل ستبقى. لذا فان من يمارس اتخاذ القرار في نظام تصنيع يجب أن لا يغفل عن حقيقة أن من لا يستطيع استغلال آلة بسيطة بشكل أمثل فلن يستطيع الاستغلال بشكل أفضل لأخرى أكثر تعقيدا من سابقتها.

خلاصة الوحدة الأولى

- الوظيفة الأساسية للنظم بمختلف أنواعها هي إضافة القيمة من خلال القيام بعملية تحويلية لتحويل مدخلات إلى مخرجات، بحيث تكون قيمة مخرجات النظام أعلى ما يمكن نسبة لقيمة مدخلاته.
- نظام التصنيع عبارة عن نظام يقوم بتحويل مواد خام إلى منتجات من خلال تسخير مجموعة من الموارد للقيام بمجموعة من المهام التي تمليها مجموعة من الخطط المرسومة سلفا بغرض تحقيق أعلى كفاءة إنتاجية ممكنة.
- الهدف الأساسي لأي نظام تصنيع هو تحقيق الأرباح المادية.
- تحقيق الأرباح في نظم التصنيع يمكن بلوغه من خلال العمل على: زيادة الطلب على الإنتاج و تقليل التكاليف و الالتزام بمعايير الجودة، وتقليل الوقت اللازم لتسليم المنتجات.
- المراحل الرئيسة لعملية الإنتاج الصناعي تشمل ما يلي: تصميم المنتج و تخطيط العمليات و تخطيط الإنتاج و تصنيع أجزاء المنتج و تجميع المنتج و ضبط الجودة و وتخزين الإنتاج.
- الإدارات المساندة لعملية الإنتاج الصناعي تشمل ما يلي: التسويق والمبيعات و المشتريات و المحاسبة و المالية، وإدارة الأفراد (الموارد البشرية).
- هناك مجال لاستخدام الحاسب الآلي في جميع مراحل الإنتاج الصناعي.
- في حالة استقرار النظام يتناسب متوسط الوقت الكلي لإنتاج المنتج طردياً مع متوسط كمية المخزون البيني في النظام، وثابت التناسب هو الطاقة الإنتاجية القصوى للنظام.
- تزداد موثوقية النظام بازدياد مكوناته التي تعمل على التوازي وتقل بازدياد عدد مكوناته التي تعمل على التوالي.
- عنصر العشوائية يؤثر في أداء نظم التصنيع بسبب وجوده في المادة وفي السلوك البشري.
- الدمج والتبسيط يوفران الوقت والمال والطاقة.

تمـــــارين - 1-

(1) أجب بـــ (نعم) أو (لا) :

1. مرحلة تخطيط الإنتاج تسبق مرحلة تخطيط العمليات في العملية الإنتاجية ( )
2. الهدف الأساسي لنظام التصنيع هو بيع أكبر كمية ممكنة من المنتجات ( )
3. تقل التكلفة الثابتة للوحدة بزيادة كمية الإنتاج. ( )

تحديد نوع المادة الخام يتم خلال مرحلة التصميم للمنتج. ( )

3. التخطيط لعمليات التصنيع للمنتج يتضمن تحديد شكله وأبعاده. ( )
4. تزداد موثوقية النظام بازدياد عدد مكوناته التي تعمل على التوازي ( )

(2) اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي :

1. جدولة الإنتاج تمثل أحد النشاطات التي تتضمنها مرحلة:

أ. تخطيط العمليات ب. تخطيط الإنتاج ج. تصميم المنتج

2. أحد أهم الاعتبارات عند تصميم نظام مناولة المواد :

أ. اختيار معدات مناولة المواد ب. جدولة عمليات مناولة المواد ج. تحديد كميات الإنتاج

3. التشغيل التقليدي للمعادن يتضمن:

أ. تشكيل المعدن بعد صهره ب. إزالة المعدن باستخدام التفريغ الكهربائي

ج. إزالة المعدن من خلال الاحتكاك بين الشغلة وعدة القطع.

(3) نظام تصنيع يقوم بإنتاج منتج واحد باستخدام خط إنتاج مكون من محطتين تعملان على التوالي. المحطة الأولى لا تحتوي طابور انتظار وتتكون من ثلاث ماكينات تعمل على التوازي كل منها يعالج قطعة واحدة كل 6 دقائق. المحطة الثانية مزودة بطابور انتظار يكفي لتخزين أي عدد من القطع وتتكون من ماكينة واحدة تعالج قطعة واحدة كل دقيقتين. بافتراض أن النظام في حالة الاستقرار وأن إدخال المواد إلى النظام يتم عندما تشغر أي ماكينة في المحطة الأولى، احسب ما يلي مع إهمال الوقت اللازم لمناولة المواد:

أ- الطاقة الإنتاجية للنظام

ب- متوسط كمية المخزون البيني

ج - متوسط الوقت اللازم لإنتاج القطعة

د- كمية الإنتاج للنظام خلال 8 ساعات عمل

(4) نظام تصنيع يتكون من محطتين A و B تعملان على التوالي. المحطة A تتكون من ماكينتين تعملان على التوازي موثوقياتهما 0.86 و 0.74 . المحطة B تتكون من ثلاث ماكينات تعمل على التوازي موثوقياتها 0.92 و 0.79 و 0.65 . احسب موثوقية النظام (R)

نظم التصنيع

تصنيف نظم التصنيع

الوحدة الثانية : تصنيف نظم التصنيع

الأهداف

بإكمال الوحدة الثانية يكون المتدرب قادراً على:

- أن يشرح الأسس المختلفة لتصنيف نظم التصنيع .
- أن يسمي الأنواع المندرجة تحت كل تصنيف ويقدم أمثلة عليها من الواقع.

تصنيف نظم التصنيع (2)

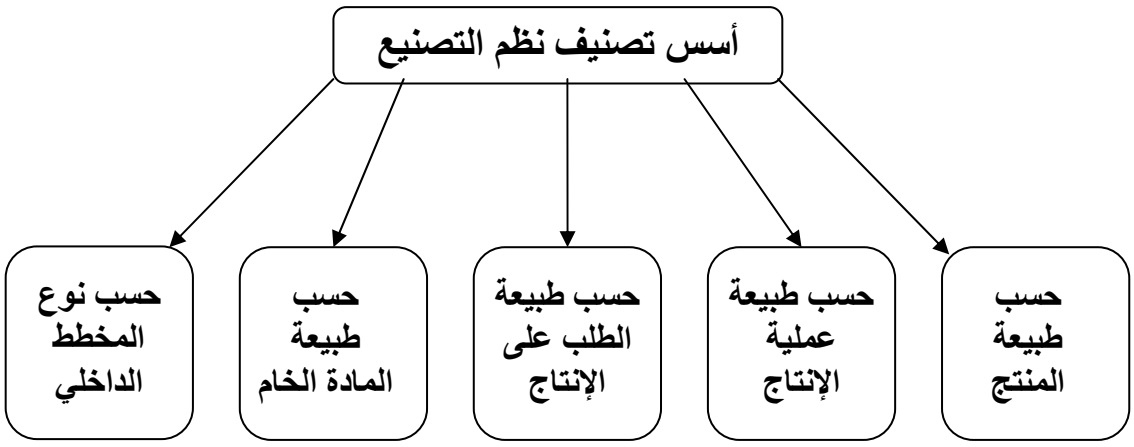
1-2 مقـــــــــدمة

نظرا لتطور الصناعة وتعدد أساليبها والمواد الخام المستخدمة فيها وكذلك الاختلاف في طبيعة منتجاتها ومستويات الطلب على تلك المنتجات فقد تم تصنيف نظم التصنيع استنادا لخصائص مختلفة. هذه التصنيفات لها دلالاتها نظرا للاختلافات الجوهرية الممكنة بين الأنواع المندرجة تحت نفس التصنيف من جوانب عديدة خصوصا ما يتعلق بالأسلوب الذي تتم فيه العملية الإنتاجية. لذا فإن دراسة تلك التصنيفات تفضي لفهم أعمق حول ماهية نظم التصنيع وأشكالها وخصائصها المختلفة.

هذه الوحدة تحتوي عرضاً تفصيلياً لأهم التصنيفات المعروفة لنظم التصنيع، وتجدر الإشارة إلى أن تلك التصنيفات قد تتقاطع فيما بينها ، مما يعني أن نظام تصنيع ما قد يندرج تحت أكثر من تصنيف.

2-2 أسس تصنيف نظم التصنيع

كما هو مبين في الشكل (2- 1) هناك خمسة عوامل يتم عادة تصنيف نظم التصنيع على أساسها وتشمل ما يلي: طبيعة المنتج و طبيعة عملية الإنتاج و طبيعة الطلب على الإنتاج و طبيعة المادة الخام، ونوع المخطط الداخلي. فيما يلي تعريف بتلك التصنيفات مع تفصيل أكثر حول أهمها وهو التصنيف حسب نوع المخطط الداخلي.



شكل (2-1): أسس تصنيف نظم التصنيع

2- 2- 1 التصنيف حسب طبيعة المنتج

في هذا التصنيف يتم التفريق بين نوعين مختلفين من النظم وهما النظم ذات المنتجات المنفصلة والنظم ذات المنتجات المتصلة.

2- 2- 1- 1 النظم ذات المنتجات المنفصلة (Discrete-Part Manufacturing)

المنتجات المنفصلة يقصد بها تلك التي يمكن تمييزها كوحدات مستقلة عن بعضها وبالتالي يمكن عدها مثل الأجهزة الكهربائية والسيارات والطائرات والماكينات والأثاث وغيرها. في تلك النظم يقاس حجم الإنتاج بعدد القطع، ويتم الإنتاج باستخدام أساليب التشكيل والتشغيل والتجميع.

2- 2- 1- 2 النظم ذات المنتجات المتصلة (Process Industries)

المنتجات المتصلة يقصد بها جميع المنتجات التي لا يمكن تمييزها كوحدات مستقلة عن بعضها قبل تعبئتها أو قصها للمقاسات المطلوبة، وتشمل جميع المنتجات السائلة والسائبة والورق والزجاج وحديد التسليح والأسلاك وما إلى ذلك. حجم الإنتاج في النظم ذات المنتجات المتصلة يقاس بوحدات الوزن أو الحجم أو الطول أو المساحة، ويتم الإنتاج باستخدام أساليب مثل المعالجة الكيميائية والحرارية والطحن وبعض عمليات التشكيل مثل السحب والدرفلة. غالبا تلك النظم تعمل على مدار الساعة لتلافي التكاليف العالية للتوقف وإعادة التشغيل، ويكون الإنتاج فيها بغرض التخزين وليس لتلبية طلبات محددة.

ينبغي الإشارة إلى أن الشركات الرائدة في الصناعة السعودية مثل أرامكو وسابك وغيرها من منتجي البتروكيماويات وكذلك شركات الألبان والمياه الصحية والمشروبات الغازية والأدوية والإسمنت كلها ذات منتجات متصلة. بالرغم من ذلك فإن هذه الحقيبة كبقية جميع الكتب تقريبا حول نظم التصنيع سيتم طرح محتوياتها من منظور النظم ذات المنتجات المنفصلة. هناك سببان لذلك. الأول هو أن النظم ذات المنتجات المتصلة، والتي عادة تتطلب تكاليف تأسيس باهظة، تتصف بأوتوماتيتها العالية في مناولة ومعالجة المواد وبانعدام التنوع الجوهري في منتجات الخط الواحد لديها. هذا مما يجعل محطات الإنتاج المتعاقبة على نفس الخط تتكامل مع بعضها لتشكل وحدة إنتاجية واحدة ذات عمل آلي متكرر، ويجعل مهمات القائمين على عملية الإنتاج فيها أقل تحدٍ مما هو عليه الحال في معظم النظم ذات المنتجات المنفصلة إذ تقتصر تلك المهمات غالبا على المراقبة والتحكم في كميات الإنتاج وإجراء أعمال الصيانة الثانوية. السبب الثاني هو أن النظم ذات المنتجات المتصلة تتشابه بشكل كبير في خصائصها مع النظم

ذات المنتجات المنفصلة التي تنتج كميات كبيرة من منتج واحد أو عائلة من المنتجات المتشابهة مثل نظم تجميع السيارات، لذا فإن ما ينطبق على أحدها غالبا ينطبق على الآخر.

2-2-2 التصنيف حسب طبيعة عملية الإنتاج

في هذا التصنيف يتم عادة تقسيم نظم الإنتاج الصناعي إلى نوعين، نظم تصنيع ونظم تجميع.

2- 2- 2- 1 نظم التصنيع (Fabrication Systems)

نظم التصنيع تقوم بإضافة قيمة للمادة الخام من خلال تغيير شكلها وذلك بإخضاعها لسلسلة عمليات تحويلية تجعلها ذات فائدة كمنتج نهائي أو جزء من منتج نهائي. كما أسلفنا فإن تغيير شكل المادة يتم فقط من خلال أسلوبي التشغيل والتشكيل.

2- 2- 2- 2 نظم التجميع (Assembly Systems)

نظم التجميع تقوم بإضافة القيمة من خلال ربط (تجميع) أجزاء مع بعضها لإنتاج منتج نهائي ذي فائدة مثل السيارات والثلاجات وغيرها، باستخدام عمليات الربط مثل الكبس واللحام واللصق والبرشمة. في بعض الحالات قد يقوم نفس النظام بتصنيع أجزاء منتجاته النهائية ومن ثم تجميعها في مرحله لاحقة، إلا أنه في الغالب تقوم النظم التي تنتج منتجات متعددة الأجزاء مثل السيارات والطائرات بالاعتماد على متعهدين لتوفير معظم أو جميع الأجزاء التي تتكون منها منتجاتها.

2- 2- 3 التصنيف حسب طبيعة الطلب على الإنتاج

تصنف نظم التصنيع حسب طبيعة الطلب على الإنتاج إلى نوعين وهما: النظم ذات الإنتاج المتقطع والنظم ذات الإنتاج المستمر.

2- 2- 3- 1 النظم ذات الإنتاج المتقطع (Intermittent Production)

الإنتاج المتقطع (المتناوب) هو الإنتاج الذي لا تستمر فيه عملية الإنتاج بإنتاج منتج محدد، وذلك لكون النظام ينتج منتجات تختلف متطلبات إنتاجها بكميات منخفضة إلى متوسطه. بسبب الاختلاف بين المنتجات تستخدم في تلك النظم ماكينات ذات أغراض عامة وعمالة فنية ذات مهارة متوسطة إلى عالية. عادة يتم التفريق بين نوعين من الإنتاج المتقطع وهما الإنتاج بالدفعة (Batch Production) والإنتاج بالطلبية (Job Shop Production).

النظم ذات الإنتاج بالدفعة هي نظم تنتج تشكيلة ثابتة من المنتجات المتشابهة (مثل إنتاج الدهانات بألوان أو خصائص مختلفة) أو المنتجات غير المتشابهة (مثل الأثاث وقطع غيار السيارات). في هذا النوع من الإنتاج تتناوب المنتجات على استخدام عملية الإنتاج بحيث يتم إنتاج كمية محددة من كل منتج يحين دور إنتاجه. تلك الكمية تسمى حجم الدفعة (Batch Size) ومقدارها عادة يتأثر بوقت التجهيز اللازم لتهيئة عملية الإنتاج بين المنتجات المتعاقبة، إذ كلما زاد وقت التجهيز تتم زيادة حجم الدفعة لتقليل متوسط وقت وتكلفة التجهيز للوحدة.

النظم ذات الإنتاج بالطلبية هي النظم التي تكون منتجاتها تلبية مباشرة لمواصفات العملاء التي تتميز بالتنوع الشديد وقلة الكمية، إذ قد يصل الطلب أحيانا لوحدة واحدة كما هو الحال في صناعة القوالب. تنوع المنتجات وعدم ثبات تشكيلتها في تلك النظم يجعلها بحاجة ليس فقط لماكينات ذات أغراض عامة ولكن لمستوى عالٍ من المرونة في عملية الإنتاج ولمهارات فنية عالية لدى القائمين عليها.

2- 2- 3- 2 النظم ذات الإنتاج المستمر (Continuous Production)

النظم ذات الإنتاج المستمر هي النظم التي تنتج منتجاً واحداً (مثل الإسمنت) أو تنتج، بشكل متوازٍ (غير متعاقب)، عدد قليل من المنتجات المتشابهة بكميات ضخمة (مثل السيارات). ماكينات الإنتاج في تلك النظم من النوع المتخصص الأغراض عالي الكفاءة، لذا يكون الاستثمار فيها برأس مال كبير. تتصف تلك النظم بالمستوى المتدني نسبيا في مهارة العاملين نظرا لتكرارية العمل.

2- 2- 4 التصنيف حسب طبيعة المادة الخام

يتم في هذه الحالة تصنيف نظم التصنيع حسب نوع الخامة التي يتم تحويلها إلى منتجات مباشرة أو تجهيزها للاستخدام في صناعات أخرى، ويشمل هذا التصنيف كافة أنواع الخامات سواءً كانت مستخرجة من باطن الأرض أو من سطحها وعلى هذا الأساس تصنف نظم التصنيع إلى خمسة أنواع تتضمن الصناعات المعدنية والهندسية والكيميائية والغذائية وصناعة الغزل والنسيج.

2- 2- 4 - 1 الصناعات المعدنية

الصناعات المعدنية هي الصناعات التي يتم فيها استخلاص المعادن من خاماتها وتجهيزها بصورة محددة أو مقاطع هندسية قياسية تمكن من استخدامها في صناعات أخرى، مثل الصناعات الهندسية أو مجال الإنشاءات. وتحتاج الصناعات المعدنية عموماً إلى مقدرات هندسية وتقنية عالية.

2- 2- 4 - 2 الصناعات الهندسية

الصناعات الهندسية هي الصناعات التي تقوم بتحويل منتجات الصناعات المعدنية إلى سلع إنتاجية مثل ماكينات العدد وأدوات القطع، أو سلع استهلاكية مثل الأجهزة المنزلية والسيارات، وتحتاج مثل هذه الصناعات إلى أفراد ذي تأهيل وخبرات هندسية وتقنية مرتفعة. وفي الواقع فإن الصناعات الهندسية تشكل صناعة محورية يعطي تقدمها مؤشرات مهمة جداً على مدى تقدم القطاع الصناعي ككل.

2- 2- 4 - 3 الصناعات الكيميائية

الصناعات الكيميائية هي الصناعات التي تعتمد على عمليات فيزيائية وكيميائية لمعالجة الخامات المختلفة وتحويلها إلى منتجات، وذلك مثل صناعات البتروكيماويات والأدوية والزجاج والقلويات وغيرها.

2- 2- 4 - 4 صناعة الغزل والنسيج

صناعات الغزل والنسيج هي الصناعات التي يتم فيها تحويل الألياف الطبيعية والصناعية إلى خيوط ومنسوجات وحبال وسيور وغيرها من منتجات.

2- 2- 4 - 5 الصناعات الغذائية

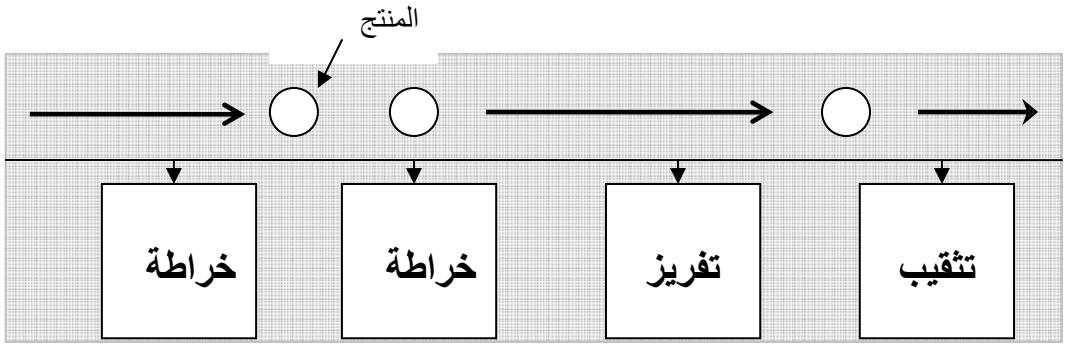
الصناعات الغذائية هي الصناعات العاملة في حفظ وتعبئة وتصنيع مختلف المنتجات الزراعية والحيوانية في شكل أغذية محفوظة أو معلبة أو مشروبات أو حلويات.

2- 2- 5 التصنيف حسب نوع المخطط الداخلي لأرضية المصنع (Shop Layout)

بشكل عام المخطط الداخلي لأرضية المصنع يقصد به الطريقة التي يتم بها تقسيم أرضية المصنع لتحديد مواقع العمليات الإنتاجية بالنسبة لبعضها وبالتالي تحديد اتجاهات سير المواد. هناك أربعة أنواع معروفة من المخططات الداخلية وتشمل ما يلي: 1) المخطط القائم على أساس المنتج، 2) المخطط القائم على أساس عملية الإنتاج (المخطط الوظيفي)، 3) المخطط الخلوي (مخطط تكنولوجيا المجموعات)، 4) مخطط الموقع الثابت. فيما يلي وصف لتلك المخططات ونبذة عن المميزات الخاصة بكل منها.

2- 2- 5- 1 المخطط القائم على أساس المنتج (Product Layout)

المخطط القائم على أساس المنتج هو مخطط يتم تصميمه حسب احتياجات الإنتاج لمنتج معين، إذ توضع فيه الماكينات (أو المحطات) ذات الأغراض الخاصة على خط وحيد الاتجاه بتسلسل مطابق لتسلسل عمليات إنتاج المطلوب، وعادة تتم فيه مناولة المواد بين المحطات المتعاقبة باستخدام سير ناقل (Belt Conveyor) يتحرك بنفس اتجاه الخط ويتوقف عند كل محطة لتفريغ المواد الداخلة لها وشحن المواد الخارجة منها. هذا المخطط يناسب فقط النظم التي يتم فيها إنتاج كميات كبيرة من منتج واحد (إنتاج مستمر) أو عائلة من المنتجات شديدة التشابه (إنتاج بالدفعة). سبب اشتراط الكميات الكبيرة هو لتبرير كلفة بناء خط إنتاج متخصص في إنتاج منتج محدد.



شكل (2-2): شكل توضيحي للمخطط القائم على أساس المنتج

هناك العديد من المسميات المتداولة للمخطط القائم على أساس المنتج مثل خط السريان وخط التجميع وخط فورد وخط الانتقال وما إلى ذلك من المسميات التي قد تختلف باختلاف نوع التطبيق إلا أن الفكرة والأهداف الأساسية هي نفسها التي بدأها هنري فورد وحقق من خلالها نجاحا باهرا في مستهل القرن الماضي حين قرر استثمار فكرة التطابق بين المنتجات في مصنعه للسيارات لإنتاج سيارة يكون سعرها بمتناول الجميع من خلال خفض تكاليف إنتاج الوحدة وإنتاج كميات كبيرة منها.

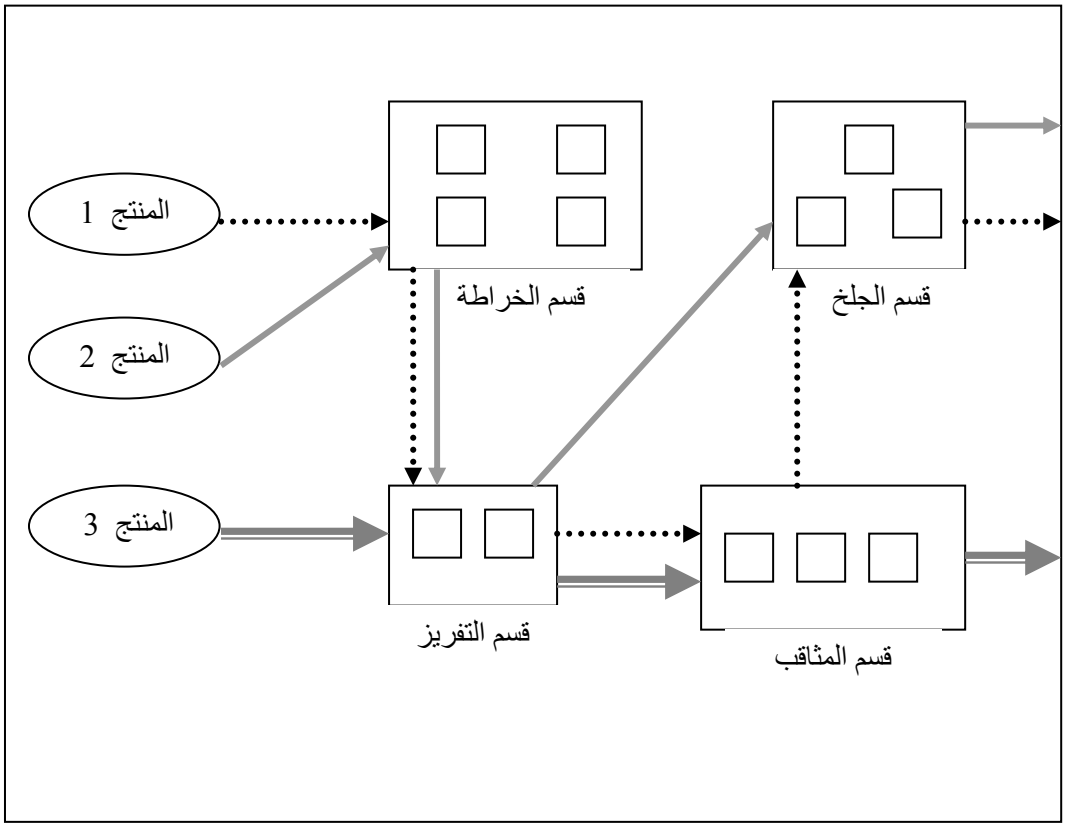
هناك عدد من الميزات والعيوب المصاحبة للمخطط القائم على أساس المنتج. الميزات تشمل ما يلي: 1) الكفاءة التشغيلية العالية بسبب قصر أوقات التجهيز الناتج عن تشابه أو تطابق المنتجات المتعاقبة وقصر أوقات مناولة المواد الناتج عن كون جميع المنتجات تسلك نفس المسار، 2) انخفاض تكلفة إنتاج الوحدة نتيجة إنتاج كميات كبيرة، 3) تكرارية العمل تقلل الحاجة لمهارة فنية عالية مما يقلل تكاليف

الأجور والتدريب للعاملين، 4) استغلال المعدات ووقت اليد العاملة يكون بدرجة عالية، 5) الحاجة لجدولة الإنتاج بسيطة أو معدومة.

العيوب تشمل ما يلي: 1) انخفاض مرونة النظام في الاستجابة للتغيرات في تشكيلة المنتجات وللأعطال، حيث إن أي عطل في معدة ما قد يسبب تعطل كامل النظام، 2) ارتفاع تكلفة المعدات ذات الأغراض الخاصة والتي تستخدم في هذا المخطط، 3) الملل قد يحدث للعاملين بسبب تكرارية العمل.

2- 2- 5- 2 المخطط القائم حسب عملية التصنيع (Process Layout)

كما هو مبين في الشكل (2- 3) المخطط القائم حسب عملية التصنيع، والذي يسمى أيضا المخطط الوظيفي (Functional Layout)، يتم فيه تقسيم أرضية المصنع إلى أقسام كل منها مخصص لأداء عملية معينة (خراطه أو تفريز أو ثقب أو كبس أو لحام، ...الخ) ويحتوي على جميع الماكينات التي تقوم بهذه العملية والفنيين المتخصصين بتشغيل تلك الماكينات، بحيث تتم عملية الإنتاج من خلال تنقل كل منتج من قسم إلى آخر حسب ما تمليه خطة التصنيع الخاصة به.



شكل (2-3) شكل توضيحي للمخطط القائم حسب نوع عملية التصنيع

هذا المخطط يناسب البيئات ذات التنوع الكبير في المنتجات والكميات المنخفضة إلى متوسطة، لذا فهو يعتبر النظام التقليدي المستخدم في نظم التصنيع التي يكون فيها الإنتاج بالطلبية أو بالدفعة وفي معظم النظم الخدمية مثل المستشفيات والمطارات والجامعات.

يلاحظ من الوصف المعطى أن الطريقة التي يتم بها تقسيم أرضية المصنع في المخطط الوظيفي غير مرتبطة إطلاقا بنوع المنتجات كما في المخططات الأخرى، ولهذا فإن هذا المخطط يعتبر الأكثر مرونة في استيعاب التغيرات المستقبلية في تشكيلة المنتجات وكذلك الأكثر مرونة في مواجهة الأعطال المفاجئة حيث يسهل تغيير مسار الإنتاج لماكينة أخرى في نفس القسم. تلك الميزة الاستراتيجية جعلت من الصعب على الكثيرين، خصوصا في الصناعة الأمريكية، التخلي عنه لصالح المخطط الأحدث والأكثر مزايا تشغيلية وهو المخطط الخلوي (مخطط تكنولوجيا المجموعات) والذي سيرد وصفه لاحقا. فيما يلي عرض لأهم العيوب التشغيلية المصاحبة للمخطط الوظيفي:

1- طول وقت التجهيز للماكينات الناتج عن قلة التشابه بين المنتجات.
2- طول مسافة مناولة المواد الناتج عن تنقل المنتجات بين أقسام مختلفة.
3- طول متوسط الوقت الكلي لإنتاج الوحدة الناتج عن طول أوقات التجهيز ومناولة المواد.
4- زيادة المخزون البيني (WIP) في النظام نتيجة الحاجة غالبا لزيادة حجم الدفعة لكل منتج بغرض تخفيض متوسط تكلفة التجهيز والمناولة للوحدة.
5- صعوبة جدولة الإنتاج الناتجة عن تنوع المنتجات واختلاف مساراتها.
6- انخفاض مستوى استغلال وقت الماكينات والأيدي العاملة
7- ارتفاع تكلفة العمالة نتيجة الحاجة للمهارات الفنية عالية المستوى.
8- صعوبة تحديد المسئولية حول مخرجات الإنتاج لتعدد الأقسام التي تساهم في إنتاج المنتج.

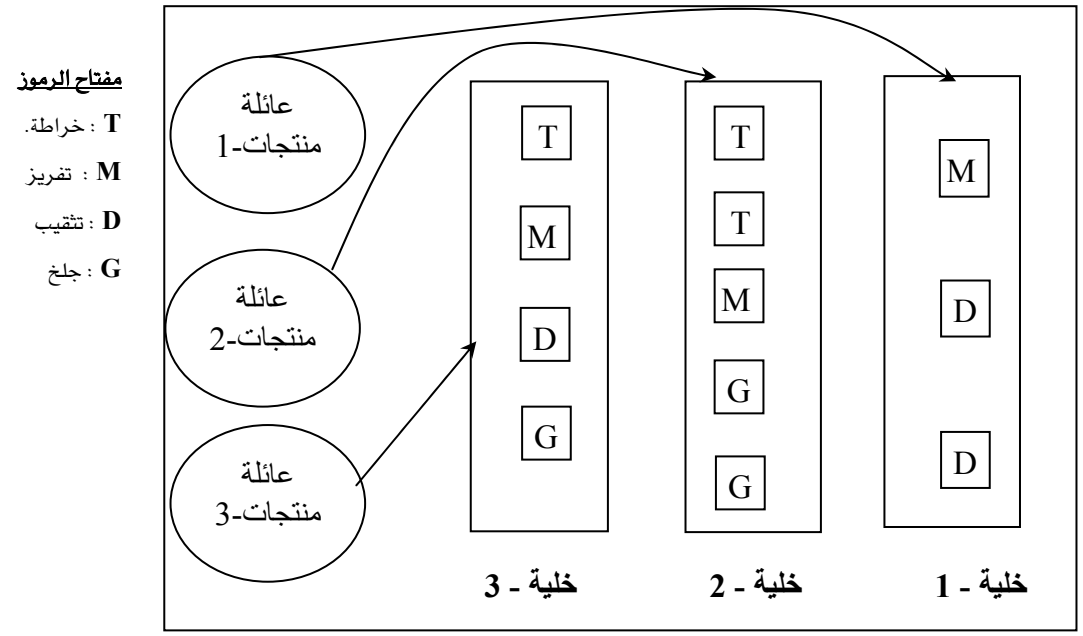
2- 2- 5- 3 المخطط الخلوي (Cellular Layout)

المخطط الخلوي، والذي يسمى أيضا مخطط تكنولوجيا المجموعات، يستخدم في ما يسمى بنظام التصنيع الخلوي (Cellular Manufacturing System) وهو نظام حديث نسبيا. كما هو مبين في الشكل (2- 4) في هذا المخطط يتم تقسيم أرضية المصنع إلى عدد من الخلايا كل منها يحتوي مجموعة من الماكينات (غير المتشابهة في الغالب) ويقوم بإنتاج مجموعة من المنتجات المتشابهة تسمى عائلة منتجات، بحيث يتم إنتاج كل منتج بشكل كامل أو شبه كامل في الخلية المسئولة عن إنتاج العائلة التي ينتمي

إليها. يعتبر النظام الخلوي التطبيق الأكثر تقدماً لفلسفة تكنولوجيا المجموعات والتي تدعو للاستفادة من التشابه بين المنتجات في سبيل تقليل تكاليف إنتاجها.

المخطط الخلوي يناسب بيئات التصنيع ذات الكميات المتوسطة والنوعية المتوسطة، وقد برز كبديل أفضل للمخطط الوظيفي منذ ستينيات القرن الماضي وذلك لقدرته على التغلب على العيوب التشغيلية المصاحبة للمخطط الوظيفي بالإضافة لتمتعه ببعض مزايا المخطط القائم على أساس المنتج.

الوحدة الثالثة تتضمن تفصيلات حول تكنولوجيا المجموعات ومزايا وعيوب النظام الخلوي مقارنة بالنظام الوظيفي.



شكل (2- 4): شكل توضيحي للمخطط الخلوي

2- 2- 5- 4 مخطط الموقع الثابت (Fixed Position Layout)

مخطط الموقع الثابت هو أبسط أنواع المخططات ويستخدم في حالة بناء وتجميع المنتجات ضخمة الحجم مثل السفن والطائرات. استخدام مصطلح *الموقع الثابت* يعود لكون المنتج ثابتاً في موقع معين بينما تجلب له احتياجات إنتاجه من معدات وعمالة بالإضافة للمواد والأجزاء المطلوبة لتجميعه. هذا يجعل منه حاله خاصة تختلف جذريا عن الأسلوب العام المتبع في التصنيع والمتضمن ثبات مواقع العمليات وتنقل المنتج للحصول على احتياجاته منها.

خلاصة الوحدة الثانية

- يمكن تصنيف نظم التصنيع على خمسة أسس هي:
  1. طبيعة المنتج.
  2. طبيعة المعالجة.
  3. نوع المخطط الداخلي لأرضية المصنع.
  4. طبيعة الطلب على الإنتاج.
  5. نوع المادة الخام.
- التصنيف حسب طبيعة المنتج يقسم نظم التصنيع إلى مجموعتين : منتج متفرد يحدد إنتاجه بعدد القطع المنتجة، ومنتج مستمر السريان يقدر إنتاجه بالحجم أو الوزن .
- التصنيف حسب طبيعة المعالجة ينتج عنه ثلاثة أنواع: تصنيع بالتشغيل و تصنيع بالتشكيل و تصنيع بالتجميع.
- التصنيف حسب نوع المخطط الداخلي لأرضية المصنع يؤدي إلى أربعة أنواع : الموقع الثابت و نوع عملية التصنيع و المنتج و تكنولوجيا المجموعات .
- التصنيف طبقاً لحجم ومعدل الإنتاج يشمل الأنواع التالية : الإنتاج بالطلبية و الإنتاج على دفعات و الإنتاج الكمي .
- اعتماد نوع المادة الخام كأساس للتصنيف يقود إلى خمس مجموعات: الصناعات المعدنية و الصناعات الهندسية و الصناعات الكيميائية و صناعات الغزل والنسيج و الصناعات الغذائية.
- نوع نظام التصنيع يتأثر بمستوى الطلب على المنتج ومستوى التقنية المستخدمة ، ويؤثر بدوره على تخطيط ومراقبة الإنتاج وسياسات التخزين الواجب اتباعها .
- تصنيف نظم التصنيع تكتنفه صعوبات في بعض الأحوال .

تمـــــارين - 2 -

(1) أجب بـ (نعم) أو (لا) فيما يلي :

1. المخطط القائم على نوع عملية التصنيع يقتضي وجود الماكينات من النوع الواحد في نفس القسم. ( )
2. مخطط الموقع الثابت يتميز بخفة وزن منتجاته . ( )
3. في نظام الإنتاج على دفعات تكون الطاقة أقل من حجم الطلب. ( )
4. تستخدم ماكينات متخصصة الأغراض في حالة الإنتاج بالطلبية . ( )
5. يتميز نظام الإنتاج الكمي بتنوع منتجاته. ( )

(2) أكمل العبارات التالية بوضع الكلمة المناسبة في محل كل فراغ:

1. من أمثلة مخطط الموقع الثابت للتصنيع تجميع ..... وبناء .....
2. الصناعات ..... صناعة محورية تدل على مدى تقدم القطاع الصناعي.
3. يستخدم نظام الإنتاج على دفعات ماكينات ..... الأغراض ، يرافقها عادة وسائل ..... و .....القطع.ات القطع .
4. يمكن تصنيف مصفاة لإنتاج النفط كمخطط قائم على ..... .

(3) اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي :

1. في حالة الإنتاج بنظام الدفع يكون حجم الإنتاج :

   أ. منخفض. ب. مرتفع . متوسط.توسط .
2. تم تطوير خطوط السريان أصلاً لـــ :

   أ. التجميع. ب. التشغيل. التشكيل.شكيل .
3. المستوى التقني للعاملين في نظام إنتاج بالطلبية يكون عادة :

   أ. مرتفعاً. ب. منخفضاً. ج. غير محدد

نظم التصنيع

نظم التصنيع الحديثة

الوحدة الثالثة :نظم التصنيع الحديثة

الأهداف

بإكمال الوحدة الثالثة يكون المتدرب قادراً على:

- أن يشرح المفهوم الأساسي لتكنولوجيا المجموعات والمزايا المصاحبة لها.
- أن يصف التصنيع بنظام الخلايا والبيئة المناسبة لاستخدامه، ويشرح العلاقة بينه وبين تكنولوجيا المجموعات.
- أن يعقد مقارنات تفصيلية بين التصنيع بنظام الخلايا والنظم ذات المخططات الداخلية المصممة حسب نوع عملية التصنيع.
- أن يشرح الأهداف والمراحل الرئيسة لعملية تصميم خلايا التصنيع، ويصف العلاقات بين المراحل المتعاقبة.
- أن يقدم أمثلة حول تطبيقات تكنولوجيا المجموعات في نظم التصنيع.
- أن يشرح المفاهيم الأساسية لكل من نظامي التصنيع المرن (FMS) و التصنيع المتكامل بالحاسب (CIM) وأن يذكر مع التعريف أهم أنواع المرونة المطلوبة في نظم التصنيع.
- أن يتمكن من تشكيل خلايا التصنيع باستخدام كلٍّ من خوارزم العلاقة المفردة للتجميع (SLCA) وخوارزم التجميع بترتيب القيمة الرقمية (ROC).

نظم التصنيع الحديثة (3)

3- 1 مقـــــــدمة

بعد وقت قصير من نهاية الحرب العالمية الثانية أي في خمسينيات القرن الماضي حدثت عدة تطورات علمية وتقنية كنتيجة طبيعية لاختراع وتطور الحاسب الآلي والذي يمثل العمود الفقري لتلك التطورات. زيادة حدة المنافسة وتنامي الطلب بمعدل غير مسبوق أدى لمواصلة الابتكار والتطوير للعديد من التقنيات والمفاهيم الحديثة في مجال الإنتاج الصناعي والتي جعلت بالإمكان الاستجابة ليس فقط للطلب الكمي الضخم على المنتجات بل وفرت المرونة اللازمة لإنتاج منتجات متنوعة بكميات صغيرة وتكلفة منخفضة.

اختراع ماكينات التحكم الرقمي بالحاسب ((Computer Numerical Control (CNC) يمثل أحد أهم تلك التطورات إذ حد بشكل كبير من الحاجة الماسة لعمالة ماهرة لتشغيل نظم التصنيع وفتح الباب على مصراعيه لأتمتة تلك النظم. اختراع تلك الماكينات تلاه بروز نظم ومفاهيم عديدة ساهمت بشكل كبير في زيادة الاعتماد على ماكينات التحكم الرقمي من أهمها نظم التصميم والتصنيع المدعم بالحاسب (CAD/CAM) ونظم التصنيع المرنة (FMS). أيضا برزت فلسفة تكنولوجيا المجموعات (GT) والتي ساهمت بتطوير وتحديث نظم التصنيع من خلال تطبيقاتها المتعددة وأهمها نظام التصنيع الخلوي (CMS) والذي حقق نجاحا ملحوظا لما يتميز به من ميزات استراتيجية وتشغيلية مقارنة بالنظم التقليدية. تلك التطورات أصبح بالإمكان منذ ثمانينيات القرن الماضي تسخيرها والاستفادة منها تحت مظلة واحدة تتمثل في ما يسمى بنظم التصنيع المتكامل بالحاسب (CIM).

في هذه الوحدة سيتم التعريف بأبرز نظم التصنيع الحديثة مثل نظم التصنيع الخلوية ونظم التصنيع المرنة ونظم التصنيع المتكامل بالحاسب ودعاماتها من مفاهيم مثل تكنولوجيا المجموعات ومرونة التصنيع والتصميم والتصنيع بالحاسب.

3- 2 تكنولوجيا المجموعات وتطبيقاتها في نظم التصنيع

تكنولوجيا المجموعات ((Group Technology (GT) هي فلسفة تصنيع تدعو إلى استثمار التشابه بين الأشياء (منتجات و أعمال و معدات و مسارات نقل، ...، الخ) لتقليل تكاليف التصنيع وزيادة الإنتاجية. تلك الفلسفة حققت شهرة واسعة في مجال الإنتاج الصناعي حيث يتم تطبيقها في عدة أمور مثل تصميم المنتجات وتخطيط العمليات وتخطيط الإنتاج ومناولة المواد وتجهيز الماكينات وتصميم المخطط

الداخلي. التطبيق الأكثر تقدماً من بين تلك التطبيقات هو نظام التصنيع الخلوي والذي سيتم التعريف به لاحقا.

في مرحلة تصميم المنتجات يتم تطبيقها من خلال حفظ التصاميم المعتمدة لجميع المنتجات في قاعدة بيانات للاستفادة منها عند الحاجة لإعداد تصميم لمنتج جديد. يتم البحث بين المنتجات المحفوظة تصاميمها في قاعدة البيانات عن المنتج ذي المواصفات الأكثر تشابه مع مواصفات المنتج الجديد، ومن ثم يتم استخدام التصميم الخاص به كتصميم ابتدائي للمنتج الجديد وتجرى عليه التعديلات اللازمة. هذا الأسلوب يغني عن الحاجة للبدء من نقطة الصفر عند إعداد كل تصميم مما يوفر الكثير من الوقت والجهد والمال. بنفس الأسلوب يتم تطبيق تكنولوجيا المجموعات في مرحلة تخطيط العمليات (Process Planning) حيث يستفاد من خطط العمليات للمنتجات السابقة والحالية في بناء خطط العمليات للمنتجات الجديدة. في تجهيز الماكينات يتم تطبيق فكرة تكنولوجيا المجموعات من خلال استخدام مثبتات قياسية (Standardized Fixtures) تناسب مجموعة من المنتجات. في مرحلة تخطيط الإنتاج أيضا هناك العديد من تطبيقات تكنولوجيا المجموعات أهمها ما يسمى بجدولة المجموعة (Group Scheduling) والتي يتم فيها تصنيف المنتجات إلى مجموعات حسب تشابهها من حيث احتياجات التجهيز ومن ثم تتم جدولة تلك المجموعات بدلا من جدولة منتجات مستقلة. في عملية مناولة المواد يتم استثمار تشابه كمية كبيرة من المنتجات من حيث حاجتها للانتقال بشكل متكرر بين نقطتين معينتين، وذلك من خلال استخدام معدة مناولة مواد ثابتة المسار مثل السير الصناعي والاستفادة من المزايا التي تنتج عن الاستخدام المبرر لتلك المعدات والتي سيتم التطرق لها في الوحدة الخامسة.

3-3 نظام التصنيع الخلوي (Cellular Manufacturing System (CMS))

3- 3- 1 مقدمة

كما أسلفنا، يعتبر نظام التصنيع الخلوي التطبيق الأكثر تقدما لفلسفة تكنولوجيا المجموعات. هذا النظام طرح فكرته العالم الروسي ميتروفانوف في العام 1955 واشتهرت تلك الفكرة على يد العالم الانجليزي بيربيدج الذي قام بترجمة أفكار ميتروفانوف للانجليزية في العام 1960 وكتب سلسلة من الأبحاث بعد ذلك لتطوير ما بدأه ميتروفانوف. بشكل أساسي، نظام التصنيع الخلوي هو نظام يقوم على مخطط داخلي مكون من عدة خلايا (Manufacturing Cells) كل منها يحتوي على مجموعة من الماكينات (Machine Group) غير المتشابهة في الغالب ومخصص لإنتاج مجموعة من المنتجات المتشابهة تسمى عائلة منتجات (Part Family). هذا المخطط كما أسلفنا في الوحدة الأولى يسمى المخطط الخلوي

كما يسمى أحيانا مخطط تكنولوجيا المجموعات. النموذج المثالي للنظام الخلوي كما طرحه ميتروفانوف يفترض استقلالاً تاماً للخلايا عن بعضها (أي أن جميع المنتجات يتم إنتاجها بالكامل في الخلية المسئولة عن إنتاجها) كما يفترض مخطط داخلي في كل خلية من النوع القائم على أساس المنتج يتم فيه إنتاج جميع المنتجات أعضاء العائلة المقابلة كما لو كانت منتجاً واحداً بسبب شدة تشابهها. في حال توفرت تلك الشروط المثالية فان النظام الخلوي سيمكن مستخدميه من الجمع بين المزايا التشغيلية للمخطط القائم على أساس المنتج والمزايا ألاستراتيجية للمخطط الوظيفي ولتي تم التطرق لكل منها في الوحدة السابقة. في الواقع العملي يصعب توفر مثل تلك المواصفات بشكل كامل، لكن هذا الواقع أثبت أنه مع وجود عدد معقول من الانتقالات المتبادلة بين الخلايا (Intercell Moves) ووجود بعض الاختلاف بين أعضاء العائلة الواحدة في أنواع أو تسلسل ماكيناتها (مما قد لا يبرر استخدام مخطط قائم على أساس المنتج) فان النظام الخلوي يظل لديه الكثير من الميزات التي قد تجعله البديل الأفضل للنظام الوظيفي التقليدي خاصة في حالة التنوع المتوسط في المنتجات وحجم الطلب المتوسط عليها.

3- 3- 2 مقارنه بين المخطط الخلوي والمخطط الوظيفي

في الوحدة الثانية الخاصة بتصنيف نظم التصنيع قمنا بوصف المخطط الوظيفي وتطرقنا لعيوبه الرئيسة. جميع هذه العيوب تقريبا يمكن التخلص منها باستخدام المخطط الخلوي، إلا أنه يجب الإشارة إلى أن المخطط الوظيفي يظل يتمتع بالميزة الاستراتيجية المتمثلة في كونه أكثر مرونة من المخطط الخلوي في التعامل مع التغيرات في خليط المنتجات (Product Mix Flexibilityty) ومع الحاجة الطارئة أحيانا لتغيير مسارات الإنتاج لمنتج أو منتجات معينة (Routing Flexibility).

فيما يلي أبرز المزايا التي يتميز بها المخطط الخلوي على المخطط الوظيفي:

9- متوسط وقت التجهيز للماكينات أقل (وبالتالي الاستغلال للماكينات أكبر) في المخطط الخلوي نتيجة التشابه بين المنتجات التي تنتمي لنفس العائلة

10- متوسط مسافة مناولة المواد أقل في المخطط الخلوي لكون الانتقال فيه يتم داخل حيز خلية بينما في الوظيفي يتم بين أقسام مختلفة، مما يقلل من تكاليف الطاقة واستهلاك معدات المناولة.

11- متوسط حجم الدفعة (Batch Size) أقل في المخطط الخلوي نتيجة تقليل متوسطات وقت التجهيز ومسافة مناولة المواد مما يسهل التحكم في المخزون ويقلل تكلفة التخزين.

12- انخفاض حجم الدفعة في المخطط الخلوي مقارنة بالوظيفي يجعل متوسط كمية المخزون البيني (WIP) (وبالتالي متوسط وقت الانتظار) فيه أقل.

13- متوسط الوقت الكلي لإنتاج الوحدة (Throughput Time) أقل في المخطط الخلوي نتيجة تقليل متوسطات أوقات التجهيز والانتظار ومناولة المواد، مما يساهم في زيادة الطاقة الإنتاجية للنظام.

14- صعوبة جدولة الإنتاج في المخطط الوظيفي الناتجة عن تنوع المنتجات واختلاف مساراتها يتم تجاوزها إلى حد كبير في المخطط الخلوي حيث تكون الجدولة على مستوى الخلية بدل كامل النظام، مما يساهم في رفع الكفاءة الإنتاجية وحسن استغلال أوقات الماكينات والعمالة.

15- ارتفاع تكلفة العمالة في المخطط الوظيفي نتيجة الحاجة للمهارات الفنية عالية المستوى يتم تجاوزه في المخطط الخلوي حيث العمل يكون في خلية ذات مجموعة صغيرة من الماكينات تنتج عائلة من المنتجات المتشابهة، مما يتطلب مستوى متوسط من المهارة.

16- صعوبة تحديد المسؤولية حول مخرجات الإنتاج في المخطط الوظيفي لتعدد الأقسام التي تساهم في إنتاج المنتج يتم تجاوزها في المخطط الخلوي حيث كل خلية تنتج منتجاتها بالكامل ومشرف الخلية مسئولين مباشرة عن جودة مخرجاتها وعن الالتزام بمواعيد التسليم لتلك المنتجات.

17- نظرا لكون خلية التصنيع عموماً تقوم بكل عمليات التصنيع المطلوبة لعائلة من المنتجات فإن هذا يوفر خطوة أساسية نحو الأتمتة.

3- 3- 3 أمثلة من الواقع لتطبيقات ناجحة لنظام التصنيع الخلوي

وسنورد هنا مثالين من الواقع لشركات قامت بالتحويل من النظام الوظيفي إلى النظام الخلوي ونشرح خلاصة التطبيق الذي تم والفوائد التي تم جنيها.

المثال الأول من الهند حيث استطاعت الشركة الهندية الهندسية (Indian Engineering Company) أن تطبق النظام الخلوي بنجاح على مصنعها ذي المخطط الوظيفي المكون من 6 أقسام، والذي ينتج 3500 منتج تشمل مختلف الوصلات والجلب والمثبتات بكميات تتراوح بين وحدة واحدة و 9000 وحدة، وكل منتج تحتاج الوحدة منه إلى عمليات تصنيع تتراوح بين عملية واحدة و 18 عملية. يستخدم المصنع 120 ماكينة من ماكينات التشغيل والتشكيل.

عندما قررت الشركة التحول إلى النظام الخلوي استطاعت أن تعيد تنظيم المصنع على شكل 14 خلية تصنيع تراوحت أعداد الماكينات فيها ما بين ماكينتين و 13 ماكينة، بينما تراوح عدد القطع المنتجة في كل خلية ما بين 36 منتجاً و 729 منتجاً. الفوائد التي جنتها الشركة من هذا التحول تشمل ما يلي:

- تخفيض عدد الماكينات من 120 ماكينة إلى 94 ماكينة .
- تحسنت النسبة المئوية لاستغلال ماكينات التصنيع من 51٪ إلى 74٪.
- انخفض متوسط المخزون البيني بشكل ملحوظ وكذلك انخفض النقص في القطع المكتملة التصنيع اللازمة لعمليات التجميع نتيجة للتخفيض في الزمن الكلي للتصنيع.
- مساحة الأرضية اللازمة لوضع الماكينات نقصت بنسبة 21٪.
- التحكم في الإنتاج أصبح أكثر سهولة وفعالية.

المثال الثاني من المملكة المتحدة ويعود إلى شركة الفرد هيربيرت (Alfred Herbert) العاملة في مجال تصنيع ماكينات العدد، حيث تنتج هذه الشركة - المصنفة ضمن شركات التصنيع المتوسط إلى الثقيل – أكثر من 70000 من قطع المنتجات المختلفة الداخلة في تصنيع ماكينات العدد، وتستخدم في ذلك أكثر من 1050 ماكينة تصنيع موزعة على مصنعين يقوم كل منهما على مخطط وظيفي.

المشاكل الرئيسة التي دفعت الشركة للتحول إلى نظام التصنيع الخلوي تمثلت في طول فترات الزمن الكلي للتصنيع التي تراوحت ما بين 12 شهر و 18 شهر، وضخامة حجم المنتجات غير المكتملة التصنيع والتي تكلف الشركة أكثر من 4.خمسة ملايين جنيه إسترليني.

تم التحول إلى النظام الخلوي بتقسيم المصنع الأول إلى 26 خلية تصنيع بينما وتقسيم المصنع الثاني إلى 18 خلية تصنيع، تحتوي في مجموعها على أكثر من 7000 ماكينة وتغطي حوالي 90٪ من القطع التي تنتجها الشركة. تفاوتت خلايا التصنيع في حجمها بشكل واضح إذا تراوحت أعداد العمال في كل خلية ما بين خمسة عمال و 34 عامل.

أكبر الخلايا استخدمت لتصنيع التروس واحتوت على 61 ماكينة، وكان معدل الإنتاج في هذه الخلية حوالي 8000 ترس في الشهر في دفع تراوحت ما بين عشرة و 150 ترس في الدفعة الواحدة.

الفوائد التي جنتها الشركة تمثلت في تحقيق تخفيض متوسط في حجم القطع غير المكتملة التصنيع بلغ حوالي 72٪ في بعض الخلايا و 92٪ في البعض الآخر، وكذلك تحقيق تخفيض في الزمن الكلي للتصنيع من 18 أسبوع إلى ثلاثة أسابيع في خلية تصنيع التروس وبعض الخلايا الأخرى

4-3-3 المراحل والأهداف الرئيسة لعملية تصميم النظام الخلوي

عملية تصميم النظام الخلوي يتم تناولها عادة من منظور محدد وهو التحويل من نظام وظيفي قائم إلى النظام الخلوي، وذلك لأن النظام الخلوي (الحديث نسبيا) يعتبر البديل الوحيد للنظام الوظيفي المستخدم تقليديا في النظم ذات التنوع في المنتجات. هنا سنتطرق لتلك العملية من نفس المنظور. لكن ينبغي الإشارة إلى أنه في حالة تصميم نظام خلوي جديد فان عملية التصميم ستكون أسهل بكثير مقارنة بإعادة تصميم نظام وظيفي قائم. السبب هو المرونة العالية في التصميم الناتجة عن مرونة القرار حول نوعية الآلات (لكونها لم تشتر بعد) وتقسيم أرضية المصنع والى حد ما حول خليط المنتجات الذي سيتم إنتاجه.

هناك أربع مراحل رئيسة متعاقبة تتضمنها عملية تصميم النظام الخلوي وتشمل ما يلي:

1. **مرحلة تشكيل الخلايا** (Cell Formation) والتي تمثل حجر الزاوية لعملية التصميم. تلك المرحلة تتضمن تقسيم المنتجات التي ينتجها النظام بناء على مستويات التشابه بينها إلى مجوعات تسمى *عوائل منتجات* (Part Families) وتقسيم الماكينات في النظام إلى مجموعات تسمى *مجموعات ماكينات* (Machine Groups) كل منها يسخر لإنتاج عائلة منتجات في خلية مستقلة، بحيث يتم إنتاج كل منتج بشكل كامل أو شبه كامل في الخلية المحددة للعائلة التي ينتمي إليها.

الهدف الرئيس لتلك المرحلة هو تقليل عدد النقلات البينية (Intercell Moves) التي قد تحتاج بعض المنتجات للقيام بها نتيجة لعدم توفر جميع الماكينات اللازمة لإنتاجها في الخلايا الخاصة بها أو كون بعض تلك الماكينات محمّلة بالكامل من قبل منتجات أخرى. كثرة النقلات البينية في المخطط الخلوي يصعب معه الحصول بالكامل على المزايا التي تحدثنا عنها سابقا لهذا المخطط مقارنة بالمخطط الوظيفي. فمثلا الانتقال البيني يسبب زيادة وقت التجهيز في الخلايا التي تزورها منتجات من خلايا أخرى وزيادة متوسط مسافة مناولة المواد بسبب انتقال المنتجات لخلايا أخرى وعودتها للخلايا الخاصة بها، وهذه الزيادات تقود لنتائج غير مرغوب بها مثل زيادة حجم الدفعة ومتوسط كمية المخزون البيني ومتوسط وقت إنتاج الوحدة. أيضا الانتقال البيني يسبب زيادة في صعوبة جدولة الإنتاج لارتباط جداول الخلايا مع بعضها وزيادة في صعوبة تحديد المسئولية عن جودة وأوقات إنهاء مخرجات الإنتاج. بجانب هدف تقليل عدد النقلات البينية هناك أهداف أخرى ثانوية لمرحلة تشكيل الخلايا أبرزها ما يلي:

- زيادة التشابه بين المنتجات في العائلة الواحدة من حيث تسلسل الماكينات وذلك تمهيدا للحصول على حلول جيدة لمرحلة تصميم خطوط الإنتاج داخل الخلايا.

- زيادة مرونة الخلايا في التعامل مع التغيرات المستقبلية في خليط المنتجات وذلك بمحاولة توزيع الماكينات على الخلايا بطريقة تضمن تنوع الماكينات بقدر الإمكان في نفس الخلية.

2. مرحلة تصميم خطوط الإنتاج داخل الخلايا (Design of Intra-cell Machine Layouts). تلك المرحلة تشمل بشكل أساسي تحديد شكل خط الإنتاج وترتيب الماكينات عليه في كل خلية، بالإضافة لأمور تتعلق بالتصميم الداخلي للخلية مثل مساحتها ومداخلها ومخارجها وتحديد مواقع وأبعاد مناطق التحميل والتفريغ والتخزين البيني وتخزين العدد. كما أشرنا سابقا، النموذج المثالي للنظام الخلوي يفترض داخل كل خلية خط إنتاج صغير من النوع القائم على أساس المنتج بشكل خط مستقيم ووحيد الاتجاه كليا (أي بدون نقلات معاكسة للاتجاه العام للخط (Backtrack moves)). إلا أن الواقع غالبا لا تتحقق فيه الشروط التي يمكن معها تبرير التصميم المثالي والذي يتطلب تشابه المنتجات التي تنتمي لنفس العائلة لدرجة التطابق ليس فقط في نوع عمليات التصنيع التي يحتاجها كل منها بل أيضا في تسلسل تلك العمليات. لهذا فان الواقع العملي يفرض اللجوء لأشكال قياسية لخط الإنتاج أكثر تعقيدا (أقل كفاءة) من الخط المستقيم، مثل الأشكال Z وW ، وأبرز أهداف مرحلة تصميم خطوط الإنتاج للخلايا هو اختيار الشكل الأنسب لخط الإنتاج وترتيب الماكينات عليه بطريقة تقلل عدد النقلات المعاكسة بقدر الإمكان.

3. مرحلة تصميم مخطط مواقع الخلايا (Design of Intercell Layout). هذه المرحلة تشمل تحديد مواقع الخلايا نسبة لبعضها على أرضية المصنع، مع استهداف تقليل متوسط مسافة الانتقال للمنتجات بين الخلايا وذلك بجعل الخلايا التي بينها كثافة انتقال أقرب ما يمكن لبعضها.

4. مرحلة تصميم نظام مناولة المواد (Design of Material Handling System). هذه المرحلة تشمل بشكل أساسي اختيار معدات مناولة المواد وتصميم مسارات ونقاط انطلاق وتوقف تلك المعدات داخل وبين الخلايا وفي أقسام التخزين. تلك المرحلة يتم تنفيذها بهدف تحقيق المرونة اللازمة في مناولة المواد وتقليل تكاليف تلك العملية من خلال اختيار المعدات والمسارات المناسبة على أسس هندسية اقتصادية.

3-3- 5 معالجة مسألة تشكيل الخلايا (The Cell Formation Problem)

كما أسلفنا فان مرحلة تشكيل الخلايا تمثل حجر الزاوية لعملية تصميم النظام الخلوي وذلك لكونها المرحلة الأولى في عملية ذات مراحل متتابعة، مما يجعل جودة النتائج للمراحل الأخرى (وبالتالي

لعملية التصميم ككل) مرتبطة بشكل كبير بجودة النتائج لتلك المرحلة. نظرا لأهميتها فقد تم توجيه الكثير من الجهود البحثية لمسألة تشكيل الخلايا وهناك حتى الآن أكثر من 100 طريقة مختلفة لمعالجتها. تلك الطرق تختلف من حيث منهجيتها وفرضياتها فبعضها يعالج نماذج مبسطة من المسألة وبعضها يفترض نماذج أكثر تعقيداً تحوي كثيرا من الاعتبارات العملية المتعلقة بها. أيضا قد تختلف تلك الطرق بالأساس الذي تقوم عليه عملية تقسيم المنتجات إلى عوائل فمنها ما يكون الأساس لديه مدى التشابه في تصاميم المنتجات ومنها ما يعتمد على التشابه بين المنتجات من حيث عمليات إنتاجها.

3-3- 5-1 تشكيل الخلايا بناء على التشابه في التصميم

الطرق التي تعتمد على تصميم المنتج كأساس لتقسيم المنتجات إلى عوائل قليلة جدا إذ قد لاتصل نسبتها إلى خمسة بالمائة من الطرق المتوفرة لتشكيل عوائل المنتجات، والسبب في ذلك أن تلك الطرق تفتقر للقدرة على إتمام عملية تشكيل الخلايا فهي تحدد عوائل المنتجات ولكنها لا تحدد مجموعات الماكينات المقابلة لتلك العوائل. تلك الطرق أغلبها يعتمد على أسلوب *التشفير والتصنيف* (Coding and Classification). تطبيق هذا الأسلوب يبدأ بتشفير المنتجات باستخدام شفرة (Code) تحوي عدداً من الخانات (تختلف طرق التشفير من حيث عدد الخانات في الشفرة المقترحة) كل منها مخصص لجانب معين من المواصفات الممكن الاعتماد عليها للتفريق بين المنتجات بغرض تصنيفها (مثل نوع المادة الخام و الشكل العام و الطول، .. الخ). بعد عملية التشفير تبدأ عملية تصنيف المنتجات (Classification) إلى عوائل بناء على التشابه بين محتويات شفراتها.

هناك العديد من نظم التشفير والتصنيف التجارية المبرمجة والتي تختلف من حيث إمكاناتها وعدد خانات ومحتويات شفراتها. من أشهر تلك النظم نظام *OPITZ* الألماني ونظام *MICLASS* الأمريكي.

3-3- 5-2 تشكيل الخلايا بناء على التشابه في التصنيع

الطرق التي تعتمد على عملية الإنتاج كأساس لتقسيم المنتجات إلى عوائل تشكل النسبة الأكبر من طرق تشكيل الخلايا. منهج التقسيم على أساس عملية الإنتاج بدأه العالم البريطاني بيربيدج في العام 1962 وأسماه "تحليل سريان الإنتاج" (Production Flow Analysis (PFA)). هذا المنهج مبني على فكرة أن التشابه بين منتجين من حيث عملية الإنتاج ليس إلا انعكاساً للتشابه بينهما في التصميم. في هذا المنهج التشابه بين المنتجات (والذي على أساسه يتم تقسيمها إلى عوائل) يقاس بمدى التشابه بين مسارات إنتاجها ممثلة بالماكينات التي تحتاجها تلك المنتجات، وبنفس الطريقة التشابه بين الماكينات (والذي على أساسه

يتم تقسيمها إلى مجموعات) يقاس بمدى التشابه بينها من حيث المنتجات التي تحتاج إليها. بناء على ذلك فان النماذج المبسطة من مسائل تشكيل الخلايا يستخدم لتمثيلها غالبا ما يسمى بمصفوفة تكنولوجيا المجموعات (GT matrix) وهي مصفوفة عناصرها ثنائية القيم (صفر أو واحد) وأعمدتها تمثل المنتجات التي سينتجها النظام وصفوفها تمثل الماكينات الموجودة في النظام. في هذه المصفوفة عنصر التقاطع بين منتج معين (عمود) وماكينة معينة (صف) تكون قيمته "1" إذا كان المنتج المقابل يحتاج لزيارة الماكينة المقابلة، وخلاف ذلك تكون قيمته "0". هذا يعني أن محتويات كل عمود تعبر عن مسار الإنتاج للمنتج المقابل مع إهمال التسلسل.

في الشكل 3- 1 أدناه مثال لمصفوفة تكنولوجيا المجموعات تمثل مسألة تشكيل خلايا لنظام تصنيع يحتوي خمسة منتجات وأربع ماكينات. بمجرد معاينة تلك المصفوفة يمكننا استنتاج أن المنتج P_1 مثلا يحتاج لإنتاجه زيارة الماكينتين **A** و **B** وأن الماكينة **C** مثلا تزورها المنتجات P_2 و P_3.

		المنتجات				
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
الماكينات	**A**	0	1	0	0	1
	B	1	0	1	1	0
	C	0	1	1	0	0
	D	1	1	0	1	1

شكل (3-1) : مثال توضيحي لمصفوفة تكنولوجيا

هناك عشرات الطرق لمعالجة مسألة تشكيل الخلايا طبقا لمنهج تحليل سريان الإنتاج. من أقدم تلك الطرق وأكثرها شهرة طريقة "الربط الأحادي" (Single Linkage Clustering Algorithm (SLCA)) وطريقة "ترتيب الأوزان الموقعية" (Rank Order Clustering (ROC)). شهرة هاتين الطريقتين سببها بساطتهما وكذلك كون الفكرة التي تتضمنها كل منهما استخدمت كأساس بشكل أو بآخر لكثير من طرق تشكيل الخلايا التي جاءت بعدها.

3- 3- 5- 3 تشكيل الخلايا باستخدام طريقة الربط الأحادي (SLCA)

طريقة SLCA اقترحها العالم McAuly في العام 1972. في هذه الطريقة يتم فقط تصنيف الماكينات إلى مجموعات حسب مستويات التشابه بينها والتي تقاس في هذه الطريقة باستخدام ما يسمى بمقياس جاكارد (Jaccard Similarity Measure). تصنيف الماكينات يعتبر إلى حد ما كافً لتشكيل الخلايا إذ أن تصنيف المنتجات إلى عوائل يمكن أن يتم بعد ذلك بشكل غير مباشر وذلك بوضع كل منتج في العائلة المقابلة لمجموعة الماكينات التي تقوم بأكثر العمليات التي يحتاجها. مصطلح الربط الأحادي في تسمية تلك الطريقة يقصد به أن كل زوج من الماكينات مستوى التشابه بينهما يساوي أو يزيد عن المستوى الأدنى المقبول (Threshold Similarity) من قبل المستخدم يتم إلحاقهما لنفس مجموعة الماكينات. هذا النوع من الربط يمثل نقطة ضعف لطريقة SLCA، إذ قد يوضع زوج من الماكينات في نفس الخلية حتى وإن كان مستوى التشابه بينهما أقل من الحد الأدنى وذلك بسبب كونهما مشابهتين بمستويات مقبولة لمكينة ثالثه سببت دخول كل منهما في مجموعتها.

فيما يلي عرض لخطوات طريقة التصنيف باستخدام الربط الأحادي.

الخطوة (1): أدخل مصفوفة تكنولوجيا المجموعات (**A**) وعدد الصفوف (**M**) وعدد الأعمدة (**N**) لمسألة تشكيل الخلايا المطلوب حلها، وكذلك أدخل الحد الأدنى للتشابه إذا وجد.

الخطوة (2): قم بإعداد مصفوفة التشابه للصفوف (الماكينات) باستخدام مقياس جاكارد المعطى بالصيغة التالية، وتجب ملاحظة أنه حسب تلك الصيغة فان قيم معاملات التشابه تتراوح بين الصفر والواحد:

$$S_{ik} = \frac{H_{ik}}{n_i + n_k - H_{ik}} \quad , \quad 0 \le S_{ik} \le 1$$

حيث:

S_{ik} = معامل التشابه بين الصفين (الماكينتين) i و k

H_{ik} = عدد الحالات التي تكون فيها قيم عنصرين متقابلين في الصفين i و k كلها تساوي "1".

n_j = عدد العناصر "1" الموجودة في الصف j

الخطوة (3): إذا لم يكن هناك حد أدنى معين للتشابه اذهب للخطوة (5)

الخطوة (4): قم بتصنيف الماكينات إلى مجموعات بوضع كل زوج من الماكينات في نفس المجموعة إذا كان معامل التشابه بينهما أكبر من أو يساوي الحد الأدنى للتشابه، ثم قم بحفظ التصنيف الناتج واذهب إلى الخطوة (8).

الخطوة (5): ابحث في مصفوفة التشابه عن أعلى معامل تشابه لم يتم استبعاده حتى الآن ثم قم بتصنيف الماكينات إلى مجموعات بوضع كل زوج منها في نفس المجموعة إذا كان التشابه بينهما أكبر من أو يساوي قيمة هذا المعامل.

الخطوة (6): قم بحفظ تصنيف الماكينات الناتج من تطبيق الخطوة (5) وإذا كان هذا التصنيف يحتوي أكثر من مجموعة فاستبعد آخر معامل تم استخدامه وارجع إلى الخطوة (5).

الخطوة (7): قم كمصمم للنظام باستعراض التصنيفات الناتجة من تطبيق الخطوة (5) واختيار ما تراه الأنسب من بينها ثم حفظه.

الخطوة (8): قم بإعادة ترتيب الصفوف في المصفوفة الأصلية بوضع الماكينات التي تنتمي لنفس المجموعة في صفوف متجاورة، وذلك تمهيدا لتصنيف المنتجات إلى عوائل على ضوء ما اقترحناه سابقا حول الكيفية التي يمكن أن يتم بها ذلك.

مثال 3- 1

نظام تصنيع يتكون من أربع ماكينات A , B , C, D وينتج ستة منتجات $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ احتياجها للماكينات كما هو مبين أدناه. قم بإعداد مصفوفة تكنولوجيا المجموعات وتشكيل الخلايا باستخدام طريقة الربط الأحادي.

المنتج	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
الماكينات المطلوبة	B	A , C	B , D	A , C	A , C	B , D

الحل

على ضوء البيانات المعطاة وحسب التعريف الذي ذكرناه سابقا لمصفوفة تكنولوجيا المجموعات، تكون المصفوفة لمسألة المثال كما يلي:

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
A	**0**	**1**	**0**	**1**	**1**	**0**
B	**1**	**0**	**1**	**0**	**0**	**1**
C	**0**	**1**	**0**	**1**	**1**	**0**
D	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**1**

لتطبيق طريقة الربط الأحادي نحتاج لبناء مصفوفة التشابه للماكينات باستخدام مقياس جاكارد الذي تم شرحه. مصفوفة التشابه الناتجة من استخدام هذا المقياس كالتالي:

	A	**B**	**C**	**D**
A		**0.00**	**1.00**	**0.00**
B			**0.00**	**0.67**
C				**0.00**
D				

لا حظ أن المثلث الأسفل لمصفوفة تشابه الماكينات فارغ، والسبب يكمن في عدم الحاجة لتكرار المعلومات التي يتضمنها المثلث الأعلى حيث إن معاملات التشابه متماثلة مما يعني أن $S_{ki} = S_{ik}$ لكل زوج ماكينات i و k.

لتوضيح الكيفية التي يتم بها تطبيق مقياس جاكارد سنأخذ كمثال الطريقة التي تم بها احتساب معامل التشابه بين زوج الماكينات D وB والذي قيمته 0.67، ومعامل التشابه بين A و C والذي قيمته تساوي الواحد.

$$S_{BD} = \frac{H_{BD}}{n_B + n_D - H_{BD}}$$

$3 = n_B$ ، $2 = n_D$ ، $2 = H_{BD}$

إذاً : $$S_{BD} = \frac{2}{3+2-2} = 0.67$$

بنفس الطريقة يمكن حساب قيمة معامل التشابه بين A وC كما يلي

$$S_{AC} = \frac{H_{AC}}{n_A + n_C - H_{AC}} = \frac{3}{3+3-3} = 1$$

بعد الحصول على مصفوفة التشابه يمكننا الآن تصنيف الماكينات إلى مجموعات (وبناء على ذلك تصنيف المنتجات إلى عوائل).

في حالة وجود حد أدنى للتشابه مقداره 0.50 ينتج كما هو مبين في مصفوفة الحل أدناه مجموعتي ماكينات تضم كل منهما ماكينتين يقابلهما عائلتين للمنتجات تضم كل منهما ثلاث منتجات.

		P_2	P_4	P_5	P_3	P_6	P_1
الخلية الأولى	A	**1**	**1**	**1**	0	0	0
	C	**1**	**1**	**1**	0	0	0
الخلية الثانية	B	0	0	0	**1**	**1**	**1**
	D	0	0	0	**1**	**1**	**0**

في حالة عدم وجود حد أدنى معين للتشابه فإننا وكما تمليه الخطوتين (5) و (6) نحتاج لاستخراج جميع الحلول الممكنة بحيث تتم المفاضلة بينها واختيار الأنسب حسب ما تمليه ظروف النظام. ينتج عن تطبيق الخطوتين (5) و (6) التصنيفات التالية للماكينات.

معامل التشابه	1	0.67	0
مجموعات الماكينات المقابلة	{D}, {B}, {A,C}	{B,D}, {A,C}	{D,B,C,A}

3- 3- 5- 4 طريقة ترتيب الأوزان الموقعية (ROC)

طريقة ROC اقترحها العالم كنغ في العام 1980 . يتم تشكيل الخلايا في هذه الطريقة بإعادة ترتيب الصفوف و الأعمدة حسب قاعدة محددة بشكل متكرر حتى يتحقق شرط توقف تكون عنده المصفوفة الأخيرة هي مصفوفة الحل المطلوب. فيما يلي عرض لخطوات تطبيقها:

الخطوة (1): أدخل مصفوفة تكنولوجيا المجموعات (**A**) وعدد الصفوف (**M**) وعدد الأعمدة (**N**) لمسألة تشكيل الخلايا المطلوب حلها.

الخطوة (2): أعد ترتيب الصفوف في المصفوفة الحالية كما يلي:

- لكل صف i احسب الوزن الموقعي W_i باستخدام الصيغة التالية: $W_i = \sum_{k=1}^{N} a_{ik}.2^{N-k}$
- أعد ترتيب الصفوف حسب التسلسل التنازلي لأوزانها الموقعية

الخطوة (3): أعد ترتيب الأعمدة في المصفوفة الحالية كما يلي:

- لكل عمود k احسب الوزن الموقعي W_K باستخدام الصيغة التالية: $W_K = \sum_{i=1}^{M} a_{ik}.2^{M-K}$
- أعد ترتيب الأعمدة حسب التسلسل التنازلي لأوزانها الموقعية

الخطوة (4): إذا حدث تغيير في ترتيب الأعمدة عند تطبيق الخطوة (3) كرر العملية بالرجوع للخطوة (2).

الخطوة (5): توقف، المصفوفة الحالية تمثل مصفوفة الحل وبمعاينتها يمكن التعرف على الحدود الفاصلة بين مجموعات الماكينات والفاصلة بين عوائل المنتجات، ومعرفة مجموعة الماكينات المقابلة لكل عائلة منتجات من خلال المناطق على المحور الرئيس للمصفوفة التي تتجمع فيها العناصر"1" بكثافة.

مثال 3- 2

لتوضيح كيفية تطبيق طريقة ROC سنعيد حل المثال السابق (أربعة صفوف وستة أعمدة) باستخدام هذه الطريقة. المصفوفة الابتدائية (A) كانت كما يلي :

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
A	0	1	0	1	1	0
B	1	0	1	0	0	1
C	0	1	0	1	1	0
D	0	0	1	0	0	1

(1) ترتيب الصفوف

حساب الأوزان الموقعية للصفوف:

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	الوزن الموقعي	الترتيب
A	0	1	0	1	1	0	$2^1+2^2+2^4=22$	2
B	1	0	1	0	0	1	$2^0+2^3+2^5=41$	1
C	0	1	0	1	1	0	$2^1+2^2+2^4=22$	3
D	0	0	1	0	0	1	$2^0+2^3=9$	4

بإعادة ترتيب الصفوف تنتج المصفوفة التالية

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
.B	1	0	1	0	0	1
A	0	1	0	1	1	0
C	0	1	0	1	1	0
D	0	0	1	0	0	1

(2) ترتيب الأعمدة

حساب الأوزان الموقعية للأعمدة

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	القيمة الرقمية
B	1	0	1	0	0	1	2^3
A	0	1	0	1	1	0	2^2
C	0	1	0	1	1	0	2^1
D	0	0	1	0	0	1	2^0
	8	6	9	6	6	9	الوزن الموقعي
	3	4	1	5	6	2	الترتيب

فيما يلي توضيح لكيفية حساب الأوزان الموقعية للأعمدة في المصفوفة أعلاه:

$$W_1 = 2^3 = 8$$
$$W_2 = 2^1 + 2^2 = 6$$
$$W_3 = 2^0 + 2^3 = 9$$
$$W_4 = 2^1 + 2^2 = 6$$
$$W_5 = 2^0 + 2^3 = 9$$

بإعادة ترتيب الأعمدة تنتج المصفوفة التالية:

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	P_3	P_6	P_1	P_2	P_4	P_5
B	1	1	1	0	0	0
A	0	0	0	1	1	1
C	0	0	0	1	1	1
D	1	1	0	0	0	0

حيث إنه حدث تغيير في ترتيب الأعمدة فعلينا الاستمرار كالتالي:

حساب الأوزان الموقعية للصفوف:

	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		
	P_3	P_6	P_1	P_2	P_4	P_5	الوزن الموقعي	الترتيب
B	1	1	1	0	0	0	56	1
A	0	0	0	1	1	1	7	3
C	0	0	0	1	1	1	7	4
D	1	1	0	0	0	0	48	2

بإعادة ترتيب الصفوف تنتج المصفوفة التالية:

	P_3	P_6	P_1	P_2	P_4	P_5
B	1	1	1	0	0	0
D	1	1	0	0	0	0
A	0	0	0	1	1	1
C	0	0	0	1	1	1

من الواضح الآن أننا وصلنا لمصفوفة الحل المبينة أدناه لأن الأوزان الموقعية للأعمدة يتضح أنها مرتبة تنازلياً. بمعاينة مصفوفة الحل نجد أنه تم تشكيل خليتين وأنه ليس هناك أي نقلات بينية.

		عائلة منتجات - 1			عائلة منتجات - 2		
		P_3	P_6	P_1	P_2	P_4	P_5
مجموعة ماكينات - 1	B	1	1	1	0	0	0
	D	1	1	0	0	0	0
مجموعة ماكينات- 2	A	0	0	0	1	1	1
	C	0	0	0	1	1	1

3- 4 نظم التصنيع المرن (Flexible Manufacturing Systems (FMS))

3- 4- 1 تعريف النظام وعناصره

نظام التصنيع المرن هو نظام يتكون من مجموعة من محطات العمل (تكون في العادة ماكينات تحكم رقمي بالحاسب (CNC)) مرتبطة مع بعضها البعض عن طريق نظم مناولة وتخزين آلية ويتم التحكم فيه بنظام حاسب متكامل.. انطلاقاً من هذا التعريف فإن أي نظام تصنيع مرن يتكون من ثلاثة عناصر أساسية تتضمن ما يلي:

1. محطات عمل: تكون غالباً ماكينات تحكم رقمي بالحاسب، ولكن توجد أنواع أخرى من محطات العمل مثل محطات الفحص والاختبار والتجميع ومحطات معالجة الألواح المعدنية.
2. نظم المناولة والتخزين: تستخدم فيها عدة أنواع آلية للمناولة مثل الإنسان الآلي (الروبوت) (Robot) لنقل قطع الشغل والقطع المجمعة جزئياً بين محطات المعمل، وفي بعض الأحوال يشمل هذا أيضاً نظام تخزين آلي .
3. نظام تحكم بالحاسب: يستخدم هذا النظام للتنسيق بين محطات العمل ونظم المناولة والتخزين الآلية عن طريق الحاسب.

3- 4- 2 أنواع نظم التصنيع المرن

يمكننا تصنيف نظم التصنيع المرن إما على أساس الشكل الهندسي للقطع التي يجري تصنيعها أو على أساس مدى التنوع في المنتجات التي يمكن للنظام أن يقوم بتصنيعها.

فإذا أخذنا بالأساس الأول فإما أن يكون النظام ذا منتج منشوري الشكل أو دائري الشكل. المنتجات المنشورية تتطلب عمليات تفريز وما يرتبط بها من عمليات، أما المنتجات الدائرية والتي تكون بأشكال أسطوانية أو على شكل أقراص دائرية فتحتاج إلى عمليات خراطة وما يرافقها من عمليات.

وإذا أخذنا بالتصنيف المبني على مدى التنوع في المنتجات الممكن تصنيعها فهناك نوعان من نظم التصنيع المرن وهما:

(أ) النظام التخصصي (Dedicated)

هذا النظام يستخدم لإنتاج محدود نسبياً من حيث تنوع المنتجات، حيث يكون ترتيب عمليات الإنتاج اللازمة لتصنيع المنتجات المختلفة متطابقاً أو شبه متطابق، وبالتالي تكون ماكينات التصنيع في هذه الحالة مصممة خصيصاً لإنتاج عائلة محدودة من المنتجات.

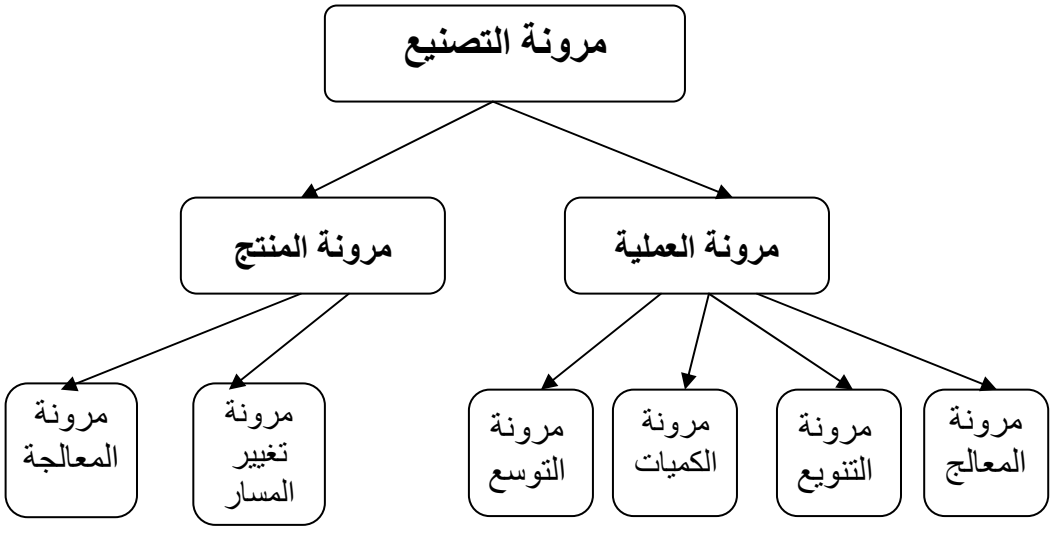
(ب) نظام الطلب العشوائي (Random – order)

هذا النظام يستخدم في الحالات التي يتم فيه إنتاج عدد كبير من المنتجات عالية التنوع، حيث يستطيع النظام استيعاب التصاميم لمنتجات جديدة وكذلك استيعاب التغييرات في تصاميم المنتجات التي يجري تصنيعها في النظام. يستخدم النظام ماكينات عامة الأغراض تستطيع التجاوب مع التغيرات المستمرة في تشكيلة المنتجات ومع الترتيب العشوائي لعمليات تصنيعها. يتطلب هذا النوع من نظم التصنيع المرن نظام تحكم بالحاسب ذا إمكانات أكبر مما هو مطلوب في حالة النظام التخصصي.

3-4-3 مرونة التصنيع وأنواعها

بشكل عام يمكن تعريف *مرونة التصنيع* (Manufacturing Flexibility) بأنها قدرة نظام التصنيع على التكيف إيجابيا مع التغيرات والأحداث المستقبلية. يصعب قياس المرونة لكونها عنصر غير مادي (Intangible) لذا يتم قياسها عادة بمقاييس تقريبية غير مباشرة مثل العائد المادي الناتج عنها أو عدد الخيارات المتاحة، وما إلى ذلك من المقاييس التقريبية الملائمة.

كما هو مبين في الشكل 3- 2 تصنف مرونة التصنيع إلى نوعين رئيسين، مرونة المنتج و مرونة العملية، وكل منهما يندرج تحته عدد من الأنواع سيتم استعراضها هنا.



شكل (3-2): أنواع مرونة التصنيع

(أ) مرونة المنتج (Product Flexibility)

مرونة المنتج تعبر عن البدائل المتوفرة التي يمكن إنتاجه من خلالها. تنقسم مرونة المنتج إلى النوعين التاليين:

1- مرونة تغيير المسار.(Routing Flexibility)

عملية إنتاج المنتج تتكون من مجموعة من الأعمال (تشغيل و تجهيز و مناولة،...، الخ) ومرونة تغيير المسار تعني توفر عدد من البدائل المتكافئة للقيام بكل عمل. أي أنه لو تعطلت ماكينة في نظام لديه مرونة تغيير مسار عالية فإن تلك المشكلة يمكن تجاوزها بسهولة وبدون تأثير على كفاءة النظام.

2- مرونة المعالجة (Processing Flexibility)

مرونة المعالجة تتعلق بالقدرة على إنتاج نفس المنتج بطرق مختلفة (خطط عمليات مختلفة من حيث نوع العمليات وتسلسلها).

(ب) مرونة العملية (Process Flexibility)

مرونة العملية تعبر عن قدرة النظام (عملية الإنتاج) على استيعاب التغيرات قصيرة وطويلة المدى في متطلبات الإنتاج ويمكن تقسيمها إلى الأربعة أنواع التالية:

1- مرونة المعالج (Processor Flexibility)

مرونة المعالج تعبر عن قدرة المعالجات في النظام (الماكينات و معدات مناولة المواد و العدد، ..الخ) على القيام بوظائف متعددة بدون أن تتطلب تكاليف عالية عند التبديل من وظيفة إلى أخرى.

2- مرونة التنويع (Mix Flexibility)

مرونة تنويع المنتجات تعبر عن قدرة النظام على التكيف مع التغيرات في خليط المنتجات على المدى القصير والطويل بدون أن يتطلب التغيير من خليط إلى آخر تكاليف باهظة.

3- مرونة الكميات (Volume Flexibility)

مرونة الكميات تعبر عن قدرة النظام على العمل بربحية كافية تحت مستويات مختلفة من كمية الإنتاج.

4- مرونة التوسع (Expansion Flexibility)

مرونة التوسع تعبر عن درجة السهولة في إجراء تطوير جذري (Upgrading) في قدرات وهيكل النظام.

3- 5 التصنيع المتكامل بالحاسب (Computer Integrated Manufacturing (CIM))

لقد واجه مصطلح التصنيع المتكامل بالحاسب (CIM) صعوبة في تعريفه وذلك منذ ظهوره في حوالي عام 1973م، ولقد وضح ذلك من خلال التعريفات المختلفة التي ظهرت لهذا المصطلح، ورغم أنه في منتصف الثمانينات من القرن العشرين الميلادي بدأ حماس بعض الشركات لمستقبل تطبيق هذا النظام بادياً للعيان ، ولكن ذلك الحماس ما لبث أن خمد بسبب التكاليف الباهظة الضرورية لإقامة نظام تصنيع متكامل بالحاسب . ولكن مرة أخرى في التسعينات من القرن العشرين – مع نشوء فهم أوسع لمعنى التصنيع المتكامل بالحاسب – بدأت الشركات تظهر اهتماماً بهذا النظام .

من أسباب صعوبة الاتفاق على تعريف موحد لمصطلح التصنيع المتكامل بالحاسب سبب يرجع إلى كلمتي "*التصنيع*" و "*المتكامل*"، وذلك للاستخدام الشائع غير المنضبط لمفهوم التكامل، وأيضاً لأن التصنيع المتكامل بالحاسب أوسع من مفهوم التصنيع نفسه.

على الرغم من أنه لا يوجد اتفاق عام على تعريف محدد لمصطلح التصنيع المتكامل بالحاسب ، ولكن الملاحظ أنه مع التحسن في فهم هذا المصطلح فإن الوصول إلى اتفاق يبدو قريب المنال .

ولكن مهما كان الأمر فإنه يمكننا اعتماد التعريف التالي: *التصنيع المتكامل بالحاسب هو فلسفة إدارية يتم فيها تنسيق مهام التصميم والتصنيع وربطها بشكل منطقي، وذلك باستخدام الحاسب وتقنيات الاتصالات والمعلومات.*

الربط المنطقي بين التصميم والتصنيع يعني هنا أن نظام التصنيع بكامله من تعريف المنتج وحيازة الخامات إلى تسويق المنتج النهائي ، يتم تحليله بعناية بحيث إن كل عنصر أو عملية من عمليات التصنيع يتم تصميمها بالشكل الذي يسهم في توفير أكثر الوسائل كفاءة وفعالية للوصول إلى تحقيق أهداف المؤسسة الإنتاجية .

يجب هنا أن نشير إلى حقيقة مهمة وهي أن نظام التصنيع المتكامل بالحاسب ليس تقنية محددة يمكن شراؤها، ولكنه يشكل في الحقيقة هدفاً استراتيجياً يمكن للشركة المعنية العمل تدريجياً للوصول إليه.

يمكن أن نلخص الفوائد المتوقعة لتطبيق نظام التصنيع المتكامل بالحاسب بما يلي:

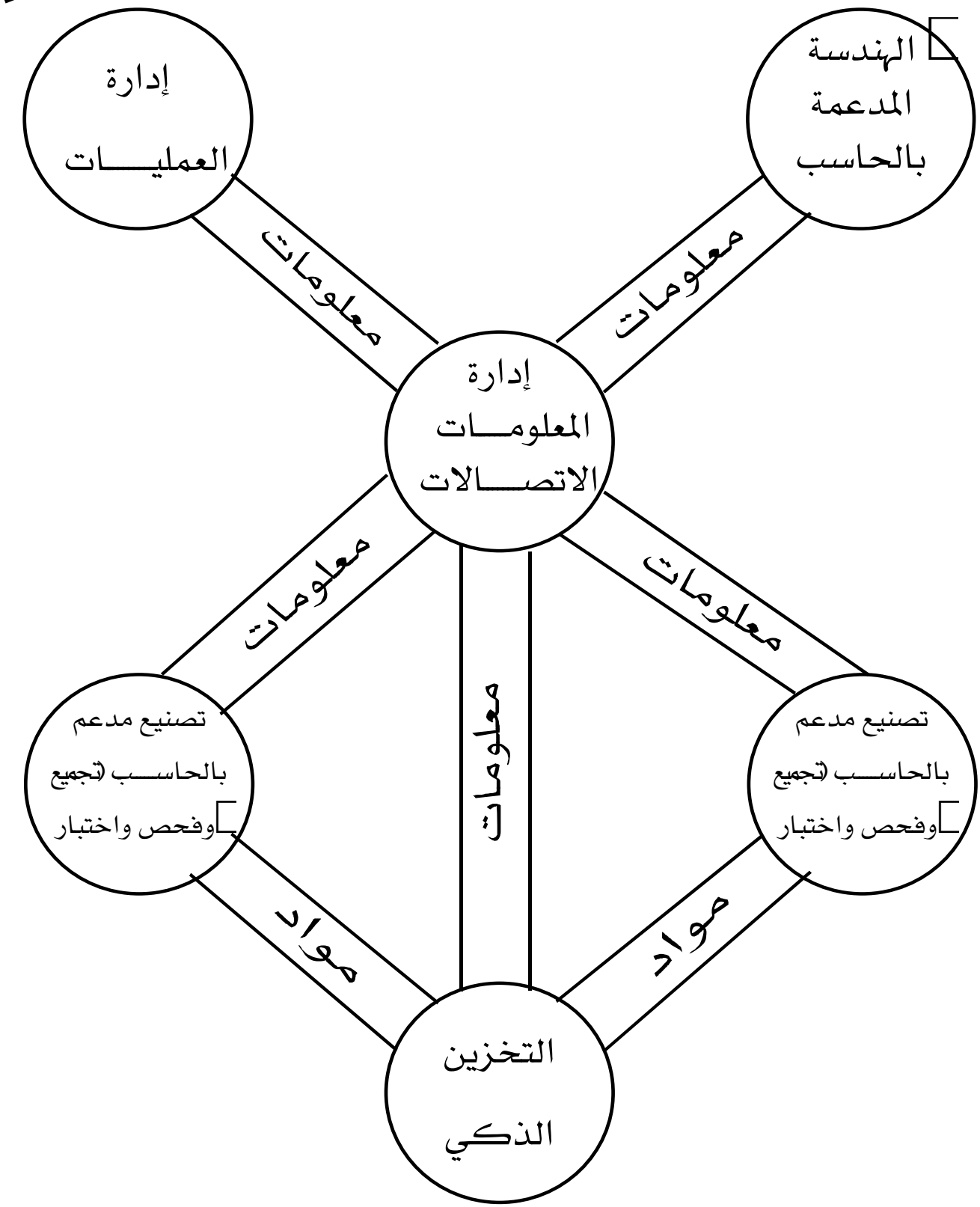
1. تحسين الخدمات المقدمة للزبائن
2. تحسين الجودة .

3. استغراق فترات زمنية أقل لتزويد السوق بمنتجات جديدة .
4. مرونة أكبر وسرعة أعلى في التفاعل مع متطلبات السوق.
5. زيادة الإنتاجية .
6. تقليل التكلفة الإنتاجية الكلية.

يحتوي نظام التصنيع المتكامل بالحاسب على مستوى التجهيزات المستخدمة في المصنع على خمسة عناصر وذلك كالآتي:

1. *الهندسة المدعمة بالحاسب* ((Computer Aided Engineering (CAE)) وهي تشمل التصميم المدعم بالحاسب (CAD) و برامج التحكم الرقمي (NC) و تصميم أدوات القطع وعناصر التثبيت و تخطيط نظم ضبط الجودة، وتخطيط عمليات التصنيع المدعم بالحاسب (CAPP) التي تمثل حلقة الوصل بين نظامي التصميم المدعم بالحاسب والتصنيع المدعم بالحاسب.
2. إدارة العمليات : وهذه تحكم حيازة كل المواد المطلوبة لتصنيع المنتج وتشمل توفير نظام لمحاسبة التكاليف، وتعمل على ضمان استغلال ماكينات الإنتاج الاستغلال الأمثل وتحقيق رغبات الزبائن .
3. التصنيع المدعم بالحاسب اللازم لإجراء التصنيع ومن ثم فحص واختبار المنتجات .
4. التصنيع المدعم بالحاسب الضروري لإجراء التجميع والفحص والاختبار والتعبئة للمنتجات النهائية .
5. التخزين الذكي والذي يشمل تخزين المواد والخامات والأجزاء والمنتجات المكتملة وغير المكتملة التصنيع واستدعائها من مخازنها آلياً.

لكي تعمل هذه العناصر الخمسة كنظام متكامل فإنها ترتبط وتتكامل مع بعضها عن طريق نظام شبكة يوفر الوسيلة اللازمة لإدارة المعلومات وتحقيق الاتصال بين عناصر النظام كما هو مبين في شكل (3- 3).



شكل (3- 3) : عناصر نظام التصنيع المتكامل بالحاسب

خلاصة الوحدة الثالثة

- تكنولوجيا المجموعات (GT) هي فلسفة تصنيع تدعو إلى استثمار التشابه بين الأشياء (منتجات و أعمال و معدات و مسارات نقل، ...، الخ) لتقليل تكاليف التصنيع وزيادة الإنتاجية.
- هناك تطبيقات متعددة لفلسفة تكنولوجيا المجموعات في مجال الإنتاج الصناعي.
- النظام الخلوي (CM) هو التطبيق الأكثر تقدماً لتكنولوجيا المجموعات.
- في المخطط الخلوي يتم تقسيم المصنع إلى خلايا كل منها يحتوي مجموعة من الماكينات وينتج عائلة من المنتجات المتشابهة.
- مزايا المخطط الخلوي مقارنة بالمخطط الوظيفي تشمل زمناً كلياً أقل للتصنيع و وقت تجهيز أقل للماكينات و تكلفة أقل للعمالة ومناولة المواد و سهولة الجدولة ومراقبة الجودة و وتوفير الأرضية اللازمة لتطوير نظم آلية للتصنيع.
- النظام الخلوي يناسب البيئات ذات الإنتاج المتوسط في حجمه وتنوعه.
- المراحل الرئيسة لعملية تصميم النظام الخلوي تشمل ما يلي: تشكيل الخلايا و تصميم خطوط الإنتاج داخل الخلايا و تحديد مواقع الخلايا نسبة لبعضها و وتصميم نظام مناولة المواد.
- مرحلة تشكيل الخلايا تمثل حجر الزاوية لعملية تصميم النظام الخلوي وهي معنية بتشكيل عوائل المنتجات ومجموعات الماكينات المقابلة لكل منها.
- تشكيل عوائل المنتجات يتم إما بناء على التشابه بين المنتجات من حيث عمليات إنتاجها أو بناء على التشابه بينها من حيث تصاميمها. الاعتماد على التشابه في عمليات الإنتاج كأساس لتشكيل العوائل يسمى "تحليل سريان الإنتاج" (Production Flow Analysis) وهو المنهج الأكثر تطبيقا.
- تشكيل عوائل المنتجات بناء على التشابه في تصاميمها يتم عادة باستخدام أسلوب التشفير والتصنيف (Coding and Classification).
- طريقتا الربط الأحادي (SLCA) والتصنيف بترتيب الأوزان الموقعية (ROC) تمثلان أقدم وأشهر الطرق المعروفة لتشكيل الخلايا وفق منهج تحليل سريان الإنتاج.
- نظام التصنيع المرن (FMS) هو نظام يتكون من محطات عمل مرتبطة مع بعضها عن طريق نظم آلية للمناولة والتخزين، ويتم التحكم فيها بنظام حاسب متكامل.
- مرونة التصنيع (MF) تمثل قدرة نظام التصنيع على التكيف إيجابيا مع التغيرات والأحداث المستقبلية، وتقاس بمقاييس غير مباشرة مثل عدد الخيارات المتاحة أو حجم الإنتاج.
- تصنف مرونة التصنيع إلى نوعين رئيسين: مرونة المنتج و مرونة العملية.

مرونة المنتج تعبر عن البدائل المتوفرة التي يمكن إنتاجه من خلالها، ويمكن تقسيمها إلى نوعين: مرونة تغيير المسار ومرونة المعالجة.

- مرونة العملية تعبر عن قدرة النظام على استيعاب التغيرات قصيرة وطويلة المدى في متطلبات الإنتاج ويمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع تشمل ما يلي: مرونة المعالج و مرونة التنويع و مرونة الكميات و ومرونة التوسع.
- التصنيع المتكامل بالحاسب (CIM) هو فلسفة إدارية تتضمن تنسيق مهام التصميم والتصنيع وربطها بشكل منطقي، وذلك باستخدام الحاسب وتقنيات الاتصالات والمعلومات.

تمـــــارين – 3 –

(1) أجب بـ (لا) أو (نعم) فيما يلي :

1. الإنتاج بنظام الخلايا يناسب الإنتاج الشديد التنوع والكميات الضخمة. ( )
2. التصنيع المتكامل بالحاسب هو نظام بديل لنظام التصنيع المرن. ( )
3. الأصل في التصنيع بنظام الخلايا هو اكتمال تصنيع المنتج في خليته الأساسية . ( )
4. في طريقة ROC يتم اتباع منهج تحليل سريان الإنتاج لتشكيل الخلايا. ( )
5. مرونة المنتج تمثل القدرة على إنتاجه بجودة عالية. ( )

(2) اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي :

1. يشكل نظام التصنيع المتكامل بالحاسب:

أ.تقنية يمكن شراؤها . ب.تقنية لا يمكن شراؤها . ج.هدف استراتيجي .

2.نجد في نظم التصنيع المرن (FMS) من النوع التخصصي الآتي:

أ.تنوع محدود في المنتجات . ب.عدم تطابق ترتيب عمليات التشغيل

ج.استخدام ماكينات أغراض عامة .

3.مصفوفة تكنولوجيا المجموعات تستخدم في :

أ.خوارزم ROC . ب.كلٍّ من خوارزم ROC وخوارزم SLCA . ج.خوارزم SLCA .

4.تتكون نظم التصنيع المرنة عادة من :

أ.ماكينات CNC . ب.نظم آلية للمناولة والتخزين .

ج.ماكينات (CNC) ، ومعها نظم آلية للمناولة والتخزين متحكم فيها ومنسق بينها بالحاسب .

5.خلية نظام التصنيع بتكنولوجيا المعلومات تشمل :

(4) عرف الآتي تعريفاً كاملاً :

1. تكنولوجيا المجموعات (GT).
2. التصنيع المتكامل بالحاسب (CIM).
3. نظام التصنيع المرن (FMS).
4. مرونة التصنيع (MF)
5. نظام التصنيع الخلوي (CMS).

(5) عشرة منتجات يتم إنتاجها باستخدام خمس ماكينات طبقاً لما هو معطى في مصفوفة تكنولوجيا المجموعات المبينة أدناه. المطلوب الآتي:

أ- إعداد مصفوفة التشابه للماكينات باستخدام مقياس جاكارد.

ب- تشكيل الخلايا باستخدام طريقة SLCA بافتراض أن الحد الأدنى لمعامل التشابه هو 0.5

ج- تشكيل الخلايا باستخدام طريقة ROC.

د- قارن بين الحلين (الحل بطريقة SLCA والحل بطريقة ROC).

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
A	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**
B	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**
C	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**
D	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**
E	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**0**	**0**

تقنية نظم التصنيع

خطوط التجميع

الوحدة الرابعة :خطوط التجميع

الأهداف

بإكمال الوحدة الرابعة يكون المتدرب قادراً على :

- أن يصف خطوط التجميع ويوضح الخصائص المميزة لها عن خطوط التصنيع.
- أن يشرح المقصود بمشكلة موازنة خط التجميع وأن يطبق طريقة الترتيب طبقاً للوزن الموقعي (RPW) لحل هذه المشكلة على أمثلة عملية.

خطوط التجميع (4)

4- 1 مقـــــدمة

كما أسلفنا عند الحديث عن المراحل الرئيسة للإنتاج الصناعي، مرحلة التجميع هي المرحلة التي يتم فيها إنتاج منتجات نهائية مثل السيارات والأجهزة المنزلية وماكينات العدد وغيرها، من خلال ربط (تجميع) الأجزاء المكونة لها مع بعضها باستخدام عمليات مثل اللحام والبرشمة واللصق والكبس. تلك الأجزاء تكون مصممة ومصنعة أخذا بالاعتبار عملية تجميعها. نظرً لتطابق أو تشابه وحدات المنتج وللإنتاج الكمي المطلوب عادة لتلك المنتجات فان عمليات التجميع تقليديا تتم على خط قائم على أساس المنتج يسمى خط التجميع (Assembly Line) ويسمى أحيانا *خط فورد* نظراً لكون هنري فورد أول من استخدم خطوط التجميع في الإنتاج الكمي بشكلها الحديث وذلك في مصنعه في مدينة ديترويت الأمريكية في العام 1913م. النجاح المذهل لتجربته جعلها من أهم الإنجازات في مسيرة تطور الإنتاج الصناعي خلال القرن الماضي.

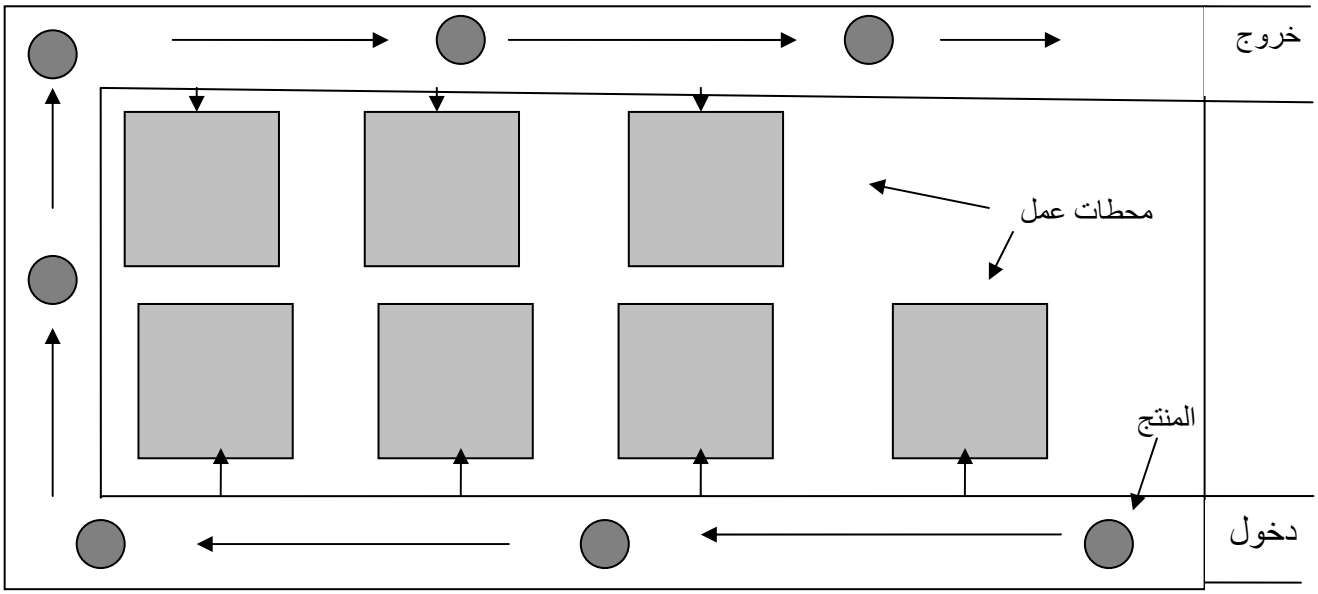
خطوط التجميع تعتمد بشكل كبير على مبدأين لزيادة قدرتها على إنتاج كميات ضخمة بتكلفة منخفضة نسبيا للوحدة، وهما مبدأ التبادلية (Interchangeability) ومبدأ تقسيم العمل (Division of labour). مبدأ التبادلية ينص على أن جميع الأجزاء المكونة لمنتج ما يجب أن تتوفر إمكانية مبادلتها بين وحدات هذا المنتج، أي أن تكون مطابقة لبعضها في جميع وحدات المنتج وذلك للاستفادة من التكرارية في إنتاجها وتخفيض تكاليف الصيانة وقطع الغيار للمنتج. مبدأ تقسيم العمل يستند لمفاهيم أثبتت نجاحها تشمل تبسيط وتنميط العمل والتخصص فيه. هذا المبدأ يقضي بتجزئة الأعمال الكبيرة والمعقدة إلى مجموعة من عناصر العمل الصغيرة والسهلة التي يمكن تنفيذها باستقلالية عن بعضها بالتوازي زمنيا وبواسطة أفراد (أو آلات) مختلفين يكتسبون الخبرة والتخصص فيها نتيجة لتكرارها.

العنصر البشري لا يزال عنصراً أساسياً في الكثير من خطوط التجميع، إلا أن أتمتة تلك الخطوط تعتبر حالة شائعة في المصانع العالمية رغم صعوبتها. تلك الصعوبة تكمن في كون عمليات التجميع ربما الأكثر حاجة بين عمليات الإنتاج للعنصر البشري بسبب طبيعة الأعمال التي تتضمنها والتي تحتاج كثيرا للقدرة على الاستشعار والمرونة في مسك وتحديد مواقع واتجاهات الأشياء المطلوب مطابقتها تمهيدا لربطها مع بعضها خصوصا الصغيرة منها كالمسامير والثقوب. لذلك فان الروبوتات وهي الآلات ذات أسلوب العمل الأقرب لأسلوب الإنسان تستخدم بكثافة في محطات التجميع المأتمتة حيث يتم تزويدها بإمكانات الاستشعار (الحسّاسات) المناسبة وقد تختلف تصاميم مقابضها من محطة إلى أخرى حسب

نوع العمل المطلوب. جنرال موتورز (كبرى شركات صناعة السيارات في العالم) والتي تنتج ما يقرب من 12 مليون سيارة سنويا لديها 16000 روبوت تعمل في مصانعها المتعددة معظمها في عمليات التجميع.

4- 2 الوصف العام لخط التجميع

خط التجميع يمثل أحد أهم التطبيقات للمخطط القائم على أساس المنتج والذي تطرقنا له ولميزاته في الوحدة الثانية، بشكل عام، خط التجميع هو خط وحيد الاتجاه (Unidirectional) يتكون من عدد من محطات العمل المرتبة على التوالي وفق ما يمليه تسلسل عمليات التجميع. بناء المنتج يبدأ في المحطة الأولى ويستمر بإضافة معينة من كل محطة لاحقة حتى يكتمل في المحطة الأخيرة. تلك المحطات ترتبط ببعضها بواسطة معدة مناولة مواد مستمرة (غالبا سير صناعي) تتحرك بنفس اتجاه الخط لمناولة المواد بين المحطات المتعاقبة. شكل الخط غالبا مستقيم أو حرف **U** (انظر الشكل 4- 1) إلا أنه قد يأخذ أحياناً أشكال أخرى لأسباب معينة مثل قيود قد تفرضها مساحة أو أبعاد الأرضية المخصصة.



شكل (4-1): مثال توضيحي لمخطط تجميع بشكل U

طول الخط يتفاوت من تطبيق لآخر حسب أحجام وعدد المحطات إلا أنه في حالات كتجميع السيارات يكون طويلاً نسبيا، فمثلا خط التجميع لسيارة فورد من نوع موستانج يبلغ طوله 14 كيلومتر تقريبا. عدد المحطات قد يصل للمئات في تجميع السيارات فمثلا خط التجميع لسيارة تويوتا من نوع

كامري يتكون من 300 محطة. في معظم الحالات يعتبر الشكل **U** لخط التجميع أفضل من الخط المستقيم لأنه يقلل طول الخط إلى النصف تقريبا، بالإضافة لمزايا أخرى مثل تقليل مسافة مناولة المواد، إذا كان الخروج والدخول لموقع العمل من بوابة واحدة، و كذلك تسهيل التواصل بين العاملين على الخط وتوفير مرونة أكبر في إسناد المهام لهم في أكثر من محطة من المحطات المتقابلة

3-4 مسألة موازنة خطوط التجميع

4-3-1 وصف المسألة ومفاهيمها الأساسية

مسألة موازنة خطوط التجميع تحتل المرتبة الأولى في سلم الأولويات لمشغلي ومصممي تلك الخطوط. توازن الخط يقصد فيه تساوي أحمال المحطات من حيث مددها الزمنية، وأهميته تكمن في أن عدم توفره يؤدي إلى ضرورة توقف المعدات والعاملين في المحطات الأسرع عن العمل بانتظار مخرجات المحطات الأبطأ التي تسبقها في الترتيب على الخط. أيضا ينتج عن ذلك زيادة زمن الدورة (Cycle Time) للخط وهو زمن المحطة الأبطأ فيه (أي أقصى زمن في خط التجميع تقضيه محطة على وحدة المنتج). أهمية زمن الدورة لخط التجميع تكمن في كونه الزمن الذي يحدد طاقته الإنتاجية القصوى، فمثلا الخط الذي زمن دورته دقيقتين يمكنه إنتاج وحدة واحدة فقط كل دقيقتين.

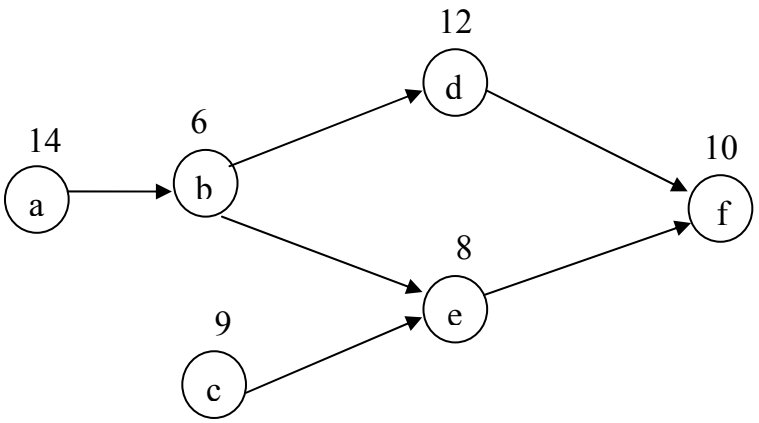
أحمال المحطات تتمثل في مجموعة الأعمال (عناصر العمل) الموكلة لكل منها والمدة الزمنية لحمل كل محطة هو مجموع الأوقات التي تتطلبها مجموعة الأعمال الخاصة بها. خطوط التجميع القائمة التي يصعب إحداث تغيير جذري في عدد محطاتها ومجموعات الأعمال الموكلة لها يمكن موازنتها بزيادة سرعات المحطات الأبطأ من خلال نقل جزء من أعمالها للمحطات الأسرع أو زيادة عدد العاملين فيها أو افتتاح محطات موازية لها.

في حالة تصميم خط جديد أو إعادة تصميم خط قائم، وهي الحالة التي سيتم تسليط الضوء عليها هنا، تتضمن مسألة موازنة خط التجميع تحديد عدد المحطات ومجموعة الأعمال لكل منها بحيث يكون الوقت المطلوب لتنفيذ كل مجموعة عمل متساوٍ بين المحطات. نظريا، الموازنة المثلى للخط قد تكون ممكنة لتعدد الأعمال وتفاوت مددها بشكل كبير، إلا أن هناك العديد من العوائق العملية التي قد تمنع تحقيق ذلك أحيانا. من تلك العوائق عدم توفر المرونة المطلقة في جمع بعض الأعمال مع بعضها في نفس المحطة بطريقه تحقق التوازن الأمثل لأسباب مثل اختلاف المعدات التي تحتاجها أو اختلاف مواقعها في تسلسل التجميع.

أهم المدخلات لتلك المسألة هو ما يسمى *بمخطط الأسبقية* (Precedence Diagram) وهو مخطط شجري ذو اتجاه واحد الرؤوس فيه تمثل الأعمال التي تتطلبها عملية التجميع والسيقان التي تصل الرؤوس

ببعضها تمثل شروط الأسبقية (Precedence Constraints) المنطقية حسب ما تمليه الناحية الفنية، فمثلا لا يمكن البدء في ربط عجل السيارة قبل وضعه في مكانه ولا يمكن تركيب الزجاجة الخارجية لضوء الفرامل قبل تركيب الشمعة الضوئية.

الشكل 4- 2 يتضمن مثالاً توضيحياً لمخطط الأسبقية لعملية تجميع تتضمن الأعمال d, e, f, a, b, c, الممثلة بالدوائر وفوق كل دائرة الزمن اللازم لتنفيذ العمل بالدقائق. في هذا المخطط العمل a لابد أن يسبق b، والأعمال b و c لابد أن تسبق e، والأعمال d و e لابد أن تسبق f.



شكل (4-2): مثال توضيحي لمخطط الأسبقية لأعمال التجميع

من البديهي أن الحد الأقصى الممكن لعدد المحطات على خط تجميع يساوي العدد الكلي للأعمال التي تتضمنها عملية التجميع (محطة لكل عمل) بينما الحد الأدنى هو محطة واحدة تتم فيها جميع الأعمال. كنتيجة لذلك زمن الدورة (والذي عرّفناه سابقا بأنه أقصى زمن مسموح به لمحطة لتنفيذ العمل المطلوب لوحدة من المنتج) يكون حدّه الأدنى مساوياً لزمن تنفيذ العمل الأطول من بين جميع الأعمال وحدّه الأقصى مساوياً لمجموع الأزمنة اللازمة لتنفيذ جميع الأعمال. على ضوء ما ذكرناه سابقا حول تحديد زمن دورة خط التجميع لطاقته الإنتاجية، فان الحدود التي أعطيت لزمن الدورة يقابلها حدود دنيا وقصوى للطاقة الإنتاجية، ويمكن اختيار الطاقة الإنتاجية المطلوبة ضمن تلك الحدود باستخدام العلاقة التالية:

$$P^* = H/C^*$$

حيث:

P^* = الطاقة الإنتاجية المطلوبة (وحدة في اليوم)

H = عدد ساعات العمل اليومية

C^* = زمن الدورة المقابل للطاقة الإنتاجية المطلوبة

أيضا يمكن حساب حد أدنى نظري لعدد المحطات اللازمة لتحقيق معدل الإنتاج المطلوب كما يلي:

$$N^*_{min} = T/C^*$$

حيث:

T = مجموع الأزمنة لجميع الأعمال المتضمنة في عملية التجميع

N^*_{min} = الحد الأدنى (النظري) لعدد المحطات اللازم لتحقيق الطاقة الإنتاجية المطلوبة

مثال 4- 1

عملية تجميع منتج تتضمن القيام بسبعة أعمال. الزمن اللازم لتنفيذ كل عمل والأعمال التي تسبقه مباشرة معطاة في الجدول (4- 1) أدناه. أوجد ما يلي:

1- الحدود القصوى والدنيا لعدد محطات التجميع
2- الحدود القصوى والدنيا لزمن الدورة لخط التجميع
3- الحدود القصوى والدنيا لطاقة الإنتاج خلال 8 ساعات عمل
4- لو قررنا إنتاج 10 وحدات خلال 8 ساعات فما قيمة زمن الدورة اللازم لذلك وما هو الحد الأدنى النظري لعدد المحطات المطلوبة في تلك الحالة.
5- ارسم مخطط الأسبقية للأعمال التي تتضمنها عملية التجميع

جدول (4- 1): أزمنة وأسبقية الأعمال في المثال 4- 1

العمل	زمن التنفيذ (دقيقة)	الأعمال التي تسبقه مباشرة
a	18	-
b	22	a
c	12	b
d	26	c
e	35	c , f
f	32	c
g	15	e , f

الحل

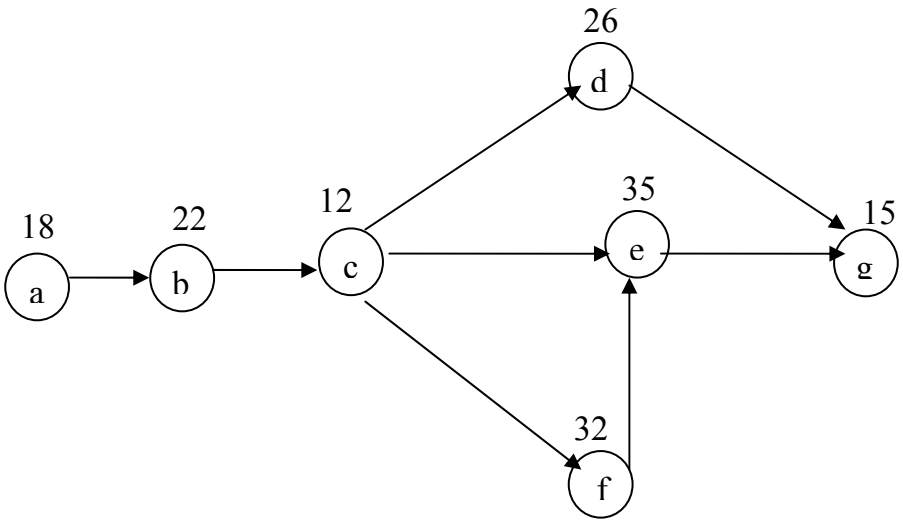
1- الحد الأدنى لعدد المحطات = محطة واحدة (تقوم بجميع الأعمال)
الحد الأقصى لعدد المحطات = 7 محطات (محطة واحدة لكل عمل)

2- الحد الأدنى لزمن الدورة = 35 دقيقة (زمن التنفيذ لأطول عمل وهو العمل g)
الحد الأقصى لزمن الدورة = 18+000 +15= 160 دقيقة (مجموع أزمنة التنفيذ لكل الأعمال)

3- الحد الأدنى لطاقة الإنتاج خلال 8 ساعات (أي خلال 480 دقيقه) = 480 ÷ 160 = 3 وحدات
الحد الأقصى لطاقة الإنتاج = 480 ÷35 = 13.7 وحدة

4- لكي ننتج 10 وحدات خلال 8 ساعات قيم زمن الدورة المقابل (C^*) والحد الأدنى النظري لعدد المحطات (N^*_{min}) يمكن حسابها باستخدام العلاقات المعطاة سابقا كما يلي:
C^* = عدد ساعات العمل ÷ الطاقة الإنتاجية المطلوبة = 480 دقيقة ÷ 10 = 48 دقيقة.
N^*_{min} = مجموع أزمنة جميع الأعمال ÷ طاقه الإنتاج المطلوبة = 16÷10= 1.6 = محطتين

5- مخطط الأسبقية للأعمال التي تتضمنها عملية التجميع كما يلي:



شكل (4- 3): مخطط الأسبقية لأعمال التجميع في المثال 4- 1

4- 3- 2 طريقة الأوزان الموقعية المرتبة (Ranked Positional Weights (RPW))

هناك العشرات من الطرق التي تم اقتراحها لمعالجة مسألة موازنة خطوط التجميع. بعض تلك الطرق تضمن الحل الأمثل إلا أنها غير صالحة غالبا للاستخدام العملي في حالة المسائل المتوسطة والكبيرة الحجم بسبب ما تتطلبه من وقت معالجة بالحاسب طويل جدا. لذلك فان الجهود منصبة على ابتكار طرق حل لا تضمن حلولاً مثلى ولكنها تعطي حلولاً جيدة بوقت معقول. سنتعرض هنا لأشهر تلك الطرق وهي طريقة تسمى *الأوزان الموقعية المرتبة*.

طريقة *RPW* تشمل بشكل عام إسناد مجموعة الأعمال التي تتضمنها عملية التجميع للمحطات واحدة تلو الأخرى، بترتيب إسناد قائم على أساس الترتيب التنازلي للوزن الموقعي للعمل في مخطط الأسبقية. الوزن الموقعي لعمل ما هو مجموع زمن التنفيذ لهذا العمل وأزمنة التنفيذ لجميع الأعمال اللاحقة له (أي الأعمال التي لا يمكن تنفيذها قبل انتهائه)، وهو يعكس أهمية (أولوية) إسناد هذا العمل قبل غيره وذلك لتحرير أكبر عدد ممكن من الأعمال تمهيدا لإسنادها. خطوات تلك الطريقة كالتالي:

خطوة (1): أدخل المعلومات التالية:

- مخطط الأسبقية لعملية التجميع
- الطاقة الإنتاجية المرغوب بها (P^*)
- عدد ساعات العمل اليومية (H)

خطوة (2): احسب ما يلي:

- لكل عمل j من الأعمال التي تتضمنها عملية الإنتاج احسب الوزن الموقعي PW_j كما يلي:

$$PW_j = t_j + \sum_{k \in S_j} t_k$$

حيث: t_k = زمن التنفيذ للعمل k

S_j = مجموعة الأعمال اللاحقة للعمل j

- احسب زمن الدورة (C^*) المقابل لطاقة الإنتاج المطلوبة كما يلي:

$$C^* = H/P^*$$

خطوة (3): قم بإعداد قائمة بالأعمال مرتبة فيها الأعمال تنازليا حسب أوزانها الموقعية. تلك القائمة تمثل قائمة الأعمال التي تنتظر إسنادها لمحطات التجميع وسنرمز لها بالرمز $\boldsymbol{G}$

خطوة (4): اجعل $M = 0$ (حيث M يمثل عداداً خاصاً بالمحطات)

خطوة (5): إذا وجدت أن القائمة $\boldsymbol{G}$ أصبحت خالية اذهب إلى الخطوة (8)

خطوة (6): اجعل: $M = M + 1$ ، $R_M = C^*$ ، $U_M =$ صفر

حيث:

R_M = الزمن المتبقي في المحطة M.

U_M = الزمن المحمّل على المحطة M.

خطوة (7): قارن زمن التنفيذ (t_k) للعمل الأول k في القائمة $\boldsymbol{G}$ مع الوقت المتبقي في المحطة M. إذا كان t_k أكبر من R_M ارجع إلى الخطوة (5). إذا لم يتحقق هذا الشرط قم بما يلي:

- اسند العمل k للمحطة M وقم بتحديث القائمة $\boldsymbol{G}$ باستبعاده منها
- قم بتحديث الزمن المحمّل والزمن المتبقي للمحطة M كما يلي:

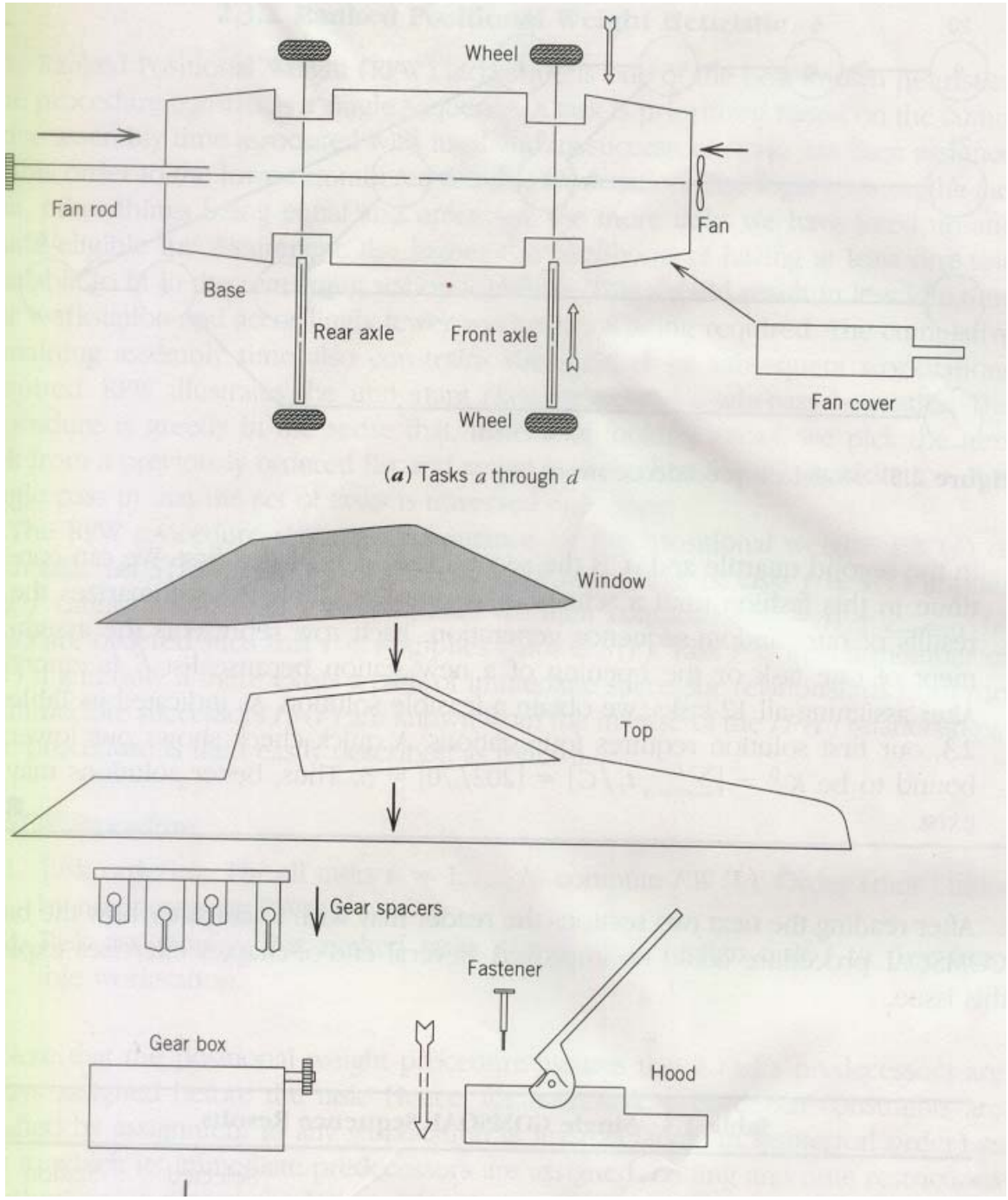
$$U_M = U_M + t_k$$
$$R_M = C^* - U_M$$

- كرر الخطوة (7).

خطوة (8): توقف، واطبع عدد المحطات والأعمال المسندة لكل منها.

مثال 4- 2

سنطبق في هذا المثال طريقة الأوزان الموقعية المرتبة على خط تجميع للعبة أطفال في شكل سيارة تتحرك بواسطة الطاقة المخزنة في نابض وهي موضحة في الشكل (4- 4). خط التجميع في هذه المسألة يعمل لمدة أربعة أيام في الأسبوع بنظام ورديتين في اليوم مدة كل منها أربع ساعات ويتخللها فترتي راحة مدة كل منها 10 دقائق. طبقاً لتقديرات قسم التسويق فإن الطاقة الإنتاجية المطلوبة هي 1500 سيارة أسبوعياً.



شكل (4- 4): تجميع سيارة أطفال كمثال عملي لتطبيق طريقة RPW

الأعمال المطلوبة لإكمال تجميع السيارة الواحدة، وكذلك المدة الزمنية المطلوبة لكل عمل و قيود الأسبقية مبينة في الجدول (4- 2).

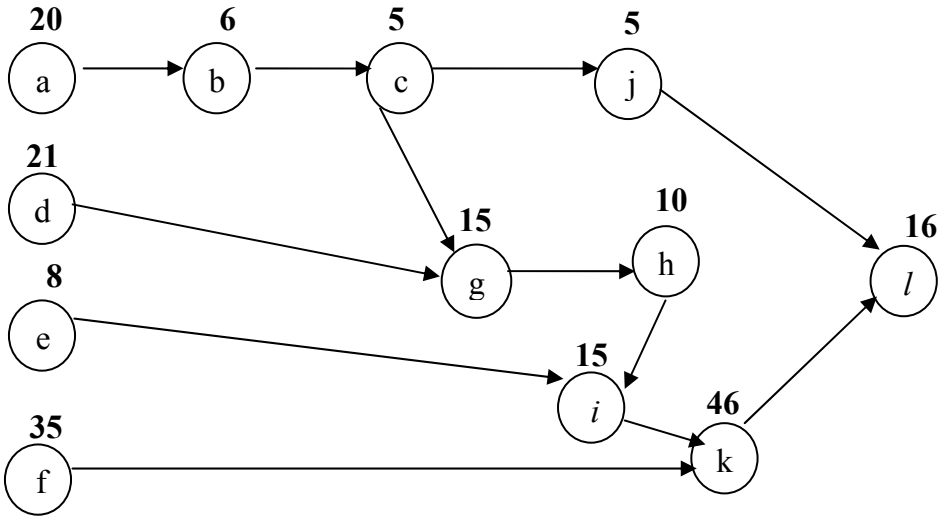
جدول (4- 2): أزمنة وأسبقيات أعمال التجميع في مثال 4- 2

العمل	النشاط المطلوب	زمن التجميع (ثانية)	الأعمال التي تسبق مباشرة
a	أدخل محور العجلات الأمامية والعجلات	20	-
b	أدخل عمود المروحة	6	a
c	أدخل غطاء عمود المروحة	5	b
d	أدخل محور العجلات الخلفية والعجلات	21	-
e	أدخل الغطاء الواقي لهيكل العجلات	8	-
f	الصق النافذة مع الجزء العلوي	35	-
g	أدخل مجموعة التروس	15	c_2d
h	أدخل مجموعة الفواصل بين التروس	10	g
i	ثبت هيكل العجلات الأمامية	15	e ,h
j	أدخل الماكينة	5	c
k	الحق الجزء العلوي	46	f ,I ,j
l	أضف العلامات المميزة للمنتج	16	k

الحل

أولا : إجراء الاستنتاجات والحسابات اللازمة للبدء في إسناد الأعمال للمحطات

بناء على الأسبقيات المباشرة للأعمال وأزمنة تنفيذها يمكننا رسم مخطط الأسبقية لأعمال التجميع كما هو موضح في الشكل (4- 5).



شكل (4- 5): مخطط الأسبقية لأعمال التجميع في المثال 4- 2

الآن نحتاج لحساب الوزن الموقعي PW_i لكل عمل i (بجمع زمن تنفيذه وأزمنة تنفيذ الأعمال اللاحقة له) وترتيب تلك الأوزان تنازليا. نتائج تطبيق تلك الخطوة مبينة في الجدول (4- 3) أدناه.

جدول (4- 3): الأوزان الموقعية لأعمال التجميع في المثال 4- 2

العمل (i)	الأعمال اللاحقة S_i	الوزن الموقعي PW_i	الترتيب
a	b, c, j, g, h, i, k, l	138	1
b	c, j, g, h, i, k, l	118	3
c	j, g, h, i, k, l	112	4
d	g, h, i, k, l	123	2
e	i, k, l	85	8
f	k, l	97	6
g	h, i, k, l	102	5
h	i, k, l	87	7
i	k, l	77	9
j	k, l	67	10
k	l	62	11
l	-	16	12

بناء على المعطيات حول الطاقة الإنتاجية المطلوبة (P^*) ونظام العمل الأسبوعي، يمكن حساب زمن الدورة المقابل (C^*) كالتالي:

$P^* = 1500$ سيارة في الأسبوع

$H = 4 \times 2 \times (10 \times 2 - 60 \times 4) = 1760$ دقيقة عمل في الأسبوع

$C^* = H \div P^* = 1.17$ دقيقة = 70 ثانية

ثانياً: إسناد الأعمال للمحطات

لإسناد الأعمال إلى محطات التجميع نحتاج لتطبيق الخطوات (4) و (5) و (6) و (7) في طريقة الحل. الجدول (4- 2) يعرض ملخصاً لتطبيق تلك الخطوات.، وينبغي الإشارة إلى أن وحدة الزمن في الجدول هي الثانية.

جدول (4- 4): إسناد الأعمال لمحطات التجميع في المثال 4- 2

العمل الأول في قائمة الأعمال غير المسندة G (j)	زمن تنفيذ العمل j (t_j)	رقم المحطة (M)	الزمن المحمّل على المحطة M ($U_M = U_M + t_j$)	الزمن المتبقي في المحطة M ($R_M = 70 - U_M$)
a	20	**1**	20	50
d	21	1	41	29
b	6	1	47	23
c	5	1	52	18
g	**15**	1	67	**3**
f	35	**2**	35	35
h	10	2	45	25
e	8	2	53	17
i	**15**	2	68	**2**
j	5	**3**	5	65
k	46	3	51	19
l	16	3	67	3

إذا الحل النهائي يتضمن ثلاث محطات. مجموعة الأعمال المسندة لكل منها معطاة في الجدول التالي:

محطة التجميع	الأعمال المسندة
1	a , d , b , c , g
2	f, h, e , i
3	j , k , l

خلاصة الوحدة الرابعة

- خط التجميع هو عبارة عن مجموعة من محطات العمل المتتالية التي تتصل فيما بينها عادة بمعدة مناولة مواد مستمرة تتحرك بنفس اتجاه الخط.
- تعتمد خطوط التجميع بصورة مركزة على مبدأ التبادلية و مبدأ تقسيم العمل.
- مبدأ التبادلية يقضي بأن تتوفر إمكانية مبادلة الأجزاء المكونة للمنتج بين جميع وحداته.
- مبدأ تقسيم العمل يقضي بتجزئة الأعمال الكبيرة إلى مجموعة من عناصر العمل الصغيرة التي يمكن تنفيذها بالتوازي زمنيا وباستقلالية عن بعضها.
- العنصر البشري لا يزال عنصراً أساسياً في خطوط التجميع، إلا أن أتمتة تلك الخطوط تعتبر حالة شائعة في المصانع العالمية.
- مسألة موازنة خطوط التجميع تحتل المرتبة الأولى في سلّم الأولويات لمشغلي ومصممي خطوط التجميع، وهي مسألة تهدف لمساواة أحمال المحطات من حيث مددها الزمنية.
- عدم موازنة أحمال محطات التجميع يؤدي إلى توقف المعدات والعاملين في المحطات الأسرع عن العمل بانتظار مخرجات المحطات الأبطأ التي تسبقها في الترتيب على الخط.
- طريقة الأوزان الموقعية المرتبة (RPW) هي أحد الطرق المعروفة لحل مشكلة موازنة خطوط التجميع، وهي مبنية على تحديد أولويات خطوات التجميع (عناصر العمل) حسب الأزمان التراكمية لإنجازها وإنجاز الخطوات اللاحقة لها .
- زمن الدورة لخط التجميع هو العامل المحدد لطاقته الإنتاجية، وهذا الزمن يحدده عدد المحطات على الخط ومدى التفاوت بين خطوات التجميع من حيث زمن الإنجاز.

تمـــــارين - 4 -

(1) أجب بـ (لا) أو نعم فيما يلي :

1. خطوط التجميع تتمتع بجميع مزايا المخطط الوظيفي. ( )
2. يمكن دائما تقليل زمن الدورة لخط التجميع بزيادة عدد المحطات. ( )
3. عند عدم تساوي الأحمال بين محطات التجميع فإن معدل الإنتاج تحدده المحطة الأبطأ ( )
4. في طريقة RPW تكون الأولوية في عملية التجميع للعمل الأطول من حيث مجموع الزمن المطلوب لإنجازه وإنجاز الأعمال اللاحقة له. ( )
5. من السهل عملياً تحقيق التوازن الأمثل في خطوط التجميع . ( )

(2)أكمل العبارات التالية بوضع الكلمة المناسبة في محل كل فراغ:

1. خط التجميع هو عبارة عن مجموعة من .... المتتالية، تتصل فيما بينها عادة ب ....
2. في خط التجميع الحد الأدنى لعدد المحطات يساوي .... بينما الحد الأعلى لعدد المحطات يساوي.....
3. .تعتمد خطوط التجميع بشكل مركز على مبدأ ..... . ومبدأ .....

(3) اشرح الآتي :

1. مبدأ التبادلية.
2. مبدأ تقسيم العمل.
3. مشكلة موازنة خط التجميع .

(4) تم تقسيم عملية تجميع منتج ما في خط تجميع إلى ثمانية عناصر عمل يمكن إسنادها إلى عمال غير مهرة. الزمن المطلوب لإنجاز كل عنصر عمل وكذلك قيود الأسبقية مبينة في الجدول المعطى أدناه، علماً بأن زمن دورة المنتج هو 30 دقيقة. أوجد الآتي مستخدماً طريقة الترتيب طبقاً للوزن الموقعي (RPW):

1. مخطط الأسبقيات .
2. الوزن الموقعي لكل عنصر من عناصر العمل ومن ثم الترتيب الموقعي لكل عنصر .
3. عدد محطات العمل مع بيان عناصر العمل المسندة لكل محطة والوقت المتبقي من الزمن المتاح لكل محطة في الحل المقدم لمشكلة موازنة خط التجميع.

عنصر العمل	الزمن "دقيقة"	عناصر العمل السابقة مباشرة
a	20	-
b	18	-
c	6	a
d	10	a
e	6	b
f	7	c ,d
g	6	e ,f
h	14	g

نظم التصنيع

نظم مناولة المواد

الوحدة الخامسة :نظم مناولة المواد

الأهـــــــداف

بإكمال الوحدة الخامسة يكون المتدرب قادراً على :

- أن يصف الدور الذي يقوم به نظام مناولة المواد في نظم التصنيع .
- أن يشرح الأهداف الرئيسة لنظام مناولة المواد .
- أن يشرح المبادئ الأساسية الواجب مراعاتها عند تصميم نظم مناولة المواد .
- أن يصف ويصنف معدات مناولة المواد المستخدمة في نظم التصنيع ويوضح الخصائص المميزة لكل منها .
- أن يقدم اقتراحات عامة حول كيفية تحسين الأداء لنظم مناولة المواد .

نظم مناولة المواد (5)

5- 1 مقـــــــدمة

نظام مناولة المواد يعتبر أحد أهم المكونات الرئيسة والشريان الحيوي لأي نظام تصنيع. عملية مناولة المواد تم تعريفها بشكل شامل من قبل *معهد مناولة المواد* (Material Handling Institute) في الولايات المتحدة كالتالي" *مناولة المواد تشمل جميع المهام الأساسية المتضمنة في حركة المواد والمنتجات السائبة والمفردة والمعبأة في حاويات في حالة صلبة أو شبه صلبة بواسطة آلات وضمن حدود المنشأه*". على ضوء هذا التعريف يمكننا ملاحظة أن مناولة المواد تشمل أكثر من مجرد نقل المواد بواسطة آلات وأن هناك وظائف وخصائص أخرى لتلك العملية يمكن استنتاجها تتلخص فيما يلي:

1- مناولة المواد تتضمن تغيير أماكن تواجدها أفقياً (نقل) وعمودياً (رفع وتنزيل) كما تتضمن تحميل وتفريغ المواد (Loading and Unloading).

2- تحديد حركة المواد بكونها داخل المنشأة يعني أن مناولة المواد تتضمن نقل المواد الخام من أماكن تخزينها إلى أرضية المصنع، ونقل المنتجات غير المكتملة بين محطات الإنتاج، ونقل المنتجات المكتملة إلى مواقع تخزينها، وكذلك نقل الأشياء الأخرى مثل العدد ومخلفات الإنتاج وما إلى ذلك. أيضا كون مناولة المواد معرفة بكونها ضمن حدود المنشأة فهذا يفرقها عن النقل (Transportation) الذي يتم من المنتجين إلى الموزعين أو المستهلكين.

3- استخدام الآلة في مناولة المواد هو الأساس، بالرغم من تكلفتها الابتدائية التي قد تكون مرتفعة. ذلك لأن الاعتماد على العنصر البشري بشكل مستمر في مناولة المواد غير فعال وقد يكلف أكثر بينما معدة مناولة المواد أكثر فعالية وتغطي تكلفتها الابتدائية سريعا.

تجب ملاحظة أن مناولة المواد لا تضيف قيمه للمنتج لكنها تضيف لتكلفته. لقد بينت بعض الدراسات أن تكلفة مناولة المواد نسبتها تتراوح بين 30٪ و 75٪ من تكلفة الإنتاج وأن استخدام نظام مناولة مواد فعال قد يخفض التكلفة بنسبه بين 15٪ إلى 30٪.

5- 2 الأهداف والمبادئ الأساسية لتصميم نظام مناولة المواد

عملية تصميم نظام مناولة المواد بشكل عام تتضمن اختيار معدات المناولة وتحديد مهامها ومساراتها. أحد أهم الاعتبارات عند تصميم نظام تصنيع جديد أو تعديل نظام قائم ضرورة إجراء تحليل معمق لنظام مناولة المواد ومتطلباته تمهيدا للوصول لأنسب تصميم ممكن له. أسباب تلك الأهمية تكمن في كون تكاليف مناولة المواد، كما أشرنا سابقاً، تشكل نسبة عالية نسبيا من تكلفة الإنتاج وكون تصميم نظام مناولة المواد يؤثر بشكل مباشر على الطريقة التي يتم بها تخطيط أرضية المصنع، وبالتالي يؤثر على أداء العملية الإنتاجية بمجملها. لذا فان الهدف العام هو تخفيض تكلفة الإنتاج وزيادة فعالية عملية المناولة للحدود الممكنة. هذا الهدف يمكن على ضوئه اشتقاق الأهداف التفصيلية التالية لنظام مناولة المواد:

- توفير المواد المطلوبة بالكميات المطلوبة في وقت وموقع احتياجها
- تخفيض تكلفة مناولة المواد
- رفع مستوى استغلال المساحات
- رفع مستوى السلامة وتحسين ظروف العمل
- رفع إنتاجية نظام التصنيع

ليس هناك أسلوب محدد معروف يمكن اتباعه لتصميم وتشغيل نظام مناولة مواد يحقق جميع الأهداف المأمولة. لكن هناك جملة من التوجيهات، تسمى المبادئ الأساسية لنظم مناولة المواد، التي قد ينتج عن الالتزام بها نظام مناولة تتوفر فيه الخصائص اللازمة لتحقيق الأهداف. تلك المبادئ معطاة في الجدول 5- 1 وهي ناتجة عن خبرات أشخاص عملوا طويلا في تصميم وتشغيل نظم مناولة المواد. يمكن ربط كل مبدأ مع واحد أو أكثر من الأهداف التفصيلية المذكورة أعلاه مما يعني أنها تصب جميعا باتجاه تحقيق تلك الأهداف. أيضا يمكن استخدام مدى الالتزام بتلك المبادئ كمعيار عند تقييم كفاءة نظام مناولة مواد معين.

جدول (5- 1) : المبادئ الأساسية لمناولة المواد

المـــبدأ	الوصـــــف
التوجيه (Orientation)	دراسة علاقات النظام قبل وضع المواصفات لتحديد القيود الموجودة على النظام
الجاذبية الأرضية (Gravity)	استغلال الجاذبية بقدر الإمكان لتوفير الطاقة والمال
السلامة (Safety)	توفير الأساليب والمعدات التي تضمن جانب سلامة استخدام نظام المناولة
التكلفة (Cost)	مقارنة البدائل الممكنة لمناولة المواد على أساس التكلفة لكل وحدة منقولة .
التبسيط (Simplification)	مراعاة التبسيط على وجه العموم في تصميم نظم المناولة، وحذف أي خطوات للمناولة يمكن الاستغناء عنها والتخلص منها
سريان النظام (System Flow)	تحقيق التكاملية بين سريان المعلومات وسريان المواد
المرونة (Flexibility)	استخدام الأساليب والمعدات التي تستطيع تنفيذ مهام متعددة تحت ظروف متغيرة
الاستبدال (Obsolescence)	إعداد خطة اقتصادية لاستبدال نظم ومعدات المناولة بناءً على تكاليف دورة صلاحية تلك المعدات للاستخدام
الصيانة (Maintenance)	إعداد خطة للصيانة الوقائية والإصلاحات المتوقعة لكل معدات المناولة
النسق العام (Layout)	تجهيز البدائل الممكنة لحركة نقل المواد مع وضعية الآلات والمعدات داخل المصنع، ومن ثم اختيار البديل الأمثل من ناحيتي الكفاءة والفعالية
الطاقة (Energy)	مقارنة معدل استهلاك الطاقة لبدائل نظم المناولة
التخطيط (Planning)	التوجه نحو خطة تحقق المتطلبات بكفاءة وتضمن مرونة النظام بدرجة كافية لمواجهة أي اختناقات ممكنة الحدوث
استغلال المساحة (Space Utilization)	الاستخدام الفعال للمساحة المتاحة
القياســـية (Standardization)	محاولة استخدام نظم مناولة ذات مواصفات قياسية بقدر الإمكان
العوامل الانسانية (Ergonomic)	مراعاة محدودية قدرات العاملين وما قد يتعرضون له من ملل أو إجهاد والتداخل بينهم وبين نظم المناولة ، وذلك عند تصميم هذه النظم
البيئة (Ecology)	استخدام نظم المناولة الأقل ضرراً على البيئة
الميكنة (Mechanization)	استخدام الآلة للمناولة بقدر الإمكان
استخدام الحاسب (Computerization)	استخدام الحاسب وتوفير المعلومات الجاهزة للمناولة والتخزين لتسهيل المراقبة
حمولة الوحدة (Unit Load)	مناولة المواد بوحدات ذات حمل كبير ولكنه عملي في نفس الوقت
النظم (Systems)	تحقيق التكامل بين عمليات الاستلام و الفحص و التخزين و الإنتاج و التجميع والمناولة

5- 3 أنواع معدات مناولة المواد وخصائصها

هناك تشكيلة واسعة من المعدات المتوفرة لمناولة المواد في نظم التصنيع. كما أشرنا سابقا فان اختيار المعدات يشكل عنصراً أساسياً في عملية تصميم نظام مناولة المواد. نظرا لتعددها واختلاف خصائصها وإمكاناتها وأسعارها فان اختيارها يحتاج للخبرة في المجال ولإجراء تحليل اقتصادي بهدف مقارنة البدائل المختلفة. المعدات التقليدية للمناولة يتم تصنيفها إلى ثلاثة أنواع رئيسة تشمل الناقلات الصناعية والرافعات والعربات الصناعية ، كل نوع يندرج تحته عشرات النماذج المختلفة. بالإضافة لتلك الأنواع هناك معدات حديثة تشمل الروبوتات والنظم الآلية للتخزين والطلب. فيما يلي نبذة موجزة عن تلك الأصناف مع ذكر مزايا وعيوب الأنواع التقليدية منها في الجدول (5- 2).

5- 3- 1 الناقلات الصناعية (Industrial Conveyors)

تستخدم الناقلات الصناعية في مناولة المواد المنتظمة الحجم والوزن نسبياً في مسار ثابت وبتكرارية متوسطة إلى عالية. تشمل هذه الناقلات السيور (Belts)، والأنابيب المائلة (Chutes)، والمدحرجات (Rollers) (انظر شكل (5- 1)).

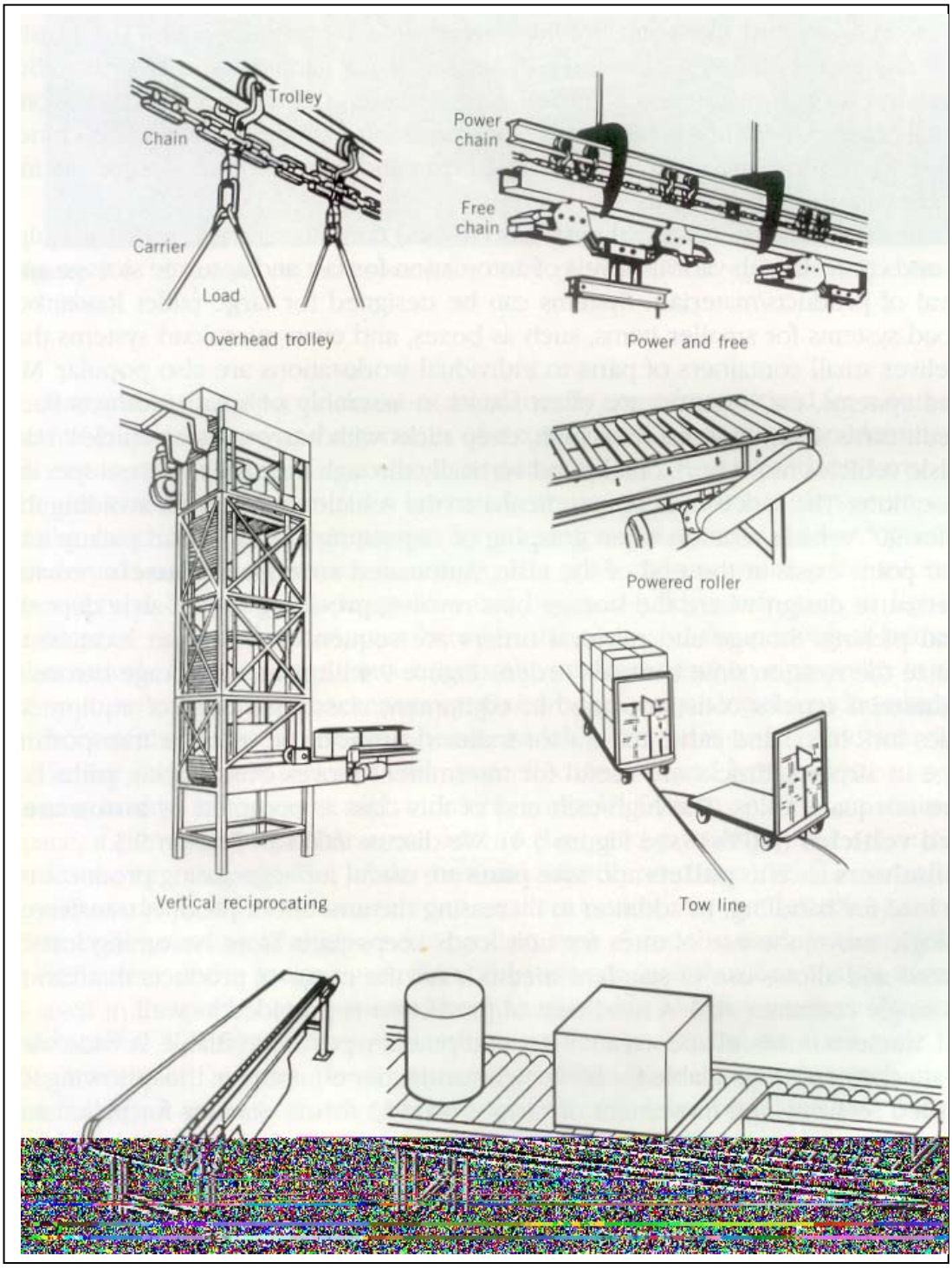
يتحرك سير النقل تاركاً الجزء المنقول في نفس موقعه بالنسبة للسير. الأنابيب المائلة تبقى ثابتة في موقعها وينزلق الجزء المنقول إلى وجهته المحددة.

المدحرجات المكونة من عدد من الأنابيب المتجاورة كل أنبوبة منها تدور حول محورها بينما ينزلق عليه الجزء المنقول إلى الموقع المقصود.

الناقلات يمكن أن تكون على الأرضية، أو مرفوعة على داعمات من الأرضية، أو معلقة (انظر شكل (5- 1)). من ناحية التشغيل يمكن أن تكون يدوية، أو معتمدة على الجاذبية الأرضية، أو ذات تشغيل إلكتروني أو نيوماتي، أو تعمل بسلسلة في نظام مسننات أو سير.

ويمكننا تلخيص خصائص الناقلات كالآتي :

1. عموماً تكون ذات طاقة محركة وفي بعض الأحيان تعمل بطريقة آلية.
2. تكون ثابتة في موقعها وبالتالي تحدد خط مرور المواد المنقولة .
3. غالباً تعمل على أساس اتجاه سريان واحد .
4. تنقل أحمال مفردة، ولكن أنواعاً خاصة منها تستخدم لنقل أحمال مستمرة



شكل (5- 1) : أنواع الناقـــــــــــلات

5- 3- 2 الأوناش والرافعات (Cranes & Hoists)

تستخدم الأوناش والرافعات لمناولة المواد بشكل متقطع بأوزان وأحجام متفاوتة في حيز محدود الرافعات ترفع المواد رأسياً وتكون هذه المواد محمولة بخطافات (Hooks) . أما الأوناش فتتحرك أفقياً، بينما تكون المواد المحمولة معلقة من رافعة في هذه الأثناء. المسافة التي يمكن أن يتحرك فيها الونش تعتمد على طول الخط الحديدي الذي يتحرك علية الونش.

5- 3- 3 العربات الصناعية (Industrial Trucks)

تشمل هذه المجموعة الرافعات الشوكية (Fork Lifts) و العربات اليدوية (Hand Carts) ، وغيرها. تستخدم هذه المجموعة لعمليات المناولة المتقطعة في مسارات مختلفة لكنها تحتاج لتوفير ممرات مناسبة لحركة سيرها .

تمثل العربات الآلية الموجهة ((Automated Guided Vehicles (AGVs) النموذج الأعلى تقنية في هذه المجموعة وهي تعتبر خياراً وسطاً بين الناقلات والعربات اليدوية (Hand Trucks) التي هي وسيلة مناولة تتصف بالمرونة الكاملة من ناحية المسار. تستخدم العربات الآلية الموجهة للمناولة بين عدد محدد من المواقع المختارة والمبرمجة سلفاً في نظام التحكم ، مع إمكانية التغيير في هذه المواقع مع بعض المجهود اللازم لإجراء أي تعديلات مرغوبة.

5- 3- 4 النظم الآلية للتخزين والطلب (AS/RS)

النظم الآلية للتخزين والطلب (Automated Storage/Retrieval Systems (AS/RS)) تجمع بين معدات التخزين والمناولة ومختلف مستويات التحكم الآلي من أجل تحقيق السرعة والدقة في عمليات تخزين وطلب المنتجات والمواد من مخازنها. يصمم هذا النظام للاستخدام مع الشحنات الضخمة، وكذلك مع الشحنات الصغيرة مثل الصناديق الصغيرة من قطع المنتجات، كما هو موجود في خطوط تجميع المنتجات الصغيرة مثل كروت الدوائر الإلكترونية. تستخدم كثير من هذه النظم رفوفاً طويلة وعميقة مع عربات تحتاج إلى ممرات ضيقة لحركتها. تتحرك هذه العربات أفقياً ورأسياً عبر المسارات المخصصة لها للوصول إلى موقع رف معين. تتحرك الشوكة المزودة بها هذه العربات في اتجاه متعامد مع مسار حركة العربة لإيصال أو تناول حمل معين (شكل (5- 2)) .

شكل (5- 2) : عربة آلية موجهة ذات رافعة شوكية

جدول (5 -2): مزايا وعيوب الأصناف المختلفة لمعدات مناولة المواد

1

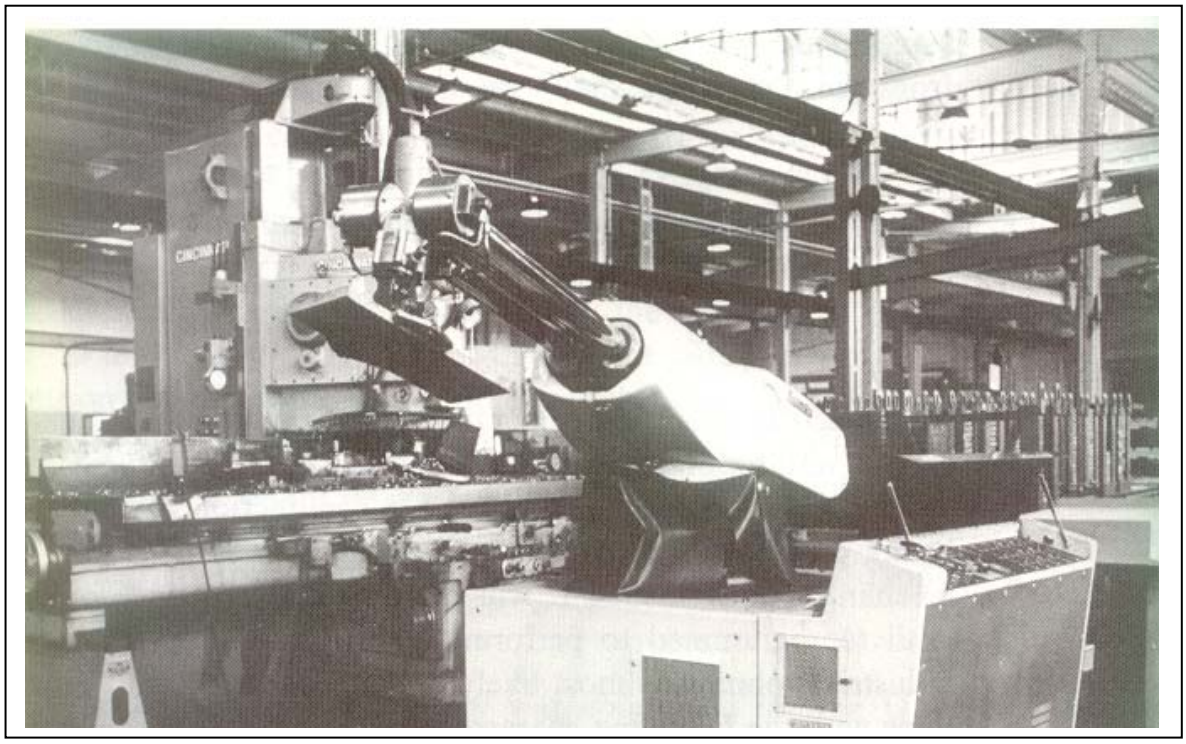
	الناقلات الصناعية	الأوناش والرافعات	العربات الصناعية
المزايا	- طاقتها الاستيعابية عالية - يمكن تغيير سرعاتها - يمكن دمج أعمال أخرى مع المناولة مثل التجميع والفحص - يمكن أن تكون أرضية أو معلّقة - يمكنها التخزين المؤقت للمواد بين المحطات - نقل الأحمال أوتوماتيكي ولا يحتاج لعدد كبير من المشغلين - لاتحتاج لممرات أو مسارات مستقيمة - النوع المعلق منها يوفر المساحة	- يمكنها رفع المواد بالإضافة لنقلها - توفر مساحات في الأرضية - يمكنها مناولة الأحمال الثقيلة جدا - يمكن استخدامها في التحميل والتفريغ	- يمكن استخدامها في أي مكان تسمح مساحته لعدم ارتباطها بمسارات ثابتة - لديها القدرة على الرفع والتحميل والتفريغ بالإضافة للنقل - استغلالها عالٍ لمرونتها في التنقل بين المواقع
العيوب	- انعدام المرونة الناتج عن ثبات مساراتها - أي عطل في الناقل يوقف خط العمل بالكامل - مساراتها الثابتة قد تعيق حركة المعدات المتنقلة	- تكاليف شرائها باهضة - تخدم مناطق محدودة - معظمها يتحرك باتجاه واحد فقط - استغلالها قد يكون منخفضا لكونها غالبا تستخدم لفترات محدودة - معظمها يحتاج لشخص يوجه عملها	- لا يمكنها مناولة الأحمال الثقيلة - طاقتها الاستيعابية صغيرة نسبيا في النقلة الواحدة - تحتاج لممرات خاصة لكي لا تتداخل مع العمل - معظمها يحتاج لسائق - لا تسمح بدمج المناولة مع أعمال أخرى

5- 3- 5 الإنسان الآلي - الروبوت (Robot)

يمكن تعريف الروبوت الصناعي كما يلي : هو عبارة عن جهاز مناورة قابل للبرمجة، متعدد الوظائف، ومصمم لتحريك الأشياء (مواد و منتجات و عدد ، ، الخ) من موقع إلى آخر أو من وضع إلى آخر من خلال حركات مبرمجة لأداء عدد كبير من المهام المتنوعة. معظم الروبوتات المستخدمة في الصناعة تتكون من هيكل (Body) على شكل آلة (وليس على شكل إنسان كما يعتقد البعض) مزود بذراع ينتهي بماسكات (End Effectors) تمثل اليد بالنسبة للروبوت. هيكل الروبوت يكون مثبتاً على قاعدة غالبا تكون مثبتة في الأرض. هيكل الروبوت وذراعه يحتوي كل منهما مفاصل (Joints) للحركة بالاتجاهات اللازمة بغرض تحريك الماسكات لموقع العمل المطلوب (موقع قطعة الشغل مثلا) وتوجيهها خلال أدائها للعمل المطلوب (مثل مسك قطعة الشغل). حركة المفاصل يتم التحكم بها من خلال وحدة تحكم متصلة بوحدة تفعيل (Actuator) لتوليد الحركة باستخدام طاقة كهربائية أو نيوماتية أو هيدروليكة. يمكن تزويد الروبوت بحسّاسات (Sensors) حسب الحاجة لاستشعار ظروف البيئة المحيطة مثل الموقع في الفراغ أو درجة الحرارة أو غير ذلك.

للروبوت استخدامات كثيرة في نظم التصنيع تشمل عمليات مثل التجميع والدهان واللحام والفحص وغير ذلك. استخدام الروبوت في مناولة المواد أيضا أمر شائع خصوصاً لغرض تحميل الماكينات (انظر الشكل (5- 3) الذي يبين مثالاً لاستخدام روبوت صناعي في عمليات مناولة على ماكينة تفريز). هناك عدة ميزات للروبوت تجعله أحد الخيارات المهمة التي يجب أخذها بالاعتبار عند تصميم نظام مناولة المواد. تلك الميزات تبرز في الظروف التالية:

1. البيئات التي تسودها مخاطر على العاملين بسبب أمور مثل وجود الغازات السامة أو الإشعاعات أو درجات الحرارة العالية.
2. عمليات المناولة المطلوبة تتميز بصفة التكرارية.
3. المواد المطلوب مناولتها ثقيلة الوزن.



شكل (5- 3) : مثال لاستخدام روبوت صناعي في عملية مناولة على ماكينة تفريز

كما هو الحال مع غيره من المعدات، قرار استخدام الروبوت يجب أن يكون قائماً على أسس اقتصادية واعتبارات عملية، ونظرا لتعدد النماذج المتوفرة من الروبوتات فإنه يجب اختيار ذات المواصفات الأنسب منها حسب ما تمليه الاحتياجات في مكان العمل.

من أهم الأشكال التي يكون عليها الروبوت النوع القطبي (Polar) والذي يكون مجال عمله في حدود شكل شبه كروي، والنوع الأسطواني (Cylindrical) والذي يعمل في مجال أسطواني، و الديكارتي (Cartesian) والذي يعمل في مجال شكل مستطيل، والنوع ذو اليد المفصلية (Jointed – arm) والذي يشابه يد الإنسان . تلك الأشكال و اتجاهات الحركة فيها معطاة في الشكل (5- 4).

شكل (5- 4) : الأشكال الأساسية للروبوت واتجاهات الحركة فيها

5 – 4 طرق أخرى لتصنيف معدات مناولة المواد

في الفصل السابق قمنا بتصنيف معدات المناولة حسب أنواعها، لكن هناك عدة عوامل أخرى يمكن على أساسها تصنيف معدات مناولة المواد طبقا لخصائصها ومميزاتها. يمكن تصنيف معدات المناولة طبقاً لخصائصها ومميزاتها، معتمدين في ذلك على عدة عوامل مثل كون نظام المناولة يدوياً أو ذا قوة محركة أو آلي متحكم فيه بالحاسب، وهل هو متحرك أم ثابت في موقعه، وغير ذلك من العوامل. على هذا الأساس توجد 12 مجموعة، ولكن سنكتفي هنا بذكر أهم خمس مجموعات منها كما هو موضح في الجدول (5- 3).

جدول (5-3): طرق أخرى لتصنيف معدات مناولة المواد

المجمـــــــــــــوعة	أمثـــــــــــــلة
1 – أ. معدات يدوية .	العربات اليدوية
ب – معدات ذات قوة محركة .	الرافعات الشوكية ذات القوة المحركة
ج – معدات آلية ذات تحكم بالحاسب	العربات الآلية الموجهة (AGVS)
2 – أ. معدات متحركة	الرافعات الشوكية
ب – معدات ثابتة في موقعها	سيور النقل
3 – أ. معدات مثبتة على الأرضية	سير نقل ذو مدحرجات
ب – معدات معلقة	ونش معلق ذو خطاف
4 – أ.معدات ذات مسار ثابت	سيور النقل
ب – معدات ذات مسار قابل للبرمجة	العربات الآلية الموجهة
5 – أ.معدات لنقل أحمال أو قطع مفردة	الرافعات الشوكية
ب – معدات ذات أحمال مستمرة	سير النقل أو أنابيب النقل

5- 5 تحسين الأداء لنظم مناولة المواد

يشكل مبدأ التبسيط الذي ذكرناه ضمن المبادئ الأساسية لتصميم نظم مناولة المواد المبدأ الأهم لتصميم وتحسين أداء نظم مناولة المواد. يجب أن نلاحظ أن نقل ومناولة المواد لا تشكل قيمة مضافة للمنتج الذي تتم مناولته، ولكنها في الوقت نفسه تكلف من الناحية المالية، وتعرض المنتج لخطر حدوث أضرار أثناء عملية النقل وتستغرق زمناً يحسب ضمن الزمن اللازم لتصنيع المنتج. وعليه فإن أي خطوة نقل يمكن إلغائها لابد من إلغائها، وهذا يتطلب ملاحقة أي خطوة نقل بالتساؤل التالي: هل من الضروري وجود حركة النقل تلك ؟ وهنا تأتي فكرة التخزين في نقطة الاستخدام كخيار أفضل أحيانا.

ويأتي من ضمن تحسين أداء نظم مناولة المواد اختيار الوسيلة المناسبة لكل حركة لنقل المواد، وهذا القرار في الاختيار يعتمد جزئياً على الناحية الاقتصادية، ولكن يجب أن لا ننسى أن أفضل نظام

لمناولة المواد هو الذي يدعم مهمة النظام ككل. بمجرد تحديد البدائل المختلفة لنظام مناولة المواد الذي يحقق متطلبات نظام التصنيع، يمكن مقارنتها باستخدام نموذج تعتمد المقارنة فيه على الناحية الاقتصادية.

كذلك من الضروري وجود خطة للصيانة الوقائية والإصلاحات المتوقعة لكل معدات المناولة، مع توجه يركز على حتمية تغيير نظم المناولة ومعداتها، إما بسب تقادمها أو بسبب ظهور نظم ومعدات أحدث يمكن عن طريقها تطوير وتحديث نظم التصنيع .

كما أن صفة المرونة مهمة لتحسين أداء نظم مناولة المواد، وهي تعني المقدرة على مناولة منتجات بمختلف الأحجام والأشكال والأوزان وبمسارات متعددة باستخدام نفس المعدات ، وأيضاً تكتسب صفة قابلية التعديل (Modularity) أهمية خاصة ، وهي تعني إمكانية تغيير المسار وطاقة النقل بإضافة معدات إضافية من نفس النوع المستخدم .

وكذلك يمثل التوجه نحو البرمجة الآلية باستخدام الحاسب في نظم مناولة المواد وسيلة مهمة لتحسين الأداء بسب وجود تحكم أفضل في عمليات المراقبة والإشراف.

وبالإضافة إلى ما سبق ذكره فإن استخدام القياسات الكمية التي تهدف لمتابعة أداء نظم مناولة المواد يلعب دوراً هاماً في تحسينها وتطويرها، ومن هذه القياسات الكمية تحديد النسبة بين الطاقة المستخدمة فعليا من معدات المناولة والطاقة الإجمالية النظرية لهذه المعدات .

خلاصة الوحدة الخامسة

- نظام مناولة المواد هو النظام المناط به التحكم في سريان المنتجات والموارد المتحركة ومخلفات التصنيع، سواءً كان ذلك في داخل قسم التصنيع الواحد أو بين الأقسام المختلفة.
- الخصائص الأساسية لنظام مناولة المواد تشمل مواقع النقل و اتجاه المناولة و الكمية المنقولة و توقيت المناولة، ومسار النقل.
- تمثل المبادئ الأساسية لتصميم نظم مناولة المواد دليلاً وقائمة مرجعية يمكن الرجوع إليها عند تصميم هذه النظم ابتداءً أو عند تعديل تصميمات قائمة ، وهي تشمل عشرين مبدأ أساسياً كما يلي : 1- التوجيه . 2- الجاذبية الأرضية . 3- السلامة . 4- التكلفة. 5- التبسيط. 6- سريان النظام. 7- المرونة. 8 – الاستبدال. 9 – الصيانة. 10 – المخطط "النسق" العام.
11- الطاقة. 12 – التخطيط. 13 – استغلال المساحة المتاحة. 14 – القياسية.
15 – الناحية الإنسانية . 16- البيئة . 17 – الميكنة. 18 – إستخدام الحاسب.
19 – وحدة الحمل المنقولة. 20 – النظم.
- يمكن تصنيف معدات مناولة المواد الشائعة الاستخدام إلى خمسة أنواع كالآتي: 1- الناقلات. 2- الأوناش والرافعات. 3- الشاحنات الصناعية. 4- النظم الآلية للتخزين والطلب . 5 – الإنسان الآلي (الروبوت) .
- يمكن أيضاً تصنيف معدات المناولة طبقاً لخصائصها ومميزاتها معتمدين في ذلك على عدة عوامل مثل نوعية القوة المحركة وطريقة التحكم و قابلية الحركة و طريقة التثبيت و نوعية المسار ونوعية الأحمال المنقولة.
- توجد عدة طرق لتحسين أداء نظم مناولة المواد ، وتتمثل هذه الطرق في مراعاة مبادئ التصميم الأساسية وعلى وجه الخصوص مبدأ التبسيط، ومبدأ التكلفة، ومبدأ النظام، ومبدأ الصيانة، ومبدأ المرونة. مع التركيز على التوجه نحو البرمجة الآلية باستخدام الحاسب ، واستخدام القياسات الكمية الهادفة لمتابعة أداء نظم مناولة المواد .

تمـــــارين – 5 –

(1) أجب بـ (لا) أو نعم فيما يلي :

1. يصلح الروبوت كوسيلة مناسبة في حالات المناولة ذات الصفة المتغيرة . ( )
2. تعمل الناقلات غالباً على أساس اتجاه سريان واحد . ( )
3. تعتبر الرافعات الشوكية ضمن مجموعة الشاحنات الصناعية . ( )
4. تستخدم الأوناش والرافعات لمناولة المواد بشكل مستمر وبأوزان وأحجام ثابتة . ( )
5. العربات الآلية الموجهة تعتبر خياراً وسطاً بين الناقلات والعربات اليدوية . ( )

(2) أكمل العبارات التالية بوضع الكلمة المناسبة في محل كل فراغ:

1. مبدأ ..... يعني استخدام الأساليب والمعدات التي تستطيع تنفيذ مهام متعددة تحت ظروف متغيرة.
2. الروبوت الصناعي هو عبارة عن جهاز ..... قابل لـ ..... البرمجة وذو مهام .....
3. نظام مناولة المواد هو النظام المناط به ..... في ..... المنتجات و..... المتحركة و .....التصنيع. .
4. التخزين في ..... فكرة تخدم تقليل عدد مرات .....

(3)اختر الإجابة الصحيحة من مجموعة الإجابات لكل مما يلي:

1. للمناولة بين عدد محدد من المواقع المختارة والمبرمجة سلفاً في نظام التحكم، يكون من المناسب استخدام:

(أ) رافعة شوكية. (ب) عربة آلية موجهة . (ج) عربة يدوية .

2. استخدام فكرة وحدة الحمل المنقول تحقق الآتي :

(أ) تقليل مرات المناولة . (ب) إمكانية استخدام معدات قياسية . (ج) كل ما سبق .

3. قابلية التعديل كصفة مهمة لتحسين أداء نظم مناولة المواد تعني إمكانية تغيير :

(أ) المسار . (ب) طاقة النقل . (ج) كل ما سبق .

(4) اذكر مثالاً واحداً لكل مما يلي:

1. معدات المناولة المتحركة.
2. معدات مناولة ذات أحمال مستمرة.
3. معدات آلية ذات تحكم بالحاسب .
4. معدات مناولة مثبتة على الأرضية .
5. معدات مناولة ذات مسار ثابت .

نظم التصنيع

نظم التخزين

الوحدة السادسة : نظم التخزين

الأهـــــــداف

بإكمال الوحدة السادسة يكون المتدرب قادراً على:

- أن يشرح وظائف وأهداف نظام التخزين في منشآت الإنتاج الصناعي.
- أن يصف الوسائل والمعدات المختلفة للتخزين.
- أن يشرح الفرق بين التخزين العشوائي وغير العشوائي ويوضح مزايا وعيوب كل منهما .
- أن يشرح المبدأ الأساسي لنظام ABC لتصنيف المخزون .
- أن يقدم الاقتراحات ويجري الحسابات اللازمة لتصميم المخططات الداخلية للمخازن ، ويشمل ذلك تحديد مواقع المداخل والمخارج والممرات وأماكن التخزين ، وحساب الأبعاد المناسبة لرفوف التخزين.

نظم التخزين (6)

6 - 1 مقـــــــــدمة

لقد ظلت شركات التصنيع في السنوات القليلة الماضية تعمل جاهدة لتخفيض مخزوناتها من المنتجات والمواد الخام، وقد ساهمت النظم الآلية المرنة وتقنيات تخفيض زمن تجهيز الماكينات والمفاهيم الحديثة في جدولة وتخطيط الإنتاج مساهمة مقدرة في هذا الاتجاه. بالرغم من كل هذه الجهود، فإن الواقع العملي يفرض وجود المخازن في المنشآت الصناعية لتخزين المنتجات الجاهزة للتوزيع والمواد الخام وقطع الغيار اللازمة لخطوط الإنتاج.

يجب أن نتذكر دائماً أن المخازن ليست فقط مكاناً لتخزين المواد والمنتجات، وإنما هي تمثل نظاماً يفترض أن يكون عنصراً فاعلاً في نظام التصنيع وله دور رئيس في نجاحه أو فشله في تحقيق أهدافه. إذ أن نظام التخزين في تفاعل مستمر مع العملية الإنتاجية لتلبية متطلباتها من المواد بالكميات والأوقات المطلوبة وكذلك استقبال مخرجاتها وحفظها بشكل سليم حتى يحين موعد تسليمها. أيضا نظام التخزين في تفاعل مستمر مع إدارة المشتريات لضمان توفر المواد المطلوبة بالكميات الصحيحة حسب ما تمليه خطط الإنتاج، وهذا يتطلب بالإضافة للتنسيق المستمر استلام وتفريغ المواد وحفظها بشكل ملائم حتى يحين موعد الحاجة إليها. إدارة المبيعات هي الأخرى في حالة تنسيق مستمر مع نظام التخزين لضمان توفر الكميات المباعة وضمان تجهيزها وشحنها بالأساليب الملائمة وفي المواعيد الصحيحة.

بالإضافة لعلاقته الوثيقة مع العناصر الأخرى في نظام التصنيع فإن أهمية نظام التخزين تأتي أيضا من كون تكلفة التخزين تمثل عنصراً مهماً في حساب تكاليف وحدة المنتج. تكلفة التخزين لها جوانب متعددة من أهمها ما يتعلق بمدى الفاعلية التي يصمم بها نظام التخزين من حيث مخططه الداخلي ومعداته وأساليب التخزين والإدارة المتبعة فيه.

في هذه الوحدة سنتعرض بشكل موجز لكل من: وظائف وأهداف نظام التخزين، و بعض الأساليب والمعدات المستخدمة في نظام التخزين، وكيفية إجراء بعض الحسابات المتعلقة بتصميم المخازن.

6- 2 وظائف وأهداف نظام التخزين

لنظام التخزين في منشآت الإنتاج الصناعي العديد من الوظائف والأهداف. الوظائف الأساسية لنظام التخزين كما يلي:

1. استلام المواد وتفريغها (Receiving)
2. نقل المواد لأماكن تخزينها.

3. وضع المواد في أماكن تخزينها.
4. تخزين المواد.
5. جلب المواد من أماكن تخزينها.
6. معالجة أوامر تسليم واستلام المواد.
7. حفظ سجلات الأوامر.
8. تعبئة المواد تمهيدا لتسليمها أو تخزينها.
9. شحن المواد (Shipping).

بعض الوظائف الإضافية قد يتم إسنادها لنظام التخزين إذا اقتضت سياسة المنشأة ذلك. من الأمثلة على الوظائف الأخرى الممكنة لنظام التخزين فحص المواد المستلمة في محطة التفريغ، تغليف المنتجات النهائية، وتجهيز القطع قبل نقلها لمكان الإنتاج (مثل قص الألواح أو لفات الأسلاك أو الأنابيب للمقاييس المطلوبة).

الهدف الأساسي لنظام التخزين هو تحقيق القدرة على القيام بوظائفه بأعلى كفاءة وأقل تكلفة. يمكن تحقيق ذلك من خلال السعي نحو تحقيق الأهداف التالية:

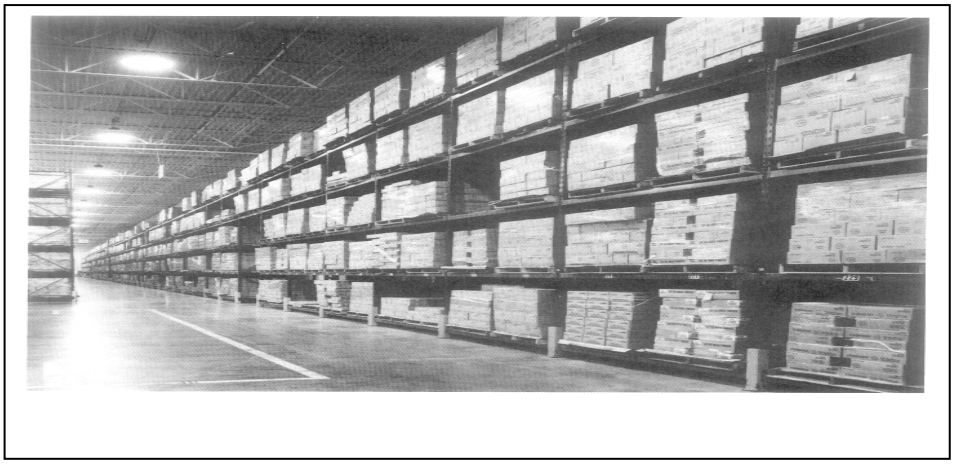
1. الاستغلال الأمثل للفراغ المتاح.
2. الاختيار والاستغلال الأمثل لمعدات ووسائل التخزين.
3. الاستغلال الأمثل لوقت وخبرات العاملين.
4. تسهيل الوصول (Accessibility) للمواد في أماكن تخزينها.
5. حماية المخزون من الضرر بأقصى درجة ممكنة.

تحقيق تلك الأهداف يتطلب خبرة كافية لدى القائمين على تصميم نظام التخزين في إعداد تصاميم المخططات الداخلية للمخازن وتقييمها والمفاضلة بينها وفي إمكانات وخصائص البدائل المختلفة لمعدات المناولة ووسائل وأساليب التخزين.

6- 3 وسائل التخزين والعوامل المؤثرة في اختيارها وتصميمها

تستخدم رفوف التخزين (Storage racks) في العادة لتوضع عليها المواد والمنتجات المخزونة. من أنواع هذه الرفوف رفوف تخزين حمولات المنصات النقالة (Pallets) والتي تحتاج لرافعات شوكيه للتخزين

والطلب، وتتكون هذه الرفوف من دعامات رأسية موصولة بدعامات أفقية طولية، وتصمم على أساس أن فتحات التخزين تكون في اتجاهي الطول والارتفاع، بحيث تكفي كل فتحة لتخزين شحنة منصة نقالة . ويتحدد الحيز المتاح للتخزين من حيث الارتفاع بالمسافة الرأسية بين كل مستويين متتاليين من الرفوف يمكن أن تتفاوت هذه الشحنات من ناحية الحجم، ولكن الأحجام القياسية لها تتراوح بين 50×80سم و120×120سم، وتوضع هذه الرفوف عادة ظهراً لظهر لإعطاء إمكانية استخدام عمق تخزين يعادل أكثر من عمق شحنة واحدة . انظر الشكل (6- 1) كمثال لرفوف تخزين حمولات المنصات النقالة.

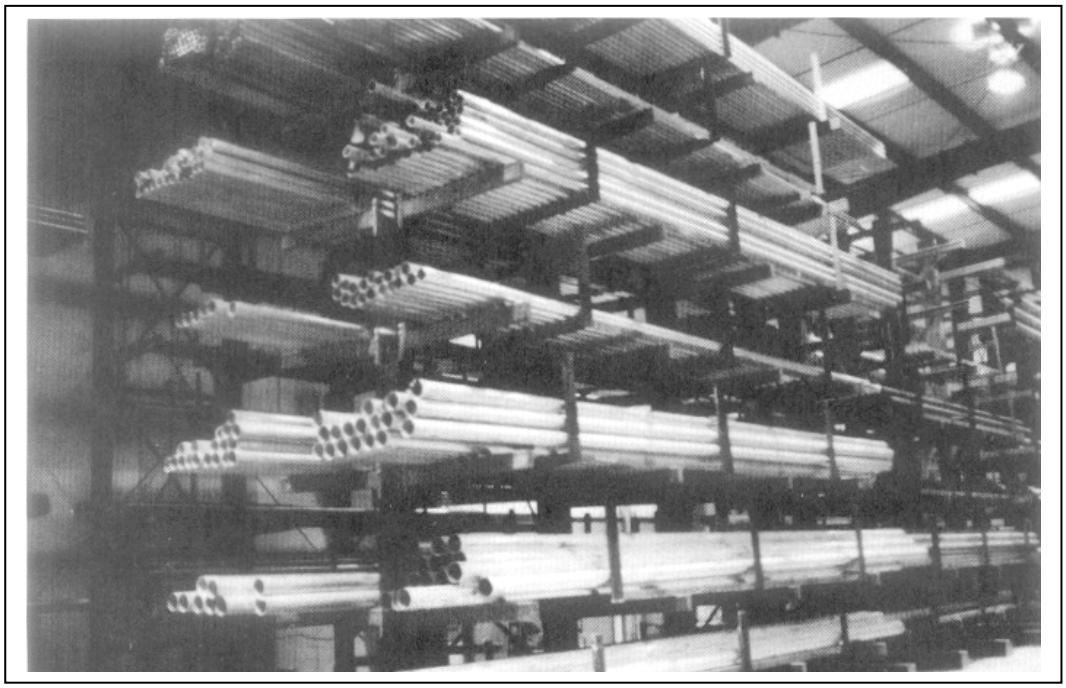


شكل (6- 1) : رفوف لتخزين حمولات المنصات النقالة

الرفوف الكابولية (Cantilever racks) تستخدم لتخزين المواد الطويلة مثل الأنابيب كما هو مبين في شكل (6- 2) . أيضاً تستخدم منصات دوارة (Rotating Carousels) لإعطاء إمكانية التخزين والطلب من المواقع التي توجد في نهاية الممرات في قسم التخزين.

ليس من الضروري استخدام الرفوف في كل الأحيان، حيث يمكن استخدام نظام تكديس الكتل (Block Stacking) بعضها فوق بعض ،مما يوفر في تكلفة التخزين ويعطي مرونة في فراغ قسم التخزين . ولكن ينبغي ملاحظة أن ارتفاع التكديس مقيد بالوزن الذي يمكن أن يتحمله المنتج الذي يتم تكديسه، وكذلك يحدد الارتفاع بمدى المحافظة على توازن الكتل المكدسة وضمان عدم تعرضها لخطر السقوط وما يسببه من أضرار أمنية ومادية. ويتم في هذا النوع من التخزين تفريغ الصف بكامله عند الطلب، فيكون هذا الصف الفارغ جاهزاً لتخزين منتج آخر وهكذا. يسمى هذا الصف الفارغ

المفروض وجوده في حالة السحب من الصف بثقب (أو فقد) قرص العسل (Honey com Loss). هذا الفقد يكون من الضروري الوصول إلى الأحمال التي تم تخزينها باكراً (أي المخزنة إلى الداخل)، وفي العادة يكون لكل منتج فراغ يعادل نصف صف في أي لحظة من الوقت الذي يقضيه المنتج داخل قسم التخزين .



شكل (6- 2) : رفوف كابولية لتخزين المواد الطويلة مثل الأنابيب

6- 4 العلاقة بين نظامي مناولة المواد والتخزين

اتجه التركيز حديثاً في نظم التصنيع لإخضاع تصميم نظامي مناولة المواد والتخزين لتحقيق الكفاءة الإنتاجية ككل بدلاً عن تحقيق أفضل كفاءة لحركة المواد وتخزينها ، ونتج عن هذا التوجه توفير قدر زائد من طاقة المناولة والتخزين عند تصميم هذه النظم ، وذلك بهدف تمكين نظام التصنيع من التجاوب مع كافة التقلبات في ظروف الإنتاج ، وهذا أدى إلى إعادة ترتيب أولويات نظام المناولة والتخزين، وأصبحت عملية تقليل الحركة ومهام التخزين في الدرجة الثانية من الأهمية بعد عملية رفع كفاءة المنظومة الإنتاجية ككل. تتضح العلاقة جلية بين نظامي مناولة المواد والتخزين في الآتي:

1. عند تصميم المخطط الداخلي لقسم التخزين لابد أن يراعى توفير ممرات كافية لمرور معدات المناولة داخل القسم كما سيتضح من خلال دراستنا لتصميم المخطط الداخلي لأقسام التخزين

في نهاية هذه الوحدة . فإذن توجد علاقة وثيقة بين معدات المناولة وأبعاد هذه الممرات . فمثلاً إذا كنا نستخدم رافعات شوكية فمن الشائع ترك حوالي 50٪ من مساحة الأرضية في المخزن للممرات التي تتحرك فيها الرافعة الشوكية . أما إذا كنا نستخدم نظماً آلية للتخزين والطلب (AS/RS) فإننا نحتاج لممرات ضيقة لتحريكها (كما ذكرنا في الوحدة الخامسة) ، وفي العادة يكون عرض الممر أكبر من عمق المواد المنقولة (والذي يكون في اتجاه عمودي على اتجاه الممر) بحوالي 15 سم، وهذا يحقق عدم الحاجة لإدارة المواد المنقولة عند التحميل أو التنزيل.

2. وسائل التخزين المستخدمة ومدى الارتفاع من الأرضية المسموح به للتخزين يؤثر بشكل فعال على اختيار نوعية معدات المناولة. فمثلاً المواد المخزنة في شكل منصات نقالة (Pallets) يناسبها استخدام رافعات شوكية للتخزين والطلب. أما إذا كان التخزين لارتفاعات عالية فمن الأجدر في هذه الحالة استخدام نظم آلية للتخزين والطلب. وبالجملة فإن التوجه الحديث يعمل على دمج أنشطة المناولة والتخزين ضمن منظومة متكاملة للتشغيل تشمل الاستلام والتفتيش والتخزين والإنتاج والتجميع والتغليف والشحن والنقل.

6- 5 التخزين العشوائي والتخزين غير العشوائي

هناك نظامان مختلفان لإسناد المواد المراد تخزينها لفتحات التخزين وهما: التخزين غير العشوائي (Dedicated Storage) والتخزين العشوائي (Randomized Storage). نظام التخزين غير العشوائي يتم فيه بشكل دوري تخصيص موقع محدد لكل مادة يراد تخزينها بحيث لا يستخدم لغيرها ويبقى فارغاً في حالة نفاذ كمياتها. على العكس من ذلك، التخزين العشوائي نظام يسمح بتخزين المادة في أي موقع متاح. هذان النظامان لكل منهما مزايا وعيوب يتصف بهما عن الآخر، والمفاضلة بينهما تعتمد على عدة عوامل تشمل: تكلفة التخزين و تكلفة مناولة المواد و معدل التغير في حجم المخزون، ودرجة الموسمية في الطلب على المخزون. يمكننا عمل المقارنة التالية بين النظامين:

.

1. في حالة النظام غير العشوائي تحديد موقع المادة المخزنة عند طلبها يكون أسهل وأسرع، بينما النظام العشوائي تطبيقه يتطلب نظام معلومات قادر على تحديد موقع المادة المخزنة عند الحاجة إليها، وتوفير معلومات كاملة بشكل مستمر عن المواقع الخالية المتاحة للتخزين.

2. في حالة النظام غير العشوائي لابد من وجود نظام إداري عالي الكفاءة يمكنه بشكل دوري تقدير الحد الأقصى لعدد فتحات التخزين اللازمة لكل مادة يراد تخزينها خلال فترة زمنية معينة، وكذلك تقدير مستوى نشاطها خلال تلك الفترة تمهيدا لتحديد موقع تخزينها نسبة لمحطات الدخول والخروج في المخزن. هذا المطلب غير موجود في حالة التخزين العشوائي حيث يمكن التخزين في أقرب موقع متاح وعند الطلب يتم السحب من أقرب موقع تتوفر فيه المادة المطلوبة.

3. النظام غير العشوائي يكون فيه استغلال الفراغ المتاح للتخزين أقل بكثير مقارنة بالتخزين العشوائي. الأسباب في ذلك هي أن فتحات التخزين المخصصة لمادة ما يكون عددها طبقا لأقصى مستوى مخزون متوقع خلال فترة التخزين وكذلك عدم إمكانية استخدامها لتخزين مواد أخرى حتى وإن كانت فارغة. لذلك فإن النظام العشوائي يعتبر الأفضل في الحالات التي تكون فيها تكلفة التخزين عالية نسبة للتكاليف الأخرى، وكذلك في الحالات التي يكون فيها درجة عالية من الموسمية أو التذبذب الحاد في الطلب على المادة، لأن تلك الظروف تتطلب تغييراً مستمراً في الموقع المخصص للمادة في المخزن وفي عدد فتحات التخزين المخصصة لها.

المثال التالي يوضح الفارق بين النظامين العشوائي وغير العشوائي من حيث نسبة استغلال الفراغ المتاح للتخزين.

مثال 6- 1

ثلاثة منتجات سيتم استلامها في مخزن لشركة ما لتلبية الطلب عليها خلال فترة زمنية مدتها أربعة أسابيع. هذه المنتجات يتم تخزينها بعد تعبئتها في حاويات قياسية متساوية الحجم كل منها يحتاج تخزينه لفتحة تخزين واحدة. الجدول التالي يبين كميات المخزون (مقاسة بعدد الحاويات) للمنتجات في كل أسبوع، المطلوب حساب عدد فتحات التخزين اللازمة لضمان تنفيذ خطة التخزين المعطاة في ظل كل من النظام العشوائي والنظام غير العشوائي للتخزين.

جدول (6- 1): كمية المخزون الأسبوعي للمنتجات في المثال (6- 1)

الأسبوع	المنتجات			إجمالي المخزون الأسبوعي
	1	2	3	
1	**21**	8	10	**39**
2	7	11	16	34
3	13	**17**	8	38
4	12	6	**19**	37

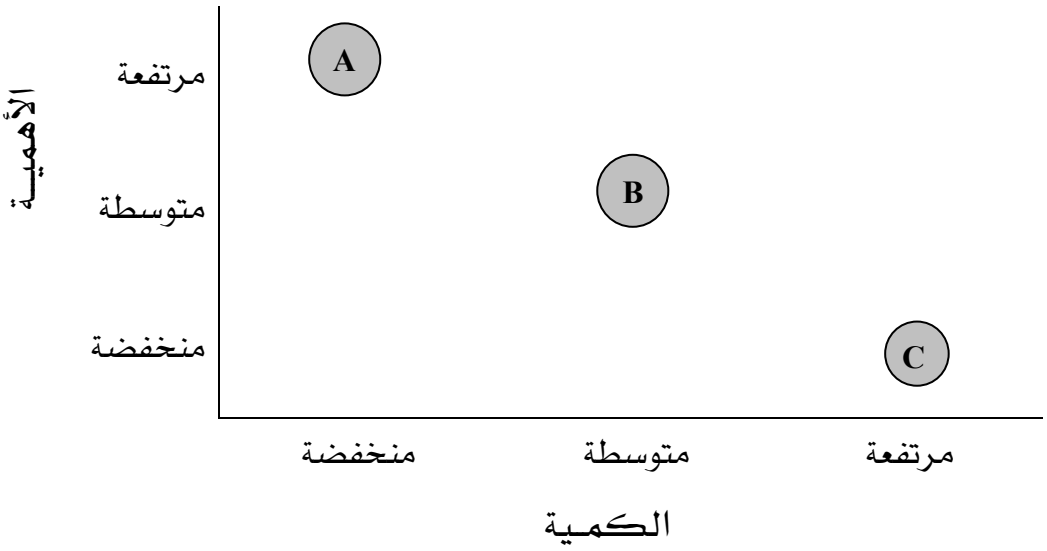
الحل

في حالة النظام غير العشوائي عدد الحاويات التي نحتاج لضمان توفر أماكن تخزين لها لتنفيذ خطة التخزين المعطاة يساوي **57** حاوية، وهذا العدد حصلنا عليه بجمع الحدود القصوى للمخزون لكل منتج على مدى الأربعة أسابيع (**19+17+21**). في حالة النظام العشوائي تنفيذ خطة التخزين نفسها يتطلب فقط توفر **39** فتحة تخزين، وهذا العدد حصلنا عليه من أعلى إجمالي مخزون أسبوعي. لاحظ أنه في هذا المثال متطلبات التخزين في ظل النظام العشوائي تشكل تقريبا ثلثي ما يتطلبه النظام غير العشوائي.

6- 6 نظام ABC لتصنيف المخزون

من الطبيعي أن تتفاوت المواد في المخازن الصناعية و التجارية من حيث أهميتها وكمياتها. في الغالب يوجد مواد ذات أهمية قصوى ولكنها تشكل نسبة قليلة جدا من المخزون قد تصل ل 5٪، ويوجد مواد ذات أهمية منخفضة نسبيا ولكنها تشكل نسبة كبيرة من حجم المخزون قد تصل ل 80٪. بين هاتين الحالتين قد يوجد مواد ذات أهمية متوسطة وذات نسبة مخزون متوسطة. الأهمية كمعيار قد يختلف تعريفها من تطبيق لآخر ومن شركة لأخرى، مثلا قد تكون أهمية المادة المخزّنة نابعة من قيمتها المالية أو مستوى نشاطها (معدل خروجها ودخولها من وإلى المخزن) أو مدى توفرها.

كما هو مبين في الشكل (6- 3) نظام ABC لتصنيف المخزون هو نظام يتم فيه تصنيف المخزون إلى ثلاثة مستويات (أو أكثر من ذلك إذا تطلب الأمر) A و B و C.



شكل (6- 3): شكل توضيحي لنظام ABC لتصنيف المخزون

المستوى A يتضمن المواد ذات الأهمية القصوى، المستوى B يتضمن المواد ذات الأهمية المتوسطة، والمستوى C يتضمن المواد ذات الأهمية المنخفضة. غالبا نسبة المخزون تكون منخفضة للمستوى A ومتوسطة للمستوى B وعالية للمستوى C.

تجدر الإشارة إلى أن النموذج القياسي لنظام ABC يتكون من ثلاثة مستويات تصنيف إلا أنه يمكن زيادة عدد تلك المستويات حسب الحاجة. أيضا يمكن استخدام أكثر من معيار في نفس النظام، مثلا تصنيف المواد حسب قيمتها المالية ومستوى نشاطها.

الغرض الأساسي لنظام ABC لتصنيف المخزون هو توفير إمكانية توجيه الاهتمام (الجهد الإداري والتنظيمي) للمستويات المختلفة بقدر يتناسب مع أهمية كل منها، مما يؤدي بطبيعة الحال لرفع كفاءة إدارة المخازن. أيضا يمكن الاستفادة من تصنيف المخزون في تقليل تكاليف مناولة المواد في المخزن (كما سنرى لاحقا) من خلال جعل المخزون الأكثر نشاطاً أقرب من غيره لنقاط الدخول والخروج.

6- 7 التخزين المركزي والتخزين اللامركزي للعدد

تتوقف عملية المفاضلة بين التخزين المركزي والتخزين اللامركزي للعدد على النظر إلى نظام التخزين كجزء من نظام متكامل لنظام التصنيع ونظم المناولة المستخدمة، بمعنى أنه إذا كانت

تكاليف مناولة هذه العدد من موقع تخزين مركزي إلى مختلف خطوط الإنتاج مرتفعة وعرضة للتأخير، فإنه قد يفضل في مثل هذه الحالة استخدام نظام تخزين لامركزي للعدد يضمن لكل عملية على خط الإنتاج توفير ما تحتاجه من العدد في موقع مجاور لهذه الخطوط، وبالتالي نضمن عدم توقف بعض العمليات أو الخطوط الإنتاجية أو خفض حجم الإنتاج في هذه الخطوط. تعتمد المقارنة بين الخيارين على دراسة تكلفة كل خيار: تكلفة إقامة تخزين مركزي ذي تكلفة إنشاء منخفضة نسبياً ولكن بتكاليف نقل مرتفعة لخطوط الإنتاج، وتكلفة إقامة عدد من مواقع التخزين (تخزين لا مركزي) بتكلفة إنشاء كلية عالية نسبياً ولكن بتكاليف نقل منخفضة لمختلف خطوط الإنتاج. كما لا يخفى تأثير نوع المخطط الداخلي لنظام التصنيع على تشجيع نوع أو آخر من التخزين.

6- 8 تصميم المخطط الداخلي لأقسام التخزين

تصميم المخطط الداخلي للمخازن يعتبر من أهم الخطوات في عملية تصميم نظام التخزين نظرا لكون هذا التصميم يؤثر مباشرة في مدى تحقيق النظام لأهدافه التي تطرقنا لها سابقا. عملية تصميم المخطط الداخلي تتضمن بشكل أساسي تحديد مواقع وأبعاد أماكن التخزين والممرات اللازمة لتخزين وسحب المواد المخزنة وتحديد مواقع نقاط الدخول والخروج والمكاتب والمنافع الأخرى، وذلك يتضمن إسناد المواد والمنتجات المراد تخزينها لأماكن التخزين. المعطيات الأساسية لعملية التصميم تلك تتضمن أبعاد الفراغ المتاح للتخزين (الطول × العرض × الارتفاع) وجداول الكميات للمواد (المنتجات) المراد تخزينها وأشكالها وأبعادها وأوزانها وخصائصها (مثل القابلية للكسر أو الاشتعال).

لا يتسع المجال هنا للحديث بشكل معمق عن عملية تصميم المخطط الداخلي للمخازن، لذا سنكتفي بتسليط الضوء على أحد أهم العوامل المؤثرة على تصميم المخطط الداخلي للمخازن وهو مستوى النشاط للمخزون.

6- 8- 1 العلاقة بين مستوى النشاط للمخزون وتصميم المخطط الداخلي

مستوى النشاط للمادة المخزنة يعبر عن معدل حركتها بين أماكن تخزينها ومحطات الدخول والخروج الناتج عن طبيعة الطلب المتكرر عليها. مستوى النشاط يمثل أحد أهم الاعتبارات المؤثرة في تصميم المخططات الداخلية للمخازن نظراً للعلاقة الطردية بينه وبين تكرارية التنقل داخل المخزن، مما يعني تأثير مستوى النشاط على المسافة المقطوعة داخل المخزن من قبل معدات مناولة المواد. القاعدة العامة

التي يفترض تطبيقها عند تصميم المخططات الداخلية للمخازن تنص على ما يلي: *عند إسناد المواد لمواقع التخزين يجب أن تكون المسافة بين مواقعها وبين المدخل/ المخرج متناسبة عكسيا مع مستوى نشاطها.*

لحساب المسافة بين نقطة ما وموقع معين في المخزن يتم ذلك باحتساب المسافة بين النقطة المطلوبة والنقطة التي تمثل مركز هذا الموقع. المسافة بين نقطتين في المخزن $a = (X_2 , X_1)$ و $b = (Y_2 , Y_1)$ يتم احتسابها كما يلي:

$$D_{ab} = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2|$$

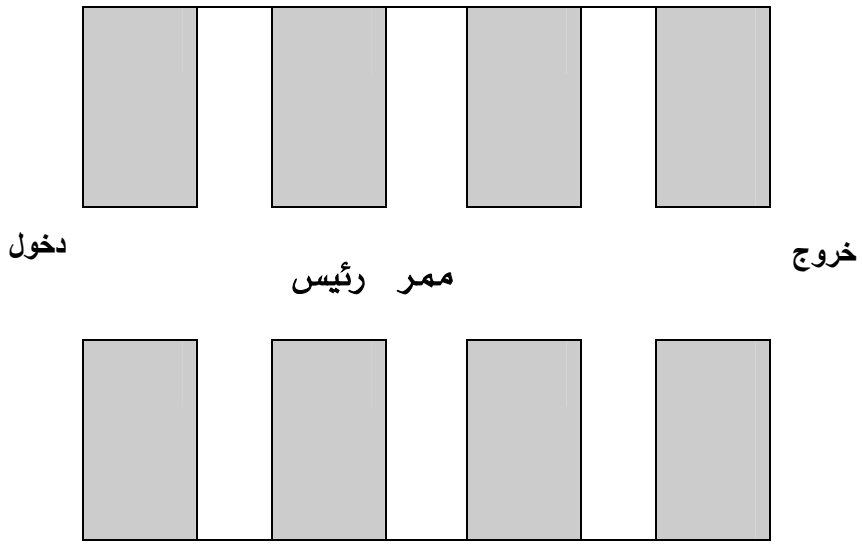
فيما يلي سنناقش تطبيق تلك القاعدة في حالة استقلال نقطتي الدخول والخروج عن بعضهما وحالة استخدام نفس النقطة للدخول والخروج.

(أ) – الدخول والخروج من نقطتين مختلفتين

إذا كان الدخول والخروج يحدثان من نقطتين مختلفتين فإن تقليل متوسط المسافة المقطوعة داخل المخزن يتطلب أن تكون المواد الأكثر نشاطاً التي لديها نسبة الدخول إلى الخروج أعلى من الواحد أقرب ما يمكن من المدخل، وتلك التي لديها نسبة الدخول إلى الخروج أصغر من الواحد أقرب ما يمكن إلى المخرج. نسبة الدخول إلى الخروج تمثل نسبة عدد نقلات الدخول لعدد نقلات الخروج المطلوبة للمادة حسب معدلات الطلب والتخزين لها. المواد التي نسبة الدخول إلى الخروج تساوي الواحد لا يؤثر مدى قربها من المدخل أو المخرج من حيث زيادة أو تقليل متوسط المسافة المقطوعة.

<u>مثال (6- 2)</u>

ثمانية منتجات (A, B, C, D, E, F, G, H) يراد تحديد أفضل مواقع لها بمحاذاة الممر الرئيس للمخزن الموضح بالشكل (6- 4) بناء على المعلومات المعطاة في الجدول (6- 2) وبافتراض تساوي أبعاد جميع المواقع في المخزن.



شكل (6- 4) : مواقع التخزين المعطاة في المثال 6- 2

جدول (6- 2) : عدد نقلات خروج ودخول المنتجات من وإلى المخزن في المثال 6- 2

المنتج	A	B	C	D	E	F	G	H
عدد النقلات اليومية من المدخل إلى موقع التخزين	20	15	40	10	6	24	10	50
عدد النقلات اليومية من موقع التخزين إلى بوابة الخروج	20	25	48	60	4	20	18	25

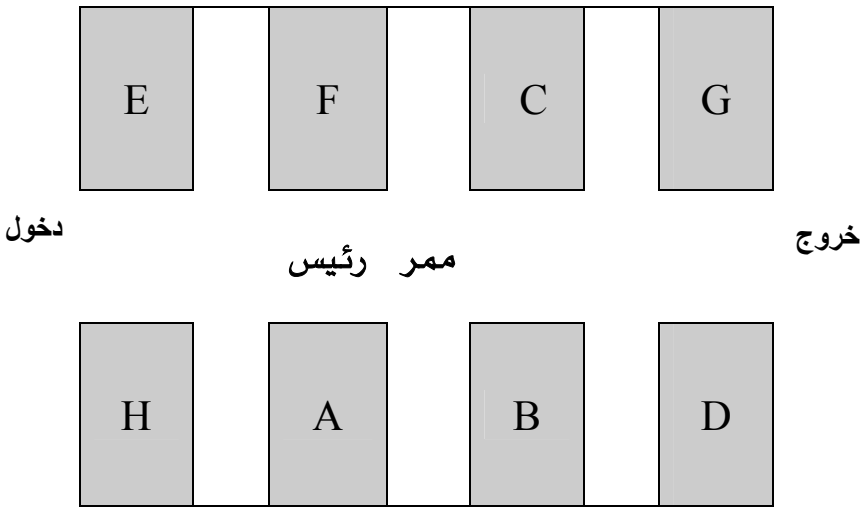
الحل

لإسناد المنتجات للمواقع المعطاة نحتاج لحساب النسبة بين عدد نقلات الدخول إلى المخزن إلى عدد نقلات الخروج من المخزن. هذه النسب معطاة في الجدول التالي:

جدول (6- 3) : نسب نقلات الدخول لنقلات الخروج للمنتجات في المثال 6-

المنتج	A	B	C	D	E	F	G	H
نسبة عدد نقلات الدخول لنقلات الخروج	1.00	0.60	0.83	0.17	1.50	1.20	0.56	2.00

يلاحظ من تلك النسب أن المنتجات D, G, B, C لديها نسب أصغر من الواحد، لذا فإنه يجب أن تكون أقرب للمخرج بحيث تعطى الأولوية في القرب للمنتج D والذي لديه أصغر نسبة، يليه في ذلك G ثم B ثم C. المنتجات E, F, H لديها نسب أكبر من الواحد، لذا يجب أن تكون أقرب ما يمكن للمدخل بحيث تعطى الأولوية في القرب للمنتج H والذي لديه أكبر نسبة، يليه في ذلك E ثم F. المنتج A لديه نسبة تساوي الواحد لذا فإنه يمكن وضعه في أي موقع بين المدخل والمخرج بعد تحديد مواقع المنتجات الأخرى. الحل النهائي موضح بالشكل التالي.



شكل (6- 5) : إسناد المنتجات لمواقع التخزين في المثال 6- 2

(ب) - الدخول والخروج من نقطة مشتركة

في المخازن التي يكون فيها الدخول والخروج من نفس النقطة فإن تحقيق هدف تقليل مسافة الانتقال داخل المخزن يتطلب أن يكون قرب المواد من نقطة الدخول/ الخروج متناسباً طردياً مع مستوى نشاطها، أي أن تكون المواد الأكثر نشاطاً أقرب ما يمكن لتلك النقطة. في حال استخدام نظام ABC

التصنيف فيه على أساس مستوى النشاط فإن المواد التي في المستوى A تكون الأقرب لنقطة الدخول/ الخروج تليها المواد التي في المستوى B ثم تلك التي في المستوى C.

مثال (6- 3)

المخزن المبين في الشكل (6- 6) يتكون من 36 موقع تخزين. المسافة بين مواقع التخزين ونقطة الدخول والخروج مبينة على الشكل لكل موقع، وقد تم احتسابها باستخدام المعادلة المعطاة سابقا.

8	7	6	6	7	8
7	6	5	5	6	7
6	5	4	4	5	6
5	4	3	3	4	5
4	3	2	2	3	4
3	2	1	1	2	3

نقطة الدخول/الخروج

شكل (668) : مخطط مواقع التخزين والمسافات بينها وبين نقطة الدخول / الخروج في المثال 6- 3

مطلوب ما يلي:

أ - احسب متوسط المسافة بين المواقع في المخزن ونقطة الدخول/الخروج.

ب - بافتراض أن المخزن سيستخدم لتخزين 36 قطعة (قطعة لكل موقع) وأنه قد تم تصنيف تلك القطع إلى ثلاثة مستويات A و B و C بناءً على نشاطها، حدد أفضل المواقع لكل مستوى ثم احسب المسافة المتوقعة للنقلة الواحدة لمناولة المواد في المخزن بمعلومية ما يلي:

- المستوى A يتضمن 6 قطع ويستحوذ على 80٪ من نشاط التخزين.
- المستوى B يتضمن 12 قطعة ويستحوذ على 15٪ من نشاط التخزين.
- المستوى C يتضمن 18 قطعة ويستحوذ على 5٪ من نشاط التخزين.

ج – من بين كل 1000 نقلة تتم بين أماكن التخزين ونقطة الدخول/الخروج احسب عدد النقلات التي يتطلبها كل مستوى من المستويات الثلاثة A و B و C.

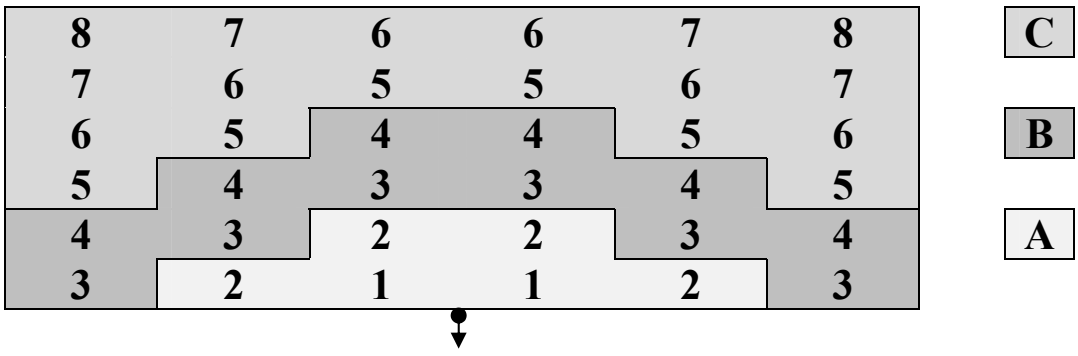
الحل

(أ). متوسط المسافة بين مواقع التخزين ونقطة الدخول/الخروج = مجموع المسافات ÷ عدد المواقع

مجموع المسافات = 1×2 + 2×4 + 3×6 + 4×6 + 5×6 + 6×6 + 7×4 + 8×2= 162 متراً

إذاً: متوسط المسافة بين مواقع التخزين ونقطة الدخول/الخروج = 162 ÷ 36 = 4.5 متر

(ب). بتطبيق العلاقة التي ذكرناها سابقا بين مستوى النشاط للمواد المراد تخزينها وقرب مواقعها لنقطة الدخول /الخروج، فإن المواد التي في المستوى A تكون لها الأولوية في المواقع الأقرب تليها المواد التي في المستوى B ثم تلك التي في المستوى C. بهذا يكون توزيع المواقع المبين في الشكل أدناه هو الأفضل من حيث تقليل متوسط مسافة الانتقال داخل المخزن.



شكل (6- 7) : توزيع مواقع التخزين بين المستويات المختلفة

متوسط المسافة بين نقطة الدخول/ الخروج والمواقع المخصصة لمستوى معين يمكن حسابها بنفس الطريقة التي تم بها حساب متوسط المسافة في الفقرة (أ)، أي أن:

متوسط المسافة بين مواقع المستوى A ونقطة الدخول/الخروج = (2×1 + 2×4) ÷ 6 = 1.67 متر

متوسط المسافة بين مواقع المستوى B ونقطة الدخول/الخروج = (4×6 + 3×6) ÷ 12 = 3.50 متر

متوسط المسافة بين C ونقطة الدخول/الخروج = (8×2 + 7×4 + 6×6 +5×6) ÷ 18 = 6.11 متر

إذاً:

المسافة المتوقعه للنقلة الواحدة = (1.67×0.80) + (3.50×0.15) + (6.11×0.05) = 2. 17 متر.

بمقارنة هذه النتيجة مع متوسط المسافة للنقلة الذي تم احتسابه في الفقرة **(أ)** يلاحظ انخفاض في المسافة بنسبة 52٪ ناتج عن إعطاء الأولوية في القرب من نقطة الدخول/الخروج للمواد الأكثر نشاط.

(ج). حسب مستويات النشاط المعطاة فإن كل 1000 قطعة يتم مناولتها تتوزع كما يلي:

عدد القطع من المستوى A = 0.80×1000 = 800 قطعة

عدد القطع من المستوى B = 0.15×1000 = 150 قطعة

عدد القطع من المستوى C = 0.05×1000 = 50 قطعة

خلاصة الوحدة السادسة

- أهم الوظائف والأهداف التي تعمل نظم التخزين في منشآت الإنتاج الصناعي على تحقيقها تتمثل في الآتي:

1. توفير طلبيات الزبائن .
2. مجابهة التوسع في حجم الإنتاج .
3. توفير المرونة المناسبة للجدولة والتحميل .
4. تداول المواد بأحجام اقتصادية .

- تستخدم رفوف التخزين في العادة لوضع المنتجات والمواد المخزونة، ومن أنواعها : رفوف تخزين حمولة المنصات النقالة ، و الرفوف الكابولية لتخزين المواد الطويلة .
- عند استخدام نظام تكديس الكتل، ينبغي ملاحظة أن الحد الأعلى لارتفاع هذه الكتل يعتمد على مدى تحمل الوزن وحدود التوازن .
- تتضح العلاقة بشكل واضح بين نظامي مناولة المواد والتخزين في الآتي :

1. توفير ممرات كافية لمرور معدات المناولة عند تصميم المخطط الداخلي لقسم التخزين .
2. يعتمد بشكل فعال اختيار نوعية معدات المناولة على نوع وسائل التخزين المستخدمة ومدى الارتفاع من الأرضية المسموح به للتخزين.

- التخزين غير العشوائي يعني أن كل منتج أو مادة خام لها موقع محدد ودائم في منطقة التخزين، بينما يعني التخزين العشوائي (أو المفتوح) أن المنتج يوضع في أي مكان مناسب في قسم التخزين.
- يتميز التخزين العشوائي على التخزين غير العشوائي :
- تتكون طريقة ABC لتصنيف المخزون من تقسيم عناصر المخزون إلى ثلاث مجموعات طبقاً لأهميتها، مما يوفر أداة مهمة لتحديد عناصر المخزون ذات التأثير البالغ على الأداء الكلي للشركة.

تمارين – 6

(1)أجب بـ (لا) أو (نعم) فيما يلي :

1. التخزين غير العشوائي يعني أن المنتج المخزن ليس له موقع محدد في منطقة التخزين. ( )
2. التحسن المستمر لعناصر المخزون من المجموعة A طبقاً لنظام (ABC) يعطي تحسناً أكبر في الأداء بالنسبة للتكلفة الكلية للمخزون مقارنة بالمجموعة B. ( )
3. التخزين العشوائي يحتاج لعدد أقل من مواقع التخزين . ( )
4. يحتاج نظام التخزين العشوائي إلى نظام فعال للمعلومات . ( )

(2) أ. اذكر أهم خمس وظائف لنظام التخزين.

ب. .قارن بين التخزين غير العشوائي والتخزين العشوائي.

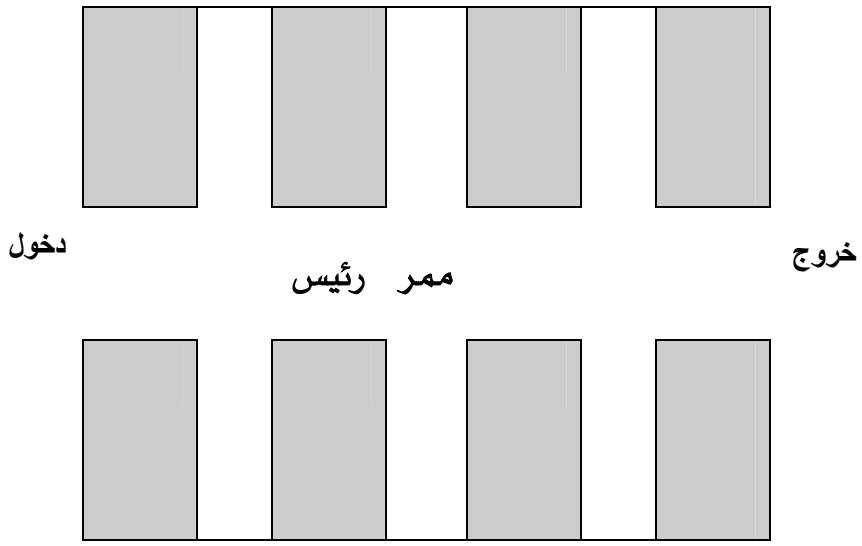
ج. قارن بين التخزين المركزي واللا مركزي للعدد.

د. اشرح العلاقة بين مستوى النشاط للمخزون ومسافة الانتقال داخل المخزن.

(3) ثلاثة منتجات سيتم استلامها في مخزن لشركة ما لتلبية الطلب عليها خلال فترة زمنية مدتها أسبوعين. هذه المنتجات يتم تخزينها بعد تعبئتها في حاويات قياسية متساوية الحجم كل منها يحتاج تخزينه لفتحة تخزين واحدة. الجدول التالي يبين كميات المخزون (مقاسة بعدد الحاويات) للمنتجات في كل أسبوع، المطلوب حساب عدد فتحات التخزين اللازمة لضمان تنفيذ خطة التخزين المعطاة في ظل كل من النظام العشوائي والنظام غير العشوائي للتخزين.

الأسبوع	كميات المخزون للمنتجات		
	1	2	3
1	15	10	12
2	18	14	9

(3) ثمانية منتجات (A, B, C, D, E, F, G, H) يراد تحديد أفضل مواقع لها بمحاذاة الممر الرئيس للمخزن الموضح بالشكل التالي بناء على المعلومات المعطاة في الجدول أدناه وبافتراض تساوي أبعاد جميع المواقع في المخزن.



المنتج	A	B	C	D	E	F	G	H
عدد النقلات اليومية من المدخل إلى موقع التخزين	16	18	42	30	6	24	12	54
عدد النقلات اليومية من موقع التخزين لبوابة الخروج	24	35	28	60	14	22	19	50

قائمـة المراجع

أولاً: المراجع العربية :

1. أبو النور ، عبد الرزاق عبد الرحيم وآخرون 1999م ، أسس الهندسة الصناعية ، مركز النشر العلمي ، جامعة الملك عبد العزيز ، جدة .
2. مركز البحوث (إشراف عام : دحلان، عبد الله صادق) 1992 ، إدارة المصانع ، الغرفة التجارية الصناعية بجدة ، جدة .

ثانياً : المراجع الأجنبية :

1. Askin G.R. , Standridge C.R., 1993, Modelling and analysis of manufacturing Systems, John Wiley & Sons , USA.
2. Bedworth D.D. , et al . , 19991 , Computer integrated design and manufacturing , International Editions , Singapore .
3. Chang T.C. , et al . , 1998, computer – aided manufacturing , 2nd edition , Prentice Hall , USA.
4. Eltohami O.A. , 1996 , A Comparison of selected cell formation algorithms : a simulation – based approach (Unpublished Ph D Thesis) , Cranfield Universtiy , UK.
5. Gallagher C.C, Knight W.A. , 1986, Group technology production methods in manufacture , Halsted Press : adivision of John Wiley & Sons , UK.
6. Groover M.P., 1980 , Automation , Production Systems , and Computer – aided manufacturing , Revised edition , Prentice Hall , USA .
7. Groover M.P., 1987 , Automation , Production Systems , and computer – integrated manufacturing , Prentice Hall , USA .
8. Hitomi K . , 1979 , Mahufacturing Systems engineering , Taylor & Francis Ltd , UK.
9. Vollmann T.E , et al . , 1992, Manufacturing Planning and control systems , Third edition, Richard D. Irwing , USA .

المحتويـــات

مقدمـــــة .....
تمهيـــد .....
الوحدة الأولى : مدخل إلى نظـم التصنيـع .....
1- 1 مقدمة: 2
1- 2 نظام التصنيع ومكوناته الأساسية 3
1-3 الأهداف العامة لنظام التصنيع 4
1-4 المراحل الرئيسة للإنتاج واستخدامات الحاسب فيها 6
1- 5 القوانين الأساسية لنظم التصنيع 9
خلاصة الوحدة الأولى 15
تمـــارين - 1- 16
الوحدة الثانية : تصنيف نظم التصنيع .....
2- 1 مقـــــدمة 19
2- 2 أسس تصنيف نظم التصنيع 19
خلاصة الوحدة الثانية 28
تمـــارين - 2- 29
الوحدة الثالثة :نظم التصنيع الحديثة .....
3- 1 مقـــــدمة 29
3- 2 تكنولوجيا المجموعات وتطبيقاتها في نظم التصنيع 29
3- 3 نظام التصنيع الخلوي 30
3- 4 نظم التصنيع المرن 45
3- 5 التصنيع المتكامل بالحاسب 48
خلاصة الوحدة الثالثة 51
تمـــارين – 3 – 53
الوحدة الرابعة : خطـــوط التجميع .....
4- 1 مقـــــدمة 56
4- 2 مسألة موازنة خط التجميع 58
خلاصة الوحدة الرابعة 68
تمـــارين - 4 – 69
الوحدة الخامسة :نظـم منـاولة المواد .....
5- 1 مقـــــدمة 72

5- 2 الأهداف والمباديء الأساسية لتصميم نظام مناولة المواد 73
5- 3 أنواع معدات مناولة المواد وخصائصها 75
5 – 4 طرق أخرى لتصنيف معدات مناولة المواد 82
5- 5 طرق تحسين الأداء لنظم مناولة المواد 83
خلاصة الوحدة الخامسة 84
تمـــــارين – 5 – 85
الوحدة السادسة : نظـــم التخزين .....
6- 1 مقـــــــــدمة 87
6- 2 وظائف وأهداف نظام التخزين 87
6- 3 وسائل التخزين والعوامل المؤثرة في اختيارها وتصميمها 88
6- 4 العلاقة بين نظامي مناولة المواد والتخزين 90
6- 5 التخزين العشوائي والتخزين غير العشوائي 91
6- 6 نظام ABC لتصنيف المخزون 93
6- 7 التخزين المركزي والتخزين اللامركزي للعدد 94
6- 8 تصميم المخطط الداخلي لأقسام التخزين 94
خلاصة الوحدة السادسة 101
تمارين – 6 102
قائمـــة المراجع 103