Subject: Engineering Management	**الموضوع : إدارة هندسية**
Weekly Hours :Theoretical: 2 **Tutorial:**	**الساعات الأسبوعية: نظري:2** **مناقشة:**
Experimental:	**عملي :**
UNITS: 4	**عدد الوحدات:4**

week	**Contents**	**المحتويات**	**الأسبوع**
1.	Concepts and objectives of Engineering Management	مفاهيم وأهداف الإدارة الهندسية	.1
2.	Technical and economic studies for project feasibility.	الدراسات الفنية والاقتصادية لجدوى المشاريع	.2
3.	Plant performance appraisal.	تقييم أداء المصانع	.3
4.	Administrative and production organization of industrial enterprises	التنظيم الداري والإنتاجي لمنشآت صناعية	.4
5.	Using operation research in production.	استخدام بحوث العمليات في الإنتاج	.5
6.	Linear programming.	البرمجة الخطية	.6
7.	Graphical method.	الطريقة البيانية	.7
8.	Algebraic method.	الطريقة الجبرية	.8
9.	Simplex method.	الطريقة المبسطة	.9
10.	Allocation of resources.	تخصيص الموارد	.10
11.	Quality Control and production inspection method.	السيطرة النوعية وطرق فحص الإنتاج	.11
12.	Industrial costs and controllable cost techniques.	التكاليف الصناعية وأساليب السيطرة عليها	.12
13.	Time measurement studies for production operations.	دراسة الوقت للعمليات الإنتاجية	.13
14.	Introduction Time studies for production operations.	حساب الزمن للعمليات الإنتاجية	.14
15.	Method Time studies for production operations.	طرق حساب الزمن للعمليات الإنتاجية	.15
16.	Construction of technological paths.	رسم المسالك التكنولوجية	.16
17.	Internal plant layout.	التخطيط الداخلي للمصنع	.17
18.	Productivity, measurement method, techniques	الإنتاجية، طرق قياسها، أساليبها	.18
19.	Maintenance.	الصيانة	.19
20.	Replacement.	الاستبدال	20.
21.	Introduction to Inventory Control	مقدمة السيطرة على الخزين	.21
22.	Method of Inventory Control	طرق السيطرة على الخزين	.22
23.	Type of Inventory Control	أنواع السيطرة على الخزين	.23
24.	Selection of plant location.	اختيار موقع المصنع	.24
25.	Introduction to Floating planning for raw materials.	تخطيط التداول للمواد الأولية	.25
26.	Method of Floating planning for raw materials.	طرق تخطيط التداول للمواد الأولية	.26
27.	Floating planning for semi-manufacture product.	تخطيط التداول للمواد النصف مصنعة	.27
28.	Floating planning for manufacture product.	تخطيط التداول للمواد تامة الصنع	.28
29.	Applications	تطبيقات	.29
30.	Applications	تطبيقات	.30

الموضوع : **الهندسة الصناعية** مدرس المادة : د. نبيـل جـورج نـاسـي عدد الوحدات : 4

الكتب المنهجية : 1) د. عادل عبد المالك " الهندسة الصناعية "– دار الكتب للطباعة والنشر - جامعة البصرة - الطبعة الأولى 2000 .

2) د. خليل العاني ، د. إسماعيل إبراهيم القزاز ، د. عادل عبد المالك كوريال " إدارة الجودة الشاملة ومتطلبات الأيزو *2000:9001* " الطبعة الأولى *2001* ، مطبعة الأشقر- بغداد .

3) Hamdy A. Taha " Operations Research : an introduction" 6th edition (1997), Prentice-Hall.

4) Prem Kumar Gupta and D.S. Hira " Operations Research : an introduction" 2nd edition (1989) S. Chand & Company LTD, NewDelhi .

5) Charles E. Ebeling "An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering " (1997) , McGraw-Hill.

الكتب المساعدة : 1) د. مازن بكر عادل وأخرون " بحوث العمليات للإدارة الهندسية " جامعة الموصل 1986 .

2) *Phillips,D.T.;Ravindran,A.;Solberg ,J." Operations Research : Principles and Practice " (1976) John Wiley.*

الساعات الإسبوعية : النظري : 2 العملي : ــــ مناقشة : ــــ .

الإسبوع	الصفحة	الفصل	عنوان المحاضرة	مختصر المحاضرة
1	*7 – 1*	الأول	مفاهيم وأهداف الهندسة الصناعية.	تعريفية بمفهوم الهندسة الصناعية كفرع من الإدارة الهندسية وأهدافها .
2	*12 – 8*	الثاني	الدراسات الفنية والإقتصادية لجدوى المشاريع الصناعية.	تتضمن دراسة تكاليف الإنتاج (المتغيرة والثابتة) وإستخدام النسبة المئوية لربحية المشروع وحجم وقيمة نقطة التعادل والنسبة المئوية لحد الأمان ومدة إطفاء (إسترداد) المشروع للرأسمال المستثمر .
3	*16 – 12*	الثاني	تكاليف الإنتاج.	تحليل نقطة التعادل والعلاقة بين الكلفة والربح وحجم الإنتاج .
4	*20 – 17*	الثاني	الإنتاجية.	أنواع الإنتاجية وطرق قياسها (طريقة معامل التحويل والطريقة النقدية) وأساليب زيادتها.
5	*25 – 21*	الثاني	دراسة العمل .	فوائد دراسة العمل وخطواتها الرئيسية و قياس محتوى العمل وتحديد الوقت القياسي .
6	*36 – 29*	الثالث	التنظيم إداري والتكنولوجي لمنشأة صناعية.	أنواع التنظيمات والمستويات الإدارية المناظرة و التنظيم التكنولوجي وأنواعه ودورة الإنتاج .
7	مناقشة تقارير تقدم من قبل الطلبة فيما يخص الباب الأول (الفصول الأول والثاني و الثالث) مع إختبار .			
8	*46 – 38*	الرابع	إستخدام بحوث العمليات في ألإنتاج / البرمجة الخطية .	المستلزمات الأساسية للبرمجة الخطية وصيغها (العامة ، القانونية و القياسية) وكيفية التحويل بينهما وكيفية صياغة النموذج رياضياً و حل النموذج رياضياً.
9	*52 – 47*	الرابع		حل النموذج الرياضي بالطرق *Simplex* و *M- technique* و *2- phase*.
10	*58 – 56*	الخامس	نموذج مشكلة النقل	تعريف المشكلة كحالة خاصة من نماذج البرمجة الخطية وكيفية إيجاد الحل الأولي بإستخدام طرق الركن الشمالي الغربي، الأقل كلفة ، *VAM* و *RAM* .
11	*67 – 59*	الخامس		إختبار وتحسين الحل الأولي بإحدى الطريقتين : *Stepping stone* أو *Multipliers* للوصول للحل الأمثل .
12	*74 – 68*	الخامس	مشكلة التخصيص	تعريف المشكلة كحالة خاصة من نماذج البرمجة الخطية وكيفية إيجاد الحل الأمثل في حالتي تعظيم الربح أوالإيراد أو تقليل الكلفة أو الزمن.

13	*81 – 75*	السادس	المخططات الشبكية	تعريف بالمخططات الشبكية وكيفية رسمها وإيجاد المسار الحرج *C.P.* والوقت الحرج وأسلوب تقييم ومراجعة البرامج *PERT* .
14	*88 – 81*	السادس		تعجيل وتبطيء المخططات الشبكية (إيجاد أقل زمن وكلفة ممكنتين لتنفيذ المشروع) .
15	*94 - 89*	السابع	نماذج التتابع	تعريف نماذج التتابع وإنجاز *n* من المهام على ماكنة واحدة ، وإيجاد أقصر وقت تشغيل *S.P.T.* وكذلك أطول وقت تشغيل *L.P.T.* ، وإنجاز *n* من المهام على ماكنتين ، و إنجاز *n* من المهام على ثلاثة مكائن .
16	*99 – 94*	السابع		إنجاز *n* من المهام على *m* من المكائن، وإنجاز *n* من المهام على ماكنتين في ورشة ذات مسالك تكنولوجية مختلفة (عشوائية ألإنسياب).
17	*104 – 100*	الثامن	نماذج الصيانة والإستبدال	دراسة كلف الصيانة والتشغيل لإيجاد وقت إستبدال الماكنة مع دراسة معدل الكلفة الفردية لإستبدال الوحدات العاطلة ومعدل الكلفة الجماعية لإستبدال جميع الوحدات لتحديد سياسة الإستبدال المثلى .
18	*108 – 104*	الثامن		نموذج الصيانة مع حل تمارين الفصل .
19	*114 – 110*	التاسع	إدارة الجودة الشاملة *TQM* والأيزو *ISO* .	الجودة و إدارة الجودة الشاملة (مرتكزاتها الأولية ومبادئها) .
20	*117 – 115*	التاسع		إدارة الجودة الشاملة (عناصرها و مراحل تطبيقها و فوائدها) .
21	*121 – 117*	التاسع		مفهوم الأيزو *ISO 9000* (مواصفاته و إسلوب إنجاز الأعمال التقنية ومبادئه) .
22	*126 – 121*	التاسع		مفهوم الأيزو *ISO 9000* (فوائده و مجموعة مواصفاته ومراحل تطبيقه) .
23	*131 – 127*	العاشر	السيطرة النوعية	تعريف بالسيطرة النوعية وإسلوب الفحص الشامل والعينات ومخططات السيطرة النوعية للوسط الحسابي والمدى .
24	*138 – 131*	العاشر		مخططات السيطرة النوعية للإنحراف المعياري ولنسبة الوحدات المعابة .
25	*146 – 138*	العاشر		مستوى الجودة ، والفحص بالعينات (الأحادية والثنائية والمتعددة) .
26	*152 – 149*	الحادي عشر	المعولية	تعريف بالمعولية ، ودالة العطل والإحتمالات ومتوسط زمن العطل *MTTF* والتباين ، دالة نسبة المخاطرة .
27	*155 – 152*	الحادي عشر		دالة المعولية الشرطية ودالة المعولية الأسية وتوزيع ويبل *Weibul* للمعولية .
28	*162 – 155*	الحادي عشر		ربط المنظومة على التوالي (في حالة التوزيع الأسي وتوزيع ويبل) ، الربط على التوازي (في حالة التوزيع الأسي) والربط المختلط (توازي وتوالي) .
29	*170 – 162*	الحادي عشر		فائض بمستويين عالٍ وواطيء مع حل تمارين خارجية .
30	مناقشة تقارير تقدم من قبل الطلبة فيما يخص الباب الثالث (الفصل التاسع) مع إختبار .			

محاضرات

في

الهندسة الصناعية

لطلبة

المرحلة الرابعة

في قسم

هندسة المكائن والمعدات

لكافة الفروع

أعدت من قبل

الأستاذ المساعد الدكتور

نبيـل جـورج ناسـي

2008

الباب الأول

الإنتاجية

المصدر :

د. عادل عبد المالك " الهندسة الصناعية " دار الكتب للطباعة والنشر/ جامعة البصرة – الطبعة الأولى 2000.

الفصل الأول

مفاهيم وأهداف الهندسة الصناعية

تعتبر أدوات الإنتاج ووسائله المتمثلة بالمكائن من بين عناصر الإنتـاج المهمـة ، وفـي ضـوء معطيات الثورة التكنولوجية التي عمت عالم التصنيع تطورت المكائن الإنتاجية ولاتزال تتطـور بـشكل سريع وكبير من حيث نسب الآلية والدقة والطاقات الإنتاجية ، مما يستدعي تطـوراً ممـاثلاً بطرائـق التصنيع ومهارات العمل ونظم إدارة الإنتاج بغية التمكن من إستغلال الطاقات الإنتاجية للمكائن وضمان زيادة الإنتاج وتحسين جودته وخفض كلفة تصنيعه . لذا فتطوير نظم الهندسة الصناعية بشكل مـرادف لتطور المكائن والمعدات الإنتاجية أمر ضروري لضمان تحقيق الأهداف المرجوة والمستهدفة من تنفيذ الخطط الإنتاجية السنوية التي تعتمدها المنشآت الإنتاجية بجانب تحديث المعارف والـدرايات الإداريـة والفنية والتقنية للكادر المتقدم والمباشر لتمكينه من ترجمة النظم المتطورة للواقـع الحـالي بالكفـاءة المطلوبة وبأقل النفقات الممكنة .

ولضمان إدارة إنتاج المنشآت الصناعية بأفضل كفاءة أداء وبأقل الكلف المقرونة بالجودة المطلوبة للسلع المنتجة ، يتوجب تكييف أو إستحداث نظم لإدارة العمليات التصنيعية طبقاً لمستوى تطور المكائن والمعدات الإنتاجية ووتائر سرعة المستجدات التكنولوجية وبما ينسجم مـع متطلباتهـا . وقـد أثبتـت الوقائع والأحداث في الدول المتقدمة صناعياً ، إن تطوير نظم الهندسة الصناعية وإعتماد نظـم جديـدة تتماشى ومستوى أتمتة المكائن ونسب آليتها يحسن من أساليب الأداء ونوع التنظـيم ويعمـل بـشكل مباشر وغير مباشر إلى الإرتفاع بوتائر إنتاجية العمل .

لذا فإن أنشطة وفعاليات الهندسة الصناعية فـي ضـوء المـستجدات الـسريعة والكبيـرة للثـورة التكنولوجية يتوجب أن تتسم بصفة الديناميكية والتغير السريع المرادف لسرعة التغييرات التكنولوجيـة بالنظم وبإستخدام الأساليب الكمية المتطورة لأحكام عملية أي نشاط أو فعالية إنتاجية ضمن معيار كمي مستهدف لإستبعاد أي إجتهاد أو سوء تنظيم قد يترتب عليه هدر الطاقات الإنتاجية والمـواد الأوليـة، فضلاً عن سوء إستخدام قوة العمل وعدم إستغلالها بالصيغ المطلوبة .

ولدراسة تطور نظم الهندسة الصناعية ومعطياتها لابد من التطرق إلى مراحل التطور التأريخي لنسب آلية المكائن الإنتاجية منذ إندلاع الثورة الصناعية المتمثلة بإختراع الألات البخارية من قبل جيمس واط في عام 1775 وإستخدامها كقوة محركة لتشغيل مكائن الغزل والنسيج ، مما أدى إلى تغيير المفـاهيم التي كانت سائدة أنذاك بخصوص إقتصاديات التصنيع ، لأن إستخدام الألات البخارية حقق كميات كبيرة من الإنتاج في وحدة الزمن بالمقارنة مع الألات اليدوية وبجودة أفضل وبكلف أقل وترتب علـى ذلـك أيضاً الإستغناء عن الجهد الجسدي لعدد كبير من الأفراد العاملين بحقل التصنيع وخلق ضرورة ملحـة لتطوير مهارات ودرايات العمل بما ينسجم مع نسب تطور المكائن ومتطلبات العمل عليها.

لذا لابد من تحديث أو إستبدال نظام العمل الإداري والصناعي لمسايرة هذه التطورات ومواجهة مستلزمات وإحتياجات تطبيقاتها في الواقع العملي وبناءاً عليه تطورت نظم الهندسة الصناعية بشكل مرادف للتطورات التكنولوجية .وأدناه سمات ومميزات كل مرحلة من مراحل التطور التأريخي لنسب آلية المكائن الإنتاجية :

المرحلة الأولى (مرحلة ما قبل الثورة الصناعية) :لم تكن هناك حاجة لنظام الهندسة الصناعية لإدارة وتشغيل المصانع بالمفهوم الواضح لأن الإنتاج كان مشتركاً بين المصانع (صغيرة الحجم وقليلة العدد) والمنازل (التي تغطي الجزء الأكبر من إحتياجات السوق) وكان العمل يدوياً ولاتوجد منافسة بين المصانع والمنازل لغزو الأسواق لقلة حجم الإنتاج ومحدودية التشكيلات السلعية وضعف الطلب لإنخفاض مستوى المعيشة . مما أدى إلى أن يكون مالك المصنع مصمم طرائق تصنيعه ومديره ومسعر كلف الإنتاج وأسعار بيع المنتجات معتمداً على طريقة الخطأ والصواب في إدارة نشاطاته الإدارية وفعالياته الصناعية وبغياب نظام يحكم كل نشاط ضمن إطار أبعاده وعلاقته بالأنشطة الأخرى من الناحيتين الهندسية والصناعية .

المرحلة الثانية (مرحلة الثورة الصناعية) : تميزت هذه المرحلة بتطور سريع وكبير في نوعية المكائن والمعدات الإنتاجية مما أدى إلى :

1- الإنتشار الواسع للعمل الآلي وإنتقال الإنتاج من المنازل إلى المصانع ومن ثم سيطرة المصانع على الجزء الأكبر من إحتياجات السوق وتطور نوعية المنتجات وإنخفاض أسعارها بالمقارنة مع نوعية وأسعار منتجات المنازل مما خلقت جملة من معوقات عمل إدارية وصناعية أهمها :

- زيادة طاقات المكائن ونسب آليتها أدى إلى إرتفاع إنتاجيتها مع ثبات الجهد المبذول من قبل العامل أو إنخفاضه عما سبق ، وتسبب هذا بعدم تناسب الأجر مع الجهد المبذول وكمية الإنتاج بوحدة الزمن مما أدى إلى ظهور خلافات بين العمل وأرباب العمل مما أستدعى إيجاد نظام إجور وحوافز تربط الجهد بإنتاجية العمل بصيغة ترضي الطرفين المتنازعين ، لذا تطلب ضرورة الإعتماد على دراسة العمل (الحركة والوقت) لتحديد الوقت القياسي للعمليات الصناعية بغية تحديد الأجر ومقدار الحافز بشكل علمي مفهوم بأبعاده وتطبيقاته من قبل كافة الأطراف المشتركة بالعمليات الإنتاجية .
- إرتفاع نسب الحوادث والإصابات في بيئة ومواقع العمل الصناعي مما أستدعى إلزام أصحاب المعامل إستحداث شعب للتدريب المهني التخصصي داخل المصانع لإكساب العمال المهارات اللازمة للعمل على المكائن الآلية وتوفير متطلبات ومستلزمات الأمان الصناعي ودفع تعويضات الإصابات والتأمين على العاملين ضد الحوادث اللاذاتية .

2- توسيع المصانع القائمة وإقامة مصانع بحجوم كبيرة مما أدى إلى :

- ضرورة إجراء دراسات فنية وإقتصادية لتحديد الحجم الأمثل للمصنع والعدد الأمثل للعاملين الضروريين لتشغيله بصيغ مربحة (دراسات الجدوى الإقتصادية) .

- وجوب إختيارالتنظيم الإداري والتكنولوجي المتناسب مع حجم الإنتاج وطرائق التـصنيع ونوعية الألات والمكائن المستخدمة لضمان توفير متطلبات تأمين أقصر خطوط إتـصال وأقل وقت لتنفيذ المسالك التكنولوجية المعدة للأغراض التصنيعية .
- إعتماد الأساليب العلمية في التخطيط والتنسيق والرقابة على العمليات الإنتاجية .
- وجوب تغيير قوانين العمل والضمان والتعويضات وطرائق دفع الأجر .

3- ظهور منافسة شديدة بين المصانع التي تنتج سلع مماثلة لغزو الأسواق على أساس النوعيـة والسعر مما أدى إلى إستحداث :

- نظم متكاملة لحسابات كلف الإنتاج .
- أساليب رفع الإنتاجية وطرائق إحتساب الإنتاجية الجزئية .
- نظم للسيطرة على الخزين .
- نظم مناولة المواد والنقل لتخفيض كلفها .
- نظم السيطرة على نوعية الإنتاج وضبط جودة المنتج .

فقد ساهم عدد كبير من الرواد في هذه المرحلة ببلورة أساسيات علوم الهندسة الصناعية أبرزهم :

- أدم سميث - في كتابه " ثروة الأمم " عام 1776 نادى بمبدأ تقـسيم العمـل (تقـسيم المسلك التكنولوجي المعتمد لتصنيع أية سلعة إلى عدد من المراحل المتعاقبة وتنـسيب عامل بشكل ثابت لتنفيذ كل مرحلة من هذه المراحل) .
- تشارلس بابيج - في كتابه " إقتصاديات الإنتاج وإستخدام الألات " في عام 1832 أضاف مبدأ التخصص المهاري للعمل (تحديد مستوى المهارة الضرورية لإنجاز كل مرحلة من مراحل المسلك التكنولوجي وإعتمادها كأساس لدفع الأجر) .
- هنري تاون - في مقالته عام 1886 " المعلومات الإقتصادية الضرورية للمهندس " أكد على أهمية إستخدام المعلومات الإحصائية عن المواد والأجور والتكاليف لتحليل الأنشطة الإدارية والصناعية من أجل تقييمها ومحاولة تطويرها (مدخل للإدارة العلمية للإنتاج).
- فردريك تايلر - أكد في كتابه " مباديء الإدارة العلمية " عام 1911 على ضرورة جمع الحقائق وتحليلها وإجراء الأبحاث الميدانية وإتخاذ القرارات في ضوء نتائجها من أجـل التوصل للإستخدام الأفضل للموارد البشرية والمادية المتاحة . وركز على تطبيق مبـدأ الثواب والعقاب كحافز لرفع إنتاجية العمل منذ عام 1898 .
- هنري جانت - إقترح سنة 1913 خـلال إجتمـاع للجمعيـة الأمريكيـة للمهندسـين الميكانيكيين ضرورة التوسع بإجراء التجارب والأبحاث والدراسات فـي مجـال الإدارة الهندسية بغية إعتماد نتائجها كأساس لإتخاذ القرارات الصائبة ولغرض السيطرة علـى الإنتاج في مراحل التصنيع المختلفة إستحدث خرائط جانت لضبط الإنتاج .

- هنري فايول – أكد في كتابه " الإدارة العامة والصناعية " عام 1916 على أهمية التنبؤ لوضع الخطط على المدى البعيد إلى جانب الإهتمام بالمشاكل القائمة وحدد ستة أنشطة اساسية في أية منشأة إنتاجية منها النشاط الإداري الذي يتضمن : التخطيط ، التنظيم ، التوجيه ، التنسيق و السيطرة .
- فرانك جلبرث – إستخدم ، في مقاله " العلم في الإدارة أحسن وسيلة لتأدية العمل " عام 1922 ، أجهزة التصوير الفوتوغرافي لدراسة الحركة إثناء العمل إذ قسمها إلى 17 حركة لغرض تحسين أساليب إداء العمل .
- أوليفر شيلدون – أكد في كتابه " فلسفة الإدارة الصناعية " نشر عام 1923 بضرورة التمييز بين رأس المال والعاملين والإهتمام بتنمية كفاءات العمل ولجميع المستويات في الهيكل التنظيمي المعتمد عن طريق معالجة مختلف ظواهر النقص والقصور في الإداء من خلال التدريب الهادف وإعادة التدريب .
- هاري هوف – أكد في بحثه " الإدارة والأمثل " الذي ألقاه في إجتماع اللجنة الدولية للإدارة العلمية في لندن سنة 1935 على ضرورة إستخدام المعادلات الرياضية في مجال الإدارة الصناعية ودعى إلى تحويل "علم الإدارة" إلى "علم الأمثلية" .
- جورج مايو – أكد في كتابه " المشاكل الإجتماعية للمدنية الصناعية " في عام 1922 على أهمية دراسة رغبات العمال والإهتمام بتنظيماتهم داخل الوحدة الإنتاجية .
- ماري فيوليت – أكدت في كتابها " أساسيات القيادة " على ضرورة إستخدام الوسائل العلمية لعلاج مشاكل العلاقات الإنسانية .
- إبراهام ماسلو – أوضح في كتابه " نظرية الدوافع الإنسانية " إن أي فرد عندما يأتي إلى محيط العمل فإنه يحمل معه جملة من الحاجات العضوية والنفسية والإجتماعية والإقتصادية وعند إشباع هذه الحاجات تتهيء أفضل الفرص لتحقيق الرضا ، مما يؤدي بالنتيجة إلى النهوض بمستوى الإنتاجية .
- ظهور فرق بحوث العمليات للأغراض العسكرية خلال الحرب العالمية الثانية 1939-1945 وخصوصاً للدول المتحاربة لحاجتها الماسة إلى زيادة إنتاجية مختلف المصانع لمواجهة الإحتياجات الكبيرة والمتواصلة للأسلحة ومختلف التجهيزات العسكرية والإستهلاكية الضرورية لإدامة الحرب .

<u>المرحلة الثالثة (مرحلة الثورة التكنولوجية)</u> : بعد إنتهاء الحرب العالمية الثانية عام 1945 إنتقل العلماء في فرق بحوث العمليات للأغراض العسكرية إلى المجالات الصناعية والخدمية ، إذ وصلت نظرياتهم وأساليبهم درجة عالية من التكامل والنضوج وبمساعدة التطور الواسع للحاسبات الأليكترونية. مما أدى إلى أن تحتل بحوث العمليات السمة المميزة لمرحلة الثورة التكنولوجية من خلال

توظيف العلم لخدمة العمل وإتخاذ القرارات الإدارية والهندسية والصناعية الأكثر فاعلية في ضوء ذلك .

أما أهم تطبيقات بحوث العمليات في الميدان الصناعي يمكن إيجازها بما يلي :

1- الأساليب :

أ- البرمجة الخطية *Linear Programming* - تستخدم لتخطيط الإنتـاج وتخـصيص الأعمال على المكائن وتنظيم عملية المبيعات وتخطيط عمليـات نقـل المـواد الأوليـة للمصنع والسلع تامة الصنع من المصنع لتحقيق أعلى ربح وأقل كلفة .

ب- البرمجة الديناميكية *Dynamic Programming* - تستخدم لإيجاد القرار الأمثل من عدة قرارات متداخلة ومتعاقبة تخص التخطيط للإنتاج والمبيعات .

ج- التتابع *Sequencing* - لإيجاد التعاقب الأمثل لمراحل التصنيع أو التجميع .

2- النظريات :

أ- نظرية إتخاذ القرار *Decision Making theory* - تستخدم لإتخاذ القرارالأمثل فـي حالة التأكد أو عدم التأكد أو المخاطرة .

ب- نظرية المباراة *Game theory* - لتحديد أفضل السياسات المتبعة لتحقيق أعلى ربـح أو أقل كلفة ممكنة عند وجود عدة حالات طبيعية.

ج- نظرية صفوف الإنتظار(الطوابير) Queuing theory – لتخطيط الخـدمات وتحديـد العمل الأمثل من مراكز الخدمة والعاملين فيها لتقديم الخدمة بمستوى الجودة المطلوبة وأقل الكلف من خلال تخفيض النسبة بين وقت أداء الخدمة ووقت الإنتظار.

3- التحليلات :

أ- تحليل المخططات الشبكية *Network analysis* - لتحليـل عمليـة تخطـيط وجدولـة ومتابعة تنفيذ المشاريع المحددة .

ب- تحليـل المـدخلات-المخرجـات *Input-Output analysis* - لتخـصيص المـوارد الإقتصادية بشكل متوازن بين القطاعات الإقتصادية المختلفة.

ج- تحليل ماركوف *Markov analysis* - لرسم السياسات الإنتاجية المثلـى وتخطـيط الخزين من السلع الجاهزة من خلال تحديد حجم المبيعات المتوقع.

د- تحليل المنافع- التكاليف *Benefit-Cost analysis* – لتقييم جدوى إقامـة المـشاريع لإتخاذ القرار الأمثل لقبولها أو رفضها إستناداً لمعدل المردود من الإستثمار.

4- النماذج :

أ- نماذج النقل *Transportation models* - لإيجاد أقل الكلف الممكنة لنقل المواد الأولية والمصنعة.

ب- نماذج الخزين *Inventory models* - لتحديد الحجم الإقتصادي الأمثل لطلبيات الـشراء ولرصيد الطواريء ومعدل الخزين ونقطة إعادة الطلب.

ج- نماذج الإحلال *Replacement models* - لتحديد الموعد الأمثل لإستبدال المكائن والمعدات الإنتاجية لتخفيض كلاف الصيانة والتشغيل.

أما أهم سمات ومميزات الصناعة والهندسة الصناعية الحديثة يمكن إيجازها بما يلي :

1- التخصيص – يقصد به تخصيص منشأة صناعية بإنتاج سلعة واحدة أو عدد محدود جداً من السلع المتماثلة.

2- الآلية – يعني الإعتماد الواسع على إستخدام الألات والمعدات والمكائن الأوتوماتيكية لتوفير الجهد العضلي والذهني بجانب دقة الإنتاج والإقتصاد بالمواد الأولية وزيادة كمية الإنتاج.

3- العلمية – تعني تطبيق الطرق العلمية وأساليب بحوث العمليات لتخطيط وتنفيذ وتقييم أية فعالية أو نشاط صناعي لإتخاذ القرار الصائب.

4- النظم – تعني وجوب إجراء ممارسة فعالية تحليلات النظم بهدف تحسينها لضمان تحقيق أهدافها في التطوير والتشغيل الإقتصادي لعناصر الإنتاج الأساسية (المواد ، المكائن والعمل).

ومما تقدم أعلاه يمكن تعريف الهندسة الصناعية بأنها " مجموعة العلوم التي تتناول التنسيق بين طبيعة المواد الأولية والطاقات المتاحة للمكائن الإنتاجية وجهود العاملين عليها بهدف الحد من الهدر في المواد والجهود وتحسين إنتاجية العمل " .

إن التطبيقات العملية الصائبة لهذه العلوم تمكن من إقامة مشاريع صناعية مجدية إقتصادياً وتشغيلها بصيغ مربحة وتطوير منتجاتها بشكل مستمر ودائم لضمان سرعة تسويقها . لذا فإن ما تناولته هذه العلوم وتطبيقاتها الصائبة تساعد على تحقيق الأهداف الأساسية لأية منشأة صناعية والمتمثلة بإنتاج السلع بالكميات المطلوبة والنوعيات المحددة وبأقل ما يمكن من كلاف.

الفصل الثاني

2-1- الدراسات الفنية والإقتصادية لجدوى المشاريع

إن إتخاذ القرار المناسب لإقامة أي مشروع صناعي يتوجب أن يستند على المؤشرات التي تـضمن تحقيق أهداف خطط التنمية والمتمثلة بالحالة العامة في زيادة الدخل القومي ورفـع مـستوى الـدخل الفردي وتحقيق الإستخدام وإعادة التوازن الإقتصادي والإجتماعي بين المناطق المختلفة بالإضافة إلـى تحقيق التكامل الصناعي بين مجمل فروع وقطاعات الإقتصاد . أما المؤشر الرئيسي الـذي يـستهدفه القطاع الخاص عند إقامة أي مشروع هو تحقيق أعلى ربح .

للحصول على موافقة تنفيذ أي مشروع والتأكد من نجاحه يجب إعداد وإحتساب :

1- الطلب المتوقع وتحديد الطاقة الإنتاجية للمشروع .

2- وصف موجز لمراحل الإنتاج .

3- رأس المال المستثمر – ويتضمن قيمة :

أ- المكائن والمعدات الإنتاجية .

ب- الأدوات الإحتياطية .

ج- الأبنية بمختلف أنواعها .

4- رأس المال التشغيلي – يتضمن :

أ- كلفة المواد الأولية والمساعدة والتكميلية الضرورية للعمليات التصنيعية .

ب- اجور الأيدي العاملة بمختلف أنواعها ومستوياتها الوظيفية .

ج- المصاريف الصناعية (مثل الماء ، الكهرباء ، الزيوت ...إلخ).

5- الكلفة الإجمالية للإنتاج – تتضمن :

أ- الكلفة الثابتة .

ب- الكلفة المتغيرة .

6- الربح السنوي = قيمة المبيعات الكلية – الكلفة الإجمالية للإنتاج .

7- القيمة المضافة الإجمالية – تتضمن :

أ- الاجور والضمان .

ب- الإندثارات .

ج- الفوائد والتأمين .

د- الأرباح .

القيمة المضافة الصافية = القيمة المضافة الإجمالية – الإندثارات .

8- النسبة المئوية لربحية المشروع = $\frac{\text{الربح السنوي للمشروع}}{\text{رأس المال المستثمر}} \times 100\%$

9- حجم نقطة التعادل = التكاليف الثابتة / (سعر الوحدة الواحدة – التكاليف المتغيرة للوحدة الواحدة)

قيمة نقطة التعادل = التكاليف الثابتة / (1 - التكاليف المتغيرة / قيمة المبيعات)

النسبة المئوية لحد الأمان = (المبيعات الفعلية – قيمة نقطة التعادل) / المبيعات الفعلية * *100 %*

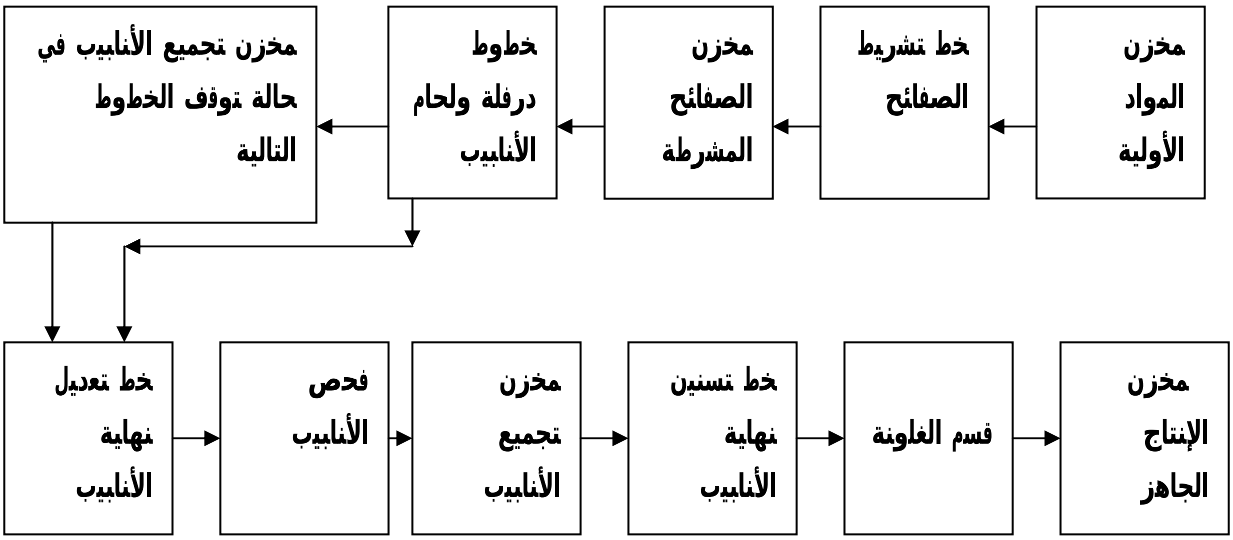
10- مدة إطفاء (إسترداد) المشروع = رأس المال المستثمر / (الربح السنوي + الإندثارات)

يكون عادة المشروع مجدي من الناحية الإقتصادية ، إذا كانت ربحية المشروع أعلى من *25 %* ومدة إطفاء المشروع أقل من *4* سنوات .

<u>مثال-1</u>

1- في مشروع لإنتاج الأنابيب الفولاذية ونتيجة للطلب العالي على إستخدامها بسبب إزدياد حركة البناء والتشييد ، لذا قُرر إقامة المشروع بطاقة إنتاجية قدرها *50000* طن للنوعيات المطلوبة وبحجوم تتراوح بين *0.5* – *4* إنجات.

2- الهيكل التنظيمي لمراحل إنتاج الأنابيب الفولاذية المختلفة يكون:



3- رأس المال المستثمر- ويتمثل بما يلي :

أ- المكائن والالآت والمعدات الإنتاجية وقدرت بحوالي *5850000* دينار وتشتمل على مكائن الشريط وربط الأشرطة وأجهزة ومكائن خطوط إنتاج الأنابيب الصغيرة والمتوسطة والكبيرة

الحجم ومكائن قسمي إنتاج الموصلات والغلونة ومعدات النقل والحركة الداخليـة ومكـائن ومعدات الصيانة والمختبر وقسم الخدمات العامة.

ب- الأدوات الإحتياطية وقدرت قيمها بمبلغ *585000* دينـار سـنوياً وتـشتمل علـى الأدوات والدرافيل الإحتياطية لقسم التشريط واللحام وكذلك للمكائن والمعدات لمدة سنتين .

ج- الأبنية والمنشآت وقدرت قيمتها بحوالي *2250000* دينار لإحتياج المشروع إلى مـساحات كبيرة لإنشائه فبلغ *15000* م^2 تشتمل على الأقسام الإنتاجية ، المخازن ، المكائن وغرفـة المرجل .

لذا فإن مجموع رأس المال المستثمر يكون :

5850000 + 585000 + 2250000 = 8685000

4- رأس المال التشغيلي- ويشتمل على :

أ- المواد الأولية وقدرت بحوالي *6600000* دينار وتتمثل بالأشرطة الفولاذية والمواد المساعدة اللازمة لإنتاج الأنابيب .

ب- الأيدي العاملة – إذ بلغت الأيدي العاملة للمشروع بوجبتي عمل *234* فرداً وبإجور سـنوية قدرها *400500* دينار بضمنها الضمان الإجتماعي ، وموزعة كالآتي :

الإختصاص	العدد	الأجر السنوي		الإختصاص	العدد	الأجر السنوي
مدير معمل	*1*	*4800*		مأمور مخزن	*7*	*8400*
مهندس	*10*	*36000*		كتاب طابعة	*3*	*3240*
م.ملاحظ فني	*30*	*72000*		عمال خدمات	*9*	*9180*
طبيب	*1*	*1800*		عمال	*125*	*135000*
مضمد	*1*	*1200*		حراس	*5*	*4800*
إدارة وذاتية	*8*	*9600*		سواق	*24*	*34560*
حسابات	*7*	*10080*		نفقات الضمان	___	*65520*
مشتريات وتدقيق	*3*	*4320*		المجموع	*234*	*400500*

ج- المصاريف الصناعية – قدرت بمبلغ *79500* ديناراً سنوياً موزعة كالآتي :

ماء *3500* دينار ، كهرباء *57000* دينار ،زيوت وشحوم وسوائل تبريـد وكافـة أنـواع الوقود *19000* دينار.

لذا فمجموع رأس المال التشغيلي يكون :

6600000 + 400500 + 79500 = 7080000

5- تكاليف الإنتاج- وتتكون من :

أ- التكاليف الثابتة - تضمنت :

- إندثار المكائن والمعدات بمعدل *10%* من قيمتها سنوياً ،أي إنها :

*5850000 * 0.10 = 585000*

- صيانة المكائن بمعدل *5%* من قيمتها سنوياً ، أي إنها :

$$5850000 * 0.05 = 292500$$

- إندثار المباني بمعدل *5%* من قيمتها سنوياً ، أي إنها :

$$2250000 * 0.05 = 112500$$

- صيانة المباني بنسبة *2%* من قيمتها سنوياً ، أي إنها :

$$2250000 * 0.02 = 45000$$

- التأمين على المكائن ضد الحريق بمعدل *0.5%* من قيمتها ، أي إنها :

$$5850000 * 0.005 = 29250$$

- الفائدة على رأس المال الثابت بمعدل *8%* سنوياً ، أي إنها :

$$(5850000 + 2250000 + 585000) * 0.08 = 694800$$

لذا فمجموع التكاليف الثابتة تكون :

$$585000 + 292500 + 112500 + 45000 + 29250 + 694800 = 1759050$$

ب- التكاليف المتغيرة- تضمنت :

- قيمة المواد الأولية *6600000* دينار.
- أجور الأيدي العاملة بضمنها الضمان الإجتماعي *400500* دينار.
- المصاريف الصناعية *79500* دينار.

لذا فمجموع التكاليف المتغيرة = *7080000* ديناراً.

ومجموع تكاليف الإنتاج الكلية السنوية بلغت :

$$1759050 + 7080000 = 8839050$$

6- المبيعات والربح السنوي :

أ- كلفة إنتاج الطن الواحد يكون : $\frac{8839050}{50000} = 177$

ب- سعر بيع الطن الواحد قدر بحوالي 225 ديناراً.

ج- قيمة المبيعات السنوية تكون : $50000 * 225 = 11250000$

د- ربح المشروع السنوي يكون : $11250000 - 8839050 = 2410950$

7- القيمة المضافة الإجمالية تتضمن مجموع مردودات عناصر الإنتاج التالية :

الإجور والضمان (*400500*) + الإندثارات (*585000+112500=697500*) + الفوائد والتأمين (*724050*) + الأرباح (*2410950*) = *4233000* ديناراً.

أما صافي القيمة المضافة تكون : $4233000 - 697500 = 3535500$

8- ربحية المشروع تكون : $\frac{2410950}{7685000} * 100\% = 31.4\%$

9- قيمة نقطة التعادل تكون : $\frac{1759050}{1 - \frac{7080000}{11250000}} = 4745638$

حجم نقطة التعادل يكون : $\frac{1759050}{225-\frac{7080000}{50000}} = 21092$

النسبة المئوية لحد الأمان : $\frac{11250000-4745638}{11250000} * 100\% = 58\%$

10- مدة إطفاء المشروع (سنة): $\frac{8685000}{2410950+697500} = 2.79 \cong 3$

لكون ربحية المشروع أعلى من 25% ومدة الإطفاء أقل من *4* سنوات لذا فالمشروع مجدي من الناحية الإقتصادية .

2-2- تكاليف الإنتاج :

تعتبر مسألة خفض كلفة الإنتاج مع المحافظة على النوعية المطلوبة لأجل تحقيق العوائد المستهدفة المشكلة الأساسية لأية منشأة صناعية . وإن أسباب إرتفاع كلفة المنتجات متعددة ومتداخلة فيما بينها ، ومن أهمها :

1- الإرتفاع الدائم لأسعار مختلف المواد الأولية والتكميلية اللازمة للإنتاج إضافة إلى إرتفاع كلف الشحن والنقل .
2- عدم ربط الإجور والرواتب المدفوعة مع القيمة الحقيقية للجهود المبذولة في العمل .
3- عدم الإهتمام بالسيطرة النوعية المفروضة على الإنتاج .
4- ضعف مستوى الإشراف والسيطرة الفعلية على عمليات الإنتاج .
5- قلة الأيدي العاملة الماهرة الضرورية لإدارة المكائن والألات الإنتاجية .
6- ضعف التخطيط والتنظيم الصائب على المستويات الإدارية والإنتاجية .

تقسم التكاليف إلى ثلاثة عناصر رئيسية :

1- المواد : تتضمن كافة المواد الأولية الأساسية والتكميلية التي يستلزمها المصنع في عمليات الإنتاج ليتم تحويلها إلى سلع جاهزة ، إضافة إلى الزيوت والوقود والأدوات الإحتياطية ومواد التعبئة والتغليف التي تستعمل للأغراض التسويقية .
2- الإجور : تمثل قيمة قوة العمل المبذولة في عمليات الإنتاج التي يدفع مقابلها للعاملين أجراً نقدياً لقاء ما يقدمونه من خدمة بضمنها المزايا العينية كالتأمين الصحي والضمان الإجتماعي والسكن والنقل وغيرها .
3- المصروفات : تتضمن كافة النفقات التي تتحملها المنشأة الصناعية لأجل الحصول على الخدمات التي تحتاجها عمليات الإنتاج مثل مصاريف الصيانة والإدامة والإعلان والإستشارات الفنية إضافة إلى إندثارات الموجودات الثابتة .

ويتم تصنيف عناصر الإنتاج حسب علاقتها مع :

1- وحدة الإنتاج : إذ تصنف إلى :

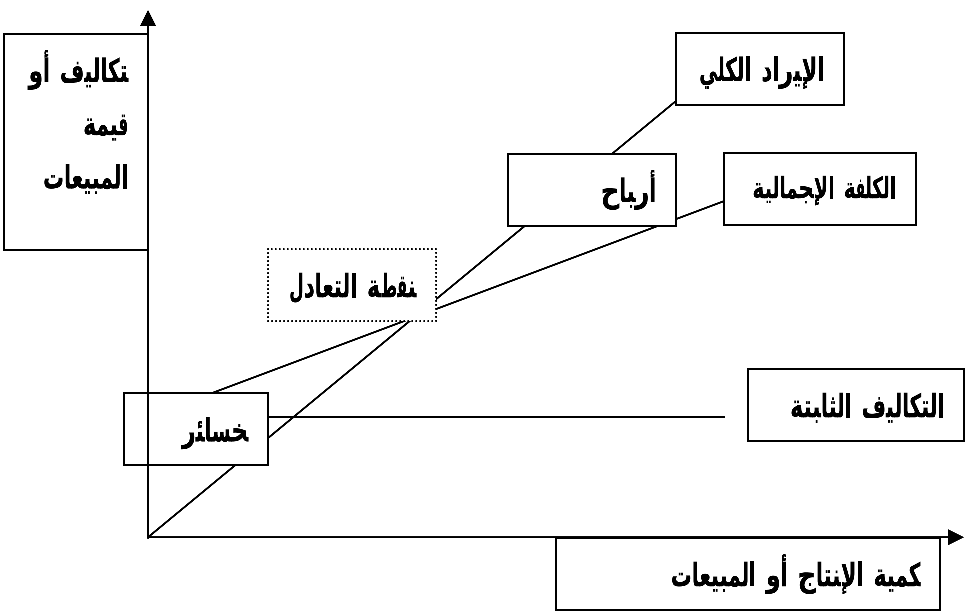
- تكاليف مباشرة : تتعلق بكافة العناصر الخاصة بالمنتج الواحد .
- تكاليف غير مباشرة : تتعلق بأكثر من منتج .

2- حجم الإنتاج : إذ تصنف إلى :

- تكاليف ثابتة : هي نفقات إيجاد الطاقة الإنتاجية إستعداداً للإنتاج وتحسب على أساس زمني ولاتتغير مع حجم الإنتاج وتشمل الرواتب الشهرية وأقساط التأمين والإندثار وفوائد القروض السنوية والمصروفات الإدارية .
- تكاليف متغيرة : هي جميع مصاريف إستخدام الطاقة الإنتاجية لعمليات الإنتاج والتسويق فهي تتغير مع تغير حجم الإنتاج وتشتمل على قيمة المواد الأولية والمساعدة والتكميلية وإجور العمال الإنتاجيين والنفقات الصناعية والمصاريف التسويقية .

2-2-1- <u>تحليل التعادل</u> :

تهدف إدارة أي منشأة صناعية إلى تحقيق الإستغلال الأمثل للموارد المتاحة ، ولهذا فهي تسعى دائماً إلى إتخاذ القرارات الصائبة في مجال الإنتاج والبيع والشراء ، وبالطريقة التي تحقق الهدف . وتعد دراسة التكاليف أمراً في غاية الأهمية بالنسبة لإتخاذ بعض القرارات الإدارية المتعلقة بتخطيط الأرباح أو ما يسمى بتحليل التعادل (فيما بين الأرباح والخسائر) من نقطة تقاطع خط (منحنى) الكلفة الإجمالية مع خط (منحنى) الإيراد الكلي .



<u>مثال-2</u> : في أحد المصانع أستغلت طاقة المكائن والمعدات الإنتاجية بحدود *70%* وبلغت قيمة صافي المبيعات الشهرية المنتجة *7000* دينار وقد صرفت المبالغ التالية(بالدينار) في العمليات التشغيلية :

مواد أولية *2500* ، إجور مباشرة *750*، أقساط التأمين *320* ، فوائد القروض *250* ، الرواتب *500* ، مصروفات إدارية *230* ،إندثارات *200* ، نفقات صناعية *150* ، مصاريف التسويق *100* .

لإيجاد قيمة نقطة التعادل :

التكاليف الثابتة = الرواتب + التأمين + إندثار + مصروفات + الفوائد

= 500 + 320 + 200 + 230 + 250 = 1500 دينار .

التكاليف المتغيرة = المواد الأولية + الإجور المباشرة + نفقات صناعية + مصاريف التسويق

= 2500 + 750 + 150 + 100 = 3500 دينار .

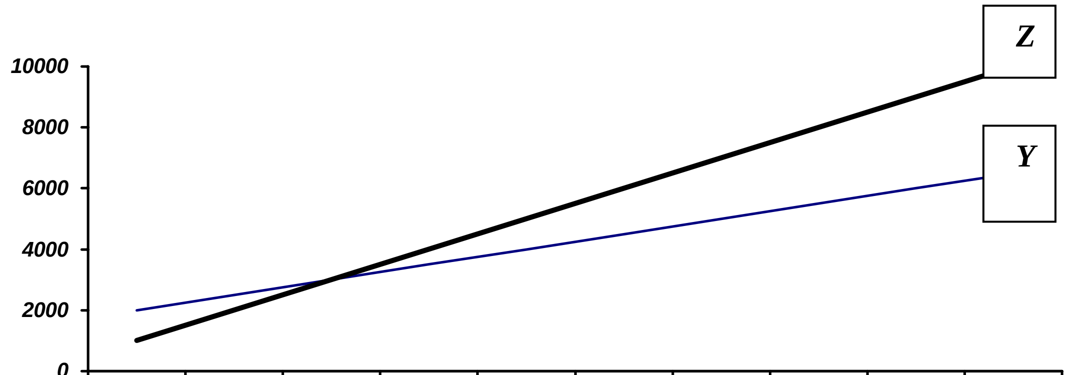
$$\text{قيمة نقطة التعادل} = \frac{\text{التكاليف الثابتة}}{1 - \dfrac{\text{التكاليف المتغيرة}}{\text{المبيعات}}}$$

$$P.O.E. = \frac{1500}{1 - \dfrac{3500}{7000}} = 3000$$

ولرسم منحنى التعادل بشكل دقيق لذا يجب تحديد الكلفة المتغيرة والمبيعات حسب الحالات المختلفة لإستغلال الطاقة الإنتاجية . بإفتراض إن المصنع قد أستغلت طاقته المتاحة بنسبة 80% فـإن الكلفـة المتغيرة ستعادل $\frac{3500}{70} * 80 = 4000$ ، أما المبيعات فستكون $\frac{7000}{70} * 80 = 8000$ والجدول أدناه يبين الحالات الأخرى :

قيمة المبيعات	الكلفة المتغيرة	النسبة المئوية لإستغلال الطاقة %
1000	500	10
2000	1000	20
3000	1500	30
4000	2000	40
5000	2500	50
6000	3000	60
7000	3500	70
8000	4000	80
9000	4500	90
10000	5000	100

ومن الشكل أدناه نلاحظ إن نقطة التعادل تكون نسبة 30% من الطاقة الإنتاجية وبكلفة 3000 دينار .



	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Y	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
Z	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000

إذ إن Y تمثل التكاليف الكلية وإن Z تمثل المبيعات .

ولتحديد أفضل السياسات الإنتاجية الناجحة ومعرفة مدى قدرة المصنع لمواجهـة كافـة الظـروف الإنتاجية يتعين إحتساب نسبة حد الأمان :

نسبة حد الأمان = (المبيعات الفعلية – قيمة نقطة التعادل) / المبيعات الفعلية

$$L.O.S. = \frac{7000 - 3000}{7000} * 100\% = 57\%$$

وكذلك يمكن إيجاد الربح المتوقع بموجب الحالات المختلفة لمستويات إستغلال الطاقة الإنتاجية ، فإذا أستغل المصنع *90%* من طاقته المتاحة فسيكون الربح :

$$Profit = 9000 - (1500 + 4500) = 3000$$

بالرغم من كون تحليلات نقطة التعادل إحدى الأدوات التخطيطية التي تساعد لحد كبير علـى إتخـاذ القرارات الصائبة وبشكل سريع بشأن التوسع بالإنتاج أو تقليصه أو تبديل نمط الإنتاج ، إلا إنه يعـاب للأسباب التالية :

1- تفترض الربح دالة للإنتاج وهذا فعلاً لا يصح عند إستخدام مكائن والات أوتوماتيكية متطورة لإنها تقلل كلفة المنتوج .

2- يفترض ثبات أسعار البيع .

3- إن نقطة التعادل تواجه التعديل والتصحيح عند كل تغير أو حدث يؤثر في قيمـة المـواد الأوليـة ومستوى الإجور .

2-2-2- <u>العلاقة بين الكلفة والربح وحجم الإنتاج</u> :

مما لاشك فيه إن عملية تخطيط الأرباح على مستوى المنشأة الصناعية تعتمد بـشكل كبيـر علـى العلاقة القائمة فيما بين عناصر التكاليف وبنود الأرباح ومستوى الإنتاج للتوصل إلى القرارات الصائبة بخصوص الإستخدام الأمثل للموارد المادية والبشرية المتاحة ، إذ إن هذه العلاقة تساعد على إمكانيـة إظهار مدى التغييرات التي تحصل على عناصر التكاليف والأرباح وفق المستويات المختلفة للإنتاج مما يساعد الإدارة على تسهيل مهمتها في عملية إتخاذ القرارات السليمة بشأن حدود إستغلال طاقة المكائن

والمعدات وزيادة الإستثمارات في إستحداث خطوط جديدة للتصنيع أو الإستغناء عن الخطـوط الأخـرى بهدف تخفيض الكلفة إلى أدنى ما يمكن مع المحافظة على مستوى النوعية .

لذا لابد من التمييز بين عناصر التكاليف الثابتة والمتغيرة وعناصر التكاليف المباشرة وغير المباشرة. فعنصر الرواتب تعتبر تكاليف ثابتة بإعتبارها لاتتأثر بحجم الإنتاج في حين إن مايستلمه مندوب البيـع في المنشأة يعد أجراً يتكون من جزء ثابت ويتمثل بالراتب الشهري وجزء آخر متغير يتمثـل بـالإجور التشجيعية التي تعتمد بصورة مباشرة على كمية المبيعات ، وكذلك فالإندثارات تعتبر ثابتة فـي حالـة الإستخدام الإعتيادي للمكائن والألات ولكن الإستعمال الأكثر من الإعتيادي يعتبر الإندثارات كلفة متغيرة، وكذلك كلفة الإعلان والإستشارات (بضمنها البحوث) التي أعتبرت كلفة ثابتة والتي تزداد بحد ذاتهـا مع زيادة حجم الإنتاج . وكذلك رواتب ملاحظي العمل والمشرفين الفنيين حيث تظل ثابتة علـى الـرغم من زيادة الإنتاج ولكن لحد معين إذ عند تجاوز هذا الحد تتغير نتيجة لدفع إجور الأعمال الإضـافية أو بسبب إضافة أو تشغيل ملاحظ عمل أو مشرف جديد .

إن نظرية الكلفة الحدية (التغيير الذي يحصل في التكاليف نتيجة زيادة وحدة واحدة مـن الإنتـاج) وتعمل هذه النظرية بالأساس على تحميل كلفة الإنتاج بنود وعناصر التكاليف المتغيرة فقط أما التكاليف الثابتة فتعتبر جزء من الأرباح والخسائر ولا تحمل على الإنتاج مباشرةً .

<u>مثال-3</u>- جمعت البيانات التالية عن الكلفة المتغيرة لمعمل يصنع منتج معين تباع الوحدة الواحدة منها بمبلغ *20 $* ، المطلوب تحديد أمثل مستوى للإنتاج وللربح :

Q كمية الإنتاج	1	2	3	4	5	6	7	8
V.C. الكلفة المتغيرة	18	30	40	55	70	90	120	150

<u>الحل</u>-

كمية الإنتاج *Q*	سعر الوحدة *P*	الإيراد الكلي *T.R.*	الكلفة الكلية *T.C.*	الإيراد الحدي *M.R.*	الكلفة الحدية *M.C.*	الربح *V*
1	20	20	18	---	---	2
2	20	40	30	20	12	10
3	20	60	40	20	10	20
4	20	80	55	20	15	25
5	20	100	70	20	15	30
6	20	120	90	20	20	30
7	20	140	120	20	30	20
8	20	160	150	20	30	10

نلاحظ من الجدول أعلاه عند $Q = 6$ يتساوى الإيراد الحدي والكلفة الحدية . لذا فمستوى الإنتـاج الأمثل هو 6 وحدات وأمثل ربح هو *30 $* .

2-3- الإنتاجية :

هي المؤشر الذي يمكن بواسطته معرفة مدى إستغلال عناصر الإنتاج الأساسية المستخدمة في العمليات التصنيعية وتتمثل بالعلاقة التالية :

$$\text{الإنتاجية} = \frac{\text{المخرجات}}{\text{المدخلات}}$$

إذ يلاحظ إن زيادة الإنتاج لاتعني بالضرورة زيادة الإنتاجية قد يتحقق العكس . للإنتاجية جانبان : كمي (يمثل كمية الوحدات المنتجة) ونوعي (يتعلق بجودة الإنتاج) فازيادة الإنتاجية يعني عدم التضحية بالنوعية في سبيل زيادة الكمية .

تهدف زيادة الإنتاجية على مستوى المنشأة الصناعية إلى :

- تطوير أساليب إدارة الإنتاج لضمان الإستغلال الأمثل للطاقة الإنتاجية المتاحة .
- تحسين ظروف العمل والعلاقات الإنسانية للإستفادة الفاعلة من جهد العاملين.
- تخطيط وتنظيم مواقع العمل بشكل علمي دقيق وتحسين المكائن والألات لضمان إنسياب العمليات الإنتاجية .

وعلى مستوى العمال تهدف زيادة الإنتاجية إلى تحقيق :

- رفع مهارة العمال من خلال تدريبهم .
- زيادة الطاقة الإنتاجية للعامل من خلال دراسة الحركة والوقت .
- زيادة الرعاية الإجتماعية للعمال وتحسين ظروف عملهم .
- رفع الروح المعنوية للعمال بزيادة إجورهم وتطبيق نظم الحوافز والمكافآت .
- توفير فرص عمل جديدة للمواطنين نتيجة لزيادة الإنتاج .

2-3-1- أنواع ألإنتاجية :

1- $\text{الإنتاجية الكلية} = \frac{\text{الناتج}}{\text{المواد + العمل + المكائن}}$

نظراً لإختلاف وحدات القياس لكل من البسط (المخرجات) والمقام (المواد الأولية والعمل والمكائن) ، لذا يتعين إيجاد وحدة قياس عامة يمكن قياس مختلف أنواع المخرجات والمدخلات بها وهي القيمة النقدية ، وذلك بضرب كمية المخرجات والمدخلات في سعر الوحدة ويطلق على الإنتاجية الكلية أسم (الكفاءة الإقتصادية) .

2- $\text{الإنتاجية الجزئية} = \frac{\text{الناتج}}{\text{عامل من عوامل الإنتاج}}$

إن حساب الإنتاجية الجزئية لكل عامل من عوامل الإنتاج يساعد على معرفة التغيير الذي يحصل في كل عنصر منها وإدخال التطور عليها مثل تبديل المواد الأولية بأخرى أسهل من سابقتها في

التشغيل أو إجراء تحسينات على طرائق أداء العمل وتبسيطه أو إستخدام مكائن بمستوى تكنولوجي أفضل أو تحسين طرق إستخدام المكائن الموجودة أو دفع مكافآت تشجيعية للعمال . وإن إيجاد التغييرات من زيادة أو نقصان يساعد على إتخاذ القرارات السريعة التي من شأنها أن تؤدي إلى رفع الإنتاجية .مثلاً إذا أنتجت ماكنة معينة *1000* وحدة في يوم العمل وعند تقليل العطل والتوقفات لنفس الماكنة إرتفع انتاجها إلى *1150* وحدة فهذا يعني إن إنتاجية الماكنة إزدادت بنسبة:

$$\frac{1150 - 1000}{1000} * 100\% = 15\%$$

2-3-2- <u>قياس الإنتاجية</u> :

1-<u>طريقة معامل التحويل</u>: يستدعي تحويل جميع الأنواع المختلفة من الناتج إلى وحدات من نوع واحد وعلى أساس كمية العمل اللازمة لتصنيع كل منتج بالإستعانة بمعامل التكافؤ .

إنتاجية العمل = الإنتاج الكلي / وقت العمل الإجمالي

بإفتراض إن : P تمثل إنتاجية العمل .

Q_i تمثل كمية الإنتاج المتحقق من النوع i .

C_i يمثل معامل تكافؤ المنتوج i بالنسبة للمنتوج الأساس .

T_i الوقت المبذول لتصنيع المنتوج i .

N عدد أنواع المنتوجات .

فتكون إنتاجية العمل :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i . C_i}{\sum_{i=1}^{N} T_i}$$

<u>مثال-4</u> : شركة معينة تصنع أربعة أنواع من المنتجات بالوقت والكميات المحددة أدناه :

عدد العمال في الشركة = *40* عامل.

عدد أيام العمل الفعلية في السنة = *250* يوم.

عدد وجبات العمل في اليوم = وجبة واحدة.

عدد ساعات وجبة العمل = *8* ساعات .

المنتج (*A*) هو إنتاج الشركة الأساس.

	أنواع المنتجات			
	A	B	C	D
كمية الإنتاج السنوية (طن)	750	400	300	1000
الوقت اللازم لإنتاج الطن الواحد (ساعة)	4	3	6	2

المطلوب : حساب إنتاجية العمل.

<u>الحل</u> : لكون المنتج (*A*) هو إنتاج الشركة الأساس لذا فإن : $C_1 = 1$.

$$\text{معامل التكافؤ لتحويل } B \text{ إلى } A\ (C_2) = \frac{\text{الساعات التي يستغرقها الطن الواحد من المنتوج } B}{\text{الساعات التي يستغرقها الطن الواحد من المنتوج } A}$$

لذا فإن :

$$C_2 = \frac{3}{4} = 0.75\ , \quad C_3 = \frac{6}{4} = 1.5 \quad and \quad C_4 = \frac{2}{4} = 0.5$$

$$\sum_{i=1}^{4} Q_i . C_i = 750 * 1 + 400 * 0.75 + 300 * 1.5 + 1000 * 0.5 = 2000 \quad tons$$

$$\sum_{i=1}^{4} T_i = 40 * 250 * 1 * 8 = 80000 \quad worker s.hours$$

$$P = \frac{2000}{80000} = 0.025 \quad tons / worker .hour$$

2- <u>الطريقة النقدية</u> :

$$P_L = \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i . P_i}{\sum_{i=1}^{N} W_i}$$

بإفتراض إن : P_i تمثل سعر الوحدة من النوع i .

W_i يمثل العمل اللازم لإنتاج وحدة واحدة من النوع i .

<u>مثال-5</u>- لنفرض إنه لدينا البيانات التالية من منشأة ما ، المطلوب حساب إنتاجية العامل :

المنتج Y			
الصنف	سعر الوحدة	الإنتاجية	
		1991	1992
A	300	50000	60000
B	500	30000	50000

المنتج X			
الصنف	سعر الوحدة	الإنتاجية	
		1991	1992
A	200	50000	25000
B	250	40000	100000
C	1000	25000	25000

عدد العمال للمصنع *500* عامل ، عدد ساعات العمل الفعلية في اليوم الواحد *7* ساعات

عدد أيام العمل الفعلية في السنة *300* يوم .

<u>الحل</u>-

$$P_L = \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i . P_i}{\sum_{i=1}^{N} W_i}$$

$$P_{1991} = \frac{50000 * 200 + 40000 * 250 + 25000 * 1000 + 50000 * 300 + 30000 * 500}{500 * 300 * 7} = 71.43$$

$$P_{1992} = \frac{25000 * 200 + 100000 * 250 + 25000 * 1000 + 60000 * 300 + 50000 * 500}{500 * 300 * 7} = 93.33$$

يتضح مما تقدم إن إنتاجية العامل قد إرتفعت من *71.43* سنة *1991* إلى *93.33* سنة *1992* .

2-3-3- <u>أساليب زيادة الإنتاجية</u> :

1- تحسين ظروف العمل (من حيث الحرارة ،الرطوبة ، الإضاءة ، التهوية وغيرها) إذ يساعد على رفع مستوى أداء العاملين.

2- تبسيط وتقليص محتوى العمل: بإستبعاد الحركات غير الضرورية وتطبيق طرق أكثر سهولةً و فاعلية لتقليل الجهد وكذلك خفض الوقت الضائع بتحديد الوقت القياسي اللازم لإنجاز العمل.

3- تقييم العمل: بهدف تثمين الأعمال المختلفة لغرض تحديد القيمة النسبية لكل عمل مقارنة بالأعمال الأخرى المتوفرة.

4- التدريب: تدريب العمال على الأساليب العلمية الصحيحة .

5- التخصص: تخصص العامل يتم من خلال توليه أداء عملية جزئية وعدم إستبداله بسرعة مما سيمكنه من الإلمام بجميع نواحي العمل.

6- صيانة المكائن: وضع برنامج دقيق ومتكامل للصيانة يهدف إلى تصليح العطب وتجنب الحوادث والعطلات قبل حدوثها.

7- الحوافز: وضع نظام سليم للحوافز يساعد على مضاعفة جهود العاملين لزيادة الإنتاجية.

8- تحسين العلاقات الإنسانية: إقامة علاقات طيبة ووطيدة بين الإدارة والعاملين ومتابعة مشاكلهم وحلها مما يساهم في رفع معنوياتهم.

9- تخطيط المصنع وتداول المواد: للحصول على إنسياب كفوء للعمل داخل المصنع يتناسب مع متطلبات العمليات الإنتاجية وتأمين سلامة العاملين والمحافظة على وسائل الإنتاج الأخرى تتم من خلال ترتيب المكائن والمعدات داخل الأقسام الإنتاجية وترتيب الشعب والأقسام الإنتاجية داخل المصنع وتحديد مواقع الألات ومراكز الخدمات ومحطات الشحن والإستلام وغيرها ، وإن تأخر تداول المواد يؤدي إلى ظهور نقاط إختناق في بعض المراحل الإنتاجية او التوقف التام في بعض أقسام المصنع .

10- السيطرة على كلفة الإنتاج : تتمثل بالدراسة المنظمة والدقيقة لمراكز الكلفة العالية والتخلص من التكاليف غير الضرورية .

11- تخطيط ومتابعة الإنتاج : توضع خطط الإنتاج بتحديد الأهداف الواجب تنفيذها وتهيئة المستلزمات المادية والبشرية الضرورية لتحقيقها مع وضع البرامج الزمنية التفصيلية لإنجاز العمليات الإنتاجية . أما عملية المتابعة فتتمثل بمطابقة الخطط الموضوعة سلفاً مع ما تم تحقيقه فعلاً وإتخاذ الخطوات التصحيحية لمعالجة الإنحرافات .

12- الرقابة على جودة المنتوج : يتضمن التفتيش على المنتج في جميع مراحله الإنتاجية وتسجيل الملاحظات بهدف تحليلها وتحديد إختلافاتها عن المواصفات المحددة ومن ثم العمل على إيجاد الوسائل الكفيلة بمعالجتها وإستبعاد المعاب منها .

2-4- دراسة العمل :

إن إعتماد الأسس العلمية لأحكام السيطرة والدقة على تنظيم عملية دفع الإجور والحوافز يعتمد بشكل رئيس على دقة تحديد الوقت القياسي المطلوب لإنجاز كل عملية إنتاجية ، الأمر الذي يؤكد إن التحديد الدقيق لمحتوى العمل وإحتساب الأزمنة القياسية للعمليات الإنتاجية في ضوء ذلك يعد ركناً هاماً في وضع الأنظمة الفاعلة لعملية ربط الأجر بالحافز إضافة إلى إن التحديد الدقيق للأزمنة القياسية للعمليات الإنتاجية ، شرط رئيس لنجاح عملية الرقابة على سير إنجاز الأعمال وتكاليف العمل لأنهما أساس تقييم فعاليات فرض السيطرة على الإنتاج وممارسة الرقابة على التكاليف . كما أكدت الوقائع والأحداث على إن التحديد الدقيق للوقت المطلوب لإداء العمل في ضوء الظروف المتلائمة والمتناسبة معه يؤمن الرضا ويحقق إستقرار العاملين ، وبهذا تقل نسبة دوران العمل وإرتفاع المستوى المستهدف للعلاقات الإنسانية والصناعية في جو ومحيط العمل ، الأمر الذي ينعكس يقيناً على إيجاد التعاون المثمر والتفاعل الجاد بين العاملين بمختلف مستوياتهم الوظيفية .

وعليه فإن دراسة العمل تنطوي على موضوعين رئيسيين هما :

الأول – تحليل إسلوب العمل القائم والتفكير في إستبعاد الحركات غير الإقتصادية لأجل تبسيط وتسهيل إداء العمل ثم إقتراح الإسلوب الأكثر فاعلية للإداء .

الثاني- قياس الوقت الضروري لإنجاز هذا الإسلوب الذي تم إقتراحه .

وتكامل الموضوعين يعتبر شرطاً لضمان تحقيق الإستخدام الأمثل للموارد البشرية والمادية المتاحة ، دون اللجوء إلى إضافة إستثمارات جديدة إلا بالقدر الضروري لضمان نجاح العمل .

لذا فإن فوائد الإهتمام بدراسة العمل تتلخص بما يلي :

1- تطوير وتحديث التصاميم والمسالك التكنولوجية وتنظيم مواقع ومراكز ومحطات العمل .
2- الإنتفاع الكامل من الموارد والمكائن والقوة العاملة .
3- تحسين ظروف العمل داخل الأقسام الإنتاجية .
4- وضع الأنظمة الفاعلة للحوافز والمكافآت التشجيعية .
5- تسهيل وتبسيط أساليب تنفيذ العمليات الإنتاجية وتقليص جهود العمال المبذولة في الإداء .
6- تطوير أساليب التخطيط والتنظيم في الأعمال .
7- المساعدة على فرض السيطرة على عمليات الإنتاج .
8- السيطرة على عناصر التكاليف .

2-4-1- الخطوات الرئيسية لدراسة العمل :

1- الإختيار: إختيار العمل المطلوب دراسته لأجل تطويره أو إستحداثه لجملة من الإعتبارات الإقتصادية والفنية والعوامل الإنسانية ، أهمها :

- كثرة نقاط الإختناق التي تعيق سير الإنتاج .
- طول المسافة التي تأخذها حركة المواد .

- تكرار توقفات المكائن والمعدات الإنتاجية .
- إرتفاع نسب الإصابات والحوادث في مواقع العمل .

على أن تكون تكاليف الدراسة أقل من العائد المنتظر منها ، علاوة علـى تـوفر المعلومـات التقنية الدقيقة عن المكائن الإنتاجية والخواص التشغيلية للمواد ودرجة تأثير العمال فـي العمـل بصورته الحالية ومدى ما سيحققوه من جراء تطبيق الطريقة الجديدة .

2- التسجيل : تسجيل كافة الحقائق المتعلقة بالعمل المطلوب دراسته وتدوينها في جداول أهمها :
- جدول تسلسل العمليات .
- جدول التسلسل التشغيلي لتتبع حركة الأفراد والمواد.
- جدول التسلسل التشغيلي للعامل والماكنة للأعمال الآلية .
- جدول التسلسل التشغيلي للأعمال اليدوية .
- جدول تحديد المسارات .

3- الفحص : تحليل الحقائق وإختبارها من أجل إستبعاد الحركات غير الـضرورية والمتكـررة مـع مراعاة العناصر التالية:
- الغرض من العمل .
- المكان الذي يجري فيه العمل .
- ترتيب الفعاليات وفق تسلسلها المنطقي .
- الشخص الذي يؤدي العمل .
- الوسيلة التي يتم بها العمل.

4- التطوير : عملية البحث عن الطريقة الجديدة للعمل وتصميم هذه الطريقة المقترحة علـى هيئـة مخطط يبين سير العمليات في الإسلوب الجديد مع تبيان بعض المؤشرات الإقتصادية وأهمها:
- الفرق الحاصل في عدد الفعاليات نتيجة الدمج وإستبعاد غير الضروري منها .
- التوفير الناشيء عن الوقت والمسافة والأيدي العاملة نتيجة لتقليص المسافات وعدد العمال والتوقفات في إداء العمل .

5- التحديد : توضيح المراحل المتسلسلة لتنفيذ الإسلوب المقترح .
6- القياس : حساب الوقت لمحتوى مراحل العمل في الإسلوب الجديد .
7- التطبيق : قبل المباشرة بتطبيق الطريقة الجديدة يجب تهيئة جملة أمور لضمان نجاحها ،أهمها :
- وضع خطة لتنفيذ الطريقة المقترحة : إناطة مسؤولية الإشـراف والتنفيـذ لأحـد العمـال المعروفين وتحديد المواعيد الزمنية للتنفيذ .
- تهيئة المستلزمات : التأكد من تواجد كافة الأدوات والمعدات الضرورية في الوقت المناسب والمكان الملائم وإختيار العمال المدربين للقيام بالتطبيق الفعلي للطريقة المقترحة .

- تجربة الطريقة المقترحة قبل تطبيقها بشكل نهائي للوقوف على النقاط السلبية التي قد تظهر مقدماً ويفضل تطبيقها على عينة تمثل جميع الأقسام الإنتاجية في المصنع .

8- المتابعة : مسايرة التنفيذ لأجل نجاح الإسلوب وإدخال التعديلات اللازمة عليه إن أستدعت الحاجة لذلك من خلال :

- التأكد من إن الضوابط التي تم بموجبها تطبيق الإسلوب الجديد ما زالت قائمة .
- إكتشاف الإنحرافات والتحري عن مسبباتها والعمل على مواجهتها .
- الوقوف على مدى إستمرار العمال على إتباع التعليمات الخاصة بالطريقة الجديدة .
- إدخال التعديلات على الطريقة الجديدة وبشكل مستمر وبما يتلائم مع ما يستجد من ظـروف وإمكانات تكنولوجية .

2-4-2- <u>قياس محتوى العمل وتحديد الوقت القياسي</u> :

تحديد الوقت اللازم لإنجاز العمل من قبل عامل بدرجة مهارة إعتيادية ، بإستخدام الخطوات التالية :

- إختيار العمل الواجب دراسته .
- تسجيل كافة المعلومات المتعلقة بالعمل والظروف التي يتم في ضوءها .
- فحص وتحليل وإختبار البيانات المسجلة لإستبعاد العناصر غير المنتجة بقدر الإمكان .
- قياس كافة العناصر اللازمة لإنجاز كل مرحلة ولعدد من الوحدات الكافية لأجل الحصول علـى عدد المرات التي تمثل الصورة الواقعية في العمل .
- تحديد أو توصيف سلسلة المراحل وتفاصيل الطريقة المقترحة في الإداء والأجهزة والمعـدات المستخدمة .

<u>مثال-5</u>- المسلك التكنولوجي لخراطة مشغولة ذات قطر *1* ملم وطول *200* ملم يتكون مـن المراحـل التالية :

- تثبيت المشغولة في عينة المخرطة .
- تقريب أداة القطع في المشغولة .
- تشغيل الماكنة .
- إبعاد أداة القطع عن المشغولة وإيقاف الماكنة لرفع المشغولة .
- قياس أبعاد المشغولة الجاهزة .

المطلوب تحديد الوقت القياسي لإنجاز هذا العمل وبمستوى ثقة بنسبة *90%* .

<u>الحل</u>: تم مشاهدة العامل المنفذ لهذا العمل وأحتسب الوقت الذي أستغرقه لإنجاز كل مرحلة وكررت هذه العملية *10* مرات وسجلت النتائج التالية :

مراحل العمل	زمن المشاهدات (ثانية)										المتوسط	المدى R
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	50	60	55	55	55	55	50	50	60	60	55	10
B	36	34	25	25	30	25	25	30	30	30	29	11
C	125	115	115	115	115	120	120	125	125	125	120	10
D	40	35	36	36	36	35	35	35	36	36	36	5
E	30	30	30	25	25	35	35	28	32	30	30	10

وعليه فإن متوسط الوقت المشاهد لخراطة المشغولة هو :

$$55 + 29 + 120 + 36 + 30 = 270 \text{ seconds} = 4.5 \text{ minutes}$$

$$m = \left(\frac{\alpha \sqrt{n \sum_{i=1}^{n} X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} X_i \right)^2}}{\sum_{i=1}^{n} X_i} \right)^2$$

حيث إن : m = عدد دورات العمل الواجبة الإعتماد للتوصل للدقة المطلوبة لحساب الوقت القياسي.

α = مستوى الثقة المطلوب لقبول النتائج ، فعند نسبة ثقة 90% فإن $\alpha = 20$ ، وعند نسبة ثقة 95% فإن $\alpha = 40$.

n = عدد المشاهدات .

X_i = الوقت المسجل لمرحلة العمل التي تتميز بأكبر مدى . وفي حالة تساوي المدى لمرحلتين أو أكثر يؤخذ المدى للمرحلة التي تحتوي على أكبر الأزمنة .

وبما إن المرحلة B تتميز بأكبر مدى $R = 11$ ، لذا فإن : $\sum_{i=1}^{10} X_i^2 = 8552$ and $\sum_{i=1}^{10} X_i = 290$

$$m = \left(\frac{20 * \sqrt{10 * 8552 - (290)^2}}{290} \right)^2 = 6.75 \cong 7 < n = 10$$

لذا فإن حجم العينة المحدد بعشرة قراءات كافي للتعبير عن الواقع ويضمن الدقة المطلوبة لتحديد الوقت القياسي .

تحويل الوقت المشاهد إلى وقت طبيعي (الوقت الذي يستطيع العامل الإعتيادي بموجبه أن ينجز العمل بمعدل إداء يساوي 100% ضمن ظروف عمل طبيعية ودون إجهاد كبير) ويحسب من العلاقة :

الوقت الطبيعي = الوقت المشاهد *النسبة التقديرية للكفاءة

هناك ثلاثة نسب تقديرية للكفاءة معتمدة في الواقع الصناعي وهي :

الحالة الأولى : إذا كان العامل المنفذ بمستوى مهارة إعتيادية ، فالنسبة التقديرية للكفاءة = 100% أو واحد . وعليه الوقت الطبيعي = الوقت المشاهد = 4.5 دقيقة .

الحالة الثانية : إذا كان العامل المنفذ بمستوى مهارة دون الإعتيادية ، فإنه لا يستطيع إنجاز العمل في الوقت المشاهد للعامل الإعتيادي ويتوجب زيادة هذا الوقت بنسبة 20% كحد أعلى

وطبقاً لظروف وطبيعة العمل ودرجة صعوبته من عدمها وعليه فإن الوقـت الطبيعـي سيكون:

$$4.5 * \frac{120}{100} = 5.4\ min.$$

الحالة الثالثة : إذا كان العامل المنفذ بمستوى مهارة فوق الإعتيادية فإنه يقيناً سـيتمكن مـن إنجـاز العمل بأقل من الوقت المشاهد للعامل الإعتيادي لذا تخفض نسبة الكفاءة التقديرية إلـى *80%* كحد أدنى وعليه فإن الوقت الطبيعي سيكون :

$$4.5 * \frac{80}{100} = 3.6\ min.$$

إضافة السماحات : لأجل التوصل للوقت القياسي بشكل دقيق يتعين الأخذ بنظر الإعتبار بعض السماحات التي يحتاجها العامل للتعويض عن إحتياجاته الطبيعية إثناء الإداء والإجهاد الذي يصيبه والتأخيرات التي قد تحصل إثناء تنفيذ المراحل الإنتاجية ، لذا تحسب السماحات بصورة عامة كنسبة مئوية من الوقت المشاهد على أن لاتتجاوز *15%* وعليـه يكـون الوقـت القياسي لكل حالة كما يلي :

الحالة الأولى : $$4.5 + 4.5 * \frac{15}{100} = 5.175\ min.$$

الحالة الثانية : $$5.4 + 4.5 * \frac{15}{100} = 6.075\ min.$$

الحالة الثالثة : $$3.6 + 4.5 * \frac{15}{100} = 4.275\ min.$$

تمارين الفصل الثاني

1- تطلبت الحاجة إلى إقامة مشروع صناعي مختص بإنتاج المرامد ضمن مشاريع الصناعات التكميلية ذات الإستعمالات الخاصة بطاقة إنتاجية *500* طن سنوياً والتي تعادل طبقاً للمواصـفات *1250000* مرمدة. إذا توفرت المعلومات التالية :

- بلغت قيمة المكائن والمعدات والقوالب *100000* دينار متمثلة بخزانات المواد الأوليـة والأحزمة الناقلة ومعدات الماء الصافي وأجهزة السحق وخباطـة التحـضير وافـران الصهر والتحضير وملحقاتها وضاغطة هواء وعربات نقل المنتجات من داخل الأفـران والقوالب ، ومكائن تغذيتها ومعدات الورشة الميكانيكية والكهربائية .
- قدرت قيمة الأدوات الإحتياطية ولمدة سنتين *10%* من قيمة المكائن سنوياً .
- يحتاج المشروع إلى مساحة *3500* م^2 وبسعر دينارين لكل متر مربع وبنـاء *1750* م^2 متمثلة بقاعة الإنتاج ومخزنين للمواد الأولية والسلع الجاهزة وبنايات للإدارة وللمختبر وللخدمات وقدرت كلفة بناء المتر المربع الواحد *75* ديناراً.
- تحتاج العملية الإنتاجية إلى رمل وكاربونات الـصوديوم وحجـر الكلـس والـدولمايت ومكاسير الزجاج ومواد أولية أخرى ، ولإنتاج *500* طن من المرامد يحتاج المـشروع إلى حوالي *600* طن من المواد الأولية وقدرت قيمتها ولـسنة إنتاجيـة واحـدة مبلـغ *35000* دينار .
- إحتياجات المشروع من الإيدي العاملة كانت كالآتي :

الخبرة	العدد	الأجر الشهري		الخبرة	العدد	الأجر الشهري
مدير المعمل	*1*	*500*		حارس	*1*	*100*
إداري	*2*	*150*		مهندس ميكانيك	*1*	*450*
محاسب	*1*	*200*		عمال ماهرين	*10*	*180*
مأمور مخزن	*1*	*120*		عمال شبه ماهرين	*8*	*120*
معين	*1*	*100*		عمال غير ماهرين	5	90

- بلغت المصاريف الصناعية (كهرباء،ماء ووقود بأنواعه) بحدود *15240* دينار سنوياً.
- بلغ معدل إندثار وصيانة المكائن على التوالي *10%* و *5%* من قيمتها سنوياً.
- بلغ معدل إندثار وصيانة المباني على التوالي *5%* و*2%* من قيمتها سنوياً.
- بلغ معدل التأمين على المكائن ضد الحريق *0.5%* من قيمتها سنوياً.
- الفائدة على الرأس المال الثابت بلغت بمعدل *8%* سنوياً.
- سعر بيع المرمدة الواحدة *0.200* ديناراً.

المطلوب إيجاد القيمة المضافة الإجمالية والصافية والنسبة المئوية لربحية المـشروع وحجـم نقطة التعادل والنسبة المئوية لحد الأمان ومدة إطفاء (إسترداد) المشروع ، وهل يعتبر المشروع

مجدي إقتصادياً ؟ *(ans.: 191995 , 175082.5 , 38% , 402121 , 68% , 2.2 , yes)*

2- تقرر إقامة مشروع لإنتاج الحلويات ، إذ أستخدم خط تصنيع مستمر طاقته نصف طن في الساعة وعلى أساس وجبة عمل واحدة (*8* ساعات) ولمدة *250* يوم عمل سنوياً ، إذا توفرت المعلومات التالية:

- قدرت قيمة المكائن والمعدات *50000* دينار متمثلة بخفاقة بيض ، خباطتي حليب ومواد أولية ، قدور طبخ وطاولات تبريد مختلفة ، عجانة – قصارة ، مكائن صنع الشرائط والأقراص والتغليف والتعبئة ، مرجل بخار وبرج تبريد الماء وملحقاته والواح سيطرة كهربائية أوتوماتيكية لتنظيم الوقت.
- بلغت قيمة الأدوات الإحتياطية ولمدة سنتين *5000* ديناراً سنوياً.
- حددت المساحة المطلوبة للمصنع *2000* م^2 وبسعر دينارين لكل متر مربع ، أما المساحة اللازمة للإنتاج (*600* م^2) وللمخازن (*250* م^2) وللإدارة وللخدمات(*150* م^2) وقدرت قيمة البناء بمقدار *60* دينار */* م^2 .
- يحتاج المشروع إلى مواد أولية قدرت بمبلغ *250000* ديناراً سنوياً.
- كما يحتاج المشروع إلى الأيدي العاملة التالية:

الخبرة	العدد	الأجر الشهري		الخبرة	العدد	الأجر الشهري
مهندس كيمياوي	*1*	*450*		عامل غير ماهر	*5*	*75*
فني للصيانة	*1*	*250*		مدير إدارة	*1*	*200*
عامل ماهر	*2*	*150*		كاتب	*1*	*100*
عامل شبه ماهر	*3*	*90*		محاسب	*1*	*120*

وبلغت نفقات الضمان والخدمات الصحية والمكافئات لجميع العاملين *7220* ديناراً سنوياً.

- ينفق المشروع كمية من الماء بقيمة *900* ديناراً وكهرباء *1100* ديناراً ووقود *7000* ديناراً سنوياً.
- بلغ معدل إندثار وصيانة المكائن على التوالي *10%* و *5%* من قيمتها سنوياً.
- بلغ معدل إندثار وصيانة المباني على التوالي *5%* و*2%* من قيمتها سنوياً.
- بلغ معدل التأمين على المكائن ضد الحريق *0.5%* من قيمتها سنوياً.
- الفائدة على الرأس المال الثابت بلغت بمعدل *8%* سنوياً.
- بلغ سعر بيع الطن الواحد *400* ديناراً.

المطلوب إيجاد القيمة المضافة الإجمالية والصافية والنسبة المئوية لربحية المشروع وحجم نقطة التعادل والنسبة المئوية لحد الأمان ومدة إطفاء (إسترداد) المشروع ، وهل يعتبر المشروع مجدي إقتصادياً ؟ *(ans.: 137220 , 129020 , 74% , 198 , 80% , 1.23 , yes)*

3- بلغت قيمة المبيعات الشهرية لمعمل ينتج المصابيح الكهربائية *5000* وكان معـدل إنتـاج الطاقـة الإنتاجية نحو *50%* من أصل *100%* ، وتم صرف المبالغ الآتية :

المواد الأولية *1650* ، إجور العمال *950* ، الكهرباء *150*

الرواتب للموظفين *350* ، مصاريف إدارية *150* ، مصاريف تسويق *150*

الإيجار السنوي *2400* ، الإستهلاك (الإندثار) *50* ، الصيانة *50*

إندثار الألات والعدد غير الإنتاجية سنوياً *3600* .

أوجد نقطة التعادل معززاً إجابتك بالرسم . ***(ans.: 2500)***

4- ينتج معمل للصناعات الكهربائية نوع واحد من المحولات تباع المحولة الواحدة ب *$ 60* في حين بلغت تكاليف المواد الأولية والإجور المباشرة والمـصاريف الـصناعية للمحولـة الواحـدة *$ 40* وبلغت التكاليف الثابتة للمعمل *$ 250000* ، إحسب نقطة التعادل وحجم التعادل (كمية الإنتاج) ، موضحاً ذلك بالرسم البياني . ***(ans.: 750000 , 12500)***

5- توفرت لدينا المعلومات الآتية عن معمل لإنتاج البطاريات للسيارات سعر بيع البطارية الواحدة *$ 16* والكلفة المتغيرة لإنتاج البطارية *$ 14* والكلفة السنوية الثابتة *$ 500000* . المطلـوب إيجـاد نقطة التعادل وحجم التعادل ومن ثم حساب نقطة التعادل وحجم التعادل الجديد إذا فرضنا معدل تغير نسبي قدره *5%* طرأ على الكلفة المتغيرة لإنتاج البطارية و على سعر البيع مبيناً ذلك بالرسم .

(ans.: 4000000 , 250000 ; 4000000 , 238095)

6- في ورشة لشركة تنتج أربعة أنواع من المنتجات بالوقت والكميات المبينة أدناه :

عدد العمال في الورشة *33* عامل ، عدد أيام العمل الفعلية في السنة *300* يوم

عدد وجبات العمل في اليوم وجبة واحدة ، عدد ساعات وجبة العمل *8* ساعات

	X_1	X_2	X_3	X_4
كمية الإنتاج	*500*	*350*	*200*	*600*
الوقت اللازم لإنتاج الطن الواحد بالساعات	*4*	*3*	*6*	*2*

المطلوب حساب الإنتاجية بطريقة معامل التكافؤ (التحميل) بإعتبار إن X_1 هو المنتج الرئيـسي (الأساسي) . ***(ans.: 0.0172)***

الفصل الثالث

التنظيم الإداري والتكنولوجي لمنشأة صناعية

في سبيل بلوغ الأهداف التي يسعى إليها المصنع والتي أُقيم من أجلها ينبغي حصر الفعاليات والأنشطة الضرورية لإنجاز الأعمال فيه بصيغة متكاملة ومن ثم العمل على توحيدها بشكل متوازن ومنسق لمنع الإزدواجية في الأعمال إثناء تنفيذها ولضمان ذلك تتحتم الضرورة اللجوء إلى كيان تنظيمي يبدأ بتقسيم الفعاليات إلى مجموعات ومن ثم تعيين لكل مجموعة أحد المرؤوسين ويخول الصلاحيات اللازمة لإنجاز العمل الخاص بمجموعته، لذا يجب إتباع الخطوات التالية :

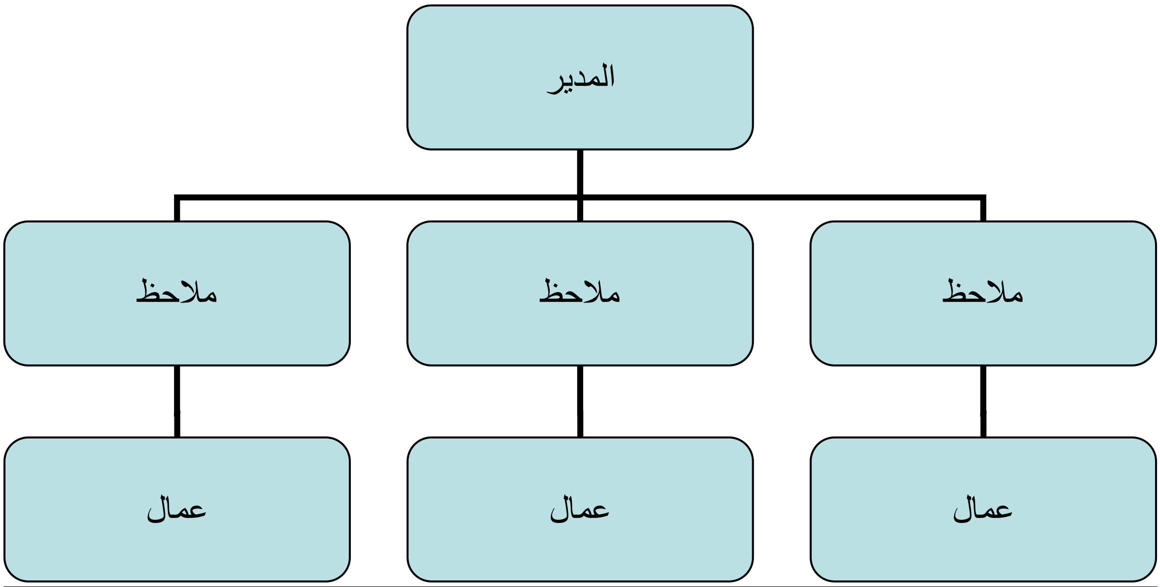
1- تحديد الأهداف العامة للمصنع متمثلة بكميات ونوعيات السلع المطلوب إنتاجها.
2- تكوين الخطط والسياسات لبلوغ هذه الأهداف من خلال تصميم المسالك التكنولوجية اللازمة لعمليات التصنيع.
3- تعيين الأعمال والواجبات الرئيسية لتنفيذ الخطط والوصول إلى الأهداف بتهيئة المواد والمكائن والمعدات اللازمة للعمل والمهارات المطلوبة والجداول الزمنية للتشغيل والصيانة والإدامة.
4- تحديد الوظائف اللازمة لإنجاز الأعمال بكفاءة من خلال تحديد الهيكل التنظيمي الملائم.
5- تجميع هذه الوظائف على شكل مجموعات للحصول على أحسن النتائج التي يهدف إليها المصنع وتعيين رئيس لكل مجموعة يشرف على وظائفها.
6- منح الصلاحيات الضرورية لكافة رؤوساء المجموعات وبالقدر الذي يمكنهم من القيام بأعمالهم بشكل سليم.

ومن البديهي إن أي إداري لايستطيع أن يكون رئيساً لعدد غير محدود من الأفراد ،وعلى الأخص في مستويات الإدارة العليا . ومن خلال دراسة أجريت على أكثر من *1000* شركة أمريكية أثبتت هذه الدراسة إنه للمحافظة على مدى سيطرة المدير على منتسبيه بكفاءة يكون عدد موظفيه بالحالة العامة بما لايزيد عن *10* أشخاص مع الأخذ بنظر الإعتبار الإستخدامات الواسعة للحاسب الأليكتروني لأغلب نشاطات المصانع.

3-1- أنواع التنظيمات والمستويات الإدارية المناظرة:

لكل مصنع يكون فيه خارطة تنظيمية تمثل العرض التخطيطي لمختلف الصلاحيات والمسؤوليات في المصنع والوصف لطرائق الإتصالات والإرتباطات بين كافة الأقسام وعلى كافة المستويات الإدارية . ومن هذه التنظيمات :

1- التنظيم الخطي (التنظيم البسيط) : يستخدم في المصانع الصغيرة ، إذ يكون مدير المصنع المسؤول عن كافة الإعمال الفنية والمالية، أما المستويات التنفيذية (العمال) تكون على هيئة مجاميع تعمل كل منها تحت إشراف ملاحظ يكون بدوره مرؤوساً من قبل المدير الأعلى، وكما موضح أدناه :



مهام المدير وضع السياسة العامة للمصنع وتهيئة كافة الخـدمات الـضرورية لعمليـات الإنتاج وتوزيع الواجبات على العاملين ومراقبة التكاليف والسيطرة على عمليـات صـرف الأجور.

مهام الملاحظ تحديد طريقة العمل وتوزيع الأعمال على العمال ومراقبة فعاليات الإنتاج .

مهام العمال إداء وتنفيذ الأعمال بكفاءة ووفق التعليمات .

<u>مزاياه</u> :

أ- الإبتعاد عن الغموض والتعقيد لمعالم المسؤولية والسلطة.

ب- السرعة في إتخاذ القرارات الإدارية ونقل المعلومات بين المستويات .

ج- زيادة المتابعة والرقابة على تنفيذ الأعمال.

د- يمكن من خلاله معالجة المشاكل بسرعة في الحالات الطارئة.

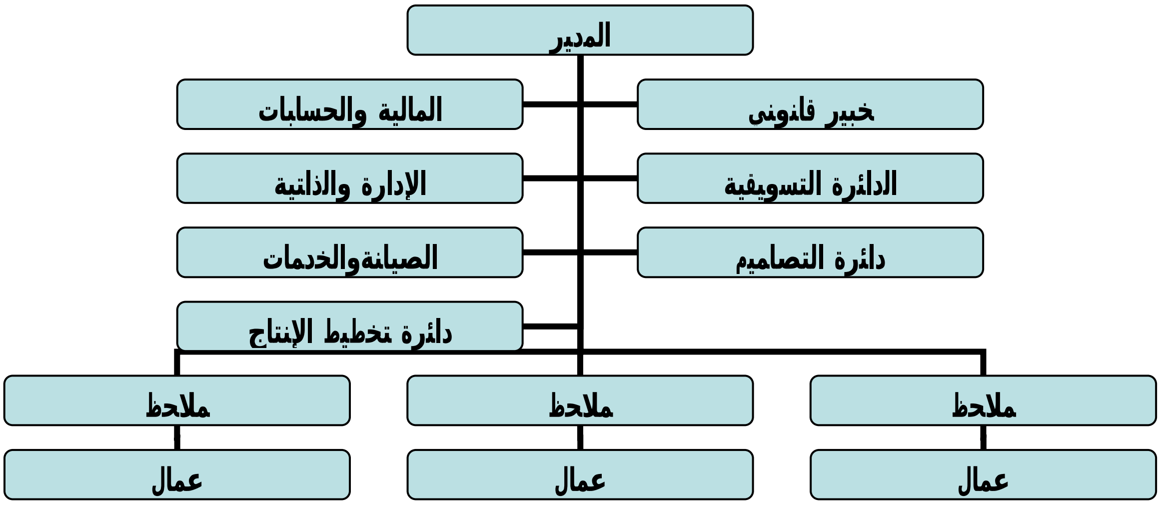
<u>عيوبه</u> :

أ- لايمكن تطبيقه في المصانع الكبيرة الحجم.

ب- تركيز السلطة لدى المدير وفي حالة غيابه يتخبط المصنع في تحقيق أهدافه.

ج- ضعف التعاون الجماعي بين عمال المصنع بسبب خصوصية كـل ملاحـظ عمـل فـي إشرافه على مجموعته.

2- <u>التنظيم الخطي الإستشاري</u> : يستخدم في المصانع ذات الحجم المتوسط وهو نفس الإسلوب السابق بإضافة مستشارين وخبراء يستعين بهم المدير ليقدموا الإستشارات والنصائح الفنيـة والمالية لأجل تنفيذ الأعمال ، وكما موضح أدناه :



مزاياه :

1- سرعة معالجة المشاكل نتيجة الإستفادة من الخبرات المتوفرة في المصنع.

2- سهولة إنجاز المهام المطلوبة لإنفصال الأعمال الفنية عن الأعمال الإدارية.

3- تنمية خبرات المدراء العاملين بسبب وجود إرشادات ونصائح الخبراء.

4- نجاح المدراء في إتخاذ القرارات الصائبة نتيجة لوجود الخبراء.

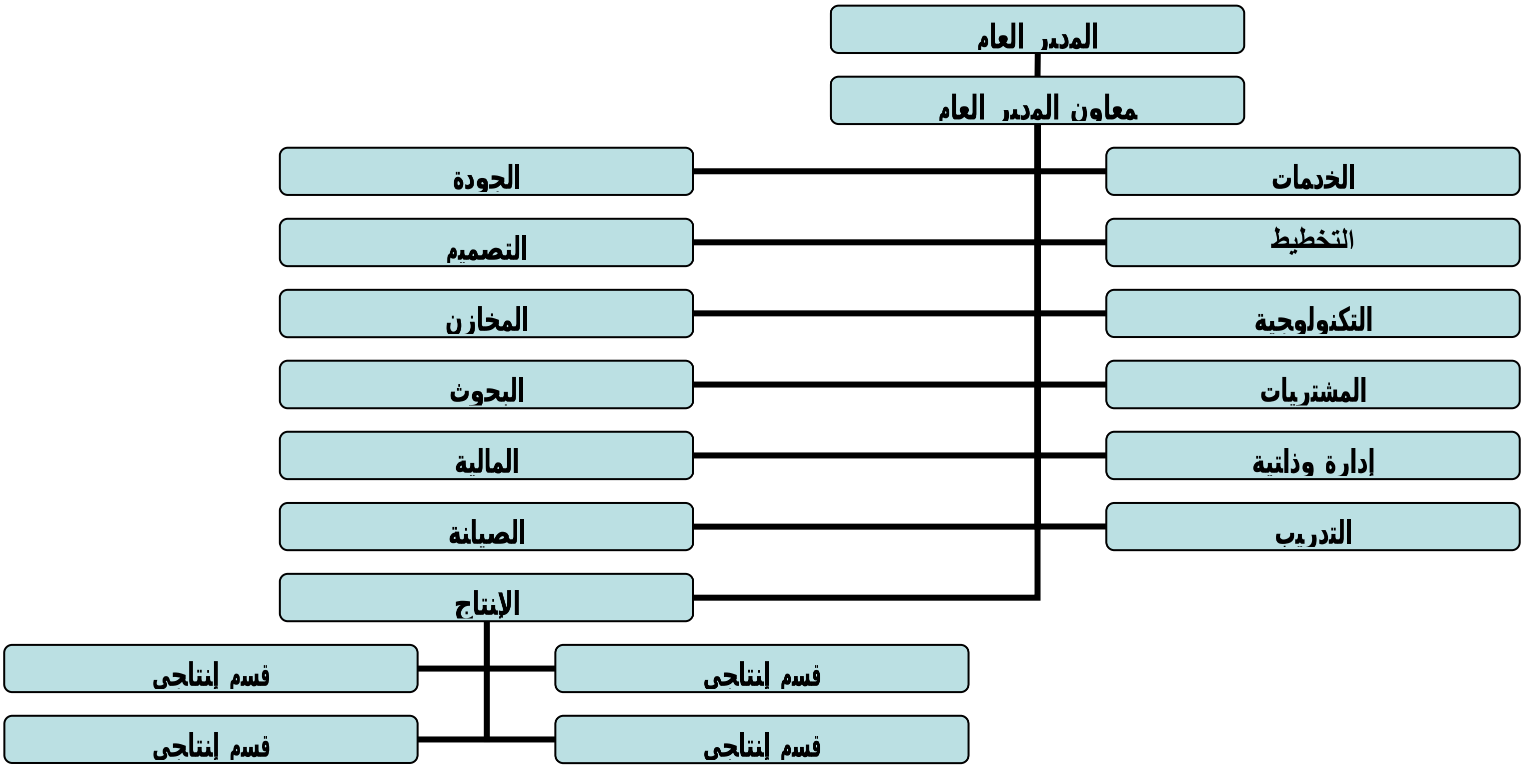
عيوبه :

1- تعذر إتخاذ قرارات سريعة لإعتمادها على أراء مجموعة الخبراء.

2- ضعف سلطة المدير بسبب إعتماده على الخبراء.

3- يساعد المدير على التهرب من المسؤولية بسبب تعليق أخطاءه على الخبراء.

3 - **التنظيم الوظيفي** : يتضمن تجميع الفعاليات الرئيسية والفرعية في المصنع بوظائف ومن ثـم تخصيص الوظائف لأقسام يشتمل كل منها على وظيفة معينة وعادة ما يستخدم هذا التنظيم في المصانع الكبيرة التي تتعدد فيها العمليات الصناعية والسلع المنتجة وتكثـر أنـشطتها ويكـون التنظيم داخل مختلف الأقسام خطي ، وكما موضح أدناه :



ينقسم هذا الهيكل التنظيمي إلى ثلاثة أنواع :

مستوى الإدارة العليا – أي إن المدير العام ومعاونيه تكون الصلاحيات الممنوحة لهم واسعة.

مستوى الإدارة المتوسطة – يتضمن رؤوساء كافة الأقسام ووكلائهم ومدراء الشعب ، ويختلف هذا المستوى عن المستوى الأول في زيادة عدد الأشخاص وقلة الصلاحيات المخولة لهم ويهتم بوضع التفصيلات للأوامر من الإدارة العليا وإبلاغها للإدارة المباشرة ورقابتها ومتابعة تنفيذها.

مستوى الإدارة المباشرة – يتضمن رئيس العمل وملاحظ العمل ويتولى هذا المستوى مسألة الإشراف على عمال وموظفي المصنع .

أكدت الدراسات والبحوث على إن النسبة المقبولة بين الرئيس والمرؤوس تتراوح بين *10-12* في المستويات الدنيا وتتراوح بين *1-6* في المستويات العليا وإذا أخذنا الحد الأعلى لكل مستوى من المستويات السابقة ، نلاحظ من الجدول أدناه عدد المشرفين الإداريين وعدد العمال والموظفين الضروري لكل مرحلة :

المستوى الإداري	عدد المشرفين الإداريين	عدد العمال والموظفين
مدير عام	*1*	ــــــ
م.مدير عام	*7 = 6 + 1*	*72 = 12 * 6*
رئيس قسم	*43 = 6*6 + 7*	*432= 12* 6 * 6*
وكيل رئيس قسم	*259 = 6*6*6+43*	*2592=12*6*6*6*
مدير شعبة	*1555=6*6*6*6+259*	*15552=12*6*6*6*6*
ملاحظ عمل	9331=6*6*6*6*6+1555	93312=12*6*6*6*6*6

من أعلاه نلاحظ إن عدد المشرفين الإداريين الضروري لإدارة أية منشأة صناعية تضم على الأكثر 72 عاملاً وموظفاً هو 7 مشرفين وهكذا لبقية المراحل .

مزاياه :

1- يحقق مبدأ التخصص.
2- تحديد المسؤوليات على مختلف الأعمال.

عيوبه :

1- صعوبة الإتصالات والتنسيق بين مختلف الأعمال.
2- تعذر إتخاذ القرارات الصائبة بشكل سريع.

3-2- التنظيم التكنولوجي :

هو دراسة كيفية ترتيب وتوالي المراحل الإنتاجية اللازمة لتصنيع سلعة أومجموعة سلع لأجل تحديد نوع المكائن اللازمة وعددها ومواقعها المناسبة لإتمام العمليات التصنيعية باقل دورة إنتاجية ممكنة. أما العوامل المؤثرة على التنظيم التكنولوجي :

1- نوع الصناعة :

أ- الصناعة الإستخراجية – تتضمن عمليات إستخراج الخامات الطبيعية من باطن الأرض ومن ثم عزل المواد الغريبة والشوائب منها مثل صناعة الحديد والصلب .

ب- الصناعة التحويلية – تتميز بإجراء التغييرات والتحويرات من حيث الشكل على الخامات والمواد المستخرجة وتحويلها إلى شكل آخر قابل للإستعمال المباشر أو الإستفادة منها في صناعات تحويلية أخرى مثل صناعة الزجاج .وأنواعها :

- الصناعات المعدنية : تهتم بفصل الشوائب من الخامات ومن ثم تشكيل سبائك والواح وصفائح في عمليات الدرفلة.
- الصناعات الهندسية : تحويل منتجات الصناعات المعدنية إلى سلع إستهلاكية عن طريق إجراء عمليات السباكة والدرفلة أو الطرق والكبس كمراحل أولية ومن ثم مرحلة القطع وإجراء المعاملات الحرارية والربط بكافة أنواعه مثل صناعة السيارات والمحركات .
- الصناعات الكيمياوية : تتضمن تحويل الخامات من حالتها الإعتيادية إلى مواد جديدة ذات فائدة بإتباع العمليات الفيزياوية والكيمياوية مثل صناعة تكرير البترول والأسمدة والأصباغ.
- صناعة الغزل والنسيج : تتضمن تحويل الألياف إلى غزول التي تنسج بدورها وتلون بأصباغ مختلفة مثل صناعة الأقمشة.

2- حجم الإنتاج : يصنف إلى:

أ- الإنتاج المستمر – يتصف بإستمرارية العمليات وتتابعها بشكل ثابت وبدون إجراء أي تغييرات وتبديلات سريعة عليها والدفعات الإنتاجية كبيرة والمواد الأولية المستخدمة فيها ذات مواصفات متجانسة وقليلة الأنواع .وعليه فإن التنظيم يكون سهل وعمليات التخطيط والسيطرة لا يحتاجان إلى جهد كبير ومهارة عالية مثل صناعة السكر والأسمدة .

ب- الإنتاج التعاقدي – هو تصنيع المنتجات حسب الطلبات المقدمة للمصنع مثل صناعة الطائرات والسفن والأجهزة الطبية المعقدة، يمتاز الإنتاج بإرتفاع تكاليفه ودفعاته صغيرة .

خواصه :

- يحتاج الإنتاج إلى وقت غير قليل.
- تتميز الدورة الإنتاجية بطول الفترة الزمنية التي تستغرقها ومستوى عالي من المهارة والخبرة.
- كثرة التخزين في مراحل التصنيع.
- صعوبة السيطرة على العمليات الإنتاجية .

ج- الإنتاج المتكرر – يجمع بين الإنتاج المستمر والإنتاج التعاقدي ويستخدم في الصناعات الهندسية كصناعة السيارات والمعدات الكهربائية . خصائصه:

- تتطلب عملية التخطيط والتشغيل مستوى عالي من الخبرة والمهارة .
- تتطلب التنسيق والتوازن المحكم بين مختلف عمليات التشغيل.
- يحتاج إلى مرونة عالية في عمليات إنتاج السلع.

3- طبيعة ومواصفات السلعة : تتمثل بحجم السلعة ووزنها وأبعادها المختلفة ودرجة السيولة والصلابة التي تتصف بها وخطورة المواد المركبة واللازمة لتصنيعها مثل إنتاج السوائل والحوامض والبترول ، إذ إنه عند تصميم تعاقب المكائن يؤخذ بنظر الإعتبار الخواص الكيمياوية والفيزياوية والهندسية للسلع المنتجة.

3-3- دورة الإنتاج :

هو الزمن الذي تستغرقه العملية الإنتاجية منذ دخول المواد الأولية ولغاية خروجها كسلع جاهزة للإستعمال . وإن تقليص هذا الزمن يعتبر دليلاً ومؤشراً على بلوغ الإدارة المستوى الجيد من التخطيط والتنظيم . مكوناته :

1- وقت الإدارة T_1 : ويتضمن وقت تهيئة الماكنة وإعدادها للتشغيل عند بداية كل عمل .

2- وقت التشغيل الآلي T_2 : ويتضمن الوقت الذي تستغرقه الماكنة لإداء العمل .

وعليه فإن زمن دورة الإنتاج T سيكون : $T = T_1 + T_2$

وإن الإنتفاع الكامل من الوقت المتاح يتحقق عندما $\frac{T}{T_2}=1$ وإن إرتفاع هذا العامل عـن الواحـد يدل على سوء تنظيم العمليات والنشاطات الإنتاجية .

ولإختيار الإسلوب الملائم لحركة مواد العمل خلال المراحل الإنتاجية يساعد في تقليل زمـن دورة الإنتاج وبشكل عام هناك ثلاثة طرق لهذه الحالة هي :

1- الحركة المتوالية : تستخدم عند إنتاج السلع ذات الأحجام الكبيرة وبمواصفات مختلفة والـزمن لكل مرحلة متباين بشكل كبير مع المراحل الأخرى ، وتعتمد على إن كل عامـل عنـدما ينجـز مرحلته يتم تسليم كافة السلع التي أنجزها إلى العامل الذي يليه في المرحلة.

2- الحركة المتوازية : تستخدم في إنتاج السلع المتشابهة في الحجم والمواصفات ومتقاربـة فـي الزمن ، وفيها يقوم العامل بتسليم كل قطعة تنجز إلى العامل الذي يليه في المرحلة الأخرى .

3- الحركة المزدوجة : تجمع بين الحركتين المتوالية والمتوازية ، أي عنـدما تكـون مواصـفات الإنتاج متجانسة والزمن متباين لمختلف المراحل.

<u>مثال-1</u>- بإفتراض إن المسلك التكنولوجي اللازم لتصنيع سلعة ما يتكون من خمس مراحل وعدد السلع في كل دفعة هي أربعة ، وإن الوقت الضروري لتنفيذ كل مرحلة هو:

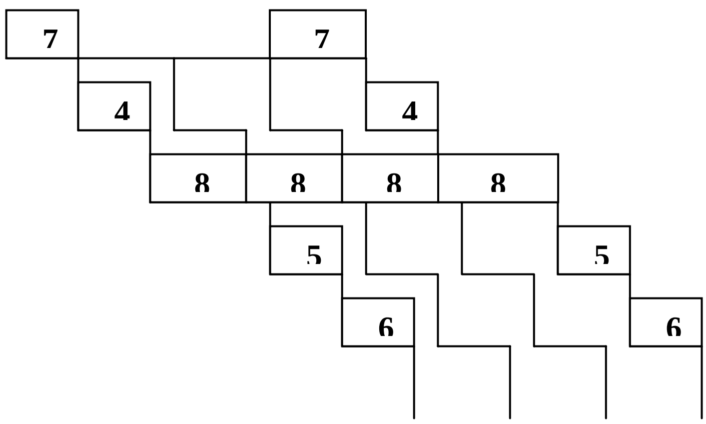
المراحل الإنتاجية	الوقت المخصص لكل مرحلة(دقيقة)
1	*7*
2	*4*
3	*8*
4	*5*
5	*6*

ماهو الوقت اللازم لإنتاج هذه السلع في حالة : الحركة المتواليـة ، الحركـة المتوازيـة والحركة المزدوجة .

أ- في حالة الحركة المتوالية : الوقت اللازم لإنتاج هذه السلع ، هو :

$(7 + 4 + 8 + 5 + 6) * 4 = 120$ *min.*

ب- في الحركة المتوازية :



الوقت اللازم لإنتاج هذه السلع هو :

$$7 + 4 + 8 + 8 + 8 + 8 + 5 + 6 = 54\ min.$$

ج- في حالة الحركة المزدوجة : الوقت اللازم لإنتاج هذه السلع T هو :

وقت الحركة المتوالية – مجموع أقصر وقت بين أي مرحلتين متتاليتين * عدد السلع الخاضعة للتوازي .

عدد السلع الخاضعة للتوازي هي : $4 – 1 = 3$

$$T = 120 – (4 + 4 + 5 + 5) * 3 = 66$$

3-4- أنواع التنظيمات التكنولوجية :

1- التنظيم السلعي – يستخدم عند تصنيع سلعة واحدة او عدد قليل من السلع ذات المواصفات المتشابهة ويكون ترتيب المكائن به إنسياب المواد الأولية من بداية الخط الإنتاجي مروراً على مختلف المراحل المتتابعة لتنتهي على هيئة سلعة جاهزة عند نهايته .من فوائده :

أ- إختصار زمن وطول الدورة الإنتاجية .

ب- زيادة كمية الإنتاج وخفض كلفته.

ج- تقليل الحاجة إلى المساحات الواسعة.

د- تحسين مستوى الإنتاج .

هـ- تسهيل مهمة الرقابة والسيطرة على الإنتاج.

و- تقليص حجم عمليات نقل المواد داخل الأقسام.

2- التنظيم الوظيفي – يستخدم عند إنتاج عدد كبير من السلع المختلفة بمواصفاتها وابعادها حيث تتواجد أقسام مختلفة في المصنع مثل قسم السباكة ، الطرق والكبس ، القطع ، الطلاء ، ...الخ. وكل قسم يقوم بمهامه ويستخدم هذا التنظيم في الصناعات الهندسية ومتطلباته:

أ- إحتياجاته إلى مكائن غير متخصصة.

ب- إحتياجه إلى أيدي عاملة ماهرة.

3- التنظيم المختلط – يجمع بين التنظيمين السلعي والوظيفي ويطبق على صناعة السيارات وصناعة المعدات الكهربائية ، إذ يعتمد على التنظيم السلعي للعمليات الإنتاجية وإتباع التنظيم الوظيفي لعمليات التجميع.

4- التنظيم الموقعي (التنظيم على أساس ثبات الموقع) – يستخدم في حالة الإنتاج التعاقدي مثلاً في صناعة الطائرات والسفن والقطارات ... إلخ. إذ يتم نقل المكائن والمعدات والعمال إلى مواقع العمل وإن كلف الإنتاج تكون عالية جداً.

الباب الثاني

بحوث العمليات

Operations Research

المصدر :

[1] Hamdy A. Taha " Operations Research : an introduction" 6th edition (1997), Prentice-Hall.

[2] Prem Kumar Gupta and D.S. Hira " Operations Research : an introduction" 2nd edition (1989) S. Chand & Company LTD, NewDelhi .

الفصل الرابع

البرمجة الخطية *Linear Programming*

تعتبر بحوث العمليات *Operations research* من العلوم التطبيقية الحديثة التي أحـرز تطبيقهـا نجاحاً واسعاً في المجالات المدنية والعسكرية على حدٍ سواء . فجذورها التأريخية تمتـد منـذ القـرن الثامن عشر وبالذات عام *1885* حيث إستخدم فردريك تايلر التحليل العلمي في طرق الإنتاج في محاولة لزيادة كمية المواد الخام المنقولة بأقل جهد ممكن . ونتيجة للمعضلات التعبوية والسوقية التي واجهت دول الحلفاء إثناء الحرب العالمية الثانية وصعوبة الحصول على حلول لهذه المعضلات من قبـل جهـة معينة ذات إختصاص واحد ، لذا قررت القيادة العامة لقوات الحلفاء تشكيل أول مجموعـة استـشارية مختلطة تضم عدد من العلماء الإختصاصيين للتعاون فيما بينهم وتقديم المشورة للقيادة ، ولقد سـميت هذه المجموعة الإستشارية بفريق بحوث العمليات . لذا فقد دأب هذا الفريق منذ بدايـة تـشكيله علـى دراسة الوضع العسكري لقوات الحلفاء وتقديم الأساليب العلمية لتحركات القوات المعادية ولإنزال أقصى الضربات فيها . وبعد إنتهاء الحرب العالمية الثانية عاد معظم العلماء الإختصاصيين في لجـان بحـوث العمليات إلى الحياة المدنية محاولين تطبيقها لحل معضلات مدنيـة مـشابهة وتعمـيم دراسـتها فـي الجامعات. كما وإستفادت من تطبيقها شركات صناعية كبيرة وبالأخص المؤسسات ذات الأرباح العاليـة مثل الشركات النفطية . إذ إنها أول من قام بتطبيق إسلوب البرمجـة فـي تخطـيط الإنتـاج وبأوسـع مستوياته.

ومن أهم العوامل التي ساعدت إختصاصيي بحوث العمليات في حل المعضلات المعقـدة هـو تطـور الحاسبات الأليكترونية إذ إنها ساعدت الباحثين في تنفيذ التحليلات والدراسات المطلوبة بسرعة وبدقـة فائقتين.

أما الخطوات المتخذة في بحوث العمليات لمعالجة المعضلات هي :

1- تعريف المشكلة قيد البحث .

2- صياغة النموذج الملائم للمشكلة

3- إيجاد حل للنموذج .

4- إختبار مدى صلاحية النموذج .

5- تنفيذ النتائج النهائية .

أما البرمجة الخطية *Linear programming* فتعود أساسياتها إلى القرن التاسع عشر إذ قـدمت من قبل كوردن في عام *1873* وطورت في عام *1947* عندما إبتـدع دانتـزك الطريقـة المبـسطة *Simplex method* لجدولة إستلام المواد في سلاح الطيران الأمريكي . وحاليـاً تحتـل البرمجـة الخطية مركزاً مرموقاً في مجالات بحوث العمليات ، كما تكمن أهمية البرمجة الخطيـة فـي كونهـا وسيلة لدراسة سلوك عدد كبير من الأنظمة وتعتبر أبسط وأسهل النماذج التي يمكن إنشاؤها لمعالجة

معضلات البرمجة الصناعية والحكومية الكبرى . ويمكن القول إن البرمجة الخطية هي طريقة علمية تهدف إلى إستخدام الموارد المحدودة أفضل إستخدام لتحقيق هدف معين .

إن المستلزمات الأساسية للبرمجة الخطية هي :

1- وجود هدف معين مطلوب تحقيقه (كأقصى ربح أو أدنى كلفة ...إلخ).

2- وجود بدائل مختلفة للوصول إلى الهدف .

3- الموارد المستخدمة يجب أن تكون محدودة.

4- وجوب العلاقة بين المتغيرات .

5- التعبير عن دالة الهدف والقيود بمعادلات أو متباينات خطية.

4-1- صيغ البرمجة الخطية :

1- الصيغة العامة *General form* : تأخذ النموذج التالي :

$$\max .or \min . \quad Z=\sum_{j=1}^{n} C_j X_j \quad \text{Objective function}$$

$$S.t. \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \begin{Bmatrix} \le \\ \ge \\ = \end{Bmatrix} b_i \quad \text{Constraints}$$

$$i=1,2,...,m$$

$$j=1,2,...,n$$

إذ إن C_j تمثل الكلفة أو الزمن أو الربح أو الإيراد ...إلخ. للوحدة الواحدة.

X_j تمثل متغيرات القرار *Decision variables* .

a_{ij} تمثل المعاملات الفنية *Technical coefficients* .

b_i تمثل الكميات المتاحة للإستخدام *Availability amounts* .

2- الصيغة القانونية *Canonical form* : النموذج العام لهذه الصيغة يكون :

$$\max . \quad Z=\sum_{j=1}^{n} C_j X_j \quad \text{Objective function}$$

$$S.t. \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \le b_i \quad \text{Constraints}$$

$$X_j \ge 0 \quad \text{nonnegative constraints}$$

أي إنها تمتاز بالخصائص الآتية :

1- جميع متغيرات القرار تكون غير سالبة ($X_j \ge 0$) .

2- جميع القيود تكون من نوع أصغر أو يساوي($\le$) .

3- تعظيم *maximized* دالة الهدف فقط .

كما يمكن تحويل الصيغة العامة إلى الصيغة القانونية بإستخدام القواعد التالية :

1- يمكن تحويل تصغير *minimized* دالة الهدف إلى تعظيم *maxiمized* وبالعكس بـضرب دالة الهدف في (-1) ، أي إن : $max.\ Z = min.\ (-Z)$

2- يمكن تحويل قيد أكبر من أو يساوي ≥ إلى أصغر من أو يـساوي ≤ بضرب المتباينـة في (-1) ، أي إن : $\sum a_{ij} X_j \geq b_i \quad \Leftrightarrow \quad -\sum a_{ij} X_j \leq b_i$

3- يمكن تحويل قيد المساواة (=) إلى قيدين من نوع أصغر من أو يساوي ≤ وبالشكل التالي:

$$\sum a_{ij} X_j = b_i \quad \Leftrightarrow \quad \begin{Bmatrix} \sum a_{ij} X_j \leq b_i \\ -\sum a_{ij} X_j \leq -b_i \end{Bmatrix}$$

4- يمكن تحويل قيد القيمة المطلقة *absolute value* إلى قيدين من نـوع أصـغر مـن أو يساوي ≤ وبالشكل التالي :

$$\left|\sum a_{ij} X_j\right| \leq b_i \quad \Leftrightarrow \quad \begin{Bmatrix} \sum a_{ij} X_j \leq b_i \\ -\sum a_{ij} X_j \leq b_i \end{Bmatrix}$$

$$or \quad \left|\sum a_{ij} X_j\right| \geq b_i \quad \Leftrightarrow \quad \begin{Bmatrix} -\sum a_{ij} X_j \leq -b_i \\ \sum a_{ij} X_j \leq -b_i \end{Bmatrix}$$

5- يمكن تحويل المتغير غير المقيد في الإشارة *unrestricted sign* إلـى متغيـرين غيـر سالبين ، وكما في العلاقة أدناه :

$$X_i = X_i' - X_i'' \quad and \quad X_i', X_i'' \geq 0$$

3- __الصيغة القياسية *Standard form*__ : الشكل العام لهذه الصيغة يأخذ الخصائص التالية :

1- جميع القيود تكون معادلات (القيود من نوع مـساواة (=)) ماعـدا قيـد عـدم الـسالبية *nonnegative* إذ يبقى متباينة من نوع أكبر من أو يساوي (أي إن $X_j \geq 0$) .

2- الطرف الأيمن للقيود يكون غير سالب (أي إن $b_i \geq 0$) .

3- دالة الهدف تكون إما تصغير *min.* أو تعظيم *max.* .

ويمكن تحويل الصيغة العامة إلى الصيغة القياسية وبالإضافة إلى ما طرح في الصيغة القانونية ، يمكن تحويل قيود المتباينات إلى معادلات وكما يلي :

$$\sum a_{ij} X_j \leq b_i \quad \Leftrightarrow \quad \sum a_{ij} X_j + S_i = b_i$$
$$\sum a_{ij} X_j \geq b_i \quad \Leftrightarrow \quad \sum a_{ij} X_j - S_i = b_i$$

إذ إن S_i تمثل متغيرات الركود *Slack variables* وهي متغيرات وهمية وتكون غير سالبة (أي إن $S_i \geq 0$) .

__مثال-1__ : حول الصيغة العامة للبرمجة الخطية إلى الصيغة القانونية والصيغة القياسية :

$$\begin{aligned} min. \quad & Z = 2X_1 + 3X_2 + 5X_3 \\ s.t. \quad & X_1 + X_2 - X_3 \geq -5 \\ & -6X_1 + 7X_2 - 9X_3 = 15 \\ & \left|19X_1 - 7X_2 + 5X_3\right| \leq 13 \\ & X_1, X_2 \geq 0, X_3\ unrestricted \end{aligned}$$

<u>الحل</u>: بإفتراض إن : $X_3 = X_3^{'} - X_3^{''}$

أ- الصيغة القانونية :

$$\begin{aligned}
min. \quad & Z=-2X_1-3X_2-5(X_3^{'}-X_3^{''}) \\
s.t. \quad & -X_1-X_2+(X_3^{'}-X^{''})\leq 5 \\
& -6X_1+7X_2-9(X_3^{'}-X_3^{''})\leq 15 \\
& 6X_1-7X_2+9(X_3^{'}-X_3^{''})\leq -15 \\
& 19X_1-7X_2+5(X_3^{'}-X_3^{''})\leq 13 \\
& -19X_1+7X_2-5(X_3^{'}-X_3^{''})\leq 13 \\
& X_1,X_2,X_3^{'},X_3^{''}\geq 0
\end{aligned}$$

ب- الصيغة القياسية :

$$\begin{aligned}
max. \quad & Z=2X_1+3X_2+5(X_3^{'}-X_3^{''}) \\
s.t. \quad & -X_1-X_2+(X_3^{'}-X^{''})+S_1=5 \\
& -6X_1+7X_2-9(X_3^{'}-X_3^{''})=15 \\
& 19X_1-7X_2+5(X_3^{'}-X_3^{''})+S_3=13 \\
& -19X_1+7X_2-5(X_3^{'}-X_3^{''})+S_4=13 \\
& X_1,X_2,X_3^{'},X_3^{''},S_1,S_2,S_3,S_4\geq 0
\end{aligned}$$

2-4- <u>صياغة النموذج</u> <u>*Formulation of the model*</u> : يمكن صياغة النموذج الرياضي للبرمجة الخطية حسب المعطيات المتوفرة لدى الباحث ، كما موضحة في المثال التالي :

<u>مثال– 2</u> : مصنع ينتج ثلاثة منتجات *A* ، *B* و *C* وكل منتوج ينجز من خلال ثلاثة عمليات مختلفة ، الزمن المستغرق (دقيقة) لإنتاج وحدة واحدة من كل منتوج والطاقة المتاحة لكل عملية (دقيقة/ يوم) وربح الوحدة الواحدة لكل منتوج (ألف دينار) كانت كالآتي :

العملية	الزمن المستغرق (دقيقة)			الطاقة المتاحة
	A	B	C	
I	1	2	1	430
II	3	0	2	460
III	1	4	0	420
الربح	3	2	5	---

المطلوب: صياغة النموذج الرياضي للبرمجة الخطية للمسألة أعلاه لتعظيم الربح الكلي . ثم أعد صياغة النموذج لكل حالة من الحالات التالية :

أ- بإفتراض منتوج رابع أضيف للعملية الإنتاجية والزمن المستغرق في العمليات الثلاثة هو (3 ، 5 و 1) على التوالي وربح الوحدة الواحدة هو 6 الآف دينار ، وإن الطاقة المتاحة للعملية الثالثة تستغل بكاملها .

ب- بإفتراض إن مجموع الطاقات المتاحة غير المستغلة للعمليات الثلاثة يجب أن لاتزيد عن 10 دقائق / يوم .

ج- بإفتراض إن دراسات السوق أشارت إلى أن نسبة عدد الوحدات المنتجة من المنتوج A إلى عدد الوحدات المنتجة من المنتوجين B و C يجب أن لاتقل عن 0.4 .

الحل : بإفتراض إن X_1 ، X_2 و X_3 تمثل عدد الوحدات المنتجة يومياً من المنتجات A ، B و C على التوالي . فالنموذج الرياضي سيكون :

$$\begin{aligned} max. \quad & Z = 3X_1 + 2X_2 + 5X_3 \\ s.t. \quad & X_1 + 2X_2 + X_3 \le 430 \\ & 3X_1 + 2X_3 \le 460 \\ & X_1 + 4X_2 \le 420 \\ & X_1, X_2, X_3 \ge 0 \end{aligned}$$

أ- النموذج الرياضي يكون :

$$\begin{aligned} max. \quad & Z = 3X_1 + 2X_2 + 5X_3 + 6X_4 \\ s.t. \quad & X_1 + 2X_2 + X_3 + 3X_4 \le 430 \\ & 3X_1 + 2X_3 + 5X_4 \le 460 \\ & X_1 + 4X_2 + X_4 = 420 \\ & X_1, X_2, X_3, X_4 \ge 0 \end{aligned}$$

ب-

$$430 - (X_1+2X_2+X_3) + 460 - (3X_1+2X_3) + 420 - (X_1+4X_2) \le 10$$
$$\rightarrow \; 5X_1 + 6X_2 + 3X_3 \ge 1300$$

لذا فالنموذج الرياضي سيكون :

$$\begin{aligned} max. \quad & Z = 3X_1 + 2X_2 + 5X_3 \\ s.t. \quad & X_1 + 2X_2 + X_3 \le 430 \\ & 3X_1 + 2X_3 \le 460 \\ & X_1 + 4X_2 \le 420 \\ & 5X_1 + 6X_2 + 3X_3 \ge 1300 \\ & X_1, X_2, X_3 \ge 0 \end{aligned}$$

ج-

$$\frac{X_1}{X_2 + X_3} \ge 0.4 \Rightarrow \quad X_1 - 0.4X_2 - 0.4X_3 \ge 0$$

لذا فالنموذج الرياضي سيكون :

$$
\begin{aligned}
max. \quad & Z = 3X_1 + 2X_2 + 5X_3 \\
s.t. \quad & X_1 + 2X_2 + X_3 \le 430 \\
& 3X_1 + 2X_3 \le 460 \\
& X_1 + 4X_2 \le 420 \\
& X_1 - 0.4X_2 - 0.4X_3 \ge 0 \\
& X_1, X_2, X_3 \ge 0
\end{aligned}
$$

3-4- حل نموذج البرمجة الخطية :

توجد طريقتان أساسيتان لحل نماذج البرمجة الخطية هما :

1- الطريقة البيانية *Graphical method* : تستخدم هذه الطريقة في حالة وجود عدد محدد من المتغيرات (متغيرين أو ثلاثة فقط) ولكنها لاتعطينا الطريقة العملية لحل البرامج الخطيـة لأن معظم مسائل البرمجة الخطية تتضمن عدد كبير من المتغيرات .

تستند هذه الطريقة على رسم هذه القيود من نقطتي تقاطعهم مع محوري الإحداثيات ، ومن ثم تحددالمنطقة المشتركة بين هذه القيود والتي تسمى بمنطقة الحلول المقبولة *Feasible Solutions Region (F.S.R.)* ، إذ إن زوايا هذه المنطقة تمثل النقاط المتطرفـة *Extreme Points* التـي منها نحصل على القيم المثلى *Optimal values* للمتغيرين بحيث يحققان غايـة دالـة الهـدف . وتعتبر هذه الطريقة الأساس في الوصول إلى الطريقة المبسطة *Simplex method* .

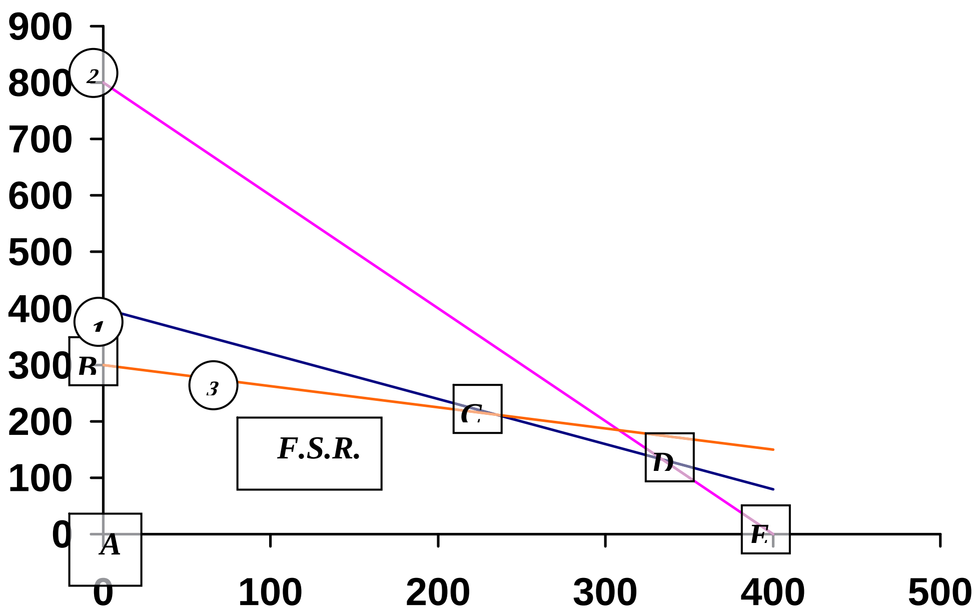
مثال-3 : حل نموذج البرمجة الخطية الآتي :

$$
\begin{aligned}
max. \quad & Z = 120X + 100Y \\
s.t. \quad & 2X + 2.5Y \le 1000 \\
& 3X + 1.5Y \le 1200 \\
& 1.5X + 4Y \le 1200 \\
& X, Y \ge 0
\end{aligned}
$$

الحل :

$$
\begin{array}{llllllll}
1. & 2X + 2.5Y = 100 & if & X = 0 & then & Y = 400 & \Rightarrow & (0,400) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 500 & \Rightarrow & (500.0) \\
2 & 3X + 1.5Y = 1200 & if & X = 0 & then & Y = 800 & \Rightarrow & (0,800) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 400 & \Rightarrow & (400,0) \\
3. & 1.5X + 4Y = 1200 & if & X = 0 & then & Y = 300 & \Rightarrow & (0,300) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 800 & \Rightarrow & (800,0) \\
4. & X = 0 \\
5. & Y = 0
\end{array}
$$

تثبت هذه النقاط بيانياً لتحديد منطقة الحلول المقبولة *(F.S.R.)* .



E [illegible] *D* ، *C* ، *B* ، *A* [illegible]

C(4000/17 , 3600/17) [illegible] *3* [illegible] *1* [illegible]

D(1000/3 , 400/3) [illegible] *2* [illegible] *1* [illegible]

[illegible]

Points	*Z = 120 X +100 Y*
A(0,0)	*Z = 0 + 0 = 0*
B(0,300)	*Z = 0 +100*300 = 30000*
C(4000/17, 3600/17)	*Z=120*(4000/17)+100*(3600/17)=840000/17*
D(1000/3,400/3)	*Z=120*(1000/3)+100*(400/3)=160000/3 →max.*
E(400,0)	*Z = 120* 400 + 0 = 48000*

Z=160000/3 [illegible] ، *Y=400/3* [illegible] *X=1000/3* [illegible]

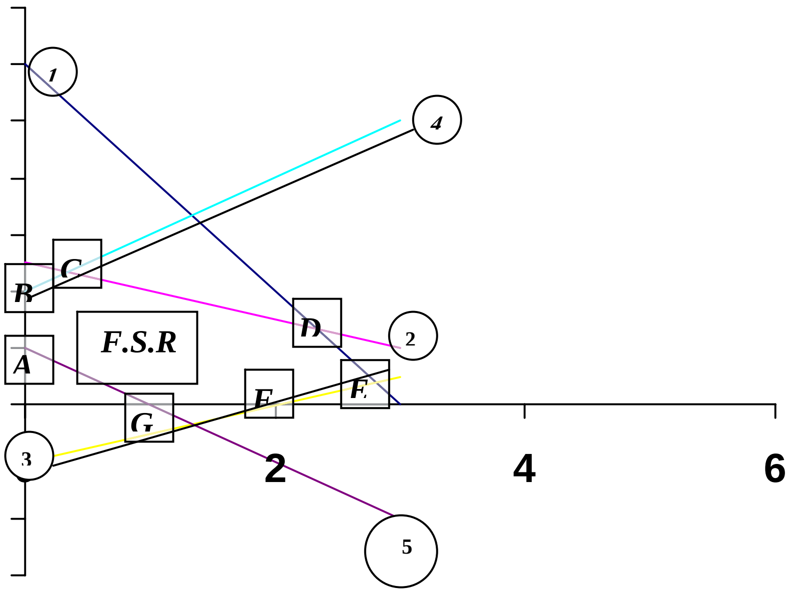
[illegible] <u>4 [illegible]</u>

$$Z = 4X + 5Y$$

$$\begin{aligned} s.t. \quad & 2X + Y \le 6 \\ & X + 2Y \le 5 \\ & X - 2Y \le 2 \\ & -X + Y \le 2 \\ & X + Y \ge 1 \\ & X, Y \ge 0 \end{aligned}$$

üӨǁƐ

$$
\begin{array}{lllllllll}
1. & 2X + Y = 6 & if & X = 0 & then & Y = 6 & \Rightarrow & (0,6) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 3 & \Rightarrow & (3,0) \\
2. & X + 2Y = 5 & if & X = 0 & then & Y = 2.5 & \Rightarrow & (0,2.5) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 5 & \Rightarrow & (5,0) \\
3. & X - 2Y = 2 & if & X = 0 & then & Y = -1 & \Rightarrow & (0,-1) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 2 & \Rightarrow & (2,0) \\
4. & -X + Y = 2 & if & X = 0 & then & Y = 2 & \Rightarrow & (0,2) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = -2 & \Rightarrow & (-2,0) \\
5. & X + Y = 1 & if & X = 0 & then & Y = 1 & \Rightarrow & (0,1) \\
 & & if & Y = 0 & then & X = 1 & \Rightarrow & (1,0) \\
6. & X = 0 & & & & & & \\
7. & Y = 0 & & & & & &
\end{array}
$$



C(1/3 , 7/3) ƕƲ’ƫdžǁƐ ɋƜdž ƑĭdžϽ 4 Nj 2 DžĭŦǁɋƑƴǄǁƐ üӨƓ

D(7/3 , 4/3) ƕƲ’ƫdžǁƐ ɋƜdž ƑĭdžϽ 2 Nj 1 DžĭŦǁɋƑƴǄǁƐ üӨƓ

E(14/5 , 2/5) ƕƲ’ƫdžǁƐ ɋƜdž ƑĭdžϽ 3 Nj 1 DžĭŦǁɋƑƴǄǁƐ üӨƓ

Points	Z = 4 X + 5 Y
A(0 , 1)	0 + 5 = 5
B(0 , 2)	0 + 10 = 10
C(1/3 , 7/3)	4/3 +35/3 = 13
D(7/3 , 4/3)	28/3 + 20/3 = 16→max.
E(14/5 , 2/5)	56/5 + 10/5 = 66/5
F(2 , 0)	8 + 0 = 8
G(1 , 0)	4 + 0 = 4 →min.

Y = 4/3 Ǌ *X = 7/3* ƑDžǫǁY *16* Ǐǀǀ *Z* Ǎǁǀ ƕDžǏƽ ǍǂYċ DžǊǀǏ üƙDžǓǫ üɵǁƑʓ ƐƤǁ

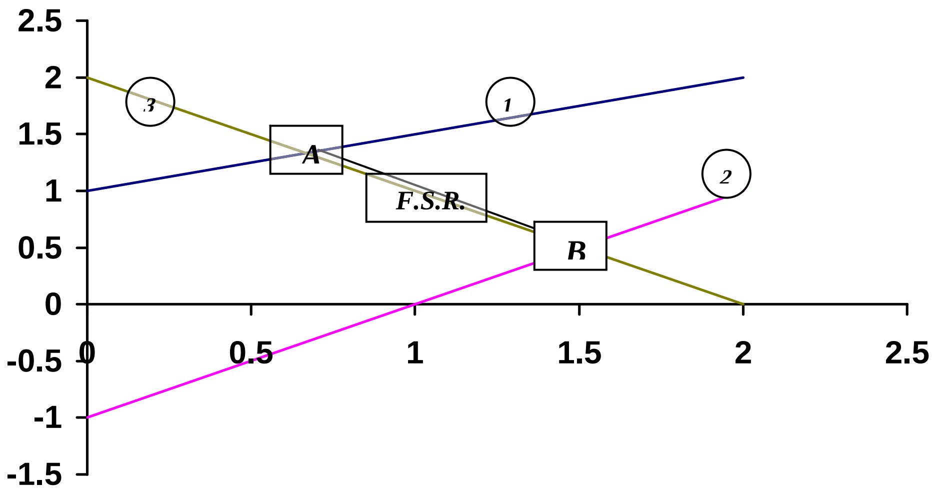
Y = 0 Ǌ *X = 1* ƑDžǫǁY *4* Ǐǀǀ *Z* Ǎǁǀ ƕDžǏƽ üƽċ

ƕǏǁƑǏƓǁǫ ƕƽǏƥƲǁƑƓ Ǐǁǂǁǫ ƕǏƲǫǁǫ ƕƜDžƥƓǁǫ ǂƤǊDžǁ üɵ <u>5 üƑƙDž</u>

$$\max. \quad Z = 2X + 4Y + 8$$
$$s.t. \quad -X + 2Y \le 2$$
$$X - Y \le 1$$
$$X + Y = 2$$
$$X, Y \ge 0$$

<u>üɵǁǫ</u>

1.	$-X + 2Y = 2$	*if*	$X = 0$	*then*	$Y = 1$	$\Rightarrow$	$(0,1)$
		if	$Y = 0$	*then*	$X = -2$	$\Rightarrow$	$(-2,0)$
2	$X - Y = 1$	*if*	$X = 0$	*then*	$Y = -1$	$\Rightarrow$	$(0,-1)$
		if	$Y = 0$	*then*	$X = 1$	$\Rightarrow$	$(1,0)$
3.	$X + Y = 2$	*if*	$X = 0$	*then*	$Y = 2$	$\Rightarrow$	$(0,2)$
		if	$Y = 0$	*then*	$X = 2$	$\Rightarrow$	$(2,0)$
4.	$X = 0$						
5.	$Y = 0$						



DžǏǂƲƽǁǫ DžǊǀǂƨ ƕǁƑɵǁǫ ǈƤǀ Ǐʓ ƕʓƥƲǂDžǁǫ ƲƑƽǁǫǊ *AB* !ǏƽǂƨDžǁǫ ƕƴƲƽ Ǐǀǀ ƕǁǊƓƽDžǁǫ üǊǂɵǁǫ ƕƽƲǫDž

A(2/3 , 4/3) ƕƲƽǁǫ ǍǂY áƬɵǫ ƑǏǫƆ *3* Ǌ *1* DžǏǂǁǫƑƴDžǁǫ üɵƓ

B(3/2 , 1/2) ƕƲƽǁǫ ǍǂY üƬɵǫ ƑǏǫƆ *3* Ǌ *2* DžǏǂǁǫƑƴDžǁǫ üɵƓ

Džǫʓ ǈǏǂYǊ

Points	*Z = 2X + 4Y + 8*
A(2/3 , 4/3)	*4/3 + 16/3 + 8 = 44/3* $\rightarrow$ *max.*
B(3/2 , 1/2)	*3 + 2 + 8 = 13*

Z = 44/3 ƸǫǊǁǫ ƕǁǫǫ ƕDžǏƽ DžǫǊ *Y = 4/3* Ǌ *X = 2/3* Ǌǀ üƙDžǓǫ üɵǁƑʓ ƐƤǁ

2- **<u>الطريقة المبسطة Simplex method</u>** : تعتبر هذه الطريقة إحدى الوسـائل الرياضـية ذات الكفاءة العالية في إستخراج الحلول المثلى لمشكلات البرمجة الخطية بـصورة عامـة ، إذ تتطابق هذه الطريقة مع الطريقة البيانية عندما $S_i = 0$ ، أما في حالـة $S_i > 0$ فـإن أي قيـد سيتحرك نحو الأسفل بحيث يوازي نفس المستقيم عندما $S_i = 0$.

لاتبحث هذه الطريقة عن كل الحلول الأساسية الممكنة ولكنها تولد حلـول مقبولـة أساسـية متعاقبة بحيث كل حل جديد له إمكانية تحسين دالة الهدف .

ومن الجدير بالإنتباه إلى إن هذه الطريقة تستخدم فقط عندما تكون جميع القيـود مـن نـوع إصغر من أويساوي(≤) بشرط $b_i \geq 0$ ، ماعدا قيد عدم السالبية إذ يبقى أكبر من أو يساوي (≥).

أما الخطوات الرئيسية للحل فتكون :

1- تحويل النموذج الرياضي إلى الصيغة القياسية .

2- إختيار الحل الإبتدائي الأساسي المقبـول *Starting Basic Feasible Solution(S.B.F.S.)* وكما موضح في الجدول أدناه :

		C_1	C_2	. . .	C_n	0	0	. . .	0	0
B.C.	B.V.	X_1	X_2	. . .	X_n	S_1	S_2	. . .	S_m	R.H.S.
0	S_1	a_{11}	a_{12}	. . .	a_{1n}	1	0	. . .	0	b_1
0	S_2	a_{21}	a_{22}	. . .	a_{2n}	0	1	. . .	0	b_2
:	:	:	:	. . .	:	:	:	. . .	:	:
0	S_m	a_{m1}	a_{m2}	. . .	a_{mn}	0	0	. . .	1	b_m
$Z_j - C_j$		$-C_1$	$-C_2$	. . .	$-C_n$	0	0	. . .	0	0

3- يتم إختيار حل أساسي مقبول جديد بحيث يحسن دالة الهدف بإدخال متغير غير أساسي تكـون قيمته في صف $Z_j - C_j$ (معاملات دالة الهدف) الأكثر سالبية إذا كانت دالة الهدف من نـوع *max.* والقيمة الأكثر موجبةً إذا كانت دالة الهدف من نوع*.min* (شرط المثالية *Optimality condition* مع ضمان إن قيم العمود *R.H.S.* غير سالبة).

أما المتغير الخارج *Leaving Variable* فيتحدد بإعتباره النسبة الأقل من حاصـل قـسمة عمود *R.H.S.* على القيم الموجبة فقط المناظرة لها من عمود المتغيـر الـداخل *Entering Variable* (شرط المقبولية *Feasibility condition*) ، وإن عنصر إلتقاء صـف المتغيـر الخارج مع عمود المتغير الداخل يسمى بعنصر المحور *Pivot element* .

4- يحذف المتغير الداخل من جميع المعادلات في الجدول بإستثناء المعادلـة المرتبطـة بـالمتغير الخارج ، إذ يقسم صف المتغير الخارج على عنصر المحور ويستبدل بالمتغير الداخل . ولحذف المتغير الداخل من بقية المعادلات تجرى التحويلات الصفية بضرب صف المتغير الداخل الجديـد

في العنصر المقابل لعنصر المحور بعكس الإشارة لكل صف من صفوف المتغيـرات الأساسـية وتجمع مع عناصر الصفوف القديمة لكل متغير أساسي للحصول على الصفوف الجديدة لهم .

5- نستمر بتكرار الخطوات السابقة حتى تصبح جميع قيم صف $Z_j - C_j$ غير سالبة إذا كانت دالة الهدف من نوع .max ، أو غير موجبة إذا كانت الدالة من نوع .min ، أي نتوقـف عنـدما لايمكن تحسين قيمة دالة الهدف وبذلك نكون قد حصلنا على الحل الأمثل للمسألة .

<u>مثال-6</u> : حل مثال-3 بإستخدام الطريقة المبسطة *Simplex method* .

<u>الحل</u> :

$$\begin{aligned} max. \quad & Z = 120X + 100Y \\ s.t. \quad & 2X + 2.5Y + S_1 = 1000 \\ & 3X + 1.5Y + S_2 = 1200 \\ & 1.5X + 4Y + S_3 = 1200 \\ & X, Y, S_1, S_2, S_3 \geq 0 \end{aligned}$$

		120	100	0	0	0	0	
B.C.	B.V.	X	Y	S_1	S_2	S_3	R.H.S.	Ratio
0	S_1	2	2.5	1	0	0	1000	500
←0	S_2	3	1.5	0	1	0	1200	400 → min.
0	S_3	1.5	4	0	0	1	1200	800
$Z_j - C_j$		-120↑	-100	0	0	0	0	--
← 0	S_1	0	1.5	1	-2/3	0	200	133.3→min.
120	X	1	0.5	0	1/3	0	400	800
0	S_3	0	3.25	0	-0.5	1	600	184.6
$Z_j - C_j$		0	-40↑	0	40	0	48000	--
100	Y	0	1	2/3	-4/9	0	400/3	
120	X	1	0	-1/3	5/9	0	1000/3	
0	S_3	0	0	-13/6	17/18	1	500/3	
$Z_j - C_j$		0	0	80/3	200/9	0	160000/3	

بما إن جميع قيم صف $Z_j - C_j$ غير سالبة ودالة الهدف من نوع .max لذا فالحل أمثل ، وعليه فإن $X = 1000/3$ و $Y = 400/3$ وإن قيمة دالة الهدف $Z = 160000/3$ ، وهو نفس الحل الذي حصلنا عليه في حل المثال-3 .

أما العمليات الحسابية التي اجريت على التكرار الأول في الجدول أعلاه ، فهي :

لكون -120 القيمة الأكثر سالبية في صف $Z_j - C_j$ لذا فالمتغير الداخل هو X ولكون أقل نسبة 400 لذا فالمتغير الخارج هو S_2 ، وللحصول على صف X الجديد نقسم صف S_2 القديم على 3 .
وللحصول على صفي S_1 و S_3 الجديدين نتبع العمليات التالية :

صف X الجديد *-2	-2	-1	0	$-2/3$	0	-800
صف S_1 القديم	2	2.5	1	0	0	1000
بالجمع						
صف S_1 الجديد	0	1.5	1	$-2/3$	0	200
صف X الجديد *-1.5	-1.5	-0.75	0	-0.5	0	-600
صف S_3 القديم	1.5	4	0	0	1	1200
بالجمع						
صف S_3 الجديد	0	3.25	0	-0.5	1	600

ملاحظة : أما إذا ظهر على الأقل قيد واحد من نوع أكبر أويساوي ($\geq$) أو مساواة (=) ، فلايمكن تطبيق الطريقة المبسطة ، لذا يمكن إتباع إحدى الطريقتين التاليتين :

1- **طريقة – M** (*M- technique*): وقد تسمى أيضاً طريقة الجزاء *Penalty method*، وكما ذكرنا سابقاً فإن هذه الطريقة تستخدم عندما لا تكون جميع القيود من نـوع أصـغر مـن أويساوي ($\leq$) بشرط $b_i \geq 0$ ، أما الخطوات الأساسية لهذه الطريقة تكون :

أ- يكتب النموذج بالصيغة القياسية .

ب- تضاف المتغيرات الإصطناعية *Artificial variables* (R_i) إلى القيود من نـوع أكبر من أو يساوي ($\geq$) أو مساواة (=) ويجب أن تكون قيم هذه المتغيـرات فـي الحل النهائي (الأمثل) مساوية للصفر . بمعنى آخر:

- إذا كان القيد من نوع أصغر من أو يساوي ($\leq$) يضاف المتغير الراكد S_i .
- إذا كان القيد من نوع أكبر من أو يساوي ($\geq$) يطرح المتغير S_i و يضاف المتغير R_i .
- إذا كان القيد من المساواة (=) يضاف المتغير R_i .

أما معاملات المتغيرات الإصطناعية R_i في دالة الهدف هي ($-M$) فـي حالـة *max.* و ($+M$) في حالة *min.* ، وبإعتبار إن قيمة M كبيرة جداً . أما معاملات المتغيرات الراكدة S_i فمعاملاتها في دالة الهدف تبقى صفر .

ج- تستخدم المتغيرات الإصطناعية R_i كمتغيرات أساسية للقيود المتواجدة فيها في الحل الإبتدائي الأساسي المقبول (S.B.F.S.) .

د- الإستمرار بالحل كما في الطريقة المبسطة مع الأخذ بنظر الإعتبار إن قيمة M كبيرة جداً وأكبر من القيم المتواجدة في الجدول عند تحديد المتغيرات الداخلة .

مثال-7 : حل النموذج الرياضي الآتي :

$$\begin{aligned} min.\quad & Z = 5X_1 - 6X_2 - 7X_3 \\ s.t.\quad & X_1 + 5X_2 - 3X_3 \geq 15 \\ & 5X_1 - 6X_2 + 10X_3 \leq 20 \\ & X_1 + X_2 + X_3 = 5 \\ & X_1, X_2, X_3 \geq 0 \end{aligned}$$

الحل :

$$\begin{aligned} min.\quad & Z = 5X_1 - 6X_2 - 7X_3 + MR_1 + MR_2 \\ s.t.\quad & X_1 + 5X_2 - 3X_3 - S_1 + R_1 = 15 \\ & 5X_1 - 6X_2 + 10X_3 + S_2 = 20 \\ & X_1 + X_2 + X_3 + R_2 = 5 \\ & X_1, X_2, X_3, S_1, S_2, R_1, R_2 \geq 0 \end{aligned}$$

		5	-6	-7	0	0	M	M		
B.C.	B.V.	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	R_1	R_2	R.H.S.	Ratio
←M	R_1	1	5	-3	-1	0	1	0	15	3min.
0	S_2	5	-6	10	0	1	0	0	20	--
M	R_2	1	1	1	0	0	0	1	5	5
$Z_j - C_j$		2M-5	6M+6↑	-2M+7	-M	0	0	0	20M	--
-6	X_2	1/5	1	-3/5	-1/5	0	1/5	0	3	--
0	S_2	31/5	0	32/5	-6/5	1	6/5	0	38	5.9
←M	R_3	4/5	0	8/5	1/5	0	-1/5	1	2	1.25min
$Z_j - C_j$		4/5M-31/5	0	8/5M+53/5↑	1/5M+6/5	0	-6/5M-6/5	0	2M-18	--
-6	X_2	1/2	1	0	-1/8	0	1/8	3/8	15/4	
0	S_2	3	0	0	-2	1	2	-4	30	
-7	X_3	1/2	0	1	1/8	0	-1/8	5/8	5/4	
$Z_j - C_j$		-23/2	0	0	-1/8	0	-M+1/8	-M-53/8	-125/4	

لكون جميع قيم المعاملات في دالة الهدف (الصف $Z_j - C_j$) غير موجبة ، لذا فالحل أمثل وعليه فإن $X_1=0$ و $X_2=15/4$ و $X_3= 5/4$ وإن قيمة دالة الهـدف فـي نهايتهـا الصغرى $Z= -125/4$.

2- **<u>طريقة المرحلتين</u>** <u>*Two- Phase technique*</u> : تستخدم هذه الطريقة أيـضاً عنـدما لاتكون جميع القيود من نوع أصغر من أو يساوي (≤) . تعتمد خطوات حل هذه الطريقة على مرحلتين ، وكما يلي :

أ- <u>المرحلة الأولى *Phase - I*</u> : تتضمن الخطوات التالية :

1. تحويل القيود إلى الصيغة القياسية وكما وضحت في الطريقة السابقة .
2. تلغى دالة الهدف الأصلية ويحل محلها دالة الهدف : $min. \quad R=\sum R_i$ بإعتبار إن R_i هي المتغيرات الإصطناعية الموجودة في القيود ، أما القيـود السابقة فتبقى كما هي .
3. تحل المسألة بالطريقة المبسطة ويتم التوقف عندما تكون قيمة $R=0$ وتـصبح المتغيرات الإصطناعية R_i متغيرات غير أساسية ، أي إن قيمها فـي الجـدول الأخير تساوي صفر . وبخلافه (أي إن $R\neq 0$) يعنـى لايوجـد حـل أمثـل للمسألة .

ب- <u>المرحلة الثانية *Phase-II*</u> : تتضمن الخطوات التالية :

1. تحذف أعمدة R_i من الجدول الأمثل السابق وبـإحلال معـاملات دالـة الهـدف الأصلية محل معاملات دالة الهدف للجدول الأخير .
2. تحل المسألة بالطريقة المبسطة للوصول إلى الحل الأمثل .

<u>مثال-8</u> : حل نموذج المثال-7 بطريقة المرحلتين

<u>***Phase – I***</u> :

$$\begin{aligned}
min. \quad & R = R_1 + R_2 \\
s.t. \quad & X_1 + 5X_2 - 3X_3 - S_1 + R_1 = 15 \\
& 5X_1 - 6X_2 + 10X_3 + S_2 = 20 \\
& X_1 + X_2 + X_3 + R_2 = 5 \\
& X_1, X_2, X_3, S_1, S_2, R_1, R_2 \geq 0
\end{aligned}$$

		0	0	0	0	0	1	1		
B.C.	B.V.	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	R_1	R_2	R.H.S.	Ratio
←1	R_1	1	5	-3	-1	0	1	0	15	3→min.
0	S_2	5	-6	10	0	1	0	0	20	--
1	R_2	1	1	1	0	0	0	1	5	5
$R_j - C_j$		2	6↑	-2	-1	0	0	0	20	--
0	X_2	1/5	1	-3/5	-1/5	0	1/5	0	3	--
0	S_2	31/5	0	32/5	-6/5	1	6/5	0	38	5.9
←1	R_3	4/5	0	8/5	1/5	0	-1/5	1	2	1.25→min
$R_j - C_j$		4/5	0	8/5↑	1/5	0	-6/5	0	2	--
0	X_2	1/2	1	0	-1/8	0	1/8	3/8	15/4	
0	S_2	3	0	0	-2	1	2	-4	30	
0	X_3	1/2	0	1	1/8	0	-1/8	5/8	5/4	
$R_j - C_j$		0	0	0	0	0	- 1	-1	0	

بما إن قيم R_1 و R_2 صفرية(أي إنها متغيرات غير أساسية) وإن قيمة $R=0$ لـذا ننتقل إلى المرحلة الثانية بحذف عمودي R_1 و R_2 وإرجاع معاملات دالة الهدف الأصلية :

<u>Phase-II</u> :

		5	-6	-7	0	0	
B.C.	B.V.	X_1	X_2	X_3	S_1	S_2	R.H.S.
-6	X_2	1/2	1	0	-1/8	0	15/4
0	S_2	3	0	0	-2	1	30
-7	X_3	1/2	0	1	1/8	0	5/4
$Z_j - C_j$		-23/2	0	0	-1/8	0	-125/4

لكون جميع معاملات دالة الهدف غير موجبة ودالة الهدف من نوع *min.* ، لذا فالحل أمثل وعليه فإن : $X_1=0$ و $X_2=15/4$ و $X_3= 5/4$ وإن قيمة دالـة الهـدف فـي نهايتهـا الصغرى $Z= -125/4$ وهو نفس الحل الذي حصلنا علية في المثال السابق .

تمارين الفصل الرابع

1- حول النماذج التالية إلى الصيغتين القانونية والقياسية :

$$\begin{aligned} 1)\quad & \max. && Z = X_1 - 3X_2 \\ & s.t. && -X_1 + 2X_2 \le 5 \\ & && X_1 + 3X_2 = 10 \\ & && X_1, X_2 \text{ unrestricted in sign} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2)\quad & \min. && Z = 3X_1 - 3X_2 + 7X_3 \\ & s.t. && X_1 + X_2 + 3X_3 \le 40 \\ & && X_1 + 9X_2 - 7X_3 \ge 50 \\ & && 2X_1 + 3X_2 = 20 \\ & && |5X_2 + 8X_3| \le 100 \\ & && X_1, X_2 \ge 0, \quad X_3 \text{ unrest.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3)\quad & \min. && Z = -3X_1 + 4X_2 - 2X_3 + 5X_4 \\ & s.t. && 4X_1 - X_2 + 2X_3 - X_4 = -2 \\ & && X_1 + X_2 + 3X_3 - X_4 \le 14 \\ & && 2X_1 + 3X_2 - X_3 + 2X_4 \ge 2 \\ & && X_1, X_2 \ge 0 \;,\; X_3 \le 0 \;,\; X_4 \text{ unrest.} \end{aligned}$$

2- مصنع ينتج أربعة منتجات A , B , C , D بإستخدام ماكنتين M_1 , M_2 ، الزمن المستغرق وكلفة إنتاج وحدة واحدة على كل من الماكنتين والوقت المتاح للإشتغال لكل ماكنة وسعر البيع للوحدة الواحدة لكل منتج موضحة في الجدول أدناه :

machines	Time per unit (hours/unit)				Cost (I.D./hour)	Availability hours
	A	B	C	D		
M_1	2	3	4	2	10	500
M_2	3	2	1	2	15	380
Sales price (I.D./unit)	65	70	55	45	--	--

علماً إن الكلفة الكلية لإنتاج وحدة واحدة تعتمد مباشرة على زمن إشتغال الماكنة . المطلوب صياغة نموذج رياضي للبرمجة الخطية للمسألة أعلاه لتحقيق :

أ) أقل كلفة إجمالية. و ب) أعلى صافي ربح كلي .

3- صناعي يشغل أربعة مكائن لإنتاج نوعين من المنتجات ، الطاقة الإنتاجية للمكـائن (وحـدة/يـوم) وكاف إشتغالهم موضحة في الجدول أدناه :

machines	Products		Operation Cost (I.D./day)
	I	*II*	
I	*4*	*5*	*2000*
II	*6*	*3*	*2200*
III	*2*	*7*	*1800*
IV	*8*	*4*	*1600*

قرر الصناعي إن إنتاجه من المنتوج الأول لا يقل عن *60* وحدة / إسبوع ، ولا يزيد إنتاجه من المنتوج الثاني عن *75* وحدة / إسبوع . أكتب النموذج الرياضي للبرمجة الخطية لتحديد عدد أيـام الإشتغال لكل ماكنة خلال الإسبوع لتقليل إجمالي الكاف .

4- شركة تنتج نوعين من القبعات ، كل قبعة من النوع الأول تحتاج إلى ضـعف الـزمن المـستغرق لإنتاج قبعة من النوع الثاني ، فإذا إقتصر الإنتاج على النوع الثاني فقط فللشركة إمكانية إنتاج *500* قبعة من هذا النوع . كما وإن دراسات السوق أشارت إلى إمكانية بيع *150* قبعة من النوع الأول و *250* قبعة من النوع الثاني . وإن الأرباح لكل قبعة من النوع الأول هي *8000* دينار و *5000* دينار من النوع الثاني . حـدد عـدد القبعـات الممكـن إنتاجهـا لكـلا النـوعين لتعظـيم الأربـاح .

(ans.: 125 , 250 , 2250000)

5- تقوم شركة بإنتاج أربعة أنواع من المكائن *A , B , C , D* تحتاج هذه الشركة إلى نـوعين مـن المواد الأولية وإلى ساعات عمل معينة لإنتاج هذه المكائن وكما مبينة في الجدول أدناه :

	A	B	C	D
Raw material-I	*8*	*14*	*10*	*6*
Raw material-II	*2*	*4*	*7*	*6*
Labor time (hours)	*2*	*1*	*3*	*1*

يتوفر لدى الشركة *800* طن من المواد الأولية *RM-I* و*400* طن من المواد الأولية *RM-II* و *150* ساعة عمل / إسبوع . أما كلفة الطن الواحد من المواد الأولية *2000* و *4000* دينـار علـى التوالي وكلفة ساعة العمل الواحدة فهي *1000* دينار وتباع المكائن الأربعة فـي الأسـواق علـى التوالي *40000* و*60000* و*63000* و*45000* دينار / ماكنة . أوجد عدد المكائن الممكن إنتاجهـا من كل نوع لتعظيم الربح .

(ans.: 65 , 20 , 0 , 0 , 1210000)

6- حل النماذج الرياضية للبرمجة الخطية بإستخدام الطريقة البيانية :

$$1)\quad \max.\quad Z = 4X + 3Y$$
$$s.t.\quad 2X + 3Y \le 6$$
$$-3X + 2Y \le 3$$
$$2Y \le 5$$
$$2X + Y \le 4$$
$$X, Y \ge 0$$

$$2)\quad \max.\quad Z = 3X + 2Y$$
$$s.t.\quad |Y - X| \le 2$$
$$X + Y \ge 1$$
$$X \le 4$$
$$Y \le 3$$
$$X, Y \ge 0$$

$$3)\quad \min.\quad Z = 8X + 5Y$$
$$s.t.\quad X + 2Y \le 10$$
$$X \ge 5$$
$$Y \le 2$$
$$X, Y \ge 0$$

$$4)\quad \min.\quad Z = 2X + 3Y$$
$$s.t.\quad X + Y \le 15$$
$$X + 2Y \ge 10$$
$$X, Y \ge 0$$

(ans.: (X,Y,Z): 1)(3/2,1,9) , 2)(4,3,18) , 3) (5,0,40) , 4) (0,5,15))

7- حل النماذج الرياضية للبرمجة الخطية الآتية :

$$1)\quad \max.\quad Z = 2X_1 + X_2 - 3X_3 + 5X_4$$
$$s.t.\quad X_1 + 7X_2 + 3X_3 + 7X_4 \le 46$$
$$3X_1 - X_2 + X_3 + 2X_4 \le 8$$
$$2X_1 + 3X_2 - X_3 + X_4 \le 10$$
$$X_1, X_2, X_3, X_4 \ge 0$$

$$2)\quad \min.\quad Z = X_1 - 3X_2 - 2X_3$$
$$3X_1 - X_2 + 2X_3 \le 7$$
$$-2X_1 + 4X_2 \le 12$$
$$-4X_1 + 3X_2 + 8X_3 \le 10$$
$$X_1, X_2, X_3 \ge 0$$

(ans.: 1) (0,12/7,0,34/7; 26) , 2) (78/25,114/25,11/10; -319/25))

8- حل النموذج الرياضي للبرمجة الخطية الآتي بإعتبار إن المتغيرات X_4 , X_5 , X_6 متغيرات أساسية في الحل الإبتدائي الأساسي المقبول *(S.B.F.S.)* :

$$\max.\quad Z = 3X_1 + X_2 + 2X_3$$
$$s.t.\quad 4X_1 + X_2 + 2X_3 + X_4 = 3$$
$$8X_1 + X_2 - 4X_3 + 2X_5 = 10$$
$$3X_1 - X_6 = 0$$
$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \ge 0$$

(ans.: (0,0,3/2,0,7/2,0;3))

9-حل نموذجي البرمجة الخطية التاليين :

$$1)\quad \min.\quad Z = 4X_1 + X_2$$
$$s.t.\quad 3X_1 + X_2 = 3$$
$$4X_1 + 3X_2 \ge 6$$
$$X_1 + 2X_2 \le 3$$
$$X_1, X_2 \ge 0$$

$$2)\quad \max.\quad Z = X_1 + 5X_2 + 3X_3$$
$$s.t.\quad X_1 + 2X_2 + X_3 = 3$$
$$2X_1 - X_2 = 4$$
$$X_1, X_2, X_3 \ge 0$$

(ans.: 1) (3/5,6/5;18/5) , 2) (2,0,1;5)) بإعتبار X_3 متغيرأساسي في الجدول الأولي.

الفصل الخامس

نموذجي النقل والتخصيص

5-1- نموذج النقل Transportation Model :

يعتبر نموذج النقل من أهم نماذج البرمجة الخطية في المنشآت الصناعية ، إذ يعتبر مكملاً للعمليـة الإنتاجية بهدف إمدادها لما تحتاج إليه من مستلزمات الإنتاج في الوقت والمكان المحددين .

يبحث هذا النموذج نقل سلعة ما من عدد من المصادر المتمثلة بمراكز عرض (مراكز تجهيز المـواد الأولية للمنشآت) إلى مواقع مختلفة المتمثلة بمراكز الطلب (المنشآت الصناعية) بأقـل التكـاليف أو أقل زمن ممكن شرط أن يكون التجهيز عند كل مصدر والطلب عند كل موقع وكلفة نقل الوحدة الواحدة (أو الزمن المستغرق لنقل الوحدات) من كل مصدر إلى كل موقع معلومة ومحددة .

تعود الجذور التأريخية لنموذج النقل إلى عام *1941* عندما قدم هيتشكوك دراسـته بعنـوان "توزيـع الإنتاج من عدة مصادر إلى مواقع مختلفة " وفي عام *1947* قدم كوبمانس دراسته بعنوان " الإستخدام الأمثل لمنظومة النقل " التي طورت من قبل دانتزك عام *1963* ، وفي عام *1951* درس دانتزك وأخرون طريقة التوزيع المعدل *Modify Distribution method (MODI)* للحصول على الحل الأمثل أمـا طريقة المسار المتعرج *Stepping Stone* فقد أقترحت من قبل شارنس و كوبر فـي عـام *1954* . وفي عام *1955* توصل كوهن إلى حل مشكلة تخصيص المهام *Assignment problem* وهي حالة خاصة من مشكلة النقل وطورها كلٍ من فورد وفولكرسن في عام *1957* ، أما طريقة تقريـب فوجـل *V.A.M.* فقد أقترحت من قبل فوجل عام *1958* ، وطريقة *R.A.M.* فقد أقترحت من قبل روسيل فـي عام *1968* .

5-1-2- مشكلة النقل بأقل كلفة *The least cost transportation problem* :

بإفتراض وجود *m* من المصادر و *n* من المواقع وإن :

S_i تمثل عدد الوحدات المعروضة عند المصدر i .

D_j تمثل عدد الوحدات المطلوبة عند الموقع j .

C_{ij} تمثل كلفة نقل الوحدة الواحدة عند المسار (i , j) الذي يربط المصدر i بالموقع j .

X_{ij} تمثل عدد الوحدات المنقولة من المصدر i إلى الموقع j .

لذا فالهدف الرئيسي هو تحديد عدد الوحدات المنقولة من المصدر i إلى الموقع j بحيث تكون كلفـة النقل الإجمالية أقل ما يمكن .

وبإفتراض إن الكاف خطية ، فنموذج البرمجة الخطية لمشكلة النقل يكون :

$$\min. \quad Z=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}X_{ij}$$

$$s.t. \qquad \sum_{j=1}^{n} X_{ij}=a_i$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij}=b_j$$

$$X_{ij}\geq 0$$

في بعض الأحيان ، قد يكون مجموع العرض عند المصادر ومجموع الطلب عند المواقع غير متساويين . ففي هذه الحالة فالنموذج يكون غير متزن *unbalanced* ، ولتحقيق الإتزان نتبع :

1- إذا كان الطلب أكبر من العرض نضيف مصدر وهمي بحيث يجهز كمية النقص البالغة $\sum_j b_j-\sum_i a_i$.

2- إذا كان الطلب أصغر من العرض نضيف موقع وهمي لإمتصاص الكمية الفائضة والبالغة $\sum_i a_i-\sum_j b_j$.

وإن كلفة نقل الوحدة الواحدة من هذه المصادر او لهذه المواقع الوهمية تكون مساوية للصفر .

أما الخطوات الرئيسية المتبعة في حل نموذج النقل بأقل كلفة تكون :

1- نحدد الحل الإبتدائي الأساسي المقبول *S.B.F.S.* .

2- نحدد المتغير الداخل من بين المتغيرات غير الأساسية ، فإذا كانت كل المتغيرات تحقق شرط المثالية نتوقف ، وبعكسه نذهب للخطوة التالية .

3- نحدد المتغير الخارج (بإستخدام شرط المقبولية) من بين متغيرات الحل الأساسي الحالي ثم نجد الحل الأساسي الجديد ونعود للخطوة السابقة .

5-1-2- <u>طرق إيجاد الحل الإبتدائي الأساسي المقبول *S.B.F.S.*</u>: التي تعطينا حلاً يمكن الإنطلاق منه للوصول إلى الحل الأمثل ، وهي :

1- <u>طريقة الركن الشمالي الغربي *Northwest corner method*</u> : تعتبرهذه الطريقة ابسط الطرق إذ تبدأ بتعيين أعلى كمية مسموح بها من بين العرض والطلب للمتغير X_{11} (في أقصى الركن الشمالي الغربي من الجدول) ، أي إن $X_{11}=\min.(a_1 ,b_1)$ ثم نستبعد العمود (الصف) المتحقق ومن ثم نساوي المتغيرات المتبقية للعمود (للصف) المستبعد بالصفر ، بعد تعديل كميات العرض والطلب لكل الصفوف والأعمدة غير المستبعدة نعين الخلية المقبولة العظمى للعنصر الأول غير المستبعد في العمود (الصف) الجديد وتكتمل هذه العملية عندما يكون بالضبط صف واحد أو عمود واحد غير مستبعد .

2- <u>طريقة الأقل كلفة *Least cost method*</u> : تكون أفضل من الطريقة السابقة لأنها تأخذ التكاليف بنظر الإعتبار ، اما الإسلوب المتبع في هذه الطريقة هو ان نحدد الكمية المتاحة للمتغير الأقل كلفة للوحدة الواحدة ونستبعد العمود (الصف) المتحقق بعدئذٍ نعدل العرض والطلب لكل العناصر

غير المستبعدة ونكرر العملية بتحديد الكمية المتاحة للمتغير الأقل كلفة للوحـدة الواحـدة غيـر المستبعدة ونستمر بالحل حتى يتبقى لدينا صف (عمود) واحد غير مستبعد .

3- طريقة تقريب فوجل *Vogel's Approximation Method (V.A.M.)*: تكـون هـذه الطريقـة أفضل من سابقتيها لأنها تعطينا حل أقرب للمثالية لكونها تاخذ كاف الجزاء بنظر الإعتبار ، وكمـا موضحة في الخطوات التالية :

أ- نقدر كلفة الجزاء لكل عمود ولكل صف بطرح قيمة أقل كلفتين متتاليتين من نفـس الـصف أو العمود .

ب- نحدد الصف أو العمود الذي له أكبر كلفة جزاء ونخصص الكمية المتاحة للمتغير الأقل كلفة في الصف أو العمود المختار ثم نعدل العرض والطلب بعد حذف الصف (العمود) المتحقق.

ج- 1. إذا بقي لدينا صف (عمود) واحد فقط غيـر محـذوف نحـدد المتغيـرات الأساسـية فـي الصف(العمود) بطريقة الأقل كلفة .

2. إذا كانت كل الصفوف والأعمدة غير المحذوفة لها عرض وطلب صفر سـتحدد المتغيـرات الأساسية الصفرية بطريقة الأقل كلفة .

3. وبعكسه ، نعيد إحتساب كلفة الجزاء للصفوف والأعمدة غير المحذوفة ثم نعود للخطوة (ب) (مع ملاحظة إن الصفوف والأعمدة التي عرضها وطلبها صفر لاتحتسب كاف جزائهم) .

مع ملاحظة إنه إذا تساوت أكبر كاف الجزاء نختار من بينهم الصف (العمود) الذي فيه أقل كلفة نقل وإذا تساوت أقل كاف نقل أيضاً نختار من بينهم الصف (العمود) الذي ينقل أكبر كمية وإذا مـا تساوت أكبر كمية نقل نختار الصف (العمود) بشكل عشوائي.

4- طريقة روسل التقريبية *Russel's Approximation Method (R.A.M.)* : تعتبر هـذه الطريقة أفضل من سابقاتها لأنها تعطينا حل إبتدائي أقرب للحل الأمثل (خصوصاً للمصفوفات الكبيرة) وخطواتها هي :

أ- تحديد أعلى كلفة نقل لكل صف (نرمز لها $\overline{a_i}$) ولكل عمود (نرمز لها $\overline{b_j}$) .

ب- نشكل مصفوفة جديدة كلفها هي : $\Delta_{ij} = C_{ij} - \overline{a_i} - \overline{b_j}$.

ج- نحدد الخلية التي لها أصغر كلفة نقل Δ_{ij} ، ونعطي لمتغيرها أكبر كمية ممكنة والتي تساوي $min.(a_i , b_j)$.

د- بحذف الصف (العمود) المتحقق وتغيير كمية تجهيز الصف أو طلب العمود الذي تقـع فيه الخلية إلى مقدار الفرق بين كميتي التجهيز والطلب المقابلة لهما .

هـ- 1. إذا بقي صف (عمود) واحد نعطي الصف (العمـود) المتبقـي كميـات الطلـب والتجهيز المتبقية .

2. إذا بقي أكثر من صف (عمود) واحد نعود للخطوة (أ) .

ملاحظـة عامة : لكل الطرق السابقة إذا تحقق عمود وصف معاً نحذف أحدهما فقط ونصفر الآخـر ، وهذا يضمن تعيين قيم صفرية للمتغيرات الأساسية .

5-1-3- طرق الوصول للحل الأمثل *Optimal Solution* :

تستخدم لإختبار ولتحسين الحل الأولي *S.B.F.S.* وصولاً للحل الأمثل ،بعد تحقق الشرط الأساسـي : عدد الخلايا الأساسية يساوي $m+n-1$ بإعتبار n تمثل عدد الأعمدة و m عدد الصفوف .

ومن هذه الطرق :

1- طريقة المسار المتعرج *Stepping Stone method* : لتحديد المتغيرات الداخلة والخارجـة ، نحدد حلقة مغلقة لكل متغير غير أساسي تبدأ وتنتهي الحلقة عنده. تتكـون هـذه الحلقـة مـن مستقيمات أفقية وعمودية متتابعة على شكل أجزاء نهاية تقاطعها يجب أن تكون متغيرات أساسية بإستثناء البداية والنهاية تكون عند متغير غير أساسي ، أي إن عنصر كل ركن من أركان الحلقة يجب أن يكون مربع يحتوي على متغير أساسي ، لايختلف الحل فيما إذا كان مسار الحلقة بإتجاه عقرب الساعة أم بعكسه ، ومن الملاحظ إنه في الحل الأساسي فلكل متغير غير أساسـي حلقـة وحيدة .

تستخدم هذه الحلقات للتاكد فيما إذا كانت قيمة دالة الهدف ستتحسن عندما تزداد قيمة المتغيـر غير الأساسي أكثر من قيمته الصفرية الحالية بمقدار وحدة واحدة وللحفاظ على الحـل المقبـول نطرح ونضيف لعناصر اركان الحلقة بالتناوب وحدة واحدة بحيث نحافظ على تحقق قيود العرض والطلب وعندئذٍ نحسب صافي الزيادة او النقصان في الكلفة $\overline{C}_{ij}$ نتيجة زيادة وحدة واحـدة مـن كمية هذا المتغير غير الأساسي . فإذا كانت $\overline{C}_{ij}$ موجبة فهذا يعني إنها ستزيد من كلفة النقل وإذا كانت سالبة فمعنى ذلك إنها ستخفض كلفة النقل ، وفي هذه الحالة سنختار المتغير الداخل الذي له اكبرقيمة سالبة (شرط المثالية في الطريقة المبسطة) . أما المتغير الخارج فنختاره مـن بـين متغيرات أركان الحلقة التي ستأخذ الإشارة السالبة (المتغيرات التي تتناقص نتيجة زيادة المتغير غير الأساسي) والذي له أقل قيمة لأن قيمته ستصل الصفر وأي تناقص آخر سيؤدي بـه إلـى السالب (شرط المقبولية في الطريقة المبسطة) ، ثم نعطي قيمة المتغير الخارج للمتغير الـداخل ونحتسب الكلفة الأخيرة ونعيد الكرة مرة أخرى حتى نحصل على الحل الأمثل .

2- طريقة المضاعفات *Multipliers method* : وتسمى هذه الطريقة بطريقـة التوزيـع المعـدل *Modified Distribution method (MODI)* وخطوات هذه الطريقة هي نفـسها خطـوات الطريقة السابقة لكن الإختلاف الرئيسي بينهما يتعلق بالطريقة التي تقدر خلايا المتغير الأساسي . وتستند هذه الطريقة على النظرية البديلة *Duality theory* .

يشترك مع كل صف i في جدول النقل المضاعف U_i ومع كل عمود j المضاعف V_j وتكتـب المعادلة لكل متغير أساسي X_{ij} في الحل الحالي :

$$U_i + V_j = C_{ij}$$

فيتشكل لنا $(m+n-1)$ من المعادلات (لوجود $(m+n-1)$ من المتغيرات الأساسية) لها $(m+n)$ من المجاهيل ، ويمكننا تقدير قيم المضاعفات من هذه المعادلات بإفتراض قيمة عـشوائية لأحـد المضاعفات (عادةً نفترض $U_1=0$) ومن ثم نحل المعادلات التي سيكون عـددها مـساوي لعـدد مجاهيلها وبعدئذٍ نقدر الكلفة الجديدة $\overline{C}_{pq}$ لكل متغير غير أساسي X_{pq} فيكون :

$$\overline{C}_{pq} = C_{pq} - (U_p+V_q)$$

فهذه القيم هي نفس القيم التي حصلنا عليها من الطريقة السابقة بغـض النظـر عـن الإختيـار العشوائي لأحد المضاعفات . لذا نختار المتغير الداخل بحيث يكون أكبر قيمة سـالبة إلـى $\overline{C}_{pq}$ (شرط المثالية في الطريقة المبسطة) وبإستخدام الحلقة المغلقة للمتغير الداخل كما وضحت سابقاً ونحدد المتغير الخارج الذي له أقل كلفة للخلايا التي تأخذ الإشارة السالبة فـي الحلقـة (شـرط المقبولية في الطريقة المبسطة) .

مثال-1 : الخزانات الثلاثة S_3 , S_2 , S_1 يمكنها ضخ 15 ، 20 و 25 مليون لتر ماء صافي يومياً تمد الأربعة مدن C_4 , C_3 , C_2 , C_1 وإحتياجاتها 8 ، 10 ، 12 و 15 مليون لتر ماء صافي يوميـاً . المطلوب التوصل إلى ترتيب نقل الماء الصافي بين الخزانات الثلاثة والمدن الأربعة بأقل التكـاليف الكلية للنقل (بفرض إن تخزين الماء الفائض عن الحاجة لايسبب أية كلفة) إستناداً لكلـف النقـل (لكل مليون لتر)المبينة في الجدول أدناه :

	C_1	C_2	C_3	C_4
S_1	2	3	4	5
S_2	3	2	5	2
S_3	4	1	2	3

الحل : بسبب عدم التوازن لأن مجموع كميات الضخ $(25+20+15=60)$ أكبر مـن مجمـوع كميـات الطلب $(8+10+12+15=45)$ ، لذا نضيف مدينة وهمية C_5 تكون كلف نقل الماء الصافي إليها مساوي للصفر وكمية تجهيزها $(60-45=15)$ مليون لتر ماء صافي .

1- إيجاد الحل الأولي .S.B.F.S – نستخدم إحدى الطرق الأربعة التالية :

أ- طريقة الركن الشمالي الغربي –

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 8	3 7	4	5	0	15
S_2	3	2 3	5 12	2 5	0	20
S_3	4	1	2	3 10	0 15	25
Demand	8	10	12	15	15	60

وعليه فإن الكلفة الإجمالية للنقل هي :

T.T.C. = 2*8 + 3*7 + 2*3 + 5*12 + 2*5 + 3*10 + 0*15 = 143

ب- بإستخدام طريقة الأقل كلفة :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 0	3	4	5	0 15	15
S_2	3 5	2	5	2 15	0	20
S_3	4 3	1 10	2 12	3	0	25
Demand	8	10	12	15	15	60

وعليه فإن الكلفة الإجمالية للنقل ستكون :

T.T.C. = 2*0 + 0*15 + 3*5 + 2*15 + 4*3 + 1*10 + 2*12 = 91

ج- بإستخدام طريقة فوجل *VAM* :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply	P.C.
S_1	2 0	3	4	5	0 15	15	<u>2</u> 1 1 <u>3</u>
S_2	3 5	2	5	2 15	0	20	2 0 0 1 1
S_3	4 3	1 10	2 12	3	0	25	1 1 2 1 1
Demand	8	10	12	15	15	60	
P.C.	1 1 1 1 1	1 1 1	2 <u>2</u> <u>2</u>	1 1 1 1 1	0		

وعليه فإن الكلفة الإجمالية للنقل ستكون :

T.T.C. = 2*0 + 0*15 + 3*5 + 2*15 + 4*3 + 1*10 + 2*12 = 91

د- بإستخدام طريقة روسيل *RAM* :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 8	3	4	5	0 7	15
S_2	3	2	5	2 15	0 5	20
S_3	4	1 10	2 12	3	0 3	25
Demand	8	10	12	15	15	60

الجدول النهائي لهذه الطريقة أستخرج إستناداً للجداول أدناه :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
S_1	-7	-5	-6	-5	-5
S_2	-6	-6	-5	<u>-8</u>	-5
S_3	-4	-6	-7	-6	-4

تملأ الخلية X_{24} ويحذف الموقع C_4 :

	C_1	C_2	C_3	C_5
S_1	-6	-4	-5	-4
S_2	-6	-6	-5	-5
S_3	-4	-6	<u>-7</u>	-4

تملأ الخلية X_{33} ويحذف الموقع C_3 :

	C_1	C_2	C_5
S_1	-5	-3	-3
S_2	-4	-4	-3
S_3	-4	<u>-6</u>	-4

تملأ الخلية X_{32} ويحذف الموقع C_2 :

	C_1	C_5
S_1	-4	-2
S_2	-4	-3
S_3	-4	<u>-4</u>

تملأ الخلية X_{35} ويحذف المصدر S_3 :

	C_1	C_5
S_1	-3	-2
S_2	-3	<u>-3</u>

تملأ الخلية X_{25} ويحذف المصدر S_2 ، لذا تعطى القيم المتبقية للخليتين البـاقيتين X_{15} , X_{11} لبقاء صف واحد .

*T.T.C. = 2*8 + 0*7 + 2*15 + 0*5 + 1*10 + 2*12 + 0*3 = 80*

ومما تقدم اعلاه ، نلاحظ إن الكلفة الإجمالية للنقل بإستخدام الطرق الأربعة كانت مختلفة وكالآتي :

الركن الشمالي الغربي (143) > الأقل كلفة (91) ≤ فوجل *VAM* (91) > روسيل *RAM* (80) .

لذا فغالباً ما تكون طريقة روسيل *RAM* هي الأفضل وتليها طريقة فوجل *VAM* .

إستناداً للحل الأولي *S.B.F.S.* الذي حصلنا عليه بالطريقة الثالثة *VAM* (بالرغم من إنه من الأفضل إستخدام الطريقة الرابعة *RAM* لكونها أفضل الطرق ، ولكن بسبب إستعراض طرق الحل الأمثل تم إختيار هذه الطريقة) ولغرض الوصول للحل الأمثل لابد من إستخدام إحدى الطريقتين التاليتين لإختبار وتحسين الحل وبعد تحقق الشرط الأساسي :

No. of basic cells = m+n-1 = 5+3-1=7

2- إيجاد الحل الأمثل *Optimal solution* : نستخدم إحدى الطريقتين :

أ- طريقة المسار المتعرج *Stepping stone* : وكما تطرقنا سابقاً ، نجد المسارات المتعرجة لكل الخلايا غير الأساسية وكذلك صافي الزيادة في الكلفة $\overline{C}_{ij}$ لكل مسار .

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	[2] 0	[3]	[4]	[5]	[0] 15	15
S_2	[3] 5	[2]	[5]	[2] 15	[0]	20
S_3	[4] 3	[1] 10	[2] 12	[3]	[0]	25
Demand	8	10	12	15	15	60

$$X_{12} \to X_{32} \to X_{31} \to X_{11} \quad : \quad \overline{C}_{12} = 3-1+4-2=4$$
$$X_{13} \to X_{33} \to X_{31} \to X_{11} \quad : \quad \overline{C}_{13} = 4-2+4-2=4$$
$$X_{14} \to X_{24} \to X_{21} \to X_{11} \quad : \quad \overline{C}_{14} = 5-2+3-2=4$$
$$X_{22} \to X_{32} \to X_{31} \to X_{21} \quad : \quad \overline{C}_{22} = 2-1+4-3=2$$
$$X_{23} \to X_{33} \to X_{31} \to X_{21} \quad : \quad \overline{C}_{23} = 5-2+4-3=4$$
$$X_{25} \to X_{15} \to X_{11} \to X_{21} \quad : \quad \overline{C}_{25} = 0-0+2-3=-1$$
$$X_{34} \to X_{23} \to X_{21} \to X_{31} \quad : \quad \overline{C}_{34} = 3-2+3-4=0$$
$$X_{35} \to X_{15} \to X_{11} \to X_{31} \quad : \quad \overline{C}_{35} = 0-0+2-4=-2 \text{ most negative}$$

لكون القيمة الأكثر سالبية هي $\overline{C}_{35}$ لذا فالمتغير الداخل *entering variable* هو المتغير X_{35} . أما المتغير الخارج *leaving variable* فيتحدد من المسار المتعرج للمتغير الداخل : $\overset{+}{X}_{35} \rightarrow \overset{-}{X}_{15} \rightarrow \overset{+}{X}_{11} \rightarrow \overset{-}{X}_{31}$ والذي له أقل كمية نقل X_{ij} من الخلايا الـسالبة ، أي إن المتغير X_{31} سيكون هو المتغير الخارج ، لذا فالجدول الجديد سيكون كما يلي :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 / 3	3	4	5	0 / 12	15
S_2	3 / 5	2	5	2 / 15	0	20
S_3	4	1 / 10	2 / 12	3	0 / 3	25
Demand	8	10	12	15	15	60

T.T.C. = 6 + 0 + 15 + 30 + 10 + 24 + 0 = 85

No. of basic cells = 5 + 3 – 1 = 7

$X_{12} \rightarrow X_{32} \rightarrow X_{35} \rightarrow X_{15}$: $\overline{C}_{12} = 3 - 1 + 0 - 0 = 2$

$X_{13} \rightarrow X_{33} \rightarrow X_{35} \rightarrow X_{15}$: $\overline{C}_{13} = 4 - 2 + 0 - 0 = 2$

$X_{14} \rightarrow X_{24} \rightarrow X_{21} \rightarrow X_{11}$: $\overline{C}_{14} = 5 - 2 + 3 - 2 = 4$

$X_{22} \rightarrow X_{32} \rightarrow X_{35} \rightarrow X_{15} \rightarrow X_{11} \rightarrow X_{21}$: $\overline{C}_{22} = 2 - 1 + 0 - 0 + 2 - 3 = 0$

$X_{23} \rightarrow X_{33} \rightarrow X_{35} \rightarrow X_{15} \rightarrow X_{11} \rightarrow X_{21}$: $\overline{C}_{23} = 5 - 2 + 0 - 0 + 2 - 3 = 2$

$X_{25} \rightarrow X_{21} \rightarrow X_{11} \rightarrow X_{15}$: $\overline{C}_{25} = 0 - 3 + 2 - 0 = -1$ negative

$X_{31} \rightarrow X_{11} \rightarrow X_{15} \rightarrow X_{35}$: $\overline{C}_{31} = 4 - 2 + 0 - 0 = 2$

$X_{34} \rightarrow X_{24} \rightarrow X_{21} \rightarrow X_{11} \rightarrow X_{15} \rightarrow X_{35}$: $\overline{C}_{34} = 3 - 2 + 3 - 2 + 0 - 0 = 2$

لذا فالمتغير الداخل هو X_{25} والمتغير الخارج سيكون X_{21} ، وعليه فالجدول الجديد سيكون :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 / 8	3	4	5	0 / 7	15
S_2	3	2	5	2 / 15	0 / 5	20
S_3	4	1 / 10	2 / 12	3	0 / 3	25
Demand	8	10	12	15	15	60

T.T.C. = 16 + 0 + 30 + 0 + 10 + 24 + 0 = 80

No. of basic cells = 7

$$X_{12} \to X_{32} \to X_{35} \to X_{15} \quad : \quad \overline{C}_{12} = 3-1+0-0 = 2$$
$$X_{13} \to X_{33} \to X_{35} \to X_{15} \quad : \quad \overline{C}_{13} = 4-2+0-0 = 2$$
$$X_{14} \to X_{24} \to X_{25} \to X_{15} \quad : \quad \overline{C}_{14} = 5-2+0-0 = 3$$
$$X_{21} \to X_{25} \to X_{15} \to X_{11} \quad : \quad \overline{C}_{21} = 3-0+0-2 = 1$$
$$X_{22} \to X_{32} \to X_{35} \to X_{25} \quad : \quad \overline{C}_{22} = 2-1+0-0 = 1$$
$$X_{23} \to X_{33} \to X_{35} \to X_{25} \quad : \quad \overline{C}_{23} = 5-2+0-0 = 3$$
$$X_{31} \to X_{35} \to X_{15} \to X_{11} \quad : \quad \overline{C}_{31} = 4-0+0-2 = 2$$
$$X_{34} \to X_{35} \to X_{25} \to X_{24} \quad : \quad \overline{C}_{34} = 3-0+0-2 = 1$$

لعدم وجود قيمة سالبة لقيم $\overline{C}_{ij}$ لذا فالحل أمثل وعليه فإنه :

يجهز الخزان الأول المدينة الأولى *8* مليون لتر من الماء الصافي .

يجهز الخزان الثاني المدينة الرابعة *15* مليون لتر من الماء الصافي .

يجهز الخزان الثالث المدينتين الثانية والثالثة بالمقادير *10* و*12* مليون لتر من الماء الصافي على التوالي.

2- طريقة المضاعفات *Multipliers method* : وكما ذكرنا سابقاً ، نجد قيم V_j , U_i من العلاقة التالية : $U_i + V_j = C_{ij}$ للخلايا الأساسية ، وبإفتراض إن : $U_1=0$ ، وإستناداً للحل الأولي المستخرج بطريقة *VAM* فإن :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	2 0	3	4	5	0 15	15
S_2	3 5	2	5	2 15	0	20
S_3	4 3	1 10	2 12	3	0	25
Demand	8	10	12	15	15	60

T.T.C. = 91 and no. of basic cells = 7

$$C_{11} = U_1 + V_1 = 2 \overset{U_1=0}{\Rightarrow} V_1 = 2$$
$$C_{15} = U_1 + V_5 = 0 \overset{U_1=0}{\Rightarrow} V_5 = 0$$
$$C_{21} = U_2 + V_1 = 3 \overset{V_1=2}{\Rightarrow} U_2 = 1$$
$$C_{24} = U_2 + V_4 = 2 \overset{U_2=1}{\Rightarrow} V_4 = 1$$
$$C_{31} = U_3 + V_1 = 4 \overset{V_1=2}{\Rightarrow} U_3 = 2$$
$$C_{32} = U_3 + V_2 = 1 \overset{U_3=2}{\Rightarrow} V_2 = -1$$
$$C_{33} = U_3 + V_3 = 2 \overset{U_3=2}{\Rightarrow} V_3 = 0$$

أما الخلايا غير الأساسية فنجد لها $\overline{C}_{ij}$ من العلاقة $\overline{C}_{ij} = C_{ij} - (U_i + V_j)$ وكما يلي :

$$\overline{C}_{12} = C_{12} - (U_1 + V_2) = 3 - (0 + (-1)) = 4$$
$$\overline{C}_{13} = C_{13} - (U_1 + V_3) = 4 - (0 + 0) = 4$$
$$\overline{C}_{14} = C_{14} - (U_1 + V_4) = 5 - (0 + 1) = 4$$
$$\overline{C}_{22} = C_{22} - (U_2 + V_2) = 2 - (0 - 1) = 2$$
$$\overline{C}_{23} = C_{23} - (U_2 + V_3) = 5 - (1 + 0) = 4$$
$$\overline{C}_{25} = C_{25} - (U_2 + V_5) = 0 - (1 + 0) = -1$$
$$\overline{C}_{34} = C_{34} - (U_3 + V_4) = 3 - (2 + 1) = 0$$
$$\overline{C}_{35} = C_{35} - (U_3 + V_5) = 0 - (2 + 0) = -2 \text{ most negative}$$

وهي نفس القيم المستخرجة في الطريقة السابقة . فالمتغير الداخل سيكون المتغير الأكثر سـالبية لقيم $\overline{C}_{ij}$ وهو المتغير X_{35} ، أما المتغير الخارج فيتحدد بنفس الإسلوب السابق من خلال المسار المتعرج للمتغير الداخل $\overset{+}{X}_{35} \rightarrow \overset{-}{X}_{15} \rightarrow \overset{+}{X}_{11} \rightarrow \overset{-}{X}_{31}$ والخلية التي لها أقل كمية نقل من الخلايا السالبة ستحدد كمتغير خارج أي المتغير X_{31} ، أما الجدول الجديد سيكون :

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
S_1	[2] 3	[3]	[4]	[5]	[0] 12	15
S_2	[3] 5	[2]	[5]	[2] 15	[0]	20
S_3	[4]	[1] 10	[2] 12	[3]	[0] 3	25
Demand	8	10	12	15	15	60

T.T.C. = 6 + 0 + 15 + 30 + 10 + 24 + 0 = 85

No. of basic cells = m + n – 1 = 3 + 5 – 1 = 7

يمكن إجراء العمليات الحسابية لإستخراج قيم $\overline{C}_{ij}$ بشكل مباشر على الجدول وكما مثبتة في المربع السفلي لكل خلية غير أساسية في الجدول أدناه :

		$V_1=2$	$V_2=1$	$V_3=2$	$V_4=1$	$V_5=0$	
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	Supply
$U_1=0$	S_1	[2] 3	[3] (2)	[4] (2)	[5] (4)	[0] 12	15
$U_2=1$	S_2	[3] 5	[2] (0)	[5] (2)	[2] 15	[0] (-1)	20
$U_3=0$	S_3	[4] (2)	[1] 10	[2] 12	[3] (2)	[0] 3	25
Demand		8	10	12	15	15	60

وعليه فالمتغير الداخل هو X_{25} بإعتبار له قيمة $\overline{C}_{ij}$ سالبة ، أما المتغير الخارج X_{21} فيتحدد من المسار المتعرج لهذا المتغير الداخل ، أما الجدول الجديد سيكون :

		$V_1=2$	$V_2=1$	$V_3=2$	$V_4=2$	$V_5=0$	Supply
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
$U_1=0$	S_1	2 8	3 2	4 2	5 3	0 7	15
$U_2=0$	S_2	3 1	2 1	5 3	2 15	0 5	20
$U_3=0$	S_3	4 2	1 10	2 12	3 1	0 3	25
Demand		8	10	12	15	15	60

$$T.T.C. = 16 + 0 + 30 + 0 + 10 + 24 + 0 = 80$$

لعدم وجود قيمة سالبة لقيم $\overline{C}_{ij}$ (المثبتة قيمها في المربع السفلي للخلايا غير الأساسية في الجدول أعلاه) ، لذا فالحل أمثل . وعليه فإن :

يجهز الخزان الأول المدينة الأولى *8* مليون لتر من الماء الصافي .

يجهز الخزان الثاني المدينة الرابعة *15* مليون لتر من الماء الصافي .

يجهز الخزان الثالث المدينتين الثانية والثالثة بالمقادير *10* و*12* مليون لتر من الماء الصافي على التوالي.

5-2- نموذج التخصيص *Assignment model* :

تعد حالة خاصة من حالات النقل وتتمثل بوجود *n* من الأعمال (المهام) *Jobs* يمكن تمثيل كلٍ منها بواسطة أي من ألإمكانيات المتاحة (المكائن *machines*) البالغ عددها *m* المختلفـة فيمـا بينها في كلفة أو وقت أو ربح او كفاءة التمثيل لكل عمل او مهمة إذ يطلب إختيار أحد الإمكانيات المتاحة المناسبة لتنفيذ كل مهمة بأدنى كلفة أو وقت ممكن أو بأعلى ربح او كفاءة ممكنة وهكذا.

يوجد اكثر من طريقة لحل مشكلة التخصيص ولكننا سنركز على أهم هـذه الطـرق ألا وهـي الطريقة الهنكارية ، وكخطوة أولى لهذه الطريقة يجب تحقيق توازن المصفوفة (عدد المهـام = عدد الإمكانيات) أي إن $m = n$ وبخلافه نضيف $(m - n)$ من المهام الوهمية إذا كانت $(n<m)$ أو نضيف $(n-m)$ من الإمكانيات الوهمية إذا كانت $(n>m)$.أما الكلف أو الربح لهذه المهـام أو الإمكانيات الوهمية فتكون أصفار .

أما الخوارزمية المتبعة في هذه الطريقة فهي :

أ- في حالة التصغير *minimized* : نتبع الخطوات التالية :

1. نطرح اصغر قيمة في كل صف من قيم هذا الصف فنحـصل علـى مـصفوفة الفـرص الضائعة من تخصيص هذا الصف لأي من أعمدة المصفوفة .
2. نطرح أصغر قيمة في كل عمود من قيم هذا العمود فنحـصل علـى مـصفوفة الفـرص الضائعة من تخصيص هذا العمود لأي من صفوف المصفوفة .
3. نغطي اصفار المصفوفة كافة بأقل عدد ممكن من الخطوط الأفقية أو العمودية أو كليهما، فإذا كان عدد تلك الخطوط مساوياً لعدد صفوف (أعمدة) المصفوفة فالتخصيص سـيكون أمثل .
4. إذا كان عدد هذه الخطوط أقل من عدد الصفوف (الأعمدة) نختار أقل قيمة في المصفوفة من القيم غير المغطاة بالخطوط ويطرح من كل قيمة من القيم غير المغطاة ويضاف إلـى كل قيمة تقع عند ملتقى الخطين الأفقي والعمودي ، أما بقية القـيم (المغطـاة ولاتمثـل التقاطع) فتترك كما هي .
5. تعاد الخطوة (2) حتى يتحقق التوزيع الأمثل .

ب- في حالة التعظيم *maximized* : يمكن تحويلها إلى حالة التصغير من خلال طرح كل قيمة من قيم المصفوفة من أكبرقيمة فيها ونستمر بالخوارزمية السابقة لإيجاد التخصيص الأمثل .

مثال-2 : المصفوفة التالية توضح كلف توزيع أربعة مهام على خمسة مكائن :

jobs	machines				
	M1	M2	M3	M4	M5
J1	10	11	4	2	8
J2	7	11	10	14	12
J3	5	6	9	12	14
J4	13	15	11	10	7

المطلوب : إيجاد التخصيص الأمثل لتقليل الكلف .

الحل : لعدم توازن مصفوفة الكلف ولكون عدد المهام = *4* < عدد المكائن = *5* ، لـذا نـضيف مهمـة خامسة كلفها مساوية للصفر وعليه فالمصفوفة ستكون :

	M1	M2	M3	M4	M5
J1	10	11	4	2	8
J2	7	11	10	14	12
J3	5	6	9	12	14
J4	13	15	11	10	7
J5	0	0	0	0	0

بطـرح أقـل كلفة في كـل صف ←

	M1	M2	M3	M4	M5
J1	8	9	2	0	6
J2	0	4	3	7	5
J3	0	1	4	7	9
J4	6	8	4	3	0
J5	0	0	0	0	0

بطرح أقل كلفة في كل عمود من قيم العمود نفسه تبقى المصفوفة كما هي .

إن أقل عدد للمستقيمات الأفقية والعمودية التي تغطي الأصـفار = *4* < عـدد الـصفوف (الأعمـدة) للمصفوفة = *5* . لذا نطرح أقل قيمة من القيم المغطاة (أي يطرح *1*) من القيم غير المغطـاة وتـضاف إلى التقاطعات فقط . فتصبح المصفوفة :

	M1	M2	M3	M4	M5
J1	9	9	2	0	7
J2	0	3	2	6	5
J3	0	0	3	6	9
J4	6	7	3	2	0
J5	1	0	0	0	1

أقل عدد من المستقيمات = عدد الصفوف = *5*

لذا فالحل أمثل وعليه فإن توزيع الأصفار يكون :

Jobs	Machines
J1	M4
J2	M1
J3	M1 , M2
J4	M5
J5	M2 , M3 , M4

بحذف الماكنة *1* من المهمة *3* لأنها أشغلت من قبل المهمة *2* وكذلك حذف الماكنتين *2* و *4* من المهمة *5* لأنها اشغلت من قبل المهمتين *3* و *1* على التوالي ، لذا فالتخصيص الأمثل للمهام سيكون :

تنجز المهمة *1* على الماكنة *4* وبكلفة *2*

تنجز المهمة *2* على الماكنة *1* وبكلفة *7*

تنجز المهمة *3* على الماكنة *2* وبكلفة *6*

تنجز المهمة *4* على الماكنة *5* وبكلفة *7* ← إجمالي الكلاف *22* .

أي بأقل كلفة إجمالية هي *22* ، علماً بأن الماكنة *3* لاتعطى لها أي مهمة .

مثال-3 : المصفوفة التالية تمثل ربح توزيع أربعة مهام على أربعة مكائن :

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	10	3	2	4
J2	9	4	1	3
J3	8	5	1	5
J4	7	6	2	6

المطلوب : إيجاد التخصيص الأمثل للمهام على المكائن لتحقيق أعلى ربح ممكن .

الحل : بطرح جميع قيم المصفوفة من أكبر قيمة فيها (أي *10*) لتحويلها إلى حالة التصغير ، فتكون المصفوفة الجديدة :

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	0	7	8	6
J2	1	6	9	7
J3	2	5	9	5
J4	3	4	8	4

بطرح أقل قيمة في كل صف ←

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	0	7	8	6
J2	0	5	8	6
J3	0	3	7	3
J4	0	1	5	1

بطرح أقل قيمة في كل عمود

→

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	0	6	3	5
J2	0	4	3	5
J3	0	2	2	2
J4	0	0	0	0

أقل عدد من المستقيمات =*2* < عدد الصفوف (الأعمدة) =*4* ، لذا تطرح *2* من القيم المغطاة وتضاف إلى التقاطع وعليه فالمصفوفة الجديدة ستكون :

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	0	4	1	3
J2	0	2	1	3
J3	0	0	0	0
J4	2	0	0	0

أقل عدد من المستقيمات =3 < عدد الصفوف (الأعمدة) = 4 ، لذا نطرح 1 من القيم غير المغطـاة وتضاف لقيم التقاطع ، فتكون المصفوفة الجديدة :

Jobs	Machines			
	M1	M2	M3	M4
J1	0	3	0	2
J2	0	1	0	2
J3	1	0	0	0
J4	3	0	0	0

أقل عدد من المستقيمات = عدد الصفوف (الأعمدة) = 4 ، لذا فالحل أمثل وعليه فالتخصيص الأمثـل سيكون :

Jobs	Machines
J1	M1 , M3
J2	M1 , M3
J3	M2 , M3 , M4
J4	M2 , M3 , M4

Jobs	Mach.	profit		Jo.	Ma.	Pr.		Jo.	Ma.	Pr.		Jo.	Mach.	Pr.
J1	M1	10		J1	M1	10		J1	M3	2		J1	M3	2
J2	M3	1		J2	M3	1		J2	M1	9		J2	M1	9
J3	M2	5	or	J3	M4	5	or	J3	M2	5	or	J3	M4	5
J4	M4	6		J4	M2	6		J4	M4	6		J4	M2	6
∑		22		∑		22		∑		22		∑		22

أي وجود أربعة تخصيصات مثلى للمهام على المكائن لتحقيق أعلى ربح ممكن وقدره 22 وحدة نقدية وكما مثبتة أعلاه .

تمارين الفصل الخامس

1- أوجد الحل الأمثل لمسائل النقل التالية :

a)

Sources	Destinations			Supply
	D1	D2	D3	
S1	1	2	6	7
S2	0	4	2	12
S3	3	1	5	11
Demand	10	10	10	30

b)

Sources	Destinations			Supply
	D1	D2	D3	
S1	5	1	8	12
S2	2	4	0	14
S3	3	6	7	4
Demand	9	10	11	30

c)

Sou.	Dest.			Sup.
	D1	D2	D3	
S1	5	1	7	10
S2	6	4	6	80
S3	3	2	2	15
Dem.	75	20	50	

Sou.	Dest.				Sup.
	D1	D2	D3	D4	
S1	10	20	5	7	10
S2	13	9	12	8	20
S3	4	15	7	9	30
S4	14	7	1	0	40
S5	3	12	5	19	50
Dem.	60	60	20	10	150

(ans. : a)(7,0,0,2,0,10,1,10,0;40) , b)(2,10,0,3,0,11,4,0,0;38) , c)(0,10,0,35,10,35,0,0,15,40,0,0;500) , d)(0,0,10,0,0,20,0,0,30,0,0,0,0,30,0,10,30,10,10,0;820))

2- تشحن سلع من أربعة مخازن *W1 , W2 , W3 , W4* إلى خمسة أسواق *M5 , M4 , M3 , M2 , M1* . العرض عند المخازن هو 70 ، 40 ، 60 و30 وحدة على التوالي . بينما الطلب عند الأسواق هو 40 ، 20 ، 30 ، 60 و50 وحدة على التوالي . أما كلاف النقل بين المخـازن والأسواق فهي :

Warehouses	Markets				
	M1	M2	M3	M4	M5
W1	7	6	5	4	2
W2	9	7	3	6	3
W3	8	8	7	3	1
W4	4	3	1	2	1

أوجد الكمية المشحونة المثلى من المخازن إلى الأسواق بأقل كلفة إجمالية ممكنة .

(ans.: (30,0,0,40,0,0,0,30,0,10,0,0,0,20,40,10,20,0,0,0;690))

3- حل مسألة النقل التالية ، بحيث الطلب عند الموقع *D1* يجب أن يشحن من المصدر *S4* :

Sources	*Destinations*			*Supply*
	D1	*D2*	*D3*	
S1	*5*	*1*	*0*	*20*
S2	*3*	*2*	*4*	*10*
S3	*7*	*5*	*2*	*15*
S4	*9*	*6*	*0*	*15*
Demand	*5*	*10*	*15*	

(ans.: (0,10,5,5,5,0,0,0,10,0,0,0,15,5,0,10,0;55))

4- أربعة أصناف مختلفة من المكائن تتوزع على خمسة مهام ن عـدد المكـائن المتـوفرة فـي الأصناف الأربعة هي *25* ، *30* ، *20* و *30* ، وعدد الوظائف في المهام الخمسة هـي *20* ، *20* ، *30* ، *10* و*25* . أوجد التخصيص الأمثل للمكائن على المهام بحيث إن صنف الماكنة الرابعـة *M4* لايأخذ المهمة الرابعة *J4* . علماً إن الكاف لكل وحدة موضحة في الجدول التالي :

machines	*Jobs*				
	J1	*J2*	*J3*	*J4*	*J5*
M1	*10*	*2*	*3*	*15*	*9*
M2	*5*	*10*	*15*	*2*	*4*
M3	*15*	*5*	*14*	*7*	*15*
M4	*20*	*15*	*13*	*----*	*8*

(ans.:(0,0,25,0,0,20,0,0,10,0,0,20,0,0,0,0,0,5,0,25;560))

5- أوجد التخصيص الأمثل لتوزيع المهام على المكائن لمصفوفتي الكاف التاليتين :

a)

Jobs	*machines*			
	M1	*M2*	*M3*	*M4*
J1	*10*	*5*	*5*	*2*
J2	*9*	*8*	*4*	*3*
J3	*7*	*7*	*6*	*4*
J4	*8*	*7*	*5*	*5*

b)

Jobs	*Machines*				
	M1	*M2*	*M3*	*M4*	*M5*
J1	*3*	*8*	*2*	*10*	*3*
J2	*8*	*7*	*2*	*9*	*7*
J3	*6*	*4*	*2*	*7*	*5*
J4	*8*	*4*	*2*	*3*	*5*
J5	*9*	*10*	*6*	*9*	*10*

(ans.:a) 1-2,2-4,3-1,4-3 or 1-4,2-3,3-1,4-2;20, b) 1-5 , 2-3 , 3-2 , 4-4 , 5-1 ;21)

6- أوجد التخصيص الأمثل لتوزيع المهام على المكائن لمصفوفة الربح التالية :

Jobs	*Machines*				
	M1	*M2*	*M3*	*M4*	*M5*
J1	*3*	*9*	*2*	*3*	*7*
J2	*6*	*1*	*5*	*6*	*6*
J3	*9*	*4*	*7*	*10*	*3*
J4	*2*	*5*	*4*	*2*	*1*
J5	*9*	*6*	*2*	*4*	*6*

(ans.:1-2 , 2-5 , 3-4 , 4-3 , 5-1 ;38)

7- أوجد التخصيص الأمثل لتوزيع أربعة عمليات على أربعة مكائن ، إذا كانت العملية *P1* لاتأخذ الماكنة *M3* ، والعملية *P3* لاتأخذ الماكنة *M4* ، علماً إن مصفوفة الكلف هي :

Processes	*machines*			
	M1	*M2*	*M3*	*M4*
P1	*5*	*5*	---	*2*
P2	*7*	*4*	*2*	*3*
P3	*9*	*3*	*5*	---
P4	*7*	*2*	*6*	*7*

(ans.: 1-4 , 2-3 , 3-2 , 4-1 ; 14)

8- لتوزيع أربعة مهندسين على أربعة خطوط إنتاجية ، علماً بأن مصفوفة كلاف التوزيع كانت :

Engineering	*Lines*			
	L1	*L2*	*L3*	*L4*
E1	*8*	*9*	*6*	*4*
E2	*5*	*7*	*7*	*8*
E3	*10*	*11*	*6*	*8*
E4	*3*	*9*	*5*	*7*

المطلوب:

أ- أوجد التخصيص الأمثل للتوزيع .

ب- إذا تدخل مدير المصنع وقرر منع إستلام المهندس الأول *E1* للخط الإنتاجي الرابع *L4* .مـا هي الكلفة الإضافية التي يتحملها المصنع نتيجة هذا القرار .

(ans.: a)1-4 , 2-2 , 3-3 , 4-1;20 , b)1-3 , 2-2 , 3-4 , 4-1 ; 24 ; 4)

الفصل السادس

المخططات الشبكية *Network planning*

6-1- المسار الحرج *Critical Path* :

تستخدم هذه المخططات بشكل واسع للسيطرة على مراحل إقامة المشاريع وتنفيذها وكذلك في مراحل تصنيع أو تجميع السلع ويجري ذلك من خلال تحليل وتنسيق النشاطات والفعاليات الضرورية للإنتـاج على هيئة شبكات أعمال مترابطة وجداول لأجل توجيه تنفيذ هذه الأعمال .

وبشكل عام فإن عناصر رسم وتكوين المخططات الشبكية وإعداد الجداول الزمنية للمتابعـة وفـرض الرقابة هي :

- الحدث *Event* : ويشار إليه بدائرة يرقم كلٍ منها برقم خاص لا يجوز تكراره ويدل علـى ترتيـب الحدث فقط ولكل شبكة حدث بداية واحد وحدث نهاية واحد ولا يحتاج الحدث إلى وقت او مـوارد لتنفيذه.
- النشاط *Activity* : ويشار إليه بسهم واحد ولا يجوز أيضاً تمثيل أي نشاط بأكثر من سـهم ، وإن أي نشاط يحتاج لوقت وموارد لأجل تنفيذه ويوضع الوقت اللازم لإنجاز النشاط *Duration* عادةً فوق كل سهم ، مع ملاحظة إنه لا توجد علاقة بين طول السهم والفترة اللازمة لتنفيذه . يكـون لكل نشاط حدث بداية وحدث نهاية ويمكن أن يشترك نشاطان في نفس حدث البداية ولكن حـدث النهاية يكون مختلف لكلٍ منهما ، أو يمكن ان يشترك نشاطان في نفس حدث النهاية ولكن حـدث البداية يكون مختلف لكلٍ منهما ، ولايجوز أن يشترك نشاطان في نفس حدث البداية ونفس حدث النهاية .
- المسار *Path* : ويمثل سلسلة من الأسهم المتعاقبة تبدأ بحدث البداية وتنتهي بحدث النهاية ويميز كل مسار عادةً بأرقام الأحداث التي يمر بها ، والمسار الذي يستغرقه أطول الأزمنة يدعى بالمسار الحرج *Critical Path (C.P.)* وتتميز أنشطة هذا المسار بكونها أنشطة حرجة إذ إن أي تأخير يحصل إثناء تنفيذ أي من أنشطته يؤدي إلى تأخير تنفيذ العمل وعليه فإن وقت المـسار الحـرج يحدد المدة اللازمة لإتمام العمل .

لحساب زمن المسار الحرج *C.P.time* يكون ضمن مرحلتين :

المرحلة الأولى – وتسمى العبور الأمامي *Forward pass* حيث تبدأ الحسابات من نقطة البداية بإتجاه نقطة البداية بإتجاه نقطة النهاية وعند كل نقطة يحسب الوقت المبكـر *Earliest time* (ES_j) من العلاقة :

$$ES_j = \max_i .\{ES_j + D_{ij}\} \quad \forall (i, j) activities$$

بإعتبار إن $ES_1 = 0$ و D_{ij} يمثل الزمن اللازم لإنجاز النشاط (i, j) .

[illegible]

[illegible] *Backward pass* [illegible]

[illegible] *Latest time (LC_i)* [illegible]

$$LC_i = \min_j .\{LC_i - D_{ij}\} \quad \forall (i, j)\, activities$$

[illegible] $LC_n = ES_n$ [illegible]

[illegible] (i, j) [illegible]

$$ES_j - ES_i = LC_j - LC_i = D_{ij}$$

[illegible] *Free Float Time (F.F.)* [illegible]

[illegible]

$$FF_{ij} = ES_j - ES_i - D_{ij}$$

[illegible] 1 [illegible]

a)

Act.	Pre-act.
A	----
B	----
C	A,B
D	A
E	C,D

b)

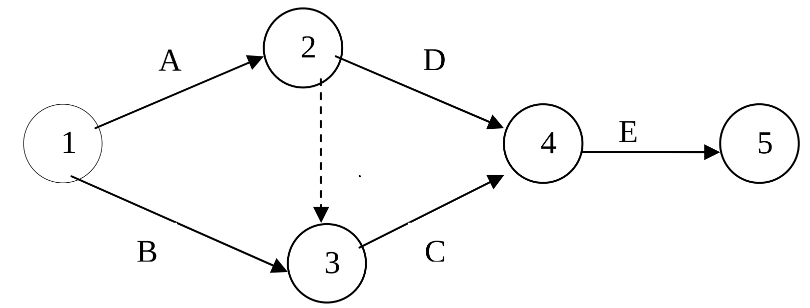
Act.	Pre-act.
A	----
B	A
C	A
D	B
E	B,C
F	D,E

c)

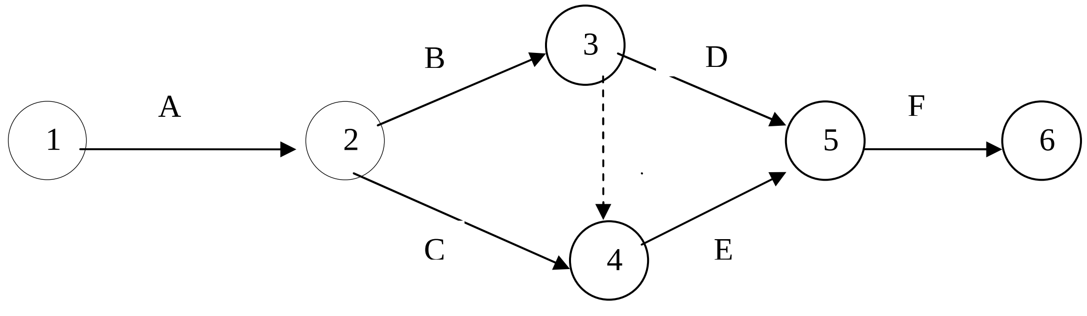
Act.	Pre-act.
A	----
B	----
C	A,B
D	A,B
E	B
F	D,E
G	C,F
H	D,E
I	G,H

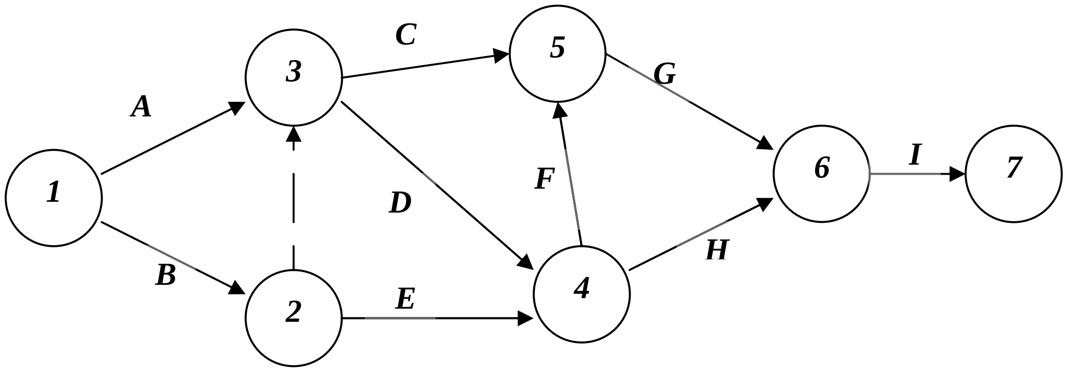
[illegible]

a)



b)





[illegible] **2** [illegible]

[illegible] *C* , *B* , *A* [illegible]

D [illegible] *B* , *A* [illegible]

H , *F* , *E* [illegible] *B* [illegible]

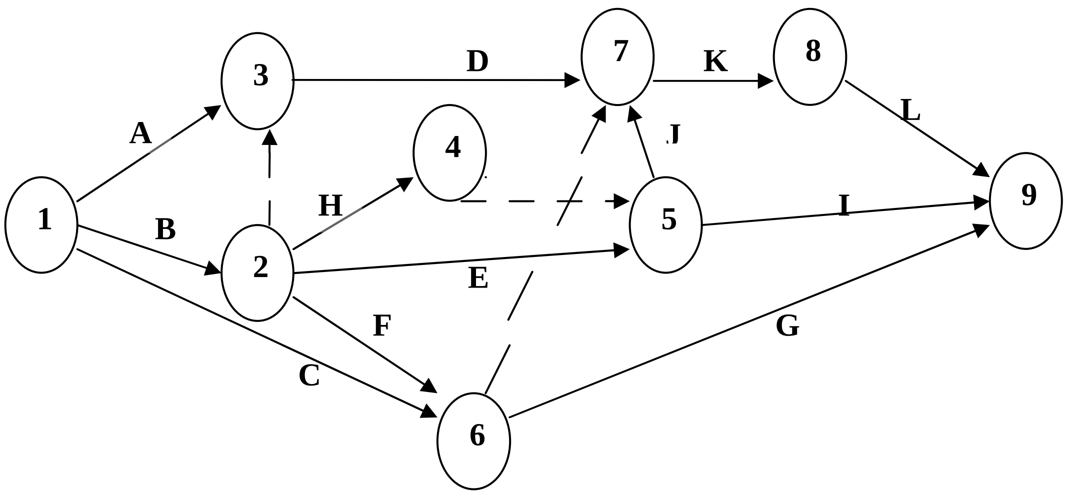
G [illegible] *F* , *C* [illegible]

J , *I* [illegible] *H* , *E* [illegible]

K [illegible] *J* , *F* , *D* , *C* [illegible]

L [illegible] *K* [illegible]

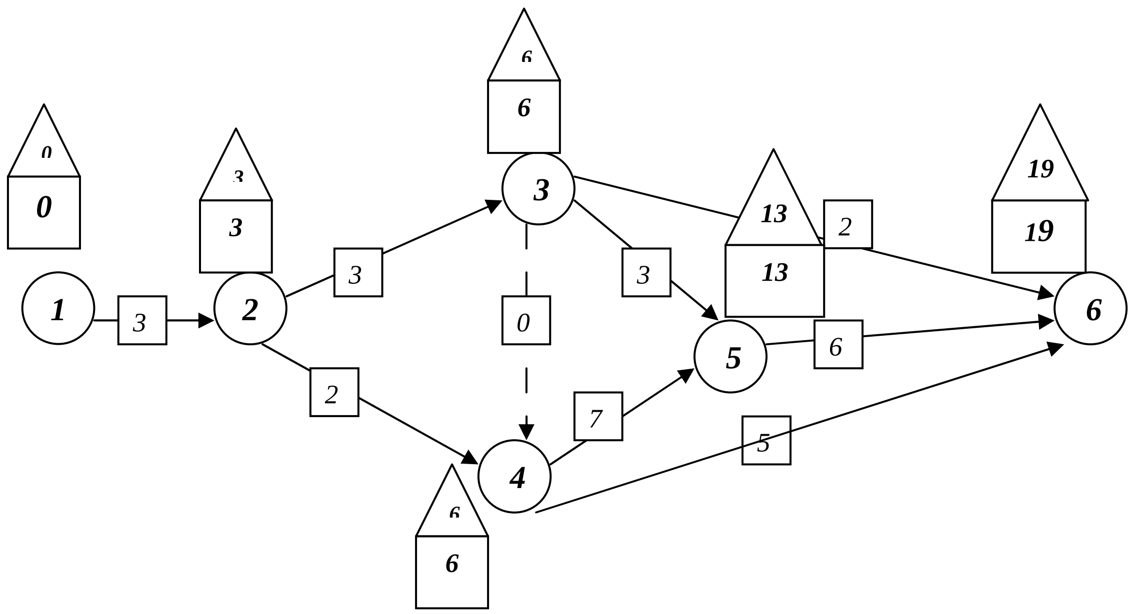
[illegible] *L* , *I* , *G* [illegible]



[illegible] **3** [illegible]

[illegible]

activity	*1-2*	*2-3*	*2-4*	*3-4*	*3-5*	*3-6*	*4-5*	*4-6*	*5-6*
D_{ij}	3	3	2	0	3	2	7	5	6



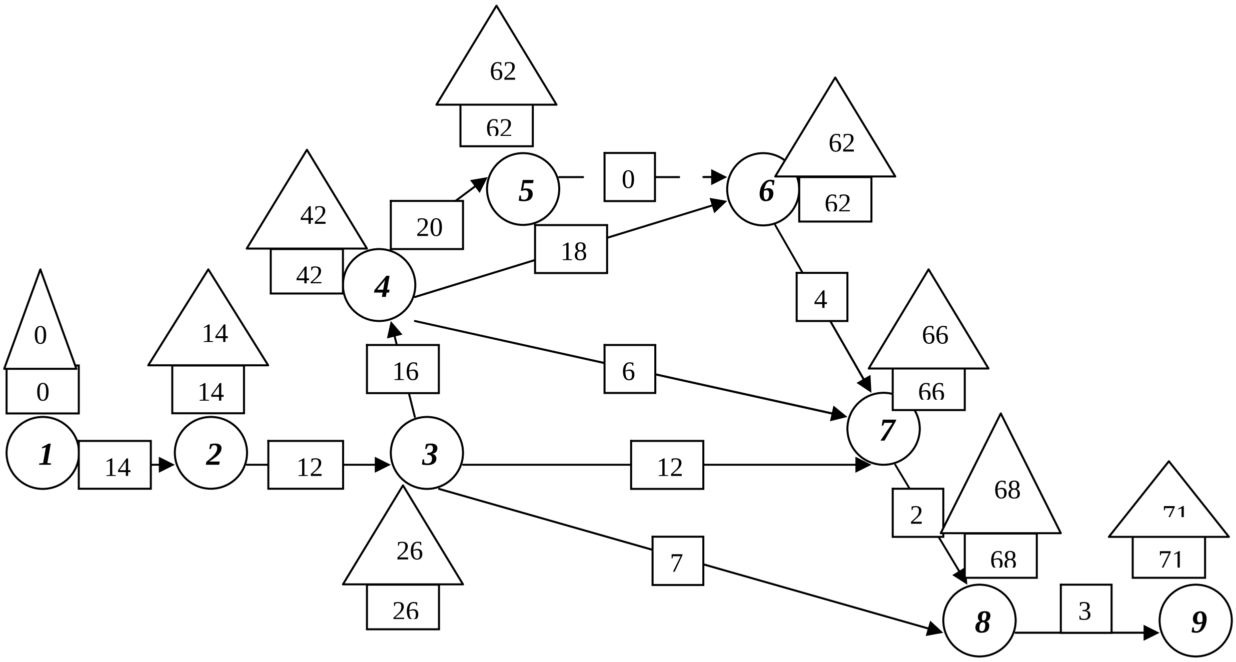
Forward pass	Backward pass
$ES_1 = 0$	$LC_6 = 19$
$ES_2 = 0 + 3 = 3$	$LC_5 = 19 - 6 = 13$
$ES_3 = 3 + 3 = 6$	$LC_4 = \min. \{ 13-7, 19-5 \} = 6$
$ES_4 = \max. \{ 3+2, 6+0 \} = 6$	$LC_3 = \min. \{ 6-0, 13-3, 19-2 \} = 6$
$ES_5 = \max. \{ 6+3, 6+7 \} = 13$	$LC_2 = \min. \{ 6-3, 6-2 \} = 3$
$ES_6 = \max. \{ 6+2, 6+5, 13+6 \} = 19$	$LC_1 = 3 - 3 = 0$

لذا فالمسار الحرج لتصنيع السلعة هو : *1-2-3-4-5-6* بالأنشطة الحرجة :

***(1,2) , (2,3) , (3,4) , (4,5) , (5,6)* والزمن الحرج *Critical time* هو *19* .**

<u>مثال-*4*</u> : أوجد المسار الحرج للمشروع التالي :-

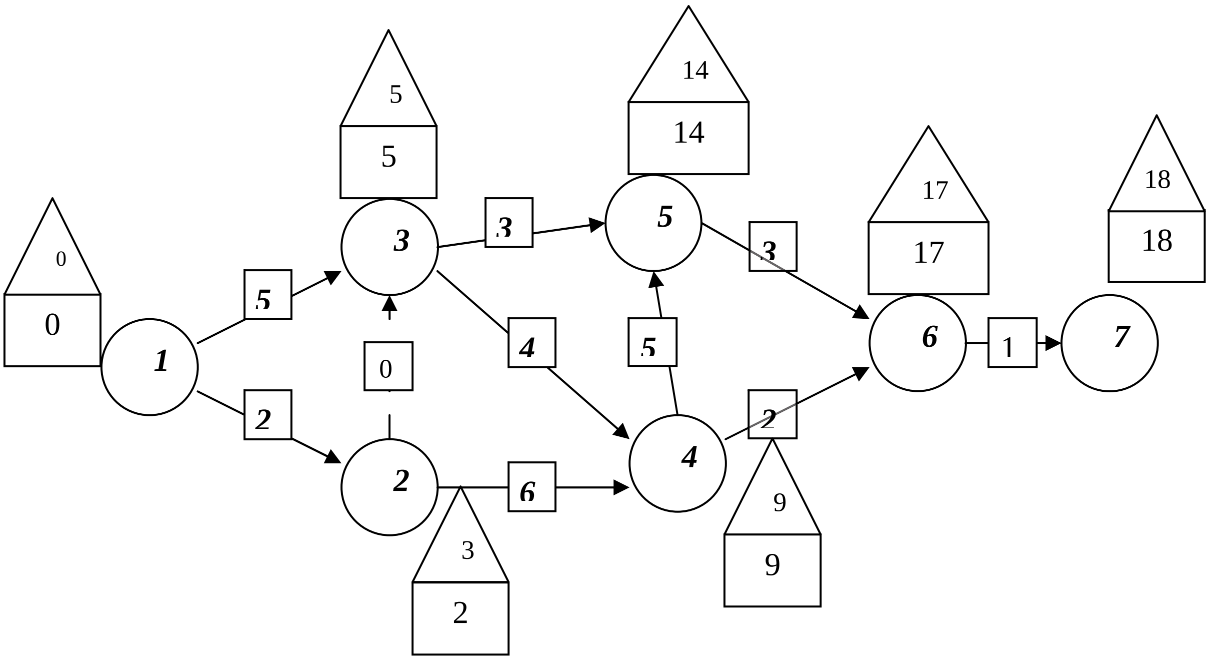
activity	Preceding activity	Duration
A	---	14
B	A	12
C	B	16
D	B	7
E	B	12
F	C	20
G	C	18
H	C	6
I	F , G	4
J	E , H , I	2
K	D , J	3



71 Njlj ǂþϴǁǁ DžDžƦǁǁNj ¡ $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K$ ƕƲʅǆǗƑƓ ǘƙǅǂǐ ǂþϴǁǁ þƑƨǅǁƑʒ ƐƤǁ

ǏǁƑǂǁǁ ƱNjþʅǅǂǁ ǂþϴǁǁ þƑƨǅǁǁ ɋɯNjɕ 5 ǘƑƙǅ

activity	*Preceding activity*	*Duration*
A	**---**	***5***
B	**---**	***2***
C	***A , B***	***3***
D	***A , B***	***4***
E	***B***	***6***
F	***D , E***	***5***
G	***C , F***	***3***
H	***D , E***	***2***
I	***G , H***	***1***



لذا فالمسار الحرج يتمثل بالأنشطة : *I , G , F , D , A* والزمن الحرج *C.T.= 18* .

6-2- إسلوب تقييم ومراجعة البرامج *Program Evaluation and Review Technique (PERT)* :

يعتبر إسلوب *PERT* من الأساليب الإدارية الحديثة للسيطرة على مراحل التصنيع ويستمد أهميته في الحياة العملية لكونه يشخص الأنشطة الحرجة التي يستدعي بالضرورة الإهتمام بها وملاحظتها أكثر من غيرها والعناية بتوفير كافة المستلزمات والإحتياجات الضرورية لأجل تنفيذها في الوقت المحدد. إضافةً لذلك فإن حساب الزمن الفائض بين الأنشطة يساعد على توجيه ونقل الموارد المالية والبشرية الفائضة من بين الأنشطة غير الحرجة إلى الأنشطة الحرجة ، وفي هذه الحالة تتهيء افضل الطرق لتقليص الوقت وتخفيض تكاليف العمل . في هذا الإسلوب تدرس ثلاثة أنواع من الأزمنة وهي :

- الزمن المتفائل *Optimistic time (a)* والذي يعتبر إن التنفيذ سيتم بشكل جيد جداً .
- الزمن المتشائم *Pestimistic time (b)* والذي يعتبر إن التنفيذ سيتم بشكل رديء جداً .
- الزمن المحتمل *Most likely time (m)* والذي يعتبر إن التنفيذ سيتم بشكل طبيعي .

أما الوقت المتوقع $(\overline{D})$ *Expected time* للنشاط *(i , j)* فيحسب من العلاقة :

$$\overline{D} = \frac{a + b + 4m}{6}$$

أما التباين *Variance (V)* لكل نشاط فيحسب من العلاقة :

$$V = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

وبالتالي فإن إحتمال تنفيذ المشروع في الوقت المحدد سيكون :

$$Pr\left(Z \leq \frac{ST_i - CT_i}{\sqrt{V(\mu_i)}} \right)$$

إذ إن ST_i يمثل الوقت المحدد لإنجاز المشروع .

CT_i يمثل الزمن الحرج للمشروع .

$V(\mu)$ يمثل مجموع تباين الأنشطة الحرجة للمشروع .

ويمكن إيجاد قيمة الإحتمال اعلاه من جدول التوزيع الطبيعي .

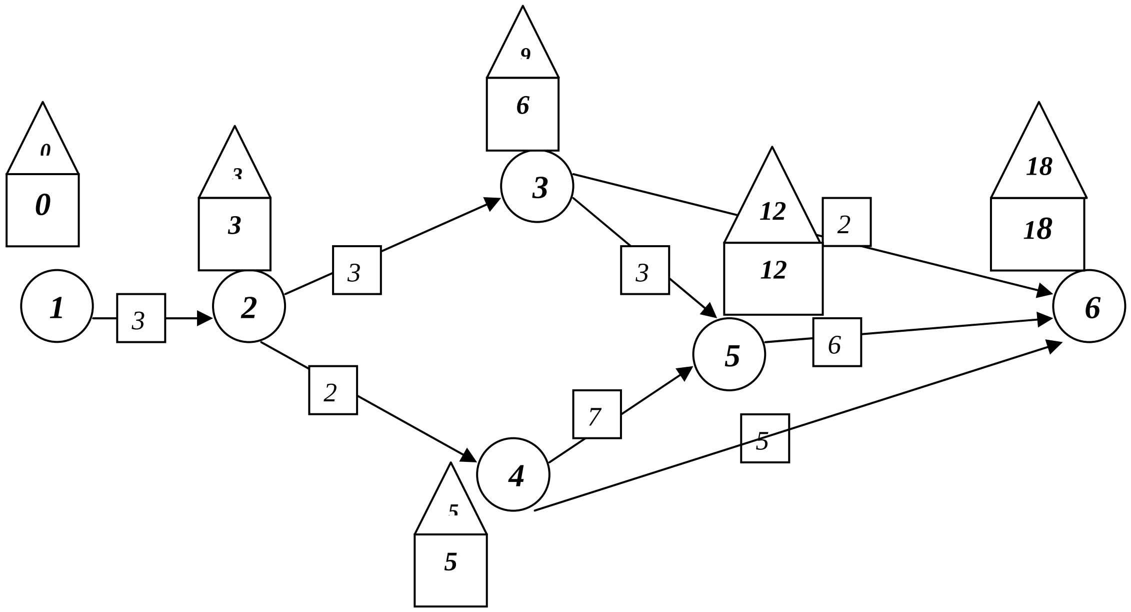
مع ملاحظة إن الإنحراف المعياري هو الجذر التربيعي للتباين .

<u>مثال-6</u> : البيانات التالية توضح أزمنة تنفيذ كل نشاط من أنشطة إحدى المشاريع الصناعية.المطلوب : حساب إحتمال تنفيذ المشروع خلال *20* شهراً .

activity	a	b	m
1,2	2	8	2
2,3	1	11	1.5
2,4	0.5	7.5	1
3,5	1	7	2.5
3,6	1	3	2
4,5	6	8	7
4,6	3	11	4
5,6	4	8	6

الحل :

activity	$\bar{D}$	V
1,2	3	1
2,3	3	---
2,4	2	1.36
3,5	3	----
3,6	2	----
4,5	7	0.11
4,6	5	----
5,6	6	0.44
	V(μ)	2.91



لذا فالمسار الحرج يتمثل بالأنشطة : *(1,2) , (2,4) , (4,5) , (5,6)* وإن الزمن الحرج : *CT =18*.

$$Pr\left(Z_i \le \frac{20-18}{\sqrt{2.91}} \right) = Pr\left(Z \le 1.17\right) = 0.879$$

أي إن إحتمال إنجاز المشروع في مدة *20* شهراً هو *88%* تقريباً .

6-3- تعجيل وتبطيء المخططات الشبكية :

يتضمن هذا الإسلوب كلفة تنفيذ المشروع ونوعان من التنفيذ :

1- النوع الأول- التنفيذ الطبيعي (الإعتيادي) *Normal* ويتضمن الزمن D_n والكلفة C_n .

2- النوع الثاني- التنفيذ التقليصي (التعجيلي) *Crash* ويتضمن الزمن D_c والكلفة C_c .

أما خوارزمية الحل ستكون كالآتي :

1- إيجاد المسار الحرج للزمن الطبيعي ومن ثم إيجاد الزمن الحرج لتنفيذ المشروع (*CTN*) .

2- إيجاد المسار الحرج للزمن التقليصي ومن ثم إيجاد الزمن الحرج لتنفيذ المشروع في حالة التقليص (*CTC*) .

3- إيجاد الزمن المسموح بتخفيضه $T = CTN – CTC$.

4- إيجاد الميل *Slope* لكل نشاط من العلاقة :

$$Slope = \frac{C_c - C_n}{D_n - D_c}$$

5- إيجاد الوقت الفائض *Free Float (FF)* للنشاطات غير الحرجة للأزمنة الطبيعية من العلاقة:

$$FF_{ij} = ES_j – ES_i - D_{ij}$$

والوقت الممكن تقليصه هو القيمة الأقل بين :

أ- أعلى *FF* لأنشطة كل مسارغير حرج .

ب- الفرق بين الزمن الطبيعي D_n والزمن التقليصي D_c للنشاط الحرج الذي له أقل ميل .

6- إيجاد الكلفة الكلية لتنفيذ المشروع بعد تقليص زمن تنفيذ المشروع من العلاقة :

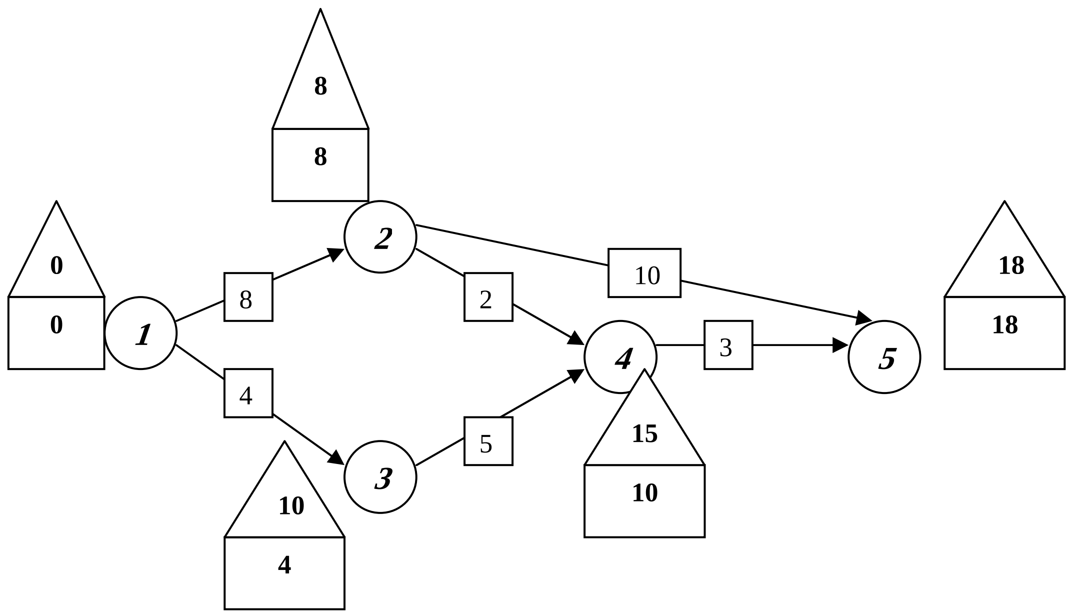
الكلفة الكلية للتنفيذ بعد التقليص = الكلفة الكلية السابقة + عدد الوحدات الزمنيـة المقلـصة × ميل النشاط المقلص

7- إيجاد الزمن الحرج للمشروع بعد التقليص الأخير ، فإذا كـان مـساوياً للـزمن الحـرج لتنفيـذ المشروع (*CTC*) (المستخرج في الخطوة 2) نتوقف وبخلافه نكرر الخطـوتين 5 و 6 مـرة أخرى .

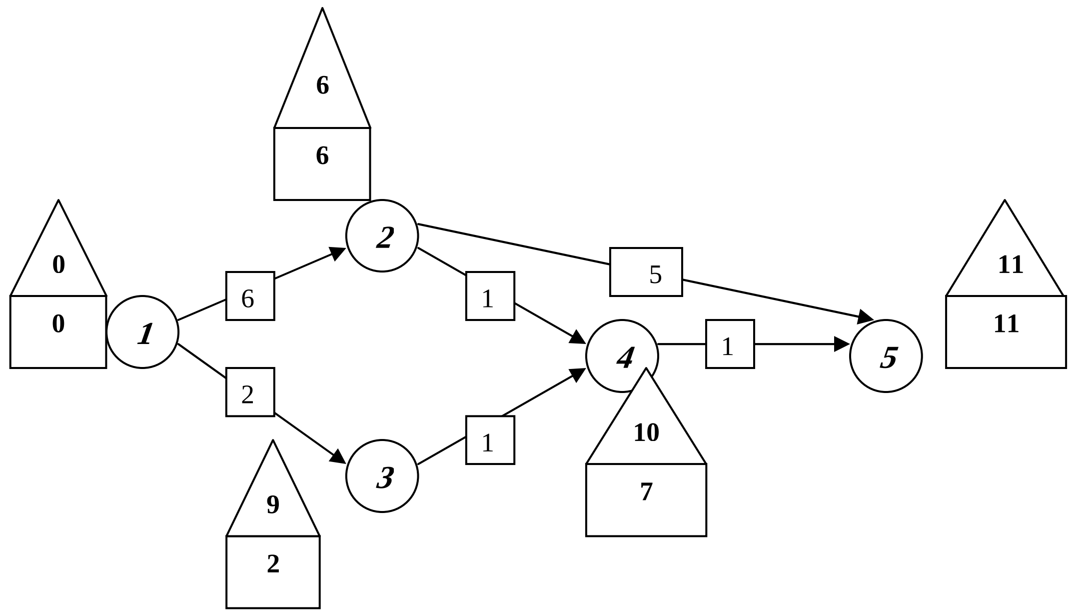
<u>مثال-7</u> : البيانات المبينة أدناه تمثل زمن (شهر) وكلفة (ألف دينار) لتنفيذ كل نشاط من نشاطات إحدى المشاريع الصناعية في الحالتين الطبيعية والمقلصة . المطلوب تنفيذ المـشروع بأقـل وقـت وكلفـة ممكنتين :

activity	*normal*		*Crash*	
	D_n	C_n	D_c	C_c
1 , 2	*8*	*100*	*6*	*200*
1 , 3	*4*	*150*	*2*	*350*
2 , 4	*2*	*50*	*1*	*90*
2 , 5	*10*	*100*	*5*	*400*
3 , 4	*5*	*100*	*1*	*200*
4 , 5	*3*	*80*	*1*	*100*
$\sum$	---	*580*	---	*1340*

<u>الحل</u> :



CTN = 18 , *Total Cost = 580* **الزمن الطبيعي**



CTC = 11 , *Total Cost = 1340* **الزمن التقليصي**

CTN – CTC = 18 – 11 = 7

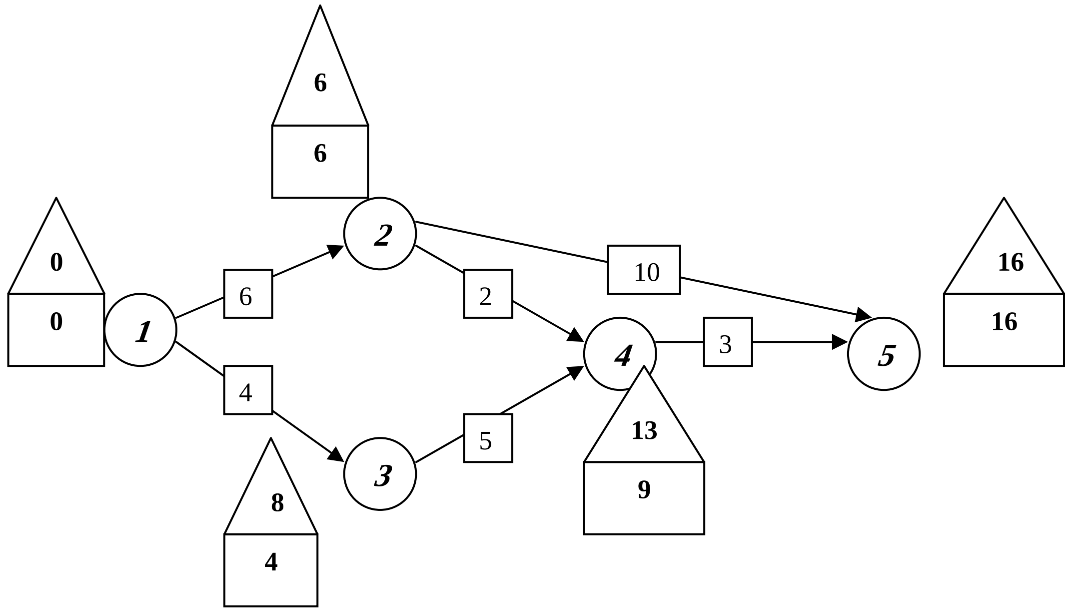
أي إنه يمكن تقليص تنفيذ المشروع بمقدار 7 أشهر .

أما الميل لكل نشاط والوقت الفائض للأنشطة غير الحرجة هي :

activity	*slope*	*F.F.*
1 , 2	*50 **	--------
1 , 3	*100*	*4 – 0 – 4 = 0*
2 , 4	*40*	*10 – 8 – 2 = 0*
2 , 5	*60 **	--------
3 , 4	*25*	*10 – 4 – 5 = 1*
4 , 5	*10*	*18 – 10 – 5 = 5 max.*

أما الزمن الممكن تقليصه من النشاط *(1,2)* (النشاط الحرج الذي له أقل ميل)هـو: ***min. { 5, 8-6} =2***

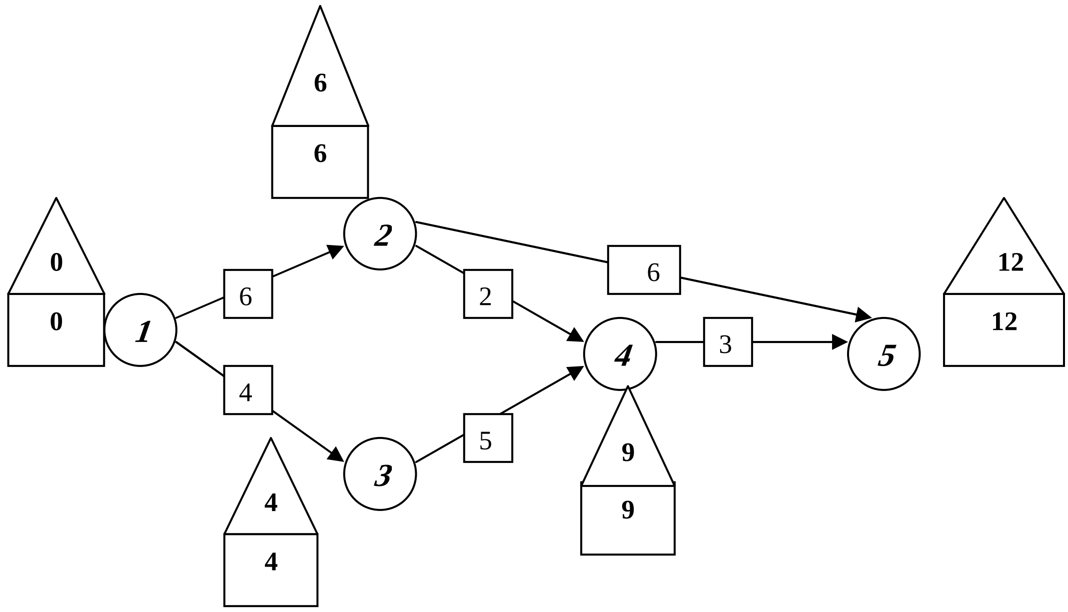
لذا فالمسار الحرج الطبيعي بعد تقليص زمن النشاط *(1,2)* شهرين سيكون :



Critical Path C.P. is : (1 , 2) , (2 , 5) and Total Cost T.C.= 580+ 2 * 50= 680

إن الوقت الحرج يمكن تقليصه مرة أخرى ، لذا سيقلص النشاط *(2,5)* إلى ***min.{ 4 , 10-5 } = 4***

أي أربعة أشهر أخرى وسيكون المسار الجديد :



C.P. is : (1,2) , (2,5) and (1,3) , (3,4) , (4,5)

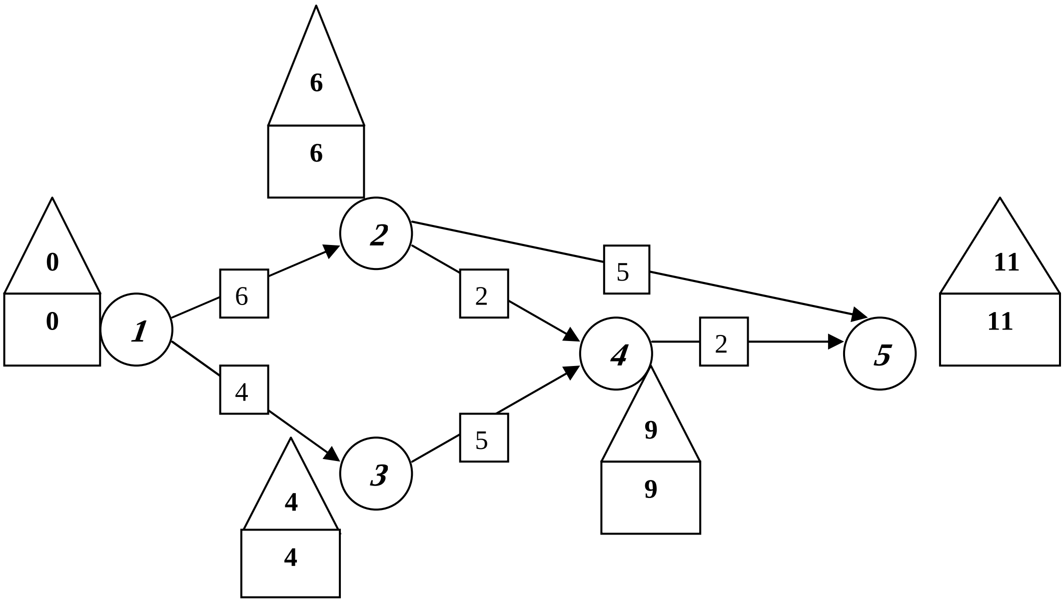
T.C. = 680 + 4 * 60 = 920

بالإمكان تقليص الزمن الكلي للإنجاز شهر واحد فقط ، إذ يمكن تقليص زمن إنجاز النشاط *(2,5)* إلى *5* أشهر ولكن هذا يؤدي إلى إن المسار الحرج سيتغير ما لم نغير من أنشطة المـسار الحـرج الآخـر

بنفس كمية التقليص ، ولإختيار النشاط الذي سيقاص منه شهر واحد يتم إستخراج الميل للنشاط *(2,5)* مضافاً له ميل كل نشاط من أنشطة المسار الحرج الاخر ، ويؤخذ الأقل أي :

activity	*Slope*
(2,5) , (1,3)	*60 + 100 = 160*
(2,5) , (3,4)	*60 + 25 = 85*
(2,5) , (4,5)	*60 +10 =70 min.*

لذا سيقاص شهر واحد من زمن النشاطين *(2,5) , (4,5)* والمسار الحرج الجديد سيكون :



C.P. is (1,2) , (2,5) and (1,3) ,(3,4) , (4,5)
*T.C. = 920 + 1 * 70 = 990*

لذا فالمشروع قاص زمنه من *18* إلى *11* وإرتفعت كلفة إنجازه من *580* إلى *990* وهو أقـل مـن الكلفة المتوقعة للتقليص والتي كانت *1340* .

تمارين الفصل السادس

1- إرسم المخطط الشبكي للأنشطة التالية :

أ- الأنشطة *C , B , A* هي أنشطة بداية المشروع وتبدأ بشكل آني .

ب- الأنشطة *F , E , D* تبدأ بعد النشاط *A* مباشرةً .

ج- النشاطان *G . I* يبدأن بعد إنتهاء النشاطين *D , B* .

د- النشاط *H* يبدأ بعد إنتهاء النشاطين *G , C* .

هـ- النشاطان *L , K* يعقبان النشاط *I* .

و- النشاط *J* يعقب كلٍ من النشاطين *H , E* .

ز- النشاطان *N , M* يعقبان النشاط *F* ولكن لا يبدءان إلا بعد أن ينتهي النشاطين *H , E* .

ح- النشاط *O* يعقب النشاطين *I , M* .

ط- النشاط *P* يعقب الأنشطة *O , L , J* .

ي- الأنشطة *P , N , K* هي أنشطة نهائية للمشروع .

2- أوجد المسار الحرج لشبكة الإعمال الآتية :

activity	Pre. Act.	Duration		activity	Pre. Act.	Duration
R	----	24		D	C , B	6
E	R	16		C	A	8
H	G	16		B	A	16
N	P, Q, U, S	8		U	F	8
M	L , K	8		Q	E	12
K	H	16		A	R	16
P	E , D	36		F	R	40
S	T , M	16		G	R	24
L	H	24		T	G	4

(ans.: R , G , H , L , M , S , N ; 120)

3-أوجد المسار الحرج لشبكة الإعمال التالية :

activity	Pre. Act.	Duration		Activity	Pre. Act.	Duration
A	----	10		J	F	5
B	----	28		K	E , G , H	1
C	A	2		L	I , J	6
D	C	1		M	J , L	2
E	D	2		N	K , M	1
F	D	30		O	K , M	4
G	D	45		P	N	1
H	B , D	1		Q	N, O	1
I	E , H	6		R	P , Q	1

(ans.: A , C , D , G , K , O , Q , R ; 65)

4- الجدول التالي يمثل فعاليات مشروع صناعي ، المطلوب إيجاد إحتمالية إنجاز المشروع خلال *39* إسبوعاً وإن الإنحراف المعياري هو *1.9* :

Act.	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
Pre.act.	---	---	A	A,B	A,B	C,D	A	C,D,G	E,F,H
Duration	5	7	6	8	7	5	6	9	10

(ans.: 99.6%)

5- لتنفيذ مشروع صناعي أنشطته موضحة في الجدول التالي :

Act.	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**H**	**I**
Pre.act.	---	---	A,B	A,B	B	D,E	C,F	D,E	G,H
Duration	6	5	7	8	4	6	7	4	X

المطلوب:أ- أوجد قيمة *X* للنشاط *I* ، إذا علمت إن الدرجة المعيارية للأنشطة الحرجة *Z = 1.5* محسوبة على أساس إحتمالية إنجاز المشروع خلال *34* إسبوعاً والإنحراف المعياري = *2* .

ب- إذا كان النشاط *H* يمثل عملية مد أنابيب بقطر *25* سم وقد أبلغ مورد الأنابيب الشركة بأن عملية تجهيز الأنابيب تتم بعد *16* أسبوعاً من بدء العمل بالمشروع . ما تأثير عملية التأخير؟ وهل ستتحمل الشركة خسائر علماً إن تكاليف التأخير عن المدة المقررة لإنجاز المشروع لكل يوم هي *50000* ديناراً ، بإعتبار أيام العمل بالإسبوع *6* أيام ؟

ج- قدم إقتراح للشركة لتقليص مدة تنفيذ النشاط *C* إلى *5* أسابيع بدلاً من *7* أسابيع على أن تدفع الشركة *25000* ديناراً عن كل يوم تقليص ، هل تقبل الشركة بهذا الإقتراح ؟ علماً إن الربح الذي تحققه الشركة عن الإسراع بتنفيذ المشروع لكل يوم هو *30000* ديناراً .

(ans.: a) 4 ; b) 600000 ; c)- 300000)

6- إذا كانت أنشطة مشروع صناعي كالآتي :

Act.	**(a,b,m)**	**Act.**	**(a,b,m)**
1 , 2	5 , 7 , 6	3 , 6	3 , 5 , 4
1 , 4	1 , 5 , 3	4 , 6	4 , 9 , 8
1 , 5	2 , 6 , 4	4 , 7	4 , 8 , 6
2 , 3	4 , 6 , 5	5 , 6	9 , 14 , 10
2 , 5	6 , 10 , 8	5 , 7	4 , 8 , 6
2 , 6	8 , 13 , 9	6 , 7	3 , 5 , 4
3 , 4	5 , 10 , 9		

ما هو إحتمال إنجاز المشروع في مدة *34* إسبوعاً ؟

(ans.: 98.9%)

7- لشبكة الأعمال التالية ، أوجد المدة الزمنية المثلى لتنفيذ المشروع لتحقيق أقل كلفة ممكنة :

Act.	Normal		crash			Act.	normal		crash	
	D_n	C_n	D_c	C_c			D_n	C_n	D_c	C_c
1 , 2	4	100	1	400		3 , 7	14	120	12	140
1 , 4	9	120	6	180		4 , 5	15	500	10	750
1 , 3	8	400	5	640		4 , 7	10	200	6	220
1 , 6	3	20	1	60		5 , 6	11	160	8	240
2 , 3	5	60	3	100		5 , 7	8	70	5	110
2 , 5	9	210	7	270		6 , 7	10	100	2	180
3 , 4	12	400	8	800		∑	---	2460	--	4090

(ans.: 33 ; 3750)

8- أوجد المدة المثلى لإنجاز المشروع التالي لتحقيق أقل كلفة ممكنة :

Act.	normal		crash	
	D_n	C_n	D_c	C_c
1 , 2	5	1000	4	1400
1 , 3	9	2000	7	3000
2 , 3	7	2500	4	3400
2 , 4	9	2800	7	3400
3 , 5	5	2500	2	4600
3 , 6	11	4000	7	7200
4 , 6	6	3000	4	4200
5 , 6	8	800	6	1400
∑	--	18600	--	28600

(ans.: 16 ; 24600)

الفصل السابع

نماذج التتابع [2] Sequencing models

تهدف نماذج التتابع (التعاقب) *Sequencing models* بصورة عامة إلـى إيجـاد التسلـسل الأمثل لتنفيذ المهام المختلفة خلال مرورها بـ ـ ـ *m* مـن المكـائن (إذ إن ...., $m = 1, 2, 3$) بالإضافة إلى الحصول على أقل وقت كلي للتنفيذ وإيجاد الوقت الضائع (العاطل) *idle time* لكـل ماكنة من هذه المكائن .

أما الإفتراضات العامة التي تعتمدها نماذج التتابع هي :

1- لكل مهمة بداية ونهاية .

2- يمكن إنجاز مهمة واحدة فقط على ماكنة معينة في وقت محدد .

3- يجب إكمال المهمة قبل أن يبدأ تنفيذ المهمة التي تليها .

4- وجود ماكنة واحدة فقط من كل نوع .

5- يجب تهيئة المهمة بالكامل عندما يحين وقت بداية تنفيذها .

6- يمكن إهمال الوقت المطلوب لنقل المهمة من ماكنة إلى أخرى .

7- يفترض عدم وجود أي عطل من شأنه أن يعطل او يوقف العمل كالـصيانة أو تغييـر فـي وجبات العمل او عدم توفر أي من عوامل الإنتاج .

لذا فهذه النماذج ستأخذ الحالات التالية :

7-1- إنجاز *n* من المهام على ماكنة واحدة *Processing n jobs through 1 machine* :

يتم في هذه الحالة إنجاز *n* من المهام خلال مرورها بماكنة واحدة فقط ضمن الخوارزمية التالية:

أ- ترتيب المهام حسب الزمن المستغرق تصاعدياً أو تنازلياً .

ب- نجد أقصر وقت تشغيل *Shortest processing time (S.p.t.)* بقـسمة مجمـوع أوقـات إنتهاء المهام للترتيب التصاعدي على عدد المهام .

ج- نجد أطول وقت تشغيل*Largest processing time (L.p.t.)* بقسمة مجموع أوقات إنتهـاء المهام للترتيب التنازلي على عدد المهام .

مثال-1 : ستة مهام تنجز على ماكنة واحدة وأوقاتها المستغرقة (ساعة) لكل مهمة هي :

Jobs	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
Time	*8*	*6*	*2*	*7*	*10*	*4*

أوجد أقل زمن مستغرق لإنجاز جميع المهام وفقاً لمقياسي :

أ) أقصر وقت للتشغيل *Spt* ، ب) أطول وقت للتشغيل *Lpt* .

الحل :

أ)حسب الترتيب التصاعدي :

sequence	*jobs*	*time*	*Processing*	
			Start	*Finish*
1	*C*	*2*	*0*	*2*
2	*F*	*4*	*2*	*6*
3	*B*	*6*	*6*	*12*
4	*D*	*7*	*12*	*19*
5	*A*	*8*	*19*	*27*
6	*E*	*10*	*27*	*37*
$\sum$				*103*

Spt = 103/6 = 17.16 hrs.

ب) حسب الترتيب التنازلي :

Sequence	*jobs*	*time*	*Processing*	
			Start	*Finish*
1	*E*	*10*	*0*	*10*
2	*A*	*8*	*10*	*18*
3	*D*	*7*	*18*	*25*
4	*B*	*6*	*25*	*31*
5	*F*	*4*	*31*	*35*
6	*C*	*2*	*35*	*37*
$\sum$				*156*

Lpt = 156/6 = 26 hrs

<u>ملاحظة</u> : يمكن إيجاد التتابع الأمثل للمهام إذا كانت هناك ترجيحات مختلفة لكل مهمـة وذلـك بإيجـاد الزمن المعدل من خلال قسمة الزمن المستغرق لكل مهمة t_i على الترجيحات المقابلة لتلك المهمة W_i والترتيب التصاعدي للزمن المعدل هو التتابع الأمثل .

<u>مثال-2</u> : أوجد التتابع الأمثل للمهام التالية المنجزة على ماكنة واحدة وأوقات تشغيلها (ساعة) هي :

Jobs	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
Time t_i	*10*	*6*	*5*	*4*	*2*	*8*
Weight W_i	*5*	*10*	*5*	*1*	*3*	*5*

<u>الحل</u> : الزمن المعدل $\bar{t}$ هو :

$\bar{t}$	**Jobs**
10/5 = 2	**A**
6/10 = 0.6	**B**
5/5 = 1	**C**
4/1 = 4	**D**
2/3 = 0.67	**E**
8/5 = 1.6	**F**

وعليه فالتتابع الأمثل هو : *B – E – C – F – A – D* .

2-7- إنجاز *n* من المهام على ماكنتين ***Processing n jobs through 2 machines:***

تأخذ هذه الحالة الخوارزمية التالية :

1- يحدد الزمن الأقل من كل مهمة .

2- يبدأ بتسلسل المهام حسب التسلسل الزمني التصاعدي للماكنة الأولى (أي من الزمن الأقل إلى الزمن الأعلى) وفي حالة تساوي أقل زمنين نختار أولاً الزمن الذي له فرق أكبر مع زمنه الأخر للماكنة الثانية أو نختار الزمن الذي له أقل فرق مع زمنه الأخر للماكنة الأولى .

3- نستمر بتسلسل المهام حسب التسلسل الزمني التنازلي للماكنة الثانية (أي من الزمن الأكبر إلى الزمن الأقل).

4- إستناداً لتسلسل المهام نجد زمن البداية والنهاية لكل مهمة للماكنة الأولى .

5- لنفس تسلسل المهام نجد زمن البداية والنهاية لكل مهمة للماكنة الثانية إذ يعتمد زمن البداية على القيمة الأكبر بين نهاية المهمة السابقة على الماكنة الثانية ونهاية المهمة الحالية على الماكنة الأولى .

6- يحسب أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز جميع المهام على الماكنتين هو زمن إنجاز المهمة الأخيرة على الماكنة الثانية .

7- الزمن الضائع (العاطل) *idle time* للماكنة الأولى هو الفرق بين زمني الإنتهاء على كلتا الماكنتين .أما الزمن الضائع للماكنة الثانية هو مجموع الفروق بين وقت بداية ونهاية كل مهمة على الماكنة الثانية .

مثال-3 : ستة مهام تنجز على ماكنتين *A , B* وتسلسل العمل هو *A* ثم *B* ، الزمن المستغرق (ساعة) لكل مهمة هو :

Jobs	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Mach. A	*3*	*12*	*5*	*2*	*9*	*11*
Mach. B	*8*	*10*	*9*	*6*	*3*	*1*

المطلوب : إيجاد التتابع الأمثل بأقل زمن كلي مستغرق لإنجاز جميع المهام وكذلك إيجاد الوقت الضائع لكلتا الماكنتين .

الحل :

1	2	3	4	5	6
2 3	12	3 5	1 2	9	11
8	4 10	9	6	5 3	6 1

The optimal sequencing is : 4 – 1 – 3 – 2 – 5 – 6

jobs	Mach. A			Mach. B			
	Time	Start	Finish	time	Start	Finish	Idle
4	2	0	2	6	2	8	2
1	3	2	5	8	8	16	0
3	5	5	10	9	16	25	0
2	12	10	22	10	25	35	0
5	9	22	31	3	35	38	0
6	11	31	42	1	42	43	4
$\sum$							6

أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز جميع المهام هو *43* ساعة .

الوقت الضائع للماكنة *A* هو : *43 – 42 = 1 hr.*

الوقت الضائع للماكنة *B* هو : *6 hrs.*

مثال-4 : سبعة مهام تنجز على ماكنتين *A* ثم *B* ، الزمن المستغرق (ساعة) هو :

jobs	1	2	3	4	5	6	7
Mach. A	3	12	15	6	10	11	9
Mach. B	8	10	10	6	12	1	3

المطلوب : حدد التتابع الأمثل لتقليل الزمن الكلي المستغرق لإنجاز المهام مع تحديد الوقت الـضائع لكلا الماكنتين .

الحل :

1	2	3	4	5	6	7
1 3	12	15	2 6	3 10	11	9
8	5 10	4 10	6	12	7 1	6 3

The optimal sequencing is : 1 – 4 – 5 – 3 – 2 – 7 – 6

jobs	Mach. A			Mach. B			
	time	Start	finish	time	Start	finish	idle
1	3	0	3	8	3	11	3
4	6	3	9	6	11	17	0
5	10	9	19	12	19	31	2
3	15	19	34	10	34	44	3
2	12	34	46	10	46	56	2
7	9	46	55	3	56	59	0
6	11	55	66	1	66	67	7
$\sum$							17

أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز جميع المهام هو *67* ساعة .

الوقت الضائع للماكنة *A* هو : *67 – 66 = 1 hr.* .

الوقت الضائع للماكنة *B* هو : *17 hrs* .

3-7- إنجاز *n* من المهام على ثلاثة مكائن *Processing n jobs through 3 machines* :

في هذه الحالة يجب تحقق أحد الشرطين على الأقل :

أ- أقل وقت على الماكنة الأولى ≤ أكبر وقت على الماكنة الثانية .

أو ب- أقل وقت على الماكنة الثالثة ≤ أكبر وقت على الماكنة الثانية .

أما خوارزمية الحل فتكون :

1. نقوم بتحويل الثلاثة مكائن إلى ماكنتين وهميتين *G , H* أوقات إشتغالهما تكون :

$$H_i = B_i + C_i \quad , \quad G_i = A_i + B_i$$

2. نجد التتابع الأمثل للماكنتين *H , G* .
3. نعتمد تسلسل المهام حسب التتابع الأمثل ونجد وقت بداية ونهاية كل عملية لكل ماكنة من المكائن الأصلية وحسب الطريقة السابقة .
4. إن الزمن الضائع لكلا الماكنتين الأولى والثالثة تحتسب بنفس الطريقة السابقة ، ولكن الإختلاف هو في حساب الوقت الضائع على الماكنة *B* ، إذ تحتسب من العلاقة :

زمن إنتهاء المهمة الأخيرة (حسب التسلسل الأمثل للمهام) على الماكنة الثالثة – زمن إنتهاء المهمة الأخيرة على الماكنة الثانية + الوقت الضائع المحتسب للماكنة الثانية .

مثال-5 : ستة مهام تنجز على ثلاثة مكائن *C , B , A* ، حسب التسلسل *ABC* . أوجد التتابع الأمثل لإنجاز المهام بأقل وقت كلي مستغرق والوقت الضائع لكل ماكنة ، إذا علمت إن الزمن المستغرق لكل عملية على كل ماكنة (ساعة) هو :

Jobs	1	2	3	4	5	6
Mach. A	3	12	5	2	9	11
Mach. B	8	6	4	6	3	1
Mach. C	13	14	9	12	8	13

الحل : تحقق الشرط الثاني : أقل وقت على الماكنة الثالثة ≤ اكبر وقت على الماكنة الثانية .

لذا يمكننا حل النموذج بإستخدام الخوارزمية أعلاه :

بإفتراض إن : $H_i = B_i + C_i \quad , \quad G_i = A_i + B_i$

jobs	1	2	3	4	5	6
Mach. G	11 3	18 5	9 2	8 1	12	12 4
Mach. H	21	20	13	18	11 6	14

The optimal sequencing is : 4 – 3 – 1 – 6 – 2 – 5

jobs	Mach. A			Mach. B				Mach. C			
	t.	S.	F.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.
4	2	0	2	6	2	8	2	12	8	20	8
3	5	2	7	4	8	12	0	9	20	29	0
1	3	7	10	8	12	20	0	13	29	42	0
6	11	10	21	1	21	22	1	13	42	55	0
2	12	21	33	6	33	39	11	14	55	69	0
5	9	33	42	3	42	45	3	8	69	77	0
$\sum$							17				8

أقل زمن ممكن لإنجاز جميع المهام هو : 77 hrs. .

الوقت الضائع على الماكنة *A* هو : $77 - 42 = 35$ hrs. .

الوقت الضائع على الماكنة *B* هو : $77 - 45 + 17 = 49$ hrs .

الوقت الضائع على الماكنة *C* هو : 8 hrs .

4-7 - إنجاز *n* من المهام على *m* مكائن Processing n jobs through m machines :

يعالج هذا النموذج حالات تتضمن إنجاز *n* من المهام على *m* من المكائن بحيث يكون $m \geq 4$ وهو إمتداد للحالة السابقة ، لذا يجب أن يتحقق أحد الشرطين أو كليهما :

أ- أقل زمن على الماكنة الأولى $\geq$ أكبر زمن على المكائن الوسطية .

أو ب- أقل زمن على الماكنة الأخيرة $\geq$ أكبر زمن على المكائن الوسطية .

تطبق نفس الخوارزمية السابقة (عندما يكون لدينا ثلاثة مكائن) وذلك بتحويل *m* من المكائن إلى ماكنتين وهميتين *H , G* بحيث أوقاتهما تكون :

$$G_i = M_1 + M_2 + \ldots .. + M_{m-1} \quad , \quad H_i = M_2 + M_3 + \ldots .. + M_m$$

مثال-6 : أربعة مهام تنجز على خمسة مكائن حسب التسلسل *ABCDE* ، أوقاتها (ساعة) هي :

jobs	machines				
	A	B	C	D	E
1	7	5	2	3	9
2	6	6	4	5	10
3	5	4	5	6	8
4	8	3	3	2	6

أوجد أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز المهام الأربعة وكذلك الوقت الضائع لكل ماكنة .

الحل : تحقق الشرط الثاني لأن :

$$Min. \{ E \} = 6 \geq max. \{ B, C, D \} = 6$$

لذا تحول المكائن الخمسة إلى ماكنتين *H , G* :

$$G_i = A_i + B_i + C_i + D_i \quad \text{and} \quad H_i = B_i + C_i + D_i + E_i$$

	G machines	H
1	17 1	19

2	***21*** *3*	*25*
3	***20*** *2*	*23*
4	*16*	***14*** *4*

The optimal sequencing is : 1 – 3 – 2 – 4

Job	Mach. A			Mach. B				Mach. C				Mach. D				Mach. E			
	t.	S.	F.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.
1	7	0	7	5	7	12	7	2	12	14	12	3	14	17	14	9	17	26	17
3	5	7	12	4	12	16	0	5	16	21	2	6	21	27	4	8	27	35	1
2	6	12	18	6	18	24	2	4	24	28	3	5	28	33	1	10	35	45	0
4	8	18	26	3	26	29	2	3	29	32	1	2	33	35	0	6	45	51	0
∑							11				18				19				18

أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز المهام الربعة هو : *51 hrs.* .

الوقت الضائع للماكنة *A* هو : *51 – 26 = 15 hrs.* .

الوقت الضائع للماكنة *B* هو : *51 – 29 + 11 = 33 hrs.* .

الوقت الضائع للماكنة *C* هو : *51 – 32 + 18 = 37 hrs.* .

الوقت الضائع للماكنة *D* هو : *51 – 35 + 19 = 35 hrs.* .

الوقت الضائع للماكنة *E* هو : *18 hrs.* .

<u>ملاحظة</u> : في حالة مجموع أوقات المكائن الوسطية (أي ماعدا الأولى والأخيرة) لكل مهمة يكون متساوي ، لذا لا نحتاج إلى إستخدام ماكنتين وهميتين ويمكن إعتبار المسألة مكونة من ماكنتين أصليتين هما الماكنة الأولى والماكنة الأخيرة ، وكما موضحة في المثال التالي :

<u>مثال-7</u> : اربعة مهام تنجز على اربعة مكائن حسب الترتيب *ABCD* ، أوقات التشغيل (ساعة) هي:

job	machines			
	A	B	C	D
1	58	14	14	48
2	30	10	18	32
3	28	12	16	44
4	64	16	12	42

أوجد أقل زمن كلي مستغرق لإنجاز المهام الأربعة والوقت الضائع لكل ماكنة .

<u>الحل</u> : تحقق الشرطان لأن :

$$Min.\{A\} = 28 \geq max\{B, C\} = 18 \quad and \quad min.\{D\} = 32 \geq max\{B, C\} = 18$$

وكذلك فإن :

$$B_1 + C_1 = B_2 + C_2 = B_3 + C_3 = B_4 + C_4 = 28$$

لذا نأخذ الماكنتين الأولى *A* والأخيرة *D* فقط :

job	machines	
	A	D
1	58	48 3
2	30 2	32
3	28 1	44
4	64	42 4

The optimal sequencing is : 3 – 2 – 1 – 4

job	Mach. A			Mach. B				Mach. C				Mach. D			
	t.	S.	F.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.	t.	S.	F.	I.
3	28	0	28	12	28	40	28	16	40	56	40	44	56	100	56
2	30	28	58	10	58	68	18	18	68	86	12	32	100	132	0
1	58	58	116	14	116	130	48	14	130	144	144	48	144	192	12
4	64	116	180	16	180	196	50	12	196	208	52	42	208	250	16
$\sum$							144				148				84

الزمن الكلي المستغرق لإنجاز المهام الأربعة هو : .250 hrs .

الوقت الضائع للماكنة A هو : .250 – 180 = 70 hrs .

الوقت الضائع للماكنة B هو : .250 – 196 +144 = 198 hrs .

الوقت الضائع للماكنة C هو : .250 – 208 + 148 = 190 hrs .

الوقت الضائع للماكنة D هو : .84 hrs .

5-7 - إنجاز n من المهام على ماكنتين في ورشة ذات مسالك تكنولوجية (عشوائية الإنسياب) :

إذ يتم تجزئة هذه المهام إلى أربعة مجاميع :

- **المجموعة الأولى تنجز على الماكنة A فقط .**
- **المجموعة الثانية تنجز على الماكنة B فقط .**
- **المجموعة الثالثة تنجز على كلا الماكنتين حسب التسلسل AB .**
- **المجموعة الرابعة تنجز على كلا الماكنتين حسب التسلسل BA .**

ومنها نجد التتابع الأمثل لكل مجموعة ، وكما موضحة في المثال الآتي :

مثال-8 : عشرة مهام تنجز على ماكنتين في ورشة عمل عشوائية الإنسياب وحسب البيانات أدناه التي تمثل وقت التشغيل لكل عمل على الماكنة :

jobs		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operating order	1	A	A	A	A	B	B	B	B	B	A
	2	B	---	---	B	A	---	A	---	A	B
Operating Time	1	4	3	4	5	1	1	7	3	6	2
	2	6	---	---	2	2	---	8	---	7	4

المطلوب : إيجاد التتابع الأمثل والوقت المستغرق والوقت الضائع لكل ماكنة .

<u>الحل</u> : المهام التي تنجز على الماكنة *A* فقط هي *{ 3 , 2}* ، بالإستناد إلى زمن التشغيل الأقل يكـون التتابع الأمثل هو *2* ثم *3* ، المهام التي تنجز على الماكنة *B* فقـط هـي *{ 8 , 6 }* والتتـابع الأمثل هو *6* ثم *8* ، المهام التي تنجز على الماكنة *A* ثم الماكنة *B* هي *{ 10 , 4 , 1 }* ويكون التتابع الأمثل هو *10* ثم *1* ثم *4* إستناداً إلى :

jobs	*A*	*B*
1	*2* <u>*4*</u>	*6*
4	*5*	*3* <u>*2*</u>
10	*1* <u>*2*</u>	*4*

أما المهام التي تنجز على الماكنة *B* ثم الماكنة *A* هي *{ 9 , 7 , 5 }* ويكون التتابع الأمثـل هو *5* ثم *9* ثم *7* ، إستناداً إلى :

jobs	*B*	*A*
5	<u>*1*</u> *1*	*2*
7	<u>*7*</u> *3*	*8*
9	<u>*6*</u> *2*	*7*

وعليه التتابع الكلي المنجز على الماكنة *A* حسب الترتيب *AB* ثم *A* ثم *BA* سيكون :

10 – 1 – 4 – 2 – 3 – 5 – 9 – 7

أما التتابع الكلي المنجز على الماكنة *B* حسب الترتيب *BA* ثم *B* ثم *AB* سيكون :

5 – 9 – 7 – 6 – 8 – 10 – 1 – 4

Mach. A			
job	*t.*	*S.*	*F.*
10	*2*	*0*	*2*
1	*4*	*2*	*6*
4	*5*	*6*	*11*
2	*3*	*11*	*14*
3	*4*	*14*	*18*
5	*2*	*18*	*20*
9	*7*	*20*	*27*
7	*8*	*27*	*35*

Mach. B			
job	*t.*	*S.*	*F.*
5	*1*	*0*	*1*
9	*6*	*1*	*7*
7	*7*	*7*	*14*
6	*1*	*14*	*15*
8	*3*	*15*	*18*
10	*4*	*18*	*22*
1	*6*	*22*	*28*
4	*2*	*28*	*30*

job	*Idle time* وقت الإنتظار قبل التنفيذ
1	*2 + 22 – 6 = 18*
2	*11*
3	*14*
4	*28 – 11 + 6 = 23*
5	*18 – 1 = 17*
6	*14*
7	*27 – 14 + 7 = 20*
8	*15*
9	*20 – 7 + 1 = 14*
10	*18 – 2 = 16*

الوقت الضائع للماكنة *A* هو صفر .

أما الوقت الضائع للماكنة *B* هو : *35 – 30 = 5* .

تمارين الفصل السابع

1- خمسة مهام تنجز على ماكنة واحدة واوقاتها المستغرقة (دقيقة) لكل مهمة هي :

job	A	B	C	D	E
time	4	3	5	2	6

أوجد أقصر وقت للتشغيل *Spt* وأطول وقت للتشغيل *Lpt* .   *(ans. : 10 , 14)*

2- خمسة مهام تنجز على ماكنتين *A* ثم *B* ، الزمن المستغرق (ساعة) هو :

Job	1	2	3	4	5
Mach. A	5	1	9	3	10
Mach. B	2	6	7	8	4

حدد التتابع الأمثل لتقليل الزمن الكلي لإنجاز المهام مع تحديد الوقت الضائع لكلا الماكنتين .

(ans.: 2-4-3-5-1 , 2 , 3)

3- خمسة مهام تنجز على ماكنتين *A* ثم *B* ، الزمن المستغرق (ساعة) هو :

Job	1	2	3	4	5
Mach. A	4	5	2	6	1
Mach. B	3	2	5	4	2

حدد الوقت الضائع لكلا الماكنتين للتتابع الأمثل في تقليل الزمن الكلي للإنجاز .

(ans.: 5-3-4-1-2 , 2 , 4)

4- خمسة مهام تنجز على ثلاثة مكائن *A* ثم *B* ثم *C* ، الزمن المستغرق (ساعة) للإشتغال هو:

Job	1	2	3	4	5
Mach. A	3	8	7	5	4
Mach. B	4	5	1	2	3
Mach. C	7	9	5	6	10

أوجد التتابع الأمثل ثم الوقت الضائع لكل ماكنة .   *(ans.: 4-1-5-2-3 ; 17 , 29 , 7)*

5- ثمانية مهام تنجز على ثلاثة مكائن *A* ثم *B* ثم *C* ، الزمن المستغرق (دقيقة) للإشتغال هو:

Job	1	2	3	4	5	6	7	8
Mach. A	5	6	2	3	4	9	15	11
Mach. B	4	6	7	4	5	3	6	2
Mach. C	8	10	7	8	11	8	9	13

أوجد التتابع الأمثل ثم الوقت الضائع لكل ماكنة .   *(ans.: 4-1-3-5-2-8-7-6 ; 26 , 44 , 7)*

6- خمسة مهام تنجز على ثلاثة مكائن *A* ثم *B* ثم *C* ، الزمن المستغرق (ساعة) للإشتغال هو:

Job	1	2	3	4	5
Mach. A	5	8	6	5	7
Mach. B	3	5	2	4	3
Mach. C	4	5	3	2	1

أوجد التتابع الأمثل والوقت الكلي المستغرق لإنجازهذا التتابع ثم أوجد الوقت الضائع لكل ماكنة.

(ans.: 2-1-4-3-5 ; 35 ; 4 , 18 , 20)

7- ورشة مؤلفة من ثلاث مكائن ، تسلسل العمل عليها هو *ABC* . تنجـز خمـسة مهـام وفقـاً للبيانات التالية :

Job	1	2	3	4	5
Mach. A	8	9	5	6	15
Mach. B	4	5	1	2	3
Mach. C	3	8	7	7	7

المطلوب : أ) إيجاد التتابع الأمثل للمهام والوقت الكلي المستغرق لإنجاز جميع المهام .

ب) الوقت الضائع لكل ماكنة .

(ans.: a) 3-4-2-5-1 ; 50 , b) 7 , 35 , 18)

8- ستة مهام تنجز على خمسة مكائن وحسب التسلسل *ABCDE* أوقاتها (ساعة) هي :

job	machines				
	A	B	C	D	E
1	13	9	5	8	19
2	12	11	6	2	8
3	15	4	10	2	16
4	17	9	12	11	10
5	20	10	4	7	17
6	16	6	5	9	13

أوجد أقل زمن كلي لإنجاز المهام والوقت الضائع لكل ماكنة. *(ans.:125,32,76 ,83,86,42)*

9- إثناعشر مهمة تنجز على ماكنتين في ورشة عمل عشوائية الإنسياب والجدول التالي يبـين وقت التشغيل لكل مهمة على الماكنة :

Job		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No. Process	1	A	A	B	A	B	B	B	B	A	A	A	A
	2	-	B	-	B	A	A	-	-	B	-	B	-
Operating time	1	15	3	12	4	4	8	4	8	2	8	5	7
	2	-	7	-	3	5	6	-	-	7	-	2	-

أوجد التتابع الأمثل والوقت المستغرق والوقت الضائع لكل ماكنة .

(ans.: mach.A(9-2-4-11-12-10-1-5-6);mach.B(5-6-7-8-3-9-2-4-11);55,0,0)

الفصل الثامن

نماذج الصيانة والإستبدال

Replacement and Maintenance models [2]

تتعرض جميع الأجهزة والمعدات والمكائن للعطل والتوقف عن العمل أو هبوط كفاءتها على إمتـداد عمرها الزمني ، الأمر الذي يتطلب تقليص الوقت الذي تكون فيه هذه الأجهزة خارج الخدمة إلى أقل ما يمكن ، وكذلك تقليص الكلفة النهائية إلى أقل ما يمكن مما يستدعي الأمر إلى تحديد الوقـت المناسـب لفحص الأجهزة وتدقيقها بعناية كافية وإحتمال تجديدها كمقياس وقائي وإصلاح أو إسـتبدال الأجهـزة العاطلة .

8-1- نماذج الإستبدال *Replacement models* : تلجأ جميع الشركات والمعامل إلى إستبدال وحدات معينة (مكائن أومعدات) عندما تواجه إحدى المشكلتين التاليتين أو كليهما معاً :

- الوحدات الموجودة لديها لاتؤدي وظيفتها بكفاءة .
- وجود وحدات جديدة تقوم بنفس الوظيفة ولكن في وقت أقل أو بكلفة أقل أو بمستوى جودة أعلى.

ويتم الإستبدال عند وجود واحد أو أكثر من المبررات الفنية أو الإقتصادية التي يستوجب بسببها الإستبدال :

المبررات الفنية – تلك العيوب التي تسببها الوحدة الحالية أو التعديلات الفنية على نظام الإنتـاج أو بسبب الخطورة التي تسببها الوحدة الحالية إثناء التشغيل او ظهور وحـدة جديـدة تؤدي اعمال إضافية بجانب العمل الأصلي لها أو ماتمتلكه من مزايا أخرى .

المبررات الإقتصادية – كتكاليف الصيانة والتشغيل ونسبة التالف وعدد الوحـدات المنتجـة وعـدد العمال اللازمين والجهد المبذول عند الإستخدام ... الخ .

<u>النموذج الأول</u> : يلاحظ في هذا النموذج إن كلف الصيانة والتصليح تزداد بمرور الزمن . ففي هـذا النموذج يستخدم معدل الكلفة الكلية للماكنة كمعيار لإتخاذ القرار بخصوص الفترة التي يتم فيها الإستبدال .

بإفتراض إن: C تمثل كلفة شراء المعدات الجديدة .

S تمثل قيمة بيع المعدات القديمة *Resale Value* .

n تمثل عدد الفترات الزمنية لخدمة المعدات .

TC تمثل مجموع الكلف الكلية .

$T = \frac{TC}{n}$ تمثل معدل الكلفة الكلية .

$f(t)$ تمثل كلفة الصيانة *maintenance* في الزمن t .

لذا فإن :

$$TC = C + \int_0^n f(t)dt - S$$

$$T=\frac{TC}{n}=\frac{1}{n}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)$$

لإيجاد قيمة الزمن n الذي يعطي أقل قيمة إلى T سيكون :

$$\frac{\partial T}{\partial n}=-\frac{1}{n^2}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)+\frac{1}{n}\frac{\partial}{\partial n}\int_0^n f(t)dt$$

لاحظ إن :

$$\frac{\partial}{\partial n}\int_0^n f(t)dt=\frac{\partial}{\partial n}\left[F(t)\right]_0^n \quad where \quad \int f(t)dt=F(t)$$

$$=\frac{\partial}{\partial n}\left[F(n)-F(0)\right] \quad since \quad F(0)=0$$

$$=\frac{\partial}{\partial n}F(n)=f(n)$$

لذا فإن :

$$\frac{\partial T}{\partial n}=-\frac{1}{n^2}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)+\frac{1}{n}f(n)=0$$

$$f(n)=\frac{1}{n}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial n^2}=\frac{2}{n^3}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)+\frac{1}{n}f'(n)-\frac{2}{n^2}f(n)>0\Rightarrow \min.$$

أي إنه سيكون معدل الكلفة الكلية أقل ما يمكن عندما :

$g(n)=\frac{1}{n}\left(C-S+\int_0^n f(t)dt\right)$ إذا كان الزمن t متغير مستمر *Continuous* .

$g(n)=\frac{1}{n}\left(C-S+\sum_{t=0}^{n} f(t)\right)$ إذا كان الزمن t متغير متقطع *Discrete* .

مثال-1 : إذا كانت كلفة الصيانة وقيمة إعادة بيع ماكنة خلال *8* سنوات موضحة في الجدول ادناه:

Year (t)	1	2	3	4	5	6	7	8
Maintenance f(t)	900	1200	1600	2100	2800	3700	4700	5900
Resale value (S)	4000	2000	1200	600	500	400	400	400

في أي سنة يكون من المفضل إستبدال الماكنة ، علماً بأن سعر شراء الماكنة الجديدة هو *7000 $* .

الحل : $C = 7000$

N	S	C - S	f(t)	∑f(t)	g(n)
1	4000	3000	900	900	3900
2	2000	5000	1200	2100	3550
3	1200	5800	1600	3700	3166.7
4	600	6400	2100	5800	3050
5	500	6500	2800	8600	3020 →mini.
6	400	6600	3700	12300	3150
7	400	6600	4700	17000	3371.4
8	400	6600	5900	22900	3687.5

لذا فمن الأفضل إستبدال الماكنة في نهاية السنة الخامسة .

مثال-2 : كلفة شراء ماكنة جديدة هو *9000* دينار وكلفة التشغيل في السنة الأولى هو *200* دينـار وتزداد الكلفة بمقدار *2000* دينار سنوياً ، حدد أفضل عمر للماكنة لإسـتبدالها . بـإفتراض إن الماكنة ليس لها سعر بيع عندما تستبدل .

الحل :

N	C - S	f(t)	∑f(t)	g(n)
1	9000	200	200	9200
2	9000	2200	2400	5700
3	9000	4200	6600	5200 → mini.
4	9000	6200	12800	5450
5	9000	8200	21000	6100

لذا أفضل إستبدال للماكنة يكون في نهاية السنة الثالثة .

النموذج الثاني : يتم في هذا النموذج إستبدال الوحدات او الأجزاء التي تعطل بصورة مفاجئـة إذ يـتم حساب معدل كلفة الإستبدال الفردي *Cost of individual replacement* ومعدل كلفة الإسـتبدال الجماعي *Cost of grouped replacement* لكل فترة زمنية ويتم تحديد سياسة الإستبدال المثلى من خلال إختيار أقل معدل كلفة كلية وكما يلي:

- عدد الوحدات المستبدلة خلال الفترة (*i*) :

$$N_i = \sum_{j=1}^{i} N_{j-1} P_{i-j+1} = N_0 P_i + N_1 P_{i-1} + N_2 P_{i-2} + ... + N_{i-1} P_1$$

- معدل عمر الوحدة الإنتاجية *Average life of items (AL)* :

$$AL = \sum_{i=1}^{n} i P_i$$

- معدل العطل في الفترة الزمنية *n* *Average failure per period (AF)* :

$$AF = \frac{N_0}{AL}$$

- كلفة الإستبدال الفردي لكل وحدة إنتاجية *Cost of individual replacement (CIR)* :

$$CIR = C_1 * AF$$

- معدل كلفة الإستبدال الجماعي لكل فترة *Average cost group replacement per period (i)*:

$$ACGR_i = \frac{C_2 * N_0 + C_1 * \sum_{j=1}^{i} N_j}{i}$$

وعليه تقارن كلفة الإستبدال الفردي *CIR* مع معدل كلفة الإستبدال الجماعي *ACGR* فالأقل يحدد نوع الإستبدال (فردي أو جماعي) ومن قيم $ACGR_i$ تتحدد الفترة المثلى *i* للإستبدال الجماعي .

علماً بأن : P_i تمثل إحتمال عطل الوحدات الجديدة خلال الفترة الزمنية *i* .

C_1 تمثل كلفة الإستبدال الفردي لكل وحدة .

C_2 تمثل كلفة الإستبدال الجماعي لكل وحدة .

N_0 تمثل عدد الوحدات الإنتاجية الكلية المستخدمة في بداية الفترة .

$i = 1 , 2 , 3 , ... , n$

مثال-3 : إحتمال العطل لوحدات إنتاجية معينة قبل إشتغالها للفترة الزمنية n موضحة في الجدول أدناه :

End of week (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prob.Of failure (P_i)	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.15	0.20	0.15	0.11	0.08	0.05

إذا علمت إن كلفة الإستبدال الفردية هي *1.25* ديناراً وكلفة الإستبدال الجماعية *0.5* ديناراً لكل وحدة إنتاجية . حدد سياسة الإستبدال المثلى ، علماً إن عدد الوحدات المستخدمة هي *1000* وحدة إنتاجية .

الحل :

$N_0 = 1000$

$N_1 = N_0 * P_1 = 1000 * 0.01 = 10$

$N_2 = N_0*P_2 + N_1*P_1 = 1000*0.03 + 10*0.01 = 30.1$

$N_3 = N_0*P_3 + N_1*P_2 + N_2*P_1 = 1000*0.05+10*0.03+30.1*0.01=50.6$

$N_4 = N_0*P_4+N_1*P_3+N_2*P_2+N_3*P_1$
$=1000*0.07+10*0.05+30.1*0.03+50.6*0.01=71.9$

$N_5 = N_0*P_5+N_1*P_4+N_2*P_3+N_3*P_2+N_4*P_1$
$=1000*0.10+10*0.07+30.1*0.05+50.6*0.03+71.9*0.01=104.4$

$N_6 = N_0*P_6+N_1*P_5+N_2*P_4+N_3*P_3+N_4*P_2+N_5*P_1$
$=1000*0.15+10*0.10+30.1*0.07+50.6*0.05+71.9*0.03+104.4*0.01=158.8$

$N_7 = N_0*P_7+N_1*P_6+N_2*P_5+N_3*P_4+N_4*P_3+N_5*P_2+N_6*P_1$
$=1000*0.2+10*0.15+30.1*0.1+50.6*0.07+71.9*0.05+104.4*0.03+158.8*0.01$
$=216.4$

$N_8 = N_0*P_8+N_1*P_7+N_2*P_6+N_3*P_5+N_4*P_4+N_5*P_3+N_6*P_2+N_7*P_1$
$=1000*0.15+10*0.2+30.1*0.15+50.6*0.1+71.9*0.07+104.4*0.05+158.8*0.03$
$+216.4*0.01 = 178.8$

$N_9 = N_0*P_9+N_1*P_8+N_2*P_7+N_3*P_6+N_4*P_5+N_5*P_4+N_6*P_3+N_7*P_2+N_8*P_1$
$=1000*0.11+10*0.15+30.1*0.2+50.6*0.15+71.9*0.1+104.4*0.07+158.8*0.05$
$+216.4*0.03+178.8*0.01=155.8$

$N_{10} = N_0*P_{10}+N_1*P_9+N_2*P_8+N_3*P_7+N_4*P_6+N_5*P_5+N_6*P_4+N_7*P_3+N_8*P_2+N_9*P_1$
$=1000*0.08+10*0.11+30.1*0.15+50.6*0.2+71.9*0.15+104.4*0.1+158.8$
$*0.07+216.4*0.05+178.8*0.03+155.8*0.01=145.8$

$N_{11} = N_0*P_{11}+N_1*P_{10}+N_2*P_9+N_3*P_8+N_4*P_7+N_5*P_6+N_6*P_5+N_7*P_4+N_8*P_3$
$+N_9*P_2+N_{10}*P_1$
$= 1000*0.05+10*0.08+30.1*0.11+50.6*0.15+71.9*0.2+104.4*0.15+158.8$
$*0.1+216.4*0.07+178.8*0.05+155.8*0.03+265.8*0.01=139.1$

$$AL = \sum_{i=1}^{11} i * P_i = 1*0.01 + 2*0.03 + 3*0.05 + 4*0.07 + 5*0.1 + 6*0.15 + 7*0.2 + 8*0.15$$
$$+ 9*0.11 + 10*0.08 + 11*0.05 = 6.84$$

$$AF = \frac{N_0}{AL} = \frac{1000}{6.84} = 146.2 \quad and \quad CIR = C_1 * AF = 1.25 * 146.2 = 182.75$$

End of week (i)	$ACGR_i = \frac{C_2 * N_0 + C_1 * \sum_{j=1}^{i} N_j}{i}$
1	$\frac{1000 * 0.5 + 10 * 1.25}{1} = 512.5$
2	$\frac{1000 * 0.5 + (10 + 30.1) * 1.25}{2} = 275.06$
3	$\frac{1000 * 0.5 + (40.1 + 50.6) * 1.25}{3} = 204.46$
4	$\frac{1000 * 0.5 + (90.7 + 71.9) * 1.25}{4} = 175.81$
5	$\frac{1000 * 0.5 + (162.6 + 104.4) * 1.25}{5} = 166.75 \Rightarrow \min i.$
6	$\frac{1000 * 0.5 + (267 + 158.8) * 1.25}{6} = 172.04$
7	$\frac{1000 * 0.5 + (425.8 + 216.4) * 1.25}{7} = 186.11$
8	$\frac{1000 * 0.5 + (642.2 + 178.8) * 1.25}{8} = 190.78$
9	$\frac{1000 * 0.5 + (821 + 155.8) * 1.25}{9} = 191.22$
10	$\frac{1000 * 0.5 + (976.8 + 145.8) * 1.25}{10} = 190.33$
11	$\frac{1000 * 0.5 + (1122.6 + 139.1) * 1.25}{11} = 188.83$

بسبب أقل كلفة للإستبدال الجماعي $(ACGR_5=166.76)$ > كلفة الإستبدال الفردي $(CIR = 182.75)$.
لذا فمن المفضل إجراء الإستبدال الجماعي في نهاية الإسبوع الخامس.

8-2- نماذج الصيانة Maintenance Models : لاحظنا في النماذج السابقة إن كافة القرارات المتخذة كانت بإستبدال المعدات الإنتاجية لتحقيق أعلى فائدة (أقل كلفة) ممكنة ، ولكن من الممكن إصلاح هذه المعدات بدلاً من إستبدالها أي فحصها بعناية وبشكل دوري قبل أية مرحلة حاسمة من تشغيلها .

تستخدم في هذه النماذج التكاليف المتوقعة أو الوقت المتوقع للعطل لمقارنة السياسات المختلفة لصيانة المعدات بشرط أن تكون إحتمالية العطل للمعدات خلال عمرها معلومة .

معدل كلفة الصيانة (التصليح) *Cost of maintenance (CM)* :

$$CM = \frac{Maintenance\ Cost\ \ per\ \ unit\ \ (MC)}{Expected\ \ life\ \ per\ \ unit\ \ (EL)} * N_0$$

مثال-4 : تبلغ كلفة إستبدال أي من المفاتيح في لوحة المفـاتيح *Keyboard* ذات مواصـفات عاليـة الخاصة بالمحطة الطرفية للحاسبة الأليكترونية *3* دولارات والتوزيع الإحتمالي لعمر هذه المفاتيح :

End of year (i)	1	2	3	4
Prob. Of failure (P_i)	0.20	0.25	0.42	0.13

إذا علمت إن لوحة المفاتيح تحتوي على *48* مفتاحاً وكلفة الإستبدال الجماعي تـساوي *45* دولاراً ، وإنه بالإمكان إصلاح المفتاح بدلاً من إبداله بمفتاح جديد ، وإن إصلاحه يكلف *4* دولارات ويخدم عمراً متوقعاً قدره *3.1* سنة . أي من الحالات الثلاثة الممكنة (الإستبدال الفردي أو الإسـتبدال الجمـاعي أو الصيانة (التصليح)) أجدى من حيث الكلفة والزمن المتوقع ؟

الحل :

أ- الإستبدال الفردي :

$$AL = \sum_{i=1}^{4} i * P_i = 1*0.20 + 2*0.25 + 3*0.42 + 4*0.13 = 2.48$$

$$AF = \frac{N_0}{AL} = \frac{48}{2.48} = 19.355 \quad and \quad CIR = C_1 * AF = 3*19.355 = 58.065$$

ب- الإستبدال الجماعي :

$N_0 = 48$

$N_1 = N_0*P_1 = 48*0.20 = 9.6$

$N_2 = N_0*P_2+N_1*P_1 = 48*0.25+9.6*0.20 = 13.92$

$N_3 = N_0*P_3+N_1*P_2+N_2*P_1 = 48*0.42+9.6*0.25+13.92*0.2 = 25.344$

$N_4 = N_0*P_4+N_1*P_3+N_2*P_2+N_3*P_1$

$= 48*0.13+9.6*0.42+13.92*0.25+25.344*0.2 = 18.821$

End of year (i)	$ACGR_i = \dfrac{C_2 * N_0 + C_1 * \sum_{j=1}^{i} N_j}{i}$
1	$\dfrac{45 + 9.6*3}{1} = 73.8$
2	$\dfrac{45 + (9.6 + 13.92)*3}{2} = 57.78 \Rightarrow min\, i.$
3	$\dfrac{45 + (23.52 + 25.344)*3}{3} = 63.864$
4	$\dfrac{45 + (48.864 + 18.821)*3}{4} = 62.014$

ج- صيانة (تصليح) المفتاح :

$$CM = \frac{MC}{EL} * N_0 = \frac{4}{3.1} * 48 = 61.92$$

ومما تقدم أعلاه نلاحظ إن :

- **كلفة الإستبدال الفردي للمفاتيح سنوياً = *58.065***
- **أقل كلفة إستبدال جماعي سنوية للمفاتيح في نهاية السنة الثانية = *57.78***
- **كلفة تصليح المفاتيح سنوياً = *61.92***

لذا فمن المفضل إجراء الإستبدال الجماعي للمفاتيح في نهاية السنة الثانية .

تمارين الفصل الثامن

1- كانت تكاليف إستبدال وصيانة نوع معين من أنواع الشاحنات كما يلي :

Year	1	2	3	4	5	6
Maintenance cost / year	200	450	680	850	1300	1600
Resale value	10000	8000	7000	5000	2000	1000

إذا كانت كلفة شراء شاحنة جديدة هو *15000* ، حدد أمثل مدة لازمة لحيازة الشاحنة.

(ans.: 4)

2- ترغب إحدى الشركات بتحديد الوقت اللازم لإستبدال إحدى مكائن معملها الـذي كانـت كلفـة شرائها *12200* ديناراً وسعر بيعها في أي سنة هو *200* ديناراً وتكاليف الصيانة مـن خـلال الخبرة المتراكمة للشركة هي :

year	1	2	3	4	5	6	7	8
Maintenance Cost	200	500	800	1200	1800	2500	3200	4000

بإفتراض إنه بعد *5* سنوات على إشتغال المعمل توفر في السوق معمل آخـر بكلفـة *7500* ديناراً وذو كلفة صيانة إبتدائية *400* دينار تتزايد سنوياً بمقدار *500* دينار وقيمة بيعهـا هـو صفر حسب تقرير مهندس الشركة ، هل تنصح الشركة بإستبدال المعمل ؟

(ans.: لايفضل الإستبدال)

3- قطعتان من المعدات نوعهما *B , A* تكاف كلٍ منهما *10000* دينار وقيمة بيعها وكاف تشغيلها (ألف دينار) خلال خمسة سنوات موضحة في الجدول أدناه :

Year		1	2	3	4	5
A	Resale	9	9	8	7	5
	Operating cost	1	1	2	3	3
B	Resale	8	7	7	6	6
	Operating cost	1	2	2	3	4

المطلوب :

أ- إحسب الزمن الأمثل لإستبدال كلٍ من النوعين *B , A* بالإستناد إلى معدل الكلفة السنوية .

ب- إستناداً للفرع (أ) أيهما أفضل كقيمة .

ج- إذا كانت سياسة الشركة هي الإستبدال في نهاية كل سنة فأيهما توصي بالإقتناء ؟

(ans.: a) 2 , 3 ; b) A ; c) A)

4- أدناه معدل عطل نوع معين من مصابيح الإنارة المشاهدة خلال ستة أسابيع :

End of week	1	2	3	4	5	6
Prob. Of failure	0.09	0.25	0.49	0.85	0.97	1

إذا كان العدد الكلي للمصابيح المستخدمة هي *1000* ، إذا عطل المصباح خلال الخدمة فكلفة إستبداله *3* دنانير ولكن إذا تم إستبدال جميع المصابيح فكلفة الإستبدال ستكون *0.7* دينار لكل مصباح . ما هو أفضل فترة زمنية للإستبدال الجماعي ؟ ***(ans.: 2)***

5- تبلغ كلفة إستبدال محركات قاطع الفحم الحجري *200* دينار إسبوعياً . أما إذا حصل العطل خلال الإسبوع ، فإن كلفة الإستبدال تبلغ *1000* دينار بضمنها كلفة الإنتاج التالف ووقت الإنتظار . فإذا كانت النسبة المئوية للعطلات كما يلي :

End of week	***10***	***20***	***30***	***40***	***50***
Prob. Of failure	***0.05***	***0.15***	***0.35***	***0.65***	***1***

حدد سياسة الإستبدال المثلى إلى *2000* محرك في الخدمة . ***(ans.: 20)***

الباب الثالث

السيطرة النوعية والمعولية

Quality Control and Reliability

المصادر :

1- **د. خليل العاني ، د. إسماعيل إبراهيم القزاز ، د. عادل عبد المالـك كوريـال " إدارة الجودة الشاملة ومتطلبات الأيـزو *2000:9001* " الطبعـة الأولـى *2001* ، مطبعـة الأشقر- بغداد .**

2- **د. عادل عبد المالك " الهندسة الصناعية " دار الكتب للطباعة والنشر/ جامعة البصرة – الطبعة الأولى *2000*.**

3- ***Charles E. Ebeling " An introduction to Reliability and Maintainability Engineering " (1997) , McGraw Hill companies , INC .***

الفصل التاسع

إدارة الجودة الشاملة (*T.Q.M.*) والأيزو *ISO* [1]

9-1- الجودة *Quality* : الجودة هي نتاج لفلسفة تنظيمية تدفع إلى التحسين والإهتمام المستمر بإنتاج بضائع أو خدمات عالية الجودة وهي ايضاً نتاج لثقافة الشركة . كما عرفت الجودة من قبل المنظمة الأوروبية للسيطرة النوعية بأنها " مجموعة خصائص ومميزات منتج أو خدمة ذات الصلة بمقدرته على الإيفاء بحاجة معينة " .أما أبعاد الجودة فهي :

1- الإداء – أي الخصائص التشغيلية للمنتوج ويتوقف ذلك على الرغبات والإتجاهات الشخصية لكل فرد .

2- السمات والملامح – أي الخصائص الثانوية للمنتج التي تميز المنتج وتدل على الوظيفة الأساسية له .

3- المعولية – تعكس إحتمالات عطل المنتوج خلال فترة زمنية محددة .

4- التطابق – أي تطابق وتماثل التصميم مع المواصفات .

5- قوة التحمل – هي قياس لعمر المنتوج وقد يعبر عنها على إنها كمية الإستفادة من المنتوج قبل تدهور إدائه وفقدان خواصه التشغيلية .

6- إمكانية الخدمة – أي سرعة وكفاءة وتوافر خدمات الإصلاح والصيانة .

7- المظهر الخارجي – ويقصد به الجماليات والمعايير الذوقية ويهتم بتشكيلة الألوان ورغبات وذوق المستهلك بالشكل والترتيب .

8- الجودة المصورة – يقصد بذلك صورة وإنطباع المستهلك تجاه المنتج والمتولدة من خلال سمعة المنتج وحملات الدعاية والإعلان عنه أو الإتجاه السائد نحو إستهلاك المنتوج في السوق .

التطور التاريخي للجودة: مرت الجودة بعدة مراحل رئيسية منذ إندلاع الثورة الصناعية عام *1775*، أهمها :

1- مرحلة ضبط جودة العامل المنفذ للجودة : استمرت حتى نهاية القرن التاسع عشر وتحت هذا النظام كان هناك عاملاً واحداً او مجموعة محدودة من العمال كانت مسؤولة عن تصنيع المنتج بالكامل وهذا ما ينسجم مع نظام التصنيع في الوحدات الإنتاجية الصغيرة التي كانت سائدة أنذاك.

2- مرحلة ضبط رئيس العمال للجودة : بدأت مع بداية القرن العشرين نتيجة تطبيق مفهوم المصنع المتضمن لوحدات إنتاجية كبيرة وظهور الصناعة الحديثة . إذ يقوم عدد كبير من العمال بنفس

العمل ويتم تجميعهم عن طريق رئيس العمال الذي يتولى مسؤولية الجـودة فـي إنتـاج تلـك المجموعة .

3- مرحلة ضبط الجودة عن طريق التفتيش : بدأت خلال الحرب العالمية الأولى *1914* واسـتمرت لغاية إندلاع الحرب العالمية الثانية *1939* وفيها إستوجب على المصانع تكليف مفتـشين فـي ورش الإنتاج متخصصين لإنجاز مهمة التفتيش بقصد عزل الإنتاج غير الجيـد وقـد وضـعت مواصفات قياسية في التصنيع ومارست عمليات تفتيش صارمة .

4- مرحلة الضبط الإحصائي للجودة *Statistical Quality Control (SQC)* : بدأت مع بدايـة الحرب العالمية الثانية *1939* ، فالتوسع الكبير في الإنتاج وإعتماد نمط الإنتاج الواسع لتلبيـة الحاجات المستمرة والمتزايدة للفيالق العسكرية المتحاربة أدى إلى صعوبة ممارسـة اسـلوب التفتيش الكلي للإنتاج وكنتيجة لذلك تم اللجوء إلى الفحص بالعينات ولخفـض نـسبة الإنتـاج المعاب إثناء تنفيذه تم إعتماد لوحات السيطرة *Control chart* للتنبوء بالمعاب قبل وقوعـه بغية إتخاذ الإجراءات التصحيحية في الوقت والمكان المناسبين .

5- مرحلة الضبط الشامل للجودة *Total Quality Control (TQC)* : بدأت بعد الحرب العالمية الثانية *1945* ، ومضمون الإسلوب الذي شاع في مجال ضبط الجودة هو الإتساع بنشاط الضبط ليشمل ذلك جميع مراحل الإنتاج بدءاً من المواد الأولية ومروراً بالعمليات الإنتاجيـة وإنتهـاءاً بالمنتوج الجاهز ، لذا أستدعت هذه الممارسة دمج أساليب الضبط الإحصائي للجودة مع تقنيات القياس ونظم المعلوماتية عن الجودة وتشجيع ممارسات حوافز الجودة .

6- مرحلة توكيد الجودة *Quality Assurance (QA)* : بدأ التفكير بمسألة توكيد الجودة فـي التصميم ، الإنتاج ، التركيب ، الخدمات والتطوير بعد عام *1980* من خلال الأنـشطة الخدميـة المرتبطة بالفعاليات الهندسية وتحميل مسؤولية تحقيقها على كافة العاملين في الشركة .

7- مرحلة إدارة الجودة الشاملة *Total Quality Management (TQM)* : بـدأت بإصـدار منظمة التقييس الأيزو *ISO* في عام *1987* المواصفة القياسية الدولية *ISO:9000* وتوابعها كمعيار دولي موحد لتوكيد الجودة لذا إنتشرت وتوسعت فلسفة إدارة الجودة الشاملة إلى أعلـى درجة بدمج الفعاليات الإدارية المتعلقة بالجودة بالأنشطة الهندسية والخدمية .

9-2- <u>إدارة الجودة الشاملة (*Total Quality Management (TQM*</u> : هي المـدخل الفكري والثقافي لتأمين جودة الشركة في جميع مراحلها بدءاً من المواصفات التي تفي بمتطلبـات الزبون مروراً بالتصميم والتكنولوجيا والعمليات الإنتاجية والمراحل اللاحقة ويعتمـد علـى تكامـل جميع الأنشطة ويشترك في ممارستها جميع العاملين وفي مقدمتها الإدارة العليا التـي تقـود إلـى التحسين والتطوير المستمر . ولذلك يتبين إن محتوى هذه الستراتيجية في مجال الجـودة يتطلـب تغييراً في ثقافة الشركة وخلق ثقافة جديدة تكون متوائمة ومحفزة لهذا التطبيق تبدأ بالتزام أعلـى

مستوى إداري في الشركة وتقوم بمراجعته وتقييمه طبقاً لما يستجد من تغييرات وبالإستناد على مشاركة وتضامن كافة العاملين . فهي نظام إداري يبحث عن المشاركة ويركز على تطوير جودة وفعالية العمليات الكلية ، نظام له مناخ ويتم بناءه من قبل الإدارة العليا في الشركة ويتضمن مستويات متقدمة من المشاركة للعاملين وعليه فإن متطلبات التطبيق الفعال لإدارة الجودة الشاملة :

1- دعم وتأييد الإدارة العليا لبرنامج الجودة الشاملة .

2- تهيئة مناخ العمل وثقافة المنظمة .

3- التوجه للمستهلك وتعميق الفكرة .

4- قياس الإداء للإنتاجية والجودة .

5- الإدارة الجيدة للموارد البشرية في الشركة .

6- التعليم والتدريب المستمر .

7- تبني أنماطاً قيادية ملائمة لفلسفة إدارة الجودة الشاملة .

8- المشاركة الشاملة من جانب جميع العاملين بالشركة .

9- إنشاء نظام معلومات لإدارة الجودة الشاملة .

وعليه فإن النظام شامل لكل فرد ونشاط في المنظمة له دور في خلق وإدامة الجودة للمنتج أو الخدمة التي تقدمها المنظمة وإن الجودة توضع لها الخطط اللازمة لتحقيق متطلبات وإحتياجات العملاء من خلال تفاعل مجموعة الأنشطة والعمليات والتركيز في تنفيذها على تلك المتطلبات ومن خلال مشاركة العملاء في تحديد الجودة ، وللإدارة العليا دورها الكبير في التركيز على التحسين والتطوير والمحافظة على النظام .

أما المؤشرات التي تستدعي تطبيق إدارة الجودة الشاملة في الشركات التي تعاني من بعض الظواهر المرفوضة فهي :

1- إنخفاض مستويات الجودة وإرتفاع الكلفة .

2- طول الفترات الزمنية التي تستغرقها العمليات .

3- زيادة معدل دوران العمل .

4- كثرة شكاوي العملاء .

5- كثرة المراقبات والإشراف .

6- إزدواجية أوامر العمل .

7- تعدد الصلاحيات وعدم وضوح المسؤوليات .

8- كثرة و تعدد اللجان لمختلف أنشطة الشركة .

9- إنعدام المتابعة في تنفيذ الأعمال .

10- صعوبة السيطرة على بعض العمليات .

ونتيجة لذلك تدرك تلك الشركات إن لاسبيل أمامها سوى التحسين المستمر الذي هو هدف نظـام إدارة الجودة الشاملة والذي يمثل مجموعة النشاطات والتقنيات العملية المستخدمة لتحقيق متطلبات الجودة وهذا يتطلب تبني ثقافة جديدة وتغييراً في إسلوب عمل الشركة وتغيير علاقاتها مع العمـلاء وتركيزها على عناصر متعددة العمليات والعاملين ، وأن يكـون لـدى الإدارة والعـاملين الإيمـان والقناعة والحماس نحو الإندفاع بتحسين الوضع الذي هي عليه ، ومن تتبع المدخل العلمـي فـي إتخاذ القرارات وحل المشاكل ومعضلات الجودة ، أن يكون العمل بروح الفريق الواحد إذ يصبح هو هدف مؤسسي ، فيشترك العاملون والإدارة في تحقيق هدف واحد لتحسين الأوضاع والإستمرار في عملية التحسين .

<u>المرتكزات الأولية لإدارة الجودة الشاملة</u> :

1- الأدوات – أستخدمت سبعة أدوات قياسية تمثل القاعدة التي إرتكزت عليها بعـد ذلـك معظـم الإدوات ، وهي :

- لوحات ضبط الجودة *Control chart* .
- تحليل باريتو *Pareto analysis* .
- تخطيط عظم السمكة *Fish bone chart* .
- تخطيط الإتجاه *Run chart* .
- التخطيط العمودي *Bar chart* .
- التخطيط المبعثر *Scatter chart* .
- تخطيط التدفق *Flow chart* .

2- التقنيات – وضعت التقنيات الستة التالية بأنها عناصر لبرنامج تطوير الإدارة ككل :

- تفويض السلطة .
- مشاركة وإرتباط الموظف .
- الإبداع والإبتكار .
- الإدارة عن طريق تسجيل النتائج .
- بناء الفريق الواحد .
- تطوير مهارات المدير .

وليس من الضروري أن تستخدم جميعها معاً لأن كل شركة لها إحتياجاتها المختلفة وينبغـي أن تحدد ما هية التقنيات المناسبة لها .

<u>مباديء إدارة الجودة الشاملة</u> :

1- إلتزام الإدارة العليا – تبدأ إدارة الجودة الشاملة بإلتزام الإدارة العليا وبدون هذا الإلتزام تـصبح الجودة مجرد شعار أو لافتة دون تأثير أو فاعلية لبناء الجودة . فالجودة تبدأ من هذا الإلتـزام

وتكتسب قوتها وفاعليتها من الإدارة العليا التي تستخدمها كسلاح في تسويق منتجاتها وتعمـل بإستمرار على إشراك العاملين وإعطائهم دوراً للمساهمة في بناء وتطوير الجودة .

2- التركيز على الزبون – تضع إدارة الجودة الشاملة الزبون في مقدمة الإهتمامات ومنه تبدأ جميع المراحل إذ يجب التعرف على متطلبات الزبون وتوقعاته وتفـسيرها وترجمتهـا فـي مراحـل التصميم والإنتاج وتقديم الخدمات .

3- مشاركة الموردين – تركز إدارة الجودة الشاملة على الموردين وضرورة التعامل معهم بـشكل إيجابي وإنشاء علاقات طويلة ويدخل في ذلك كيفية إختيارهم وتكوين قاعـدة معلومـات فنيـة وتجارية حول إلتزاماتهم وشروطهم .

4- فرق العمل – فرق العمل أساس مهم لتحقيق المشاركة .

5- منع الأخطاء – الوقاية من الأخطاء أساس ضروري وليس مجرد إصلاح الأخطـاء ، فـالتركيز على العمليات يمكن من الوقاية من الأخطاء قبل وقوعها وهذا يتطلب إستخدام معايير مقبولـة لقياس جودة المنتجات إثناء عمليات الإنتاج .

6- المنظومة المتكاملة – تتضمن الشركة مجموعة أنشطة تتكامل مع بعضها وترتبط أهدافها مـع بعضها وتؤدي إلى تحقيق الهدف الرئيسي المتمثل بالجودة المطلوبة .

7- تصميم العمليات – لا بد من تصميم عمليات الإنتاج إذ تشكل تجهيزات الإنتاج والعاملين نظامـاً للإنتاج يجب تصميمه لإنتاج منتجات بأبعاد وخصائص الجودة التي يطلبها ويرغبها الزبون .

8- المخزون – يعد المخزون جزءاً من الموارد ينبغي تخطيطه والإحتفاظ بالحدود المسموحة وعدم تكديس الخزين وضرورة توفير شروط المحافظة عليه ، علاوة على إتباع قواعد فـي الترميـز والتبويب .

9- تدريب العاملين – تتوقف فاعلية إدارة الجودة الشاملة على كفاءة العاملين إذ يجـب تـدريبهم وتشجيعهم وتحفيزهم لتحقيق التطوير وإكتساب الخبـرات والمعـارف والمهـارات ومواجهـة التغيير.

10- الجودة قابلة للقياس – يمكن إستخدام التقنيات الإحصائية السبعة كأدوات لأغـراض القيـاس والتحليل .

11- التطوير المستمر – التطوير لا يتوقف عند مرحلة معينة بل هو رحلة مستمرة لا توجـد لهـا نهاية وينبغي التطوير والتحسين والمضي في تحقيق أهداف متواصلة للشركة .

12- المقارنة مع أداء الأخرين – إعتماد المقارنة المرجعية لمعرفة مدى التقـدم والتحـسين فـي برامج الجودة قياساً بالشركات المماثلة وخصوصاً المنافسة وإنشاء معايير قياس الأداء عليها .

عناصر إدارة الجودة الشاملة : إن نظام إدارة الجودة الشاملة أنموذج متكامل يتضمن أنظمة فرعية، وهي مرتكزات ينبغي أن تكون متوفرة بالأساس في الشركة ، أو يفترض إنها موجودة وقد تحتـاج إلى الربط والتكامل وإن جميعها تحقق أهداف الجودة ، ومن هذه النظم :

نظام الإنتاج ، نظام التخزين ، النظام المالي ، نظام التصميم والتكنولوجيـا ، نظـام المعلومـات الإدارية ، نظام المعلومات التسويقية ، نظام الأفراد وأنظمة أخرى .

إن نظام إدارة الجودة الشاملة يعتمد أساساً على كفاءة مجموعة كل دائرة أو نشاط وقدرته علـى التطوير والتحسين وإن المسؤولية هي مسؤولية جميع تلك الأنشطة . لذا تبدأ مهمة الشركة المنتجة بدراسة السوق والتعرف على رغبات الزبون علاوة على تجميع البيانات والمعلومات الدقيقة عـن المنافسين والمنتجين الآخرين كأساس لتصميم المنتج وتحديد خصائصه إذ تـتم ترجمـة رغبـات الزبون إلى مواصفات ومن ثم يتم التصميم المناسب للإيفاء بتلك المتطلبـات ، ومـن ثـم يجـري التخطيط لتوفير الإحتياجات ووضع خطط الإنتاج الضرورية وتـدبير المـستلزمات مـن العناصـر الرئيسية (المواد ، المكائن ، والأيدي العاملة والأجزاء التكميلية وغيرها) . ثم تبدأ عملية الإنتاج التي يرافقها تقييم لمستوى جودة الإنتاج سواءاً كان ذلك خلال المراحل أو لدى المنـتج النهـائي . وإذا ما تم التأكد من إستيفاء مستوى الجودة المطلوبة تتم عندئذٍ عمليات التعبئة والتغليف ومن ثـم تجري مناولة ونقل أو تخزين المنتجات تمهيداً للتسويق والتوزيع والبيع التي تليهـا سلـسلة مـن الأنشطة المكملة ، ومنها التركيب والتشغيل الفني للمنتج وتدريب العاملين على التـشغيل الـصحيح وتقديم الخبرة والمساعدة الفنية إثناء التشغيل . ولاتنتهي هذه السلسلة بترك المنتوج لدى الزبـون بل إن الإدارة تستكمل خطواتها ودوراتها بتقديم الخدمات ما بعد البيع ويتمثل ذلك بتقديم المـشورة الفنية وإجراء الصيانة والإصلاح وتوفير المراجع الفنية ومواصلة التعامل مع الزبون وكسب رضاه وتجميع المعلومات والبيانات المتعلقة بإداء المنتج وكفاءته والمشاكل التي تظهر نتيجة الإسـتعمال واية معلومات أخرى تعد كمدخلات لتطوير وتحسين المنتج . وينبغي التأكيد عندما تركـز الـشركة على جودة التصنيع وتهمل الطريقة التي تسلم بها منتجاتها وتخدم الزبون على نحو جيـد ، فإنهـا بذلك تتجاهل مباديء إدارة الجودة الشاملة . تتطلب إدارة الجودة الشاملة إستمرارية الجودة التـي تبدأ من تصميم المنتج أو الخدمة وتتحقق عن طريق الخدمة بعد التسليم وقـد تقـوم العديـد مـن الشركات ببحث إتجاهات وملاحظات الزبون عن طريق الأدوات التي تم تطويرها داخـل الـشركة ، فهناك طرائق عديدة للإستماع إلى الزبائن . والإدارة الجيدة هي التي تستطيع أن تـرى مـا هيـة السلوكيات الواضحة التي تؤدي إلى رضا الزبون ، والسلوكيات السلبية التي تقلل من رضا الزبون.

مراحل تطبيق إدارة الجودة الشاملة : أوضح جابلونسكي وجود خمس مراحل لإنجاز إسـلوب إدارة الجودة الشاملة هي :

1- مرحلة الإعداد *Preparation* - تتطلب دراسة مدى الحاجة إلى إدارة الجودة الشاملة وإتخاذ قرار بمدى إهمية تطبيق الشركة لهذا المدخل وعرض النجاحات وتجارب الآخـرين والتخطـيط الإستراتيجي الشامل للشركة .

2- مرحلة التخطيط *Planning* - تعتمد على البيانات التي تم تطويرها في مرحلة الأعداد وتشهد هذه المرحلة تشكيل المجلس الإستشاري الذي يقوم بوضع خطة التنفيـذ والإلتـزام بـالموارد وتشمل هذه المرحلة على :

أ- إختيار أعضاء المجلس للجودة .

ب- إختيار منسق إدارة الجودة الشاملة .

ج- تدريب المجلس ومنسق الجودة .

د- عقد إجتماع المجلس وإعداد مسودة خطة التنفيذ .

هـ-إعتماد الخطة والتعهد بتوفير الموارد اللازمة .

و- تحديد العمليات الأساسية وإختيار إستراتيجية تنفيذ الخطة .

3- مرحلة التقويم *Assessment* - تشتمل على أعمال المسح الميداني والتقـويم والإسـتبيانات وإجراء المقابلات إضافة إلى :

أ- التقويم الذاتي الذي يوضح إنطباعات العاملين حول عناصر القوة والضعف في الشركة .

ب- تقييم الوضع الحالي للشركة .

ج- التعرف على مدى رضا الزبائن .

د- تقييم التدريب الأساسي للمديرين والعاملين .

4- مرحلة التطبيق *Implementation* - ضمن هذه المرحلة تبدأ عمليات تدريب جادة مبرمجـة للمديرين والعاملين في فرق عمل وبدعم وإسناد من قبل المجلس الإستشاري للجودة وتستهدف برامج التدريب إلى إكساب العاملين مهارات في مجالات :

أ- كيفية جمع و تحليل المعلومات وعرض النتائج .

ب- أدوات وتقنيات ضبط الجودة .

ج- أساليب حل المشكلات .

5- مرحلة تبادل ونشر الخبرات *Diversification* – فيها يتم عرض نتائج تطبيق إدارة الجـودة الشاملة وبمساهمة كافة الأطراف في الشركة وخارجها ، إذ يتم دعوة جميع المتعاملين معها من عملاء وموردين وإقناعهم بالمزايا وتحفيزهم على المشاركة في التحسن المستمر بعد إطلاعهم على النتائج جراء التنفيذ بما في ذلك إشراك جميع الوحدات والأقسام والفـروع البعيـدة عـن الموقع والتابعة للشركة .

<u>فوائد تطبيقات إدارة الجودة الشاملة</u> : لإدارة الجودة الشاملة الأثار الإيجابية على تنفيذ الأعمال الإدارية والهندسية ، وشهدت الشركات التي طبقت هذه الإستراتيجية ثمرات عديدة إنعكست على تطوير هيكلها الإداري والفني . ومن أبرز الفوائد هي :

1- تحقيق إنتاجية مرتفعة وتحسين الأداء .
2- تحسين في الربحية .
3- تضمن علاقات عمل وتوظيف أفضل للعاملين وترفع من الفاعلية التنظيمية وتقلل من دوران العمل .
4- التفاعل مع بيئات الأنظمة الفرعية .
5- تحقيق رضا الزبون وجذب مزيد من الزبائن .
6- تمكن من إكتشاف الأخطاء بالتصميم ، التشغيل ، التغليف والنقل وتصميمها .
7- تقدم الحلول المنظمة لمشاكل الجودة .
8- تكامل الأنشطة وتنسيق الجهود .
9- تقليل الضياعات المادية وساعات التشغيل والطاقة .
10- التطوير والتحسين في تصاميم المنتجات والخدمات .
11- بناء الإحساس الفعلي والشعور بالمسؤولية لدى العاملين .
12- تحسين في بيئة العمل .
13- القدرة على المنافسة .
14- القدرة على التصميم الذاتي .

9-3- <u>مفهوم الأيزو *ISO 9000*</u> : تشمل تسمية الأيزو *ISO* على معنى التعادل أو التساوي وهي كلمة مشتقة من أصل يوناني *ISOS* وليست إختصاراً لعبارة *International Organization for Standardization* . فهي تتضمن فكرة عدم الإختلاف ، فإذا ما تم الإتفاق بين المورد والزبون على تجهيز مائة قطعة من المنتج المتعاقد عليه مثلاً ، فإنه يتوقع أن يتم إنتاج وحدات متماثلة لاتختلف القطعة الأولى عن القطعة تسلسل مائة ويتم تجهيزها بالكامل على شكل وحدات متماثلة . أما منظمة الأيزو نفسها فهي كيان غير حكومي أنشأ عام *1947* بهدف إنشاء وتطوير المواصفات فهي تصمم وتطور العديد من المواصفات الدولية في جوانب قطاع الأعمال والجوانب الفنية والتقنيات التي تدخل في بناء المواصفات وتعتمد على مجموعة من العلماء المتخصصين من مختلف الدول وتتم متابعة مشاكل التطبيق في الدول عن طريق مندوبين يجتمعون في شكل لجان لتبادل الخبرات والرأي حيث يقوم العمل بالمنظمة على أساس غير مركزي وأدناه بعض المعلومات عن المنظمة :

أ- المنظمة تختص بالمواصفات وتقع السكرتارية في جنيف (سويسرا) وتغطي المنظمة جميع مجالات النشاط بإستثناء المتعلق بالهندسة الكهربائية والأليكترونية ، إذ تعد من إختصاصات منظمة الكهروتقنية *IEC* .

ب- يتم تمويل المنظمة بإعتبارها جهة غير حكومية (وليست جزءاً من الأمم المتحدة) من إشتراكات هيئات المواصفات العالمية التي تمثل الدول المختلفة بنسبة *70%* بينما يتم تغطية *30%* من إيرادات المطبوعات والنشرات الصادرة عن المنظمة .

ج- المنظمة لاتتدخل نهائياً في منح شهادات الأيزو ، فهناك شركات التسجيل *Certification bodies* مختصة بمنح شهادات التوافق .

د- ترشد المنظمة المشتركين وسائليها عن أساليب التسجيل وتوفر النشرات والدوريات والتعديلات التي تصدر .

هـ- تقوم المنظمة بإعادة النظر بالمواصفات كل أربع أو خمس سنوات طبقاً لإتجاهات مستخدمي المواصفة وإنعكاساتها وتطبيقاتها ومشاكلها .

<u>ما هية مواصفة *ISO 9000*</u> : توصف المواصفة بأنها أساساً مواصفة إدارية تنصب بشكل مباشر على المنظومة الإدارية للشركات فهي ليست مواصفة فنية تتعامل مع المنتج كمواصفة أل *DIN* أو *BS* وغيرها من المواصفات ذات العلاقة بمنتجات تشير إلى قياسات أو أبعاد أو خواص فيزياوية أو كيمياوية وتركيبات وتصاميم محددة للمنتج . فهي ليست المواصفة المعملية أو الإقليمية لمنتجاً ولا برامج أو معدات :

1- المواصفة تنطبق على كافة الشركات بصرف النظر عن طبيعتها أو حجمها . فهي تناسب الشركات الصناعية والإنتاجية والخدمية ، فهي تنطبق على الشركات ، مكاتب المقاولات والإستشارات والتصاميم ، شركات التأمين ، المستشفيات ، البنوك ، النقل ... إلخ . فهي ليست موجهة لصناعة أوإنتاج أو خدمة محددة .

2- المواصفة تحتوي على جميع مباديء إدارة الجودة الشاملة وبذلك فإن التوافق مع متطلبات المواصفة يعني إن الشركة المعنية تملك نظاماً تستطيع إستخدامه للتطوير المستمر .

3- المواصفة تصف العناصر الرئيسية المطلوب توافرها في نظام إدارة الجودة لأية شركة ينبغي أن تتبناه إدارتها للتأكيد من إن إنتاجها أو خدماتها تتوافق مع إحتياجات ورغبات العملاء .

4- إن المواصفة بإصداراتها المتسلسلة أنموذج لنظام الجودة الذي يؤكد لإدارة الشركة والعاملين فيها ولزبائنها الداخليين والخارجيين إن أنشطة الجودة بالحالة العامة تتم وفقاً للمعايير المهنية العالمية التي وصفت ووحدت وأعتبرت مقياساً لجودة الشركات .

<u>إسلوب إنجاز الأعمال التقنية في منظمة الأيزو</u> : إن إسلوب العمل بالمنظمة يقوم على أساس غير مركزي إذ تعمل عدد من اللجان الفنية والنوعية ومجموعات عمل في إصدار المواصفات وتعديلها وتشمل هذه اللجان في عضويتها مندوبين من مختاف الدول . وتعد هيئة المواصفات الإقليمية في الدولة هي ممثل الدولة في المنظمة ويصل عدد اللجان إلى أكثر من *2700* لجنة.

أما إسلوب إنجاز الإعمال للمنظمة فيتم من خلال اللجان الآتية :

1- لجان فنية *Technical Committee (TC)* – يتم إنشاء هذه اللجان بقرار من مجلس الإدارة التقني للمنظمة بعد أن يحدد مجالات أعمال كلٍ منها وبرنامج عملها ومنحها حق تشكيل لجان فرعية شريطة أن يكون لها أمانة سر مرتبطة بشكل مباشر بالهيكل التنظيمي العام للمنظمة على غرار أمانة سر اللجان الفنية .

2- لجان فرعية *Sub-Committee (SC)* – تنفذ مهام محددة من قبل اللجان الفنية ويحق لها تشكيل مجاميع عمل ولا يشترط أن يكون لها أمانة سر خاصة بها .

3- مجاميع عمل *Task Group (TG)* – لتنفيذ مهام تخصصية محددة .

وتجدر الإشارة إلى إن اللجنة المسؤولة عن عائلة *ISO 9000* هي اللجنة *Technical committee-176* ومتكونة من مجموعات من اللجان الفرعية ومجموعات العمل التي يعمل من خلالها خبراء من أكثر من *52* دولة .

أما كيفية إصدار المواصفات وتعديلها فإن المنظمة تطبق المباديء الآتية :

1- التوافق في وجهات النظر بمعرفة رأي ذوي العلاقة بإصدار وتعديل المواصفة .

2- التغطية الشاملة – أي كافة أنواع الأنشطة التي يشملها نطاق عمل المنظمة لبلوغ ما يطلق عليه بالحلول العالمية للتوافق مع متطلبات كافة أنواع الصناعات والخدمات وإرضاء العملاء .

3- التطوعية – المنظمة تخضع تماماً لإتجاهات السوق ودوافعه ونظمه ومن ثم فإن الإشتراك في أعمالها يتم تطوعياً من جانب الهيئة المعنية بهذا النشاط طبقاً لشروط معينة وضعتها المنظمة .

4- التحديث – تعيد المنظمة النظر في المواصفات التي تصدرها بعد كل أربع أو خمس سنوات وفقاً للملاحظات وأراء مستخدمي المواصفة وتطبيقاتها بما يجعلها أكثر ملائمة للواقع . أما بخصوص إصدار أو تعديل أية مواصفة فإنها تأخذ عدة خطوات :

أ- مرحلة الإقتراح .

ب- مرحلة الإعداد .

ج- مرحلة اللجان .

د- مرحلة إستطلاع الرأي .

هـ- مرحلة الإعتماد .

و- مرحلة الإصدار .

مبادئ الأيزو ISO 9000 : يمكن إيجازها بما يلي :

1- التنظيم *Organization* - هو الجزء المهم لأية شركة إذ لا بد من وجود الهيكل التنظيمي الواضح للشركة ويصاحبه تحديد دقيق وواضح للمسؤوليات والصلاحيات و مستويات السلطة لكافة العاملين فيها . ولا بد أن يعكس تنظيم الشركة وتوزيع الصلاحيات والمسؤوليات فيها توفير للموارد البشرية والإمكانات التنظيمية التي تتطلبها منظومة الجودة حتى تعمل بكفاءة وتنص مواصفة الأيزو على ضرورة تخصيص ممثل للإدارة يكون مسؤولاً عن التأكد من إن نظام الجودة متوافق في كل الأحوال مع متطلبات المواصفة علاوة على قيامه بالإتصال والتنسيق مع جهة التسجيل التي تمنح الشهادة .

2- التوثيق *Documenation* - لا بد من توثيق كيفية القيام بجميع العمليات والأعمال التي تؤثر ولها علاقة مباشرة أو غير مباشرة بالجودة وينتج عن ذلك إصدار وثائق الجودة الآتية :

أ- دليل الجودة – إذ يصف نظام الجودة بموجب سياسة الجودة المعلنة والأهداف ومواصفة *ISO 9000* المطبقة .

ب- دليل الطرائق – إذ تصف أنشطة الوحدات التنظيمية المختلفة التي تظهر الحاجة لها لتطبيق عناصر نظام الجودة .

أ- دليل تعليمات العمل – وصف إرشادي إضافي يلازم الإجراء المتخذ كوسائل مساعدة للعمل يتم اللجوء اليها إثناء تأدية العمل (مثل تعليمات مشغل ماكنة) .

أما بخصوص أنواع الوثائق المستخدمة في الشركات فغالباً ما تكون وثائق فنية وإرشادية داخلية أو وثائق مرجعية خارجية أو تقارير وسجلات داخلية وغيرها .

3- ضبط الوثائق *Document Control* - لا بد للشركة الإنتاجية أو الخدمية أن تستحدث نظاماً لضبط الوثائق الصادرة ، حفظها وتعديلها ومتابعتها ، وإتلاف الوثائق غير النافذة ، وتستدعي عملية ضبط الوثائق على جملة فعاليات منها :

أ- ترميز الوثائق – إعطاء كل وثيقة هوية خاصة بها .

ب- مدى ضبط الوثائق – الوثائق الفنية الإرشادية التي تعد داخل الشركة تحتاج إلى أشمل مدى ضبط يغطي الأعداد والمراجعة والتصديق والتوزيع والتنقيح والإتلاف عندما تنتفي الحاجة لها . أما ضبط الوثائق المرجعية الخارجية فيغطي التوزيع والمحافظة على آخر نسخة صادرة منها .

ج- إعداد الوثائق وتصديقها – وإذا تعددت الجهات المسؤولة عن الإعداد ، يتوجب تحديد جهة منسقة في إثناء الإعداد والتصديق من قبل جميع الأطراف المشاركة .

د- السيطرة على توزيع الوثائق – التأكد من وصول الوثيقة إلى الجهة المستفيدة منها داخل الشركة من خلال الحصول على تأييد إستلامها . مما يساعد لاحقاً على نقل التغييرات والتنقيحات بالسهولة المطلوبة .

هـ- تغيير الوثائق – عادة ما يتم إجراء التغييرات على الوثائق بما في ذلك التصاميم والرسوم والصيغ التركيبية ولكن ينبغي أن يمر أي تغيير بالإجراءات الإعتيادية من القسم المختص بدءاً بالإعداد وإنتهاءاً بالتصديق وإصدار وثيقة بديلة .

و- ضبط الوثائق الواردة من خارج الشركة ومراقبتها – يتعين السيطرة على هذه الوثائق ونقل التغييرات التي تحصل عليها إلى جميع النسخ أينما وجدت داخل المنظمة .

ز- السيطرة على الإستمارات – تشمل إستمارات ضبط الجودة ، تقارير التفتيش ، لوحات ضبط الجودة ، شهادات المعايرة ، بطاقات النقل والعلامات ويتعين ترميزها ومراعاة تصحيحها .

ح- القائمة الرئيسية للوثائق – ينبغي تنظيم قائمة رئيسة بالوثائق الخاصة بنظام إدارة الجودة لدى رئيس لجنة الأيزو وتوزيع نسخ منها للأقسام المعنية ، ويتعين على الأقسام إعلام رئيس لجنة الأيزو بأي تغييرات تطرأ على القائمة لتحديثها بإستمرار .

4- ضبط السجلات *Control of Records* - لا بد للشركة أن تحتفظ بسجلات الجودة وتوثق بها الأنشطة وتثبت الأخطاء والإجراءات التصحيحية وأن تتم متابعة تحديث السجلات ومتابعتها وتصنيفها وحفظها من التلف والتغييرات وتضمن القيام بطرائق العمل والإجراءات بشكل صحيح .

5- التدقيق *Auditing* - يمكن أن تتأكد الإدارة بمراجعاتها الدورية من تطابق الإجراءات المطبقة مع تلك التي وثقت في مجالات الجودة يصاحب ذلك التدقيق الدوري الداخلي الذي يشمل نظام الجودة في الشركة ككل .

6- الإجراءات التصحيحية والوقائية *Corrective Action* - لا بد للشركة التي تطبق الأيزو أن تضع نظاماً لمتابعة وتوثيق وتحديد الأخطاء وإتخاذ الإجراءات التصحيحية والوقائية لضمان عدم تكرار حدوثها مستقبلاً .

<u>فوائد تطبيق الأيزو</u> : يهيء نظام الأيزو مزايا متعددة على مختلف الأصعدة يمكن إيجازها بما يلي:

1- فوائد داخلية :

أ- للشركة :

- تقليل التكاليف .
- ثبات في جودة المنتج .
- زيادة المبيعات .

- التنسيق والسيطرة على العمليات .
- وجود نظام فعال يقلل من نسبة المنتج المرفوض والمعاد تصنيعه .
- إستخدام أمثل للوقت .
- تقليل الأخطاء في العمل .
- عملاء جدد واسواق جديدة .
- تحسين مستمر .
- زيادة القيمة المضافة .
- إداء أفضل في صنع القرارات .
- توثيق مستندي أفضل للعمليات .
- تسهيل الحصول على المعلومات التي تحتاجها بسرعة .
- بيئة عمل أفضل .
- جميع النشاطات إعتباراً من إستلام الطلبات إلى شحنها وتوصيلها إلى العملاء قد تمـت في غاية التنسيق بين أقسام الشركة المختلفة .

ب- للعاملين :

- روح معنوية أفضل للعاملين .
- وضوح في المسؤوليات والصلاحيات .
- تعليمات عمل واضحة .
- وعي وإدراك أكبر للجودة .
- تحسين في ظروف العاملين .
- مكان العمل منسق ونظيف ومنظم بصورة جيدة .
- إرتفاع الكفاءة والمهارات .
- تحسين في العلاقات الإنسانية .
- إستقرار العاملين وإنخفاض دوران العمل .
- الإطلاع الأفضل و التدريب الضروري لإداء العمل .

2- فوائد خارجية :

- الفهم الجيد لإحتياجات وطلبات العملاء .
- تحسين في تصدير المنتجات .
- زيادة الحصة التسويقية المحلية .
- تجاوب أسرع لحاجات السوق .
- القبول العالمي للأيزو *ISO 9000* .
- رضا وثقة أفضل للعملاء .

- مجال تنافسي أحسن .
- التأكد من الوفاء بالعقود المبرمة .
- منع الغش الصناعي والتجاري .
- تقليل من شكاوي العميل .
- المواد والخدمات المقدمة من الموردين والمقاولين ذات جودة عالية .
- المحافظة على مستوى الجودة والعمل على الإرتقاء بها .
- الحماية القانونية والتجارية .

مجموعة مواصفات *ISO 9000*: السلسلة الأولى من مقاييس *ISO 9000* كانت تعتمد بشكل كبير على مقاييس *BS 5750* والتي أسسها المعهد البريطاني للمقاييس *BSI* :

أولاً- مواصفات *ISO 9000: 1987* – تعني بمتطلبات توكيد جودة المنظومة الإدارية وقد تضمنت المواصفات التالية :

1- المواصفات التعاقدية :

ISO 9001 – للشركات التي تمارس أنشطة التصميم ، الإنتاج ، التركيب ، الخدمات والتطوير وتحتوي على *20* عنصراً .

ISO 9002 – للشركات التي تمارس أنشطة الإنتاج ، التركيب ، والخدمات إذ إنها لا تشتمل على الشركات التي لها أنشطة التصميم وتحتوي على *18* عنصراً .

ISO 9003 – تخص الشركات التي لا تحتاج إلى نظم جودة شاملة لأنها لا تعمل بالإنتاج أو تقديم الخدمة وإنما يقتصر عملها على الفحص والتفتيش والإختبار .

2- المواصفات الإرشادية :

ISO 9004 – تحدد عناصر ومكونات نظام الجودة وتعد المرشد لتحديد كيفية إدارة الجودة.

ISO 9000 - هذه المواصفة تمثل المرشد الذي يحدد مجالات تطبيق كل من *ISO 9001* و *ISO 9002* و *ISO 9003* .

إضافة إلى المواصفة *ISO 8402* إذ تمثل معجماً بالمفردات والمصطلحات المتعلقة بالجودة ، ومجموعة *ISO 10011* بأجزائها الثلاثة الخاصة بمتطلبات التدقيق إلى جانب مجموعات أخرى من الوثائق التي تعد أدلة إرشادية .

ثانياً- مواصفات *ISO 9000:1994* – تغطي *20* عنصراً *8* منها مرتبطة بمجال التنظيم الإداري و *12* مرتبطة بمجال العمليات التشغيلية . وتتضمن :

1- مسؤولية الإدارة .
2- نظام الجودة .
3- مراجعة العقود .
4- ضبط التصميم .
5- السيطرة على الوثائق .
6- المشتريات .
7- السيطرة على نوعية المواد المجهزة من الزبون نفسه .
8- التحقق من المنتج وتتبع أثره .
9- السيطرة على عمليات الإنتاج .
10- التفتيش والإختبار .
11- السيطرة على معدات التفتيش والفحص والقياس .
12- وضعية التفتيش .
13- السيطرة على المنتجات غير المطابقة .
14- إجراءات تصحيحية ووقائية .
15- المناولة والخزن والتغليف والتجهيز .
16- السيطرة على سجلات الجودة .
17- التدقيق الداخلي للجودة .
18- التدريب .
19- الخدمات .
20- التقنيات الإحصائية .

ثالثاً- مواصفات *ISO 9000:2000* – تعيد المنظمة النظر بالمواصفات التي تصدرها بشكل دوري كل أربع أو خمس سنوات حسب الملاحظات التي ترد من مستخدمي المواصفات . ويجري التعديل عادةً من قبل اللجنة الفنية المتخصصة *TC-176* لغرض التطوير و بما يتناسب مع متطلبات واقع الأعمال . وقد طورت بشكل طفيف عام *1994* ولكن شملها التعديل الشامل بإصدارها عام *2000* بسبب الإنتقادات التي وجهت للمواصفة نفسها وضرورة الإتجاه نحو أنموذج العملية كأساس للمنظومة الإدارية وأن يكون البحث عن مزيد من التطبيق بإتجاه مباديء إدارة الجودة الشاملة علاوة على صعوبة الفهم والتفسير لبعض بنود المواصفة .

إن التطور الذي جرى على مواصفة الأيزو إستند بصورة أساسية على ثمانية مباديء لإدارة الجودة الشاملة ، هي :

1- العملاء هم محور عمل المنظمة وقوتها الدافعة .

2- القيادة .
3- نظرية المشاركة الكاملة .
4- إسلوب الإدارة بالعمليات .
5- إسلوب المنظمة المتكاملة .
6- التطوير المستمر .
7- إتخاذ القرارات بناءاً على حقائق ودراسات واقعية .
8- العلاقة مع الموردين علاقة شركاء ومصلحة مشتركة .

منهجية ومراحل تطبيق الأيزو : هناك خطوات أساسية للتوافق مع متطلبات المواصـفة الدوليـة ، وهذه الخطوات يمكن تقسيمها إلى أربعة مراحل هي :

المرحلة الأولى- التخطيط والإعداد : يتم فيها التحضير وتغيير ما ينبغي تغييره لتأمين متطلبات التوافق مع المواصفة وتشمل على بعض الخطوات :

1- إقتناع الإدارة العليا بالمشروع : ويتضمن ذلك إقرار وإلتزام من الإدارة .
2- نقل القناعة إلى جميع المستويات والعاملين من خلال برامج توعية علـى شـكل دورات وندوات .
3- الإستفادة من المراجعين والإستشاريين والشركات التي نجحت في الحصول على شـهادة الأيزو .
4- تعيين مسؤول ممثل للمدير العام لقيادة عملية تأهيل الشركة للحصول على الشهادة .
5- تشكيل فريق للعمل من تخصصات مختلفة وتهيئة البناء التنظيمي للعمل بإسـلوب فـرق العمل .
6- وضع خطة عمل وجدول زمني للتنفيذ يتم فيه تحديد المطلوب والمسؤول عن ذلك .
7- إختيار مكتب إستشاري أو هيئة لتقديم المعونة الفنية للشركة للتوافق مع المواصفة .
8- المسح الأولي لتقييم النظام الحالي بالمقارنة بين ما هو كائن بما ينبغي أن يكـون طبقـاً لمتطلبات المواصفة الدولية .
9- تطوير وتوثيق طرائق العمل للعمليات التي تحقق متطلبات نظام الجـودة كمـا ورد فـي المواصفة الدولية .
10- التغلب على العقبات ومقاومة التغيير .
11- تطبيق نظام الجودة ، كما هو موثق ، الذي يستجيب بدوره لمتطلبات المواصفة .
12- تدقيق النظام بواسطة إستشاري لتحديد نقاط عدم التطابق وتقديم التوجيهات للتطوير .

المرحلة الثانية- مرحلة التسجيل :

1- إختيار جهة التقييم والتسجيل التي ستقوم بمنح الشهادة .

2- تزويد جهة التسجيل بمعلومات تفصيلية عن الشركة .
3- التخطيط والإعداد للتدقيق .
4- وضع جدول زمني لعملية التدقيق .
- الإتفاق مع الشركة على يوم محدد وساعة لكل قسم دون تعطيل العمل .
- تجهيز جميع الوثائق في القسم لفريق التدقيق وتحديد الشخص الذي يرافق الفريق في كل قسم .
- إجراء المراجعات أو التدقيقات على نظام الجودة .
5- عند تدقيق دليل الجودة الأساسي والأدلة بجهة التقييم والتسجيل ينبغي التعاون والتنسيق مع فريق التدقيق والمراجعة :
- تسجيل ملاحظات ونصائح فريق التدقيق .
- طلب إجراءات تصحيحية أو منعية أحياناً .
- تنفيذ الإجراءات التصحيحية الناتجة عن التقييم المبدئي .
- التقييم ومنح الشهادة .

المرحلة الثالثة- التحسين المستمر للجودة : بعد حصول الشركة على شهادة التوافق مع متطلبات المواصفة يبدأ طريق التطوير والجهد المستمر للمحافظة على كفاءة المنظومة الإدارية للشركة وتطويرها بإستمرار :
1- بدء التحسين والتطوير والمحافظة على المستوى الذي وصلت إليه الشركة .
2- إن معايير نظام الجودة تواصل دورتها في الإرتقاء تبعاً لما يستجد من أفكار وإبتكارات ومستجدات وتغييرات تؤدي إلى تحسين الخدمات والمنتجات وخفض التكاليف .
3- تتعرض الشركة في هذه المرحلة إلى تدقيقات ومراجعات مفاجئة تتراوح بين كل ستة أو تسعة أشهر للتأكد من إستمرارية تطبيق نظام الجودة في الشركة .

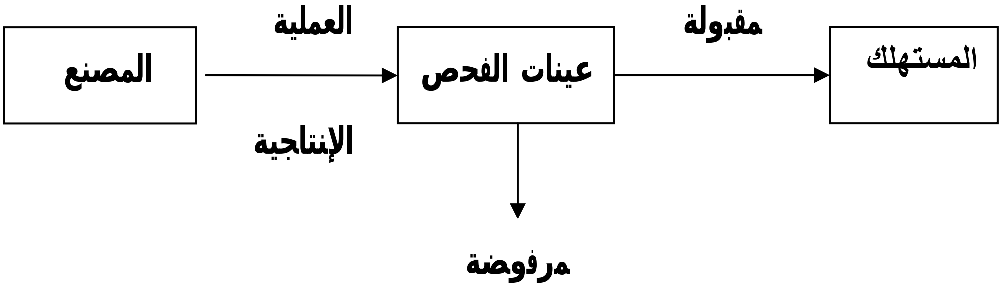
المرحلة الرابعة- تجديد الشهادة : علاوة على وجوب متابعة الشركة من قبل الجهة المانحة للشهادة بشكل دوري ، فإن الشهادة في كل الأحوال ينبغي تجديدها بعد مرور ثلاث سنوات من إصدارها ، لذا يتحتم على الشركة طلب التجديد والتحديث والذي يتضمن :
1- محتوى أكبر أو أشمل في الشهادة الجديدة .
2- أنشطة جديدة .
3- منتجات أو خدمات جديدة .

الفصل العاشر

السيطرة النوعية[2] *Quality Control*

النوعية *Quality* تعني تطابق مجموعة الصفات التي يتميز بها المنتوج والتي تم تثبيتهـا عنـد وضع التصميم والمواصفات بحيث تجعل المنتوج قادراً على تحقيق رغبات ومتطلبات المستهلك .

إن تحقيق النوعية المطلوبة هو ليس مسؤولية قسم أو فرد معين من مؤسسة إنتاجية بل إنها مسؤولية ذات طابع شمولي يشترك فيها جميع العاملين وتضم مسؤوليات متعددة منها تحليل كلفة النوعية ووضع وتحديد مواصفات النوعية وضمان مدى نجاح أو فشل إسلوب الفحص المعتمد ونتائج الفحص والإختبار الخاص بالمنتوج . من الواضح إن هناك إحتمالاً لظهور الأخطاء في كل مرحلة من مراحل العملية الإنتاجية وينشأ عنها منتوج بمواصفات تتفاوت على المواصفات المطلوب تحقيقها ومن بين مسؤولية أقسام السيطرة النوعية قبول أو رفض المنتوج في مختلف مراحله الإنتاجية وهذا يعني عزل المنتجات غير المطابقة للمواصفات وإعتبارها بالتالي مرفوضة وكما موضحة في المخطط التالي:



وعليه فإن السيطرة النوعية *Quality Control* على العمليات الإنتاجية تعني مجموعـة مـن الإجراءات التي تطبق لتحسين النوعية أو الحد من الإنحرافات المحتملة في مستويات النوعية التي من الممكن حدوثها خلال العملية الإنتاجية بسبب العوامل العشوائية والإسنادية التي تسبب تغير النوعية .

أما نظم السيطرة النوعية فتكون :

1- نظم السيطرة على المواد الأولية .

2- نظم السيطرة على أجهزة وأدوات الفحص والقياس .

3- نظم السيطرةعلى العمليات الإنتاجية .

4- نظم السيطرة على نوعية المنتوج النهائي .

5- نظم السيطرة على النوعية إثناء التداول والتخزين .

تختلف الوحدات المنتجة فيما بينها وذلك نتيجة لما يلي :

أ- عملية الإنتاج : إذ تتعرض الوحدات الإنتاجية إلى ظروف إنتاجية مختلفة نتيجة لتقادم المعـدات وإهتزازات المكائن وتذبذب الطاقة الكهربائية .

ب- المواد الأولية : للمواد الأولية تأثير كبير على المنتجات إذ تتباين في مواصفاتها مثلاً درجة التركيز ، السمك ، التحمل ، نسبة الرطوبة ... إلخ .

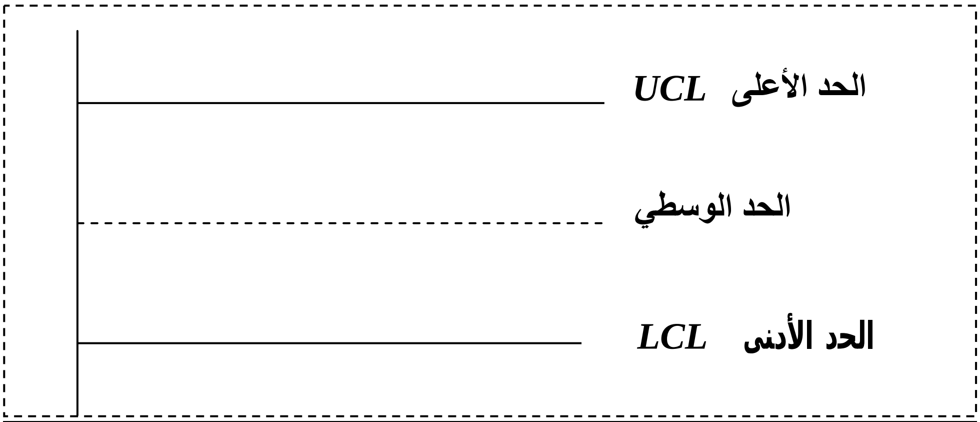
ج- اليد العاملة : إن إختلاف خبرة العامل ودرجة إلتزامه بتعليمات الإنتاج وحالتهم النفسية والبدنية قد يكون المصدر الأساسي للتباين ما بين الوحدات المنتجة .

د- عوامل أخرى : مثل درجة الرطوبة ، درجة الحرارة ، شدة الضوء ...إلخ .

إذا كانت حدود التباين بين الوحدات المنتجة مقبول فالعملية الإنتاجية مسيطر عليها نوعياً وإنها تحت السيطرة ، أما إذا كان التباين كبيراً ويمكن تشخيص أسبابه غير العشوائية فالعملية الإنتاجية ليست تحت السيطرة النوعية .

وتعتبر مخططات السيطرة من أهم الوسائل التي تميز إستخدامها إذا كان التباين بين الوحدات المنتجة يعود إلى أسباب عشوائية وغير عشوائية عند وجود إنحراف ما بين المنتج الفعلي والمواصفات الموضوعة له .

10-1- <u>مخطط السيطرة *Control Chart*</u> : هو رسم بياني يتكون من ثلاثة خطوط متوازية يمثل خط الوسط منها القيمة الوسطى لمتغير النوعية والخطين الأدنى والأعلى يمثلان القيمتين الدنيا والعليا لمتغير النوعية وهي التي تحدد إن المتغير مقبول أو مرفوض . وكما موضح أدناه :



هناك إسلوبان لفحص النوعية هما :

1- إسلوب الفحص الشامل : إذ تفحص كافة وحدات الإنتاج ويمتاز بالخصائص التالية :

أ- كلفة الفحص عالية .

ب- يستغرق الفحص وقتاً طويلاً .

ج- يوفر معلومات أكثر دقة .

د- يحتاج إلى جهد قليل في التخطيط لعمليات الفحص وتحديد النتائج ،

هـ-لايصلح في الفحوصات التدميرية التي تنتهي صلاحية المنتج نتيجة الإستخدام مثل صناعة الأدوية والكتل الكونكريتية وعتاد الأسلحة وغيرها .

2- إسلوب الفحص بالعينة : إذ تسحب عينة من الوحدات الإنتاجية (أي دراسة جـزء مـن الإنتـاج وبنسبة تتراوح عادةً بين %(20 – 10) من الإنتاج الكلي) ويمتاز هذا الإسـلوب بالخـصائص التالية :

أ- كلفة الفحص قليلة .

ب- يحتاج الفحص إلى وقت قليل قياساً بالفحص الشامل .

ج- يوفر معلومات أقل دقة وتزداد الدقة كلما كان إختيار العينة سليماً بحيث تمثـل الوحـدات المتبقية .

د- يحتاج إلى جهد كبير في التخطيط لعمليات الفحص وتحديد النتائج .

هـ- يصلح في الفحوصات التدميرية .

وفي هذا المجال يجب الأخذ بنظر الإعتبار مايلي :

1. نوع العينة : إذ تعتمد العشوائية في إختيار مفردات العينة لأنها تحقق فرص متكافئـة فـي إختيار المفردة إضافة إلى العينة المنتظمة *Systematic Sample* .
2. حجم العينة : أن يتراوح بين(8 – 4) مفردات لكل عينة .
3. عدد العينات : أن يتراوح بين (25 – 20) عينة .
4. سحب العينات : إذا كان الهدف من سحب العينة ضبط الإنتاج تستخدم طريقة أخذ عينة بعد تراكم الإنتاج . أما إذا كان الهدف ضبط الماكنة تستخدم طريقة أخذ العينة من خطوط الإنتاج خلال فترات زمنية محددة .

<u>أنواع مخططات السيطرة</u> :

1- مخططات السيطرة للمتغيرات : وتستخدم هذه المخططات إذا كانت المواصفات النوعية للمنـتج قابلة للقياس الكمي مثل الطول ، الوزن ، الكثافة ، درجة الحرارة ، ... إلخ . ومن أهمها :

أ- مخطط السيطرة للوسط الحسابي $\overline{X} – Chart$.

ب- مخطط السيطرة للمدى *R- Chart* .

ج- مخطط السيطرة للإنحراف المعياري $\sigma – Chart$.

2- مخططات السيطرة للصفات : تستخدم للسيطرة على المواصفات النوعية التي لا يمكن قياسـها كمياً ، لذا تقسم إلى حالتين فقط ، أحدهما مقبولة والأخرى غير مقبولة (مرفوضة) . ومـن أهمها :

أ- مخطط السيطرة لنسبة الوحدات المعيبة *P – Chart* .

ب- مخطط السيطرة لعدد العيوب في مفردة واحدة *C – Chart* .

ج- مخطط السيطرة لمتوسط عدد العيوب في مجموعة من المفردات *U -Chart* .

10-1-1- مخطط السيطرة النوعية للوسط الحسابي $\overline{X} - Chart$:

تبين التغير الحاصل في قيمة متوسط العملية الإنتاجية ، إذ يحدد في هذه المخططات حدي الـسيطرة الأدنى والأعلى بحيث يقع المتوسط ما بين هذين الحدين بإحتمال *99.7%* ، إذا كانت العملية الإنتاجيـة تحت السيطرة أي إنه *0.3%* من الحالات يتخذ القرار الخاطيء بأن العملية الإنتاجية خارج السيطرة في حين إنها في الواقع تحت السيطرة ويحسب الحدين المذكورين كالآتي :

أ- يسحب ما لايقل عن 25 عينة ويحسب الوسط الحسابي $\overline{X}_i$ لكل عينة $\overline{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} X_{ij}}{m}$ ثم يحسب

الوسط الحسابي للأوساط الحسابية للعينات المسحوبة $\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \overline{X}_i}{n}$ ، إذ إن :

$$j = 1 , 2 , ... , m \quad and \quad i = 1 , 2 , ... , n$$

m تمثل حجم كل عينة .

n تمثل عدد العينات المسحوبة .

X_{ij} تمثل المفردة j الواقعة في العينة i .

ب- إيجاد الوسط الحسابي لمديات كل عينة $\overline{R}$ إذ يحسب من العلاقة :

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \quad where \quad R_i = X_{iL} - X_{iS}$$

إذ إن X_{iL} يمثل أكبر قيمة من وحدات العينة i .

X_{iS} يمثل أصغر قيمة من وحدات العينة i .

ج- يحسب حدي السيطرة الأعلى والأدنى الأوليين ، كما يلي :

الحد الأعلى $UCL(\overline{X}) = \overline{\overline{X}} + A_2 \overline{R}$.

الحد الأدنى $LCL(\overline{X}) = \overline{\overline{X}} - A_2 \overline{R}$.

إذ إن A_2 قيمة جدولية تعتمد على عدد المشاهدات في كل عينة m .

د- إذا وقعت متوسطات كافة العينات ضمن حدي السيطرة الأعلى والأدنى الأوليين يعتبر هذان الحدان نهائيان ،أما إذا وقع الوسط الحسابي لواحدة أو أكثر من العينات خارج الحـدين الأوليـين يعـاد حساب حدي السيطرة بعد إستبعاد العينات الواقعة خارج الحدين الأوليين .

10-1-2- مخطط السيطرة النوعية للمدى *R- Chart* :

توضـح درجـة إنتظـام العمليـات الإنتاجية ومدى تباين المواصفات فيما بينها . إذ يحسب حدي السيطرة الأعلى والأدنى للمدى بحيـث يقسم المدى بأخذ 99.7% ما بين الحدين ، ويكون الإحتساب كما يلي :

أ- يسحب ما لا يقل عن 25 عينة ثم يحسب الوسط الحسابي لمدياتها : $\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n}$

ب- يحسب حدي السيطرة الأعلى والأدنى الأوليين كما يلي :

$$UCL(R) = D_4 \overline{R} \quad and \quad LCL(R) = D_3 \overline{R}$$

حيث D_4 , D_3 قيم جدولية تعتمد على حجم العينة m .

ج- يعتبر حدي السيطرة الأوليين نهائيين إذا وقعت مديات كافة العينات بين الحدين ، أما إذا وقع مدى إحدى العينات أو أكثر خارج حدي السيطرة الأوليين فيعاد حساب الحدين بعد إستبعاد العينة (العينات) الواقعة خارج حدي السيطرة .

10-1-3- مخطط السيطرة النوعية للإنحراف المعياري $\sigma - chart$: تبين هذه اللوحة درجة توزيع الوحدات حول الوسط الحسابي لها وتعد أدق اللوحات من حيث إستنتاجها لمسببات التغير وعدم إنتظام العمليات الإنتاجية والتي يمكن حصرها بما يلي :

أ- عدم تناسب مهارة العامل المنفذ للعمليات الإنتاجية مع متطلبات الدقة المطلوب تحقيقها أو إبتعاده عن طرق الإداء الصحيحة وإجراء القياسات المطلوبة بإفتراض إستخدام مواد أولية بمواصفات مطلوبة.

ب- قصور بإداء الماكنة من حيث الدقة بسبب إندثار بعض أجزائها وعدم صيانتها بالشكل المطلوب أو تقادمها .

ولإعداد لوحة الإنحراف المعياري نتبع الخطوات التالية :

1. حساب الوسط الحسابي لكل عينة وللعينات ككل.
2. إيجاد الإنحراف المعياري لكل عينة وللعينات ككل بإستخدام :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m} X_{ij}^2 - m\overline{X}_i^2}{m-1}} \quad and \quad \overline{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i}{n}$$

3. يحسب حدي السيطرة الأعلى والأدنى الأوليين ، كما يلي :

$$UCL(\sigma) = B_2 \overline{\sigma} \quad and \quad LCL(\sigma) = B_1 \overline{\sigma}$$

4. يعتبر حدي السيطرة الأوليين نهائيين إذا وقعت الإنحرافات المعيارية لكافة العينات بين الحدين ، أما إذا وقعت إحداهما أو أكثر خارج حدي السيطرة الأوليين فيعاد حساب الحدين بعد إستبعاد العينة (العينات) الواقعة خارج حدي السيطرة .

أما الجداول الخاصة بقيم $D_4 , D_3 , B_2 , B_1 , A_2$ هي :

m	A_2	B_1	B_2	D_3	D_4
2	1.880	0	3.267	0	3.268
3	1.023	0	2.568	0	2.574
4	0.729	0	2.266	0	2.282
5	0.577	0	2.-089	0	2.114
6	0.483	0.030	1.970	0	2.004
7	0.419	0.118	1.882	0.076	1.924
8	0.373	0.185	1.815	0.136	1.864
9	0.337	0.229	1.761	0.816	1.816
10	0.308	0.284	1.716	0.223	1.777

<u>مثال-1</u> : الجدول الآتي يبين القطر الداخلي (mm) للواشرات المنتجة في إحدى الورش الـصناعية ل 25 عينة . المطلوب : إيجاد الحدين النهائيين للسيطرة النوعية لكلٍ من :

أ) الوسط الحسابي ، ب) المدى و ج) الإنحراف المعياري .

no. of sample	X_1	X_2	X_3	X_4	no. of sample	X_1	X_2	X_3	X_4
1	36	40	40	39	14	35	36	35	36
2	39	40	36	36	15	35	36	36	36
3	36	36	36	39	16	35	35	39	36
4	40	39	36	40	17	37	40	41	39
5	39	39	40	39	18	35	36	36	39
6	40	36	36	36	19	36	40	39	36
7	36	36	39	36	20	35	34	34	34
8	41	41	40	37	21	36	40	35	35
9	36	35	35	36	22	36	36	35	36
10	36	36	36	36	23	35	39	37	41
11	36	39	39	40	24	39	40	40	39
12	36	36	36	36	25	36	36	36	39
13	36	36	36	39					

<u>الحل</u> : نجد الوسط الحسابي $\overline{X}_i$ والمدى R_i لكل عينة :

no. of sample	$\overline{X}_i$	R_i	no. of sample	$\overline{X}_i$	R_i
1	38.75	4	14	35.50	1
2	37.75	4	15	35.75	1
3	36.75	3	16	36.25	4
4	38.75	4	17	39.25	4
5	39.25	1	18	36.50	4
6	37.00	4	19	37.85	4
7	36.75	3	20	34.25	1
8	39.75	4	21	36.50	5
9	35.50	1	22	35.75	1
10	36.00	0	23	38.00	6
11	38.50	4	24	39.50	1
12	36.00	0	25	36.75	3
13	36.75	3	$\sum$	929.25	70

ثم نجد الوسط الحسابي العام $\overline{\overline{X}}$ ومتوسط المدى $\overline{R}$:

$$\overline{R}=\frac{\sum_{i=1}^{n}R_i}{n}=\frac{70}{25}=2.8 \qquad \text{و} \qquad \overline{\overline{X}}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\overline{X}_i}{n}=\frac{929.25}{25}=37.17$$

أ) حدي السيطرة النوعية للوسط الحسابي $\overline{X}-Chart$ بحيث $A_2=0.729$ with $m=4$.

$$UCL(\overline{X})=\overline{\overline{X}}+A_2\overline{R}=37.17+0.729*2.8=39.211$$

$$LCL(\overline{X})=\overline{\overline{X}}-A_2\overline{R}=37.17-0.729*2.8=35.129$$

من المخطط للسيطرة النوعية للوسط الحسابي نلاحظ إن المتوسطات الخارجة عن السيطرة تتمثـل بالعينات التي تحمل التسلسلات التالية :

no. of sample	$\overline{X}_i$	R_i
5	39.25	1
8	39.75	4
17	39.25	4
20	34.25	1
24	39.50	1

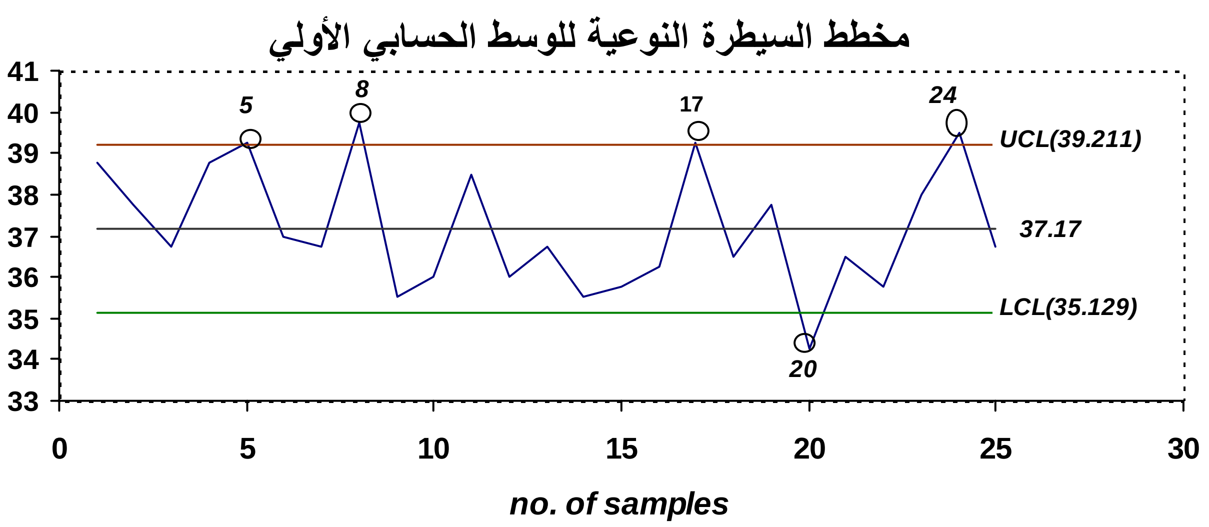
بإستبعاد هذه العينات التي متوسطاتها خارجة عن حدي السيطرة ، سـيكون المتوسـط العـام $\overline{\overline{X}}_{new}$ ومتوسط المدى $\overline{R}_{new}$ الجديدان :

$$\overline{\overline{X}}_{new}=\frac{929.25-192}{25-5}=36.86 \quad and \quad \overline{R}_{new}=\frac{70-11}{25-5}=2.95$$

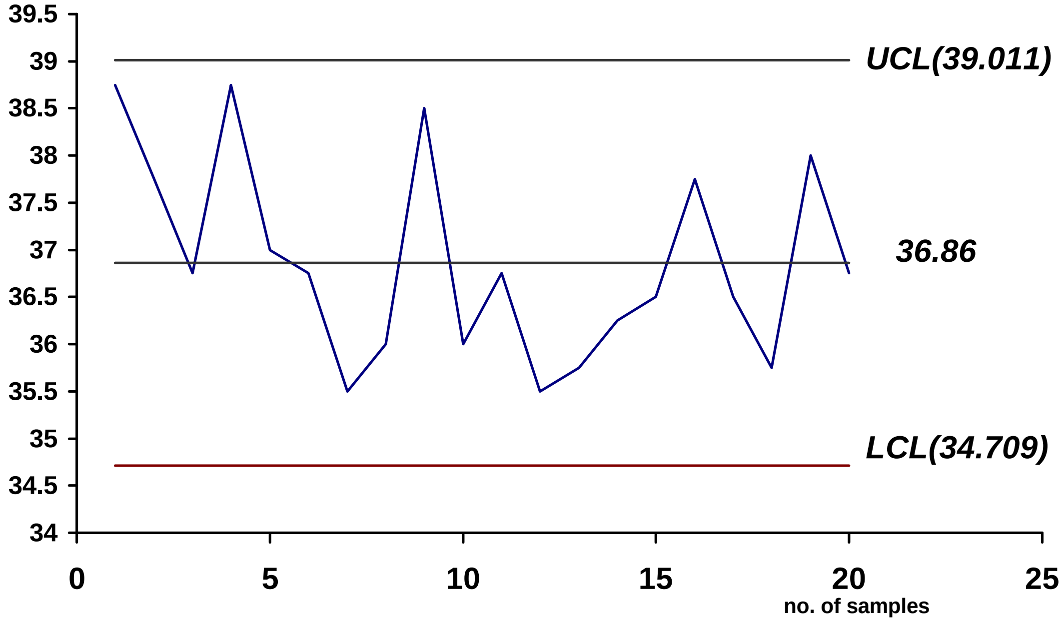
لذا فحدي السيطرة النوعية النهائيان للوسط الحسابي سيكونان :

$$UCL(\overline{X})_{new}=\overline{\overline{X}}_{new}+A_2\overline{R}_{new}=36.86+0.729*2.95=39.011$$

$$LCL(\overline{X})_{new}=\overline{\overline{X}}_{new}-A_2\overline{R}_{new}=36.86-0.729*2.95=34.709$$



المخطط النهائي للسيطرة النوعية للوسط الحسابي

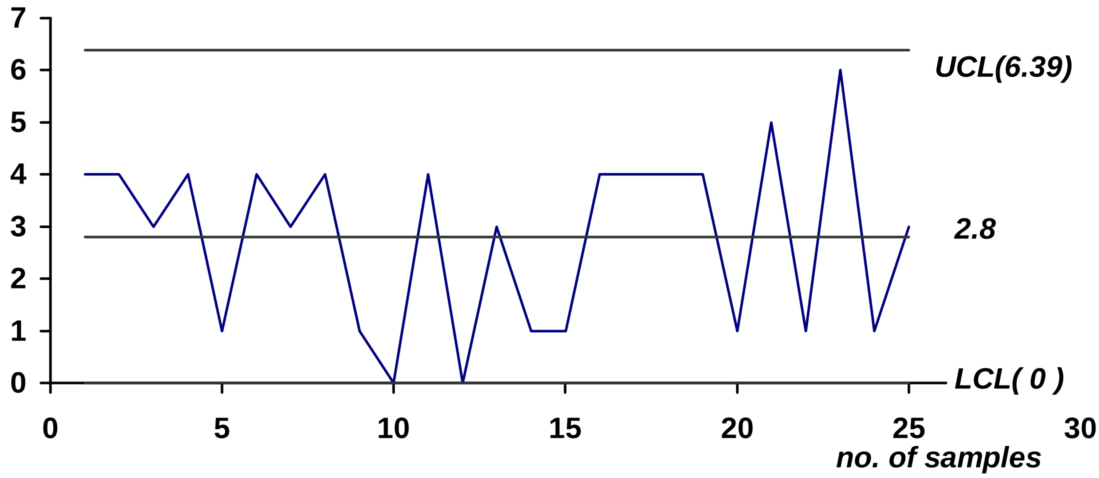


ب) حدي السيطرة النوعية للمدى *R-Chart* :

$\overline{R} = 2.8 \quad , \quad D_3 = 0 \quad , \quad D_4 = 2.282$

$UCL(R) = D_4 \overline{R} = 2.282 * 2.8 = 6.39 \quad and \quad LCL(R) = D_3 \overline{R} = 0 * 2.8 = 0$

مخطط السيطرة النوعية للمدى



من المخطط أعلاه نلاحظ إن جميع المديات R_i تقع داخل حدي السيطرة ، اذا يصبح الحدان أعلاه هما الحدان النهائيان .

ج-حدي السيطرة النوعية للإنحراف المعياري σ- *chart* :

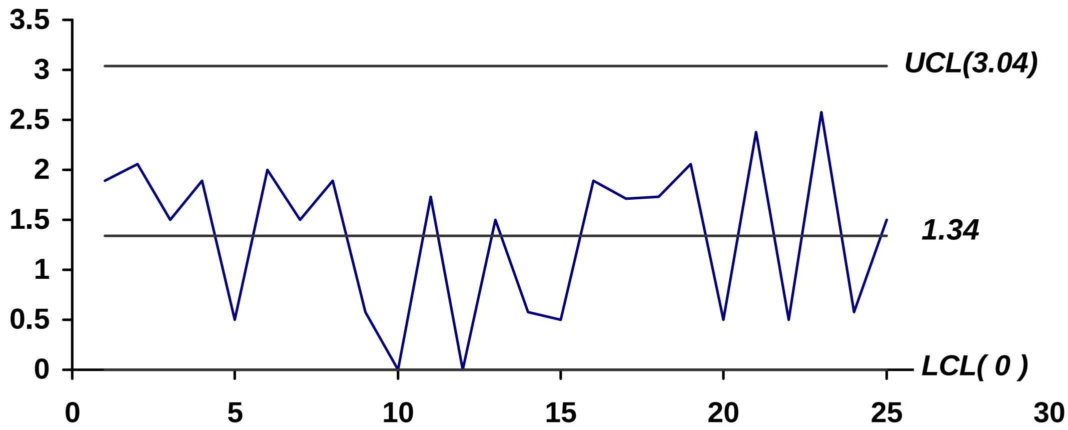
no. of samples	σ_i		no. of samples	σ_i
1	1.89		14	0.58
2	2.06		15	0.50
3	1.50		16	1.89
4	1.89		17	1.71
5	0.50		18	1.73
6	2.00		19	2.06
7	1.50		20	0.50
8	1.89		21	2.38
9	0.58		22	0.50
10	0.00		23	2.58
11	1.73		24	0.58
12	0.00		25	1.50
13	1.50		$\sum$	33.55

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m} X_{ij}^2 - m\overline{X}_i^2}{m-1}} \Rightarrow \sigma_1 = \sqrt{\frac{36^2 + 40^2 + 40^2 + 39^2 - 4*(38.75)^2}{4-1}} = 1.89 \quad ....etc.$$

$$\overline{\sigma} = \frac{33.55}{25} = 1.34$$

$$UCL(\sigma) = B_2 \times \overline{\sigma} = 2.266 \times 1.34 = 3.04 \quad and \quad LCL(\sigma) = B_1 \times \overline{\sigma} = 0 \times 1.34 = 0$$

مخطط السيطرة النوعية للإنحراف المعياري



من المخطط أعلاه نلاحظ إن جميع الإنحرافات المعيارية σ_i تقع داخل حدي السيطرة لذا يصبح الحدان أعلاه هما الحدان النهائيان .

10-1-4- مخطط السيطرة النوعية لنسبة الوحدات المعابة *P- Chart* :

يتم إستخدام هذا النوع من المخططات للسيطرة على النوعية فيما يخص نسبة المعاب ضمن المفردات المنتجة لمنتوج معين أو لماكنة معينة أو لوجبة عمل معينة . ويكون حدي السيطرة النوعية الأوليين ، كما يلي :

$$UCL(\bar{P}) = \bar{P} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{m}} \quad and \quad LCL(\bar{P}) = \bar{P} - 3 * \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{m}}$$

إذ إن m تمثل حجم العينة لكل وجبة عمل .

$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n}$ تمثل متوسط نسبة الوحدات المعابة للعينة المختارة .

ثم نقارن نسبة الوحدات المعابة مع حدي السيطرة الأوليين ، فإذا وقعت جميعها ضمن حدي السيطرة النوعية فيعتبر هذان الخطان نهائيان ، أما إذا وقعت واحدة أو أكثر من قيم P_i خارج حدي السيطرة فيعاد إحتساب حدي السيطرة النوعية بعد إستبعاد العينات الواقعة خارج حدي السيطرة الأوليين .

أما الشروط اللازمة لإعداد هذه اللوحة هي :

1. يكون سحب العينات بصورة متتابعة وبفترات زمنية محددة ومنظمة .
2. تساوي حجم العينة المسحوبة ويفضل سحب عينات بعدد كبير من المفردات تتكون بين *(100 – 30)* مفردة .

مثال-2 : سحبت 25 عينة من منتوج ما لإحدى المصانع تتكون كل عينة من *200* وحدة إنتاجية ، فوجد إن عدد الوحدات المعابة في كلٍ منها كالآتي :

2 , 3 , 4, 0 , 5, 2 , 13 , 2, 3 , 10, 3 , 0 , 4, 2 , 1, 4 , 5 , 3, 5 , 4, 1 , 2, 6 , 2 ,5

أوجد حدي السيطرة النوعية لنسبة الوحدات المعابة .

الحل :

n	defective	P_i		n	defective	P_i
1	2	0.010		14	2	0.010
2	3	0.015		15	1	0.005
3	4	0.020		16	4	0.020
4	0	0.000		17	5	0.025
5	5	0.025		18	3	0.015
6	2	0.010		19	5	0.025
7	13	0.065		20	4	0.020
8	2	0.010		21	1	0.005
9	3	0.015		22	2	0.010
10	10	0.050		23	6	0.030
11	3	0.015		24	2	0.010
12	0	0.000		25	5	0.025
13	4	0.020		∑	91	0.455

$$\overline{P}=\frac{\sum_{i=1}^{n}P_i}{n}=\frac{0.455}{25}=0.0182$$

$$UCL(P)=\overline{P}+3*\sqrt{\frac{\overline{P}(1-\overline{P})}{m}}=0.0182+3*\sqrt{\frac{0.0182*(1-0.0182)}{200}}=0.0466$$

$$LCL(P)=\overline{P}-3*\sqrt{\frac{\overline{P}(1-\overline{P})}{m}}=0.0182-3*\sqrt{\frac{0.0182*(1-0.0182)}{200}}=-0.010\cong 0$$

ومن مقارنة قيم P_i مع حدي السيطرة الأوليين أعلاه ، نلاحظ إن قيم P_i التي تقـع خـارج هـذين الحدين هما :

n	Def.	P_i
7	13	0.065
10	10	0.050
$\sum$	23	0.115

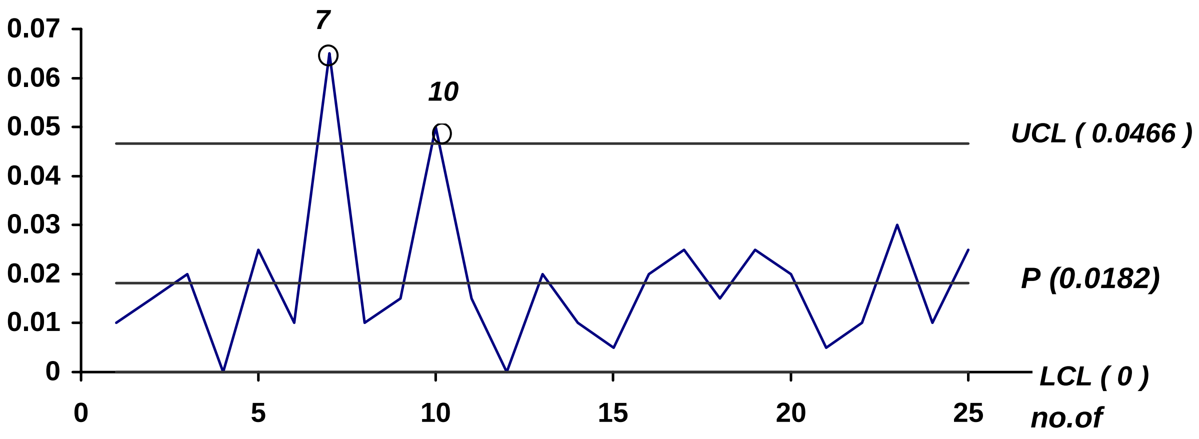
وبإستبعادهما نحصل على حدي السيطرة النهائيين ، وكما يلي :

$$\overline{P}_{new}=\frac{0.455-0.115}{25-2}=0.0147$$

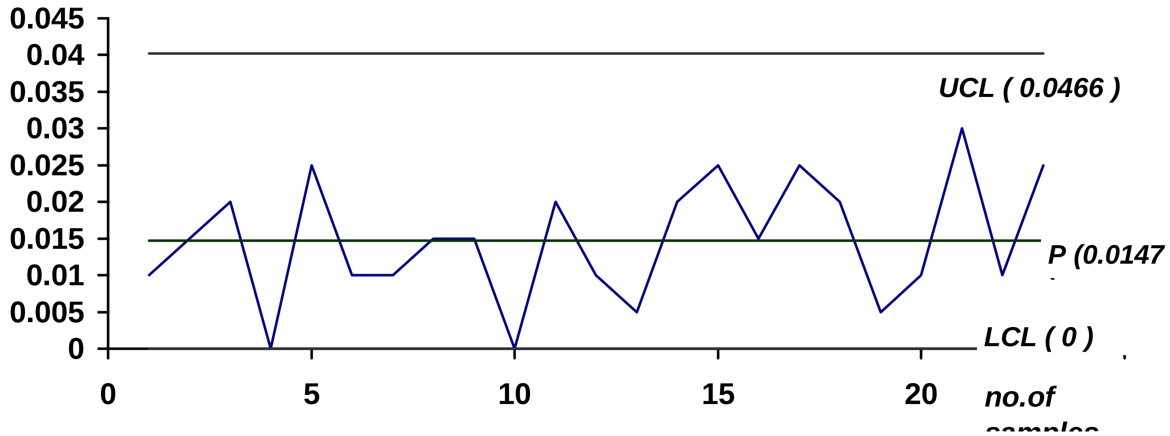
$$UCL(P)_{new}=0.0147+3*\sqrt{\frac{0.0147*(1-0.0147)}{200}}=0.0402$$

$$LCL(P)_{new}=0.0147-3*\sqrt{\frac{0.0147*(1-0.0147)}{200}}=-0.0108\cong 0$$

المخطط الأولي للسيطرة النوعية لنسبة الوحدات المعابة



المخطط النهائي للسيطرة النوعية لنسبة الوحدات المعابة



10-2- مستوى الجودة :

لتقييم مستوى الجودة لا بد من مطابقة حدود لوحة السيطرة مع حدود لوحة المواصفات ، فإذا كانت نتيجة المطابقة وقوع حدي لوحة السيطرة ضمن حدي لوحة المواصفات ، فإن هذا يدل على أحكام السيطرة على العمليات الإنتاجية ، أما إذا كانت نتيجة المطابقة خروج أحد حدود لوحة السيطرة أو كلا الحدين عن حدود لوحة المواصفات فهذا يشير إلى إن الإنتاج غير مرضي مما يتطلب إتخاذ الإجراءات اللازمة لضمان تحقيق المواصفات وبحدود السماحات المثبتة والتي وضعت أساساً بعد التأكد من إن قابلية العمال ودقة المكائن قادرة على تحقيقها .

وللتأكد من مستوى الجودة لا بد من إستخدام بعض الأساليب الرياضية التي يمكن خلالها التعرف على مدى مطابقة الإنتاج للمواصفات المحددة مسبقاً .

وإن أحد هذه الأساليب هو : $\frac{3\sigma}{T} \leq 1$ حيث إن T تمثل مقدار السماح .

كما يمكن إيجاد عدد الإنحرافات المعيارية N_σ من العلاقة : $N_\sigma = \frac{T}{\sigma}$.

من الجدول أدناه ، يمكن إيجاد نصف المساحة تحت المنحني الطبيعي والنسبة للوحدات المعابة :

N_σ	1/2 area	Def. %
0.00	0.500	100.0
0.25	0.401	80.2
0.50	0.309	61.8
0.75	0.227	45.4
1.00	0.159	30.8
1.25	0.106	21.2
1.50	0.067	13.4
1.75	0.040	8.0
2.00	0.023	4.6
2.25	0.012	2.4
2.50	0.006	1.2
2.75	0.003	0.6
3.00	0.001	0.2

وكما موضح في الشكل أدناه :

مثال-3 : من بيانات المثال الول ، أوجد مستوى جودة افنتاج ونسبة الوحدات المعابة .

الحل : رجوعاً لبيانات المثال-1 نجد إن $\sigma = 1.34$ وإن مقدار السماح لحـدي الـسيطرة النهـائي للوسط الحسابي هو : $T = 39.011 - 36.86 = 2.151$ ، وعليه فإن مستوى الجودة يكون :

$$\frac{3\sigma}{T} = \frac{3 * 1.34}{2.151} = 1.87 > 1$$

ولكون خارج القسمة أكبر من الواحد فهذا يعني إن الإنتاج واقع خارج حدود السيطرة وإنه يحتوي على كمية من الوحدات المعابة .

لحساب النسبة المئوية للوحدات المعابة نجد عدد الإنحرافات المعيارية :

$$N_\sigma = \frac{T}{\sigma} = \frac{2.151}{1.34} = 1.6$$

وبإستخدام الجدول السابق ، نجد إن 1.6 من الإنحرافات المعيارية يقابل نسبة وحدات معابة مقـدارها 11% تقريباً ويمكن تمثيله بالشكل الآتي :

الفحص بالعينات :

مما لاشك فيه إن أبسط طريقة لضبط الجودة تتمثل بالفحص الشامل لجميع السلع المنتجة وعـزل المعاب منها ولكن هذه الطريقة غير إقتصادية واحياناً يستحيل تطبيقها ولأسباب سبق ذكرها سابقاً .

لذا فإن إتخاذ القرار لقبول الإنتاج أو رفضه بإستخدام أسلوب الفحص العيني يعتمد علـى نـسبة المعاب في العينة المسحوبة بطريقة عشوائية .

وفي الواقع العملي ، إذا كانت عدد الوحدات المعابة المتفق عليها لقبول الدفعة أقل مـن d ، قـد يظهر بالصدفة في عينة معينة أقل من d مفردة معابة لذا تقبل الدفعة على هذا الأساس في حين كان يجب رفضها لإحتوائها على مفردات معابة أكثر من النسبة المتفق عليهـا وهـذا يـشكل مخـاطرة المستهلك *Consumer's risk* وقد يظهر في الصدفة في عينة أخـرى d مـن المفـردات المعابـة وترفض هذه الدفعة على هذا الأساس ،في حين كان يجب قبولها لإحتوائها على مفردات معابة أقل من النسبة المسموح بها وهذا يشكل مخاطرة المنتج *Producer's risk* .

وعلى فرض إن مستوى الجودة للقبول هو d_1 ومستوى الجودة المحددة هو d_2 . فعند d_1 يكـون إحتمال قبول الدفعة هو P_1 لهذا فإحتمال رفضها يكون $(1-P_1)$ إذ تمثل مخاطرة المنتج (إحتمال رفض الدفعة خطأ ويفترض إنها تقبل) ، أما إذا تعرضت دفعة معينة لمستوى d_2 أو أقل بسبب فحص عينة قليلة العيوب بالصدفة وقبلت الدفعة في حين كان المفروض رفضها ن فـإن هـذا يـشكل مخـاطرة المستهلك وليكن P_2 ، وكما موضحة في الشكل :

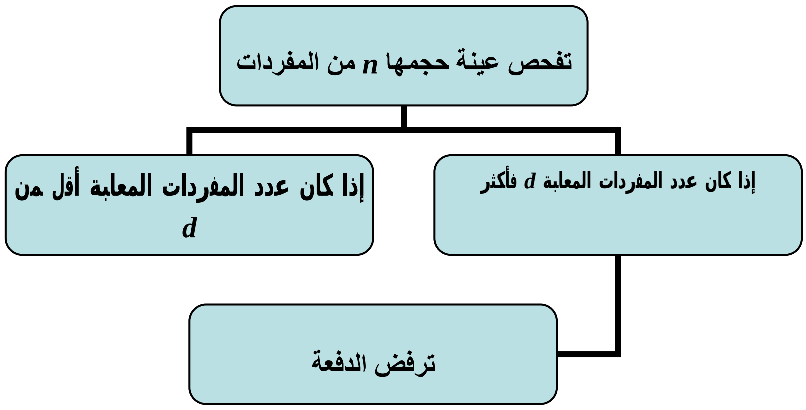
أما أنواع الخطط للفحص العيني فهي :

أ- <u>الفحص العيني الأحادي</u> : يعتمد قرار قبول أو رفض المنتج طبقاً لهذه الخطة على نتائج فحـص عينة واحدة مسحوبة بطريقة عشوائية من الإنتاج ويتخذ القرار إستناداً إلـى عـدد الوحـدات المسموح بها من القطع المعابة في العينة .

إذا سحبت عينة عشوائية بحجم n مفردة وكانت عدد الوحدات المعابة المتفق عليهـا لقبـول الدفعة أقل من d فنتيجة الفحص تكون :

- إذا وجد في العينة أقل من d مفردة معابة تقبل الدفعة .
- إذا وجد في العينة d من المفردات المعابة أو أكثر ترفض الدفعة أو تفحص فحصاً شاملاً.

وكما في الشكل أدناه :



ب- <u>الفحص العيني الثنائي</u> : يعتمد إتخاذ القرار في حالة الفحص العيني الثنائي إستناداً لنتائج فحص عينتين وبالترتيب التالي :

تسحب عينة وتفحص الحالات التالية :

العينة جيدة – لهذا تقبل الدفعة .

العينة غير جيدة – ترفض الدفعة .

العينة ليست جيدة ولاسيئة – لهذا تؤخذ عينة ثانية وتفحص .

إتخاذ القرار في هذه الحالة يعتمد على عدد الوحدات المعابة في العينتين معاً ، وكما موضحة في الشكل أدناه بإفتراض إن :

d_1 يمثل أقل عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينة الأولى .

d_2 يمثل أكبر عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينة الأولى .

d_3 يمثل أكبر عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينتين معاً .

ج- <u>الفحص العيني المتعدد</u> : في حالة عدم التوصل لإتخاذ قرار بإتباع الفحص العيني الثنائي تتحتم ضرورة سحب عينة ثالثة أو عدد من العينات . ويعتمد هذا العدد على كلفة الفحص ودرجة الدقة المطلوبة وطبيعة العمليات التصنيعية ومستوى مهارة المنفذين لها . والشكل ادناه يوضح هذه الحالة بإفتراض إن :

d_{11} يمثل أقل عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينة الأولى .

d_{12} يمثل أكبر عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينة الأولى .

d_{21} يمثل أقل عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينتين معاً .

d_{22} يمثل أكبر عدد من الوحدات المعابة المسموح بها في العينتين معاً .

:

:

d_r يمثل عدد الوحدات المعابة المسموح بها في كل العينات r .

<u>توزيع ثنائي الحدين *Binomial distribution*</u> : إذا سحبت عينة عشوائية بحجم n من الوحدات الإنتاجية وبإفتراض إن نسبة الوحدات المعابة في الإنتاج هو p ، فإن إحتمال الحصول على x مـن الوحدات المعابة في العينة المسحوبة حسب توزيع ثنائي الحدين سيكون :

$$P(x) = C_x^n . p^x (1-p)^{n-x} , \quad x = 0,1,2,...,n$$

$$Where : \quad C_x^n = \frac{n!}{x!.(n-x)!} \quad , \quad n! = n(n-1)(n-2)....2.1$$

مثال 4 : في مصنع لإنتاج المصابيح تنص خطة فحص الإنتاج على سحب عينة بحجم 10 مفردات بطريقة عشوائية خلال كل ساعة من ساعات وجبة العمل . وإزاء ذلك إذا لم يظهر في العينة إي مصباح معاب فعندئذٍ تقبل الدفعة ، أما إذا ظهر فيها أكثر من مصباحين معابين فإنه يجب رفض هذه الدفعة وضرورة إخضاع الإنتاج للفحص الشامل . وفي حالة ظهور مصباح واحد أو إثنين معابين يجب عند ذلك سحب عينة بحجم 20 مفردة وخلال ذلك إذا وجد في العينتين مصباحين أو أقل تقبل الدفعة إلا إنه إذا ظهر خلاف ذلك أي أكثر من مصباحين معابين فعندئذٍ ينبغي رفض الدفعة وإخضاع الإنتاج للفحص الشامل .

أوجد معادلة إحتمال قبول الدفعة بدلالة نسبة المعاب بين 0.01 و 0.03 ومعرفة إحتمال مخاطرة المنتج عند نسبة معاب 0.025 وكذلك إحتمال مخاطرة المستهلك عند نسبة معاب 0.20.

الحل: يمكن توضيح المسألة أعلاه بالمخطط التالي :

إحتمال قبول أي من الدفعتين P = إحتمال عدم ظهور مصباح معاب في العينة الأولى + إحتمال ظهور مصباح معاب في العينة الأولى وعدم ظهور مصباح معاب في العينة الثانية + إحتمال ظهور مصباح معاب في العينة الأولى ومصباح معاب واحد في العينة الثانية + إحتمال ظهور مصباحين معابين في العينة الأولى وعدم ظهور مصباح معاب في العينة الثانية .

$$P = P_1(0) + P_1(1) . P_2(0) + P_1(1) . P_2(1) + P_1(2) . P_2(0)$$

بإعتبار إن $P_1(x)$ يمثل إحتمال ظهور x من المصابيح المعابة في العينة الأولى .

$P_2(x)$ يمثل إحتمال ظهور x من المصابيح المعابة في العينة الثانية .

لذا فإن :

$$P_1(x) = C_x^{10} p^x (1-p)^{10-x} \quad , \quad x = 0,1,2,...,10$$

$$P_1(0) = C_0^{10} p^0 (1-p)^{10-0} = (1-p)^{10}$$

$$P_1(1) = C_1^{10} p^1 (1-p)^{10-1} = 10p(1-p)^9$$

$$P_1(2) = C_2^{10} p^2 (1-p)^{10-2} = 45p^2(1-p)^8$$

$$P_2(x) = C_x^{20} p^x (1-p)^{20-x} \quad , \quad x = 0,1,2,...,20$$

$$P_2(0) = C_0^{20} p^0 (1-p)^{20-0} = (1-p)^{20}$$

$$P_2(1) = C_1^{20} p^1 (1-p)^{20-1} = 20p(1-p)^{19}$$

$$P(p) = (1-p)^{10} + 10p(1-p)^9(1-p)^{20} + 10p(1-p)^9 .20p(1-p)^{19} + 45p^2(1-p)^8(1-p)^{20}$$

$$P(p) = (1-p)^{10}\left[1 + 10p(1-p)^{18}(1 + 23.5p)\right]$$

وعند تعويض قيم مختلفة فيما يخص نسب المعاب p في المعادلة أعلاه نحصل على الجدول :

p	0.01	0.03	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
P	0.998	0.955	0.857	0.524	0.269	0.129	0.062	0.029

لذا فإحتمال مخاطرة المنتج بنسبة معاب 0.025 تكون :

$$1 - P(0.025) = 1 - (1 - 0.025)^{10} \{ 1 + 10 * 0.025 * (1 - 0.025)^{18}(1 + 23.5*0.025)\}$$
$$= 0.03$$

أي إحتمال مخاطرة المنتج هو 3% .

أما إحتمال مخاطرة المستهلك بنسبة معاب 0.20 من الجدول أعلاه تكون 12.9% .

تمارين الفصل العاشر

1- سحبت عينة عشوائية يومياً تتكون من 50 دائرة كهربائيـة تـستخدم لـصناعة إحـدى الأجهـزة الأليكترونية ولمدة 20 يوماً ، وبعد فحصها كانت عدد الدوائر المعابة لكل يوم كالآتي :

1 ، 2 ، 3 ، 1 ، 2 ، 2 ، 5 ، 2 ، 3 ، 5 ، 3 ، 9 ، 2 ، 3 ، 1 ، 3 ، 6 ، 2 ، 3 و 4

أوجد حدي السيطرة النوعية لنسبة الوحدات المعابة . *(ans.0 , 0.1533)*

2- سحبت 10 عينات عشوائية من مصنع لتعبئة الأسماك البحرية وكل عينة تحتوي علـى 5 علـب ، كانت أوزانها (باوند) كالآتي :

n	measurements				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	1.04	1.01	0.98	1.02	1.00
2	1.02	0.97	0.96	1.01	1.02
3	1.01	1.07	0.99	1.03	1.00
4	0.98	0.97	1.02	0.98	0,98
5	0.99	1.03	0.98	1.02	1.01
6	1.02	0.95	1.04	1.02	0.95
7	1.00	0.99	1.01	1.02	1.01
8	0.99	1.02	1.00	1.04	1.09
9	1.03	1.04	0.99	1.02	0.94
10	1.02	0.98	1.00	0.99	1.02

أوجد حدي السيطرة النوعية : أ) للوسط الحسابي و ب) للمدى .

(ans. a) 0.9679 , 1.0429 , b) 0 , 0.137)

3- كون مخطط سيطرة نوعية مناسب للعملية الإنتاجية المتمثلة بالبيانات التالية التي جمعت خلال شهر معين :

Date	Sample size	No. of defectives		Date	Sample size	No. of defectives
1	200	3		12	200	3
2	200	1		13	200	6
3	200	0		14	200	8
4	200	2		15	200	5
5	200	4		16	200	9
6	200	1		17	200	3
7	200	2		18	200	1
8	200	0		19	200	0
9	200	3		20	200	2
10	200	2		21	200	3
11	200	1		22	200	1

(ans. 0 , 0.0332)

4- أوجد مخطط السيطرة النوعية للإنحراف المعياري للبيانات التالية :

N	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	0.498	0.492	0.510	0.505	0.504	0.487
2	0.482	0.491	0.502	0.481	0.496	0.492
3	0.501	0.512	0.503	0.499	0.498	0.511
4	0.498	0.486	0.502	0.503	0.510	0.501
5	0.500	0.507	0.509	0.498	0.512	0.518
6	0.476	0.492	0.496	0.521	0.505	0.490
7	0.483	0.487	0.495	0.488	0.502	0.486
8	0.502	0.500	0.511	0.496	0.500	0.503
9	0.492	0.504	0.472	0.515	0.498	0.487
10	0.511	0.522	0.513	0.518	0.520	0.516
11	0.488	0.512	0.501	0.498	0.492	0.498
12	0.504	0.502	0.496	0.501	0.491	0.496
13	0.501	0.413	0.499	0.496	0.508	0.502
14	0.489	0.491	0.496	0.510	0.508	0.503
15	0.511	0.499	0.508	0.503	0.496	0.505

(ans. 0.0002 , 0.0158)

5- تم سحب 25 عينة ، حجم كل منها 4 مفردات للسيطرة على خاصية نوعية منتج صناعي . وجد الفاحص إن مجموع قيم الأوساط الحسابية $\sum \overline{X}_i = 160.25$ ومجموع قيم المديات $\sum R_i = 2.19$ ومجموع قيم الإنحرافات المعيارية $\sum \sigma_i = 2.05$. عند أخذ عينة واحدة كانت نتائج قياس الخاصية النوعية لها (بالمليمتر) كالآتي : 6.58 ، 6.28 ، 6.44 و 6.38 ،
المطلوب : هل إن العينة تقع ضمن حدود السيطرة النوعية :
أ) للوسط الحسابي ، ب) للمدى و ج) للإنحراف المعياري .

(ans. a) yes , b) no , c) yes)

الفصل الحادي عشر

المعولية Reliability [3]

المعولية *Reliability* : هي إحتمال إنجاز الجهاز (أو المنظومة) لمهامه المطلوبة بدون عطل خـلال فترة زمنية محددة تحت شروط عمل معينة ، مع الأخذ بنظر الإعتبار :

1- تحديد معنى العطل بشكل دقيق وغير غامض بحيث يمكن ملاحظته .

2- تحديد وحدة الزمن وفي بعض الحالات لا تقاس المعولية بفترة زمنية وإنما بمسافة (ميل مثلاً) أو بعدد الوحدات أو الطلبات المنتجة .

3- يتم عمل الجهاز (المنظومة) تحت ظروف طبيعية ، إذ تتضمن عدة عوامـل منهـا التحميـل (كالوزن ، الفولتية ، الضغط) ، البيئة (كدرجة الحـرارة ، الرطوبـة ، الإهتـزاز ، الإرتفـاع العمودي) وشروط العمل (كالخزن ، الصيانة والنقل) .

بإفتراض إن T متغير عشوائي مستمر *Continuous Random Variable* يمثل وقـت عطـل الجهاز بحيث $T \geq 0$. لذا يمكن صياغة دالة المعولية *Reliability function* ، كما يلي :

$$R(t) = Pr(T \geq t) \quad \forall t \geq 0$$

$$\text{where} \quad 1)\ 0 \leq R(t) \leq 1 \qquad 2)\ R(0) = 1 \qquad 3)\ \lim_{t \to \infty} R(t) = 0$$

وعليه فإن إحتمال عطل الجهاز قبل الزمن t يكون :

$$F(t) = 1 - R(t) = Pr(T < t)$$

$$\text{where} \quad 1)\ 0 \leq F(t) \leq 1 \qquad 2)\ F(0) = 0 \qquad 3)\ \lim_{t \to \infty} F(t) = 1$$

علماً إن $F(t)$ هي دالة التوزيـع التجميعـي *Cumulative distribution function (c.d.f.)* لدالة العطل *Failure function* .

أما إحتمال حدوث العطل في الجهاز خلال الفترة الزمنية [a , b] يكون :

$$Pr(a \leq T \leq b) = F(b) - F(a) = R(a) - R(b) = \int_a^b f(t)dt$$

إذ إن $f(t)$ تمثل دالة الكثافة الإحتمالية *Probability distribution function (p.d.f.)* لدالـة العطل ، وتحسب من الصيغة التالية :

$$f(t)=\frac{d}{dt}F(t)=-\frac{d}{dt}R(t)$$

$$where \quad 1) \quad f(t)\geq 0$$

$$2) \quad \int_0^t f(t)=1$$

وعليه فإن :

$$F(t)=\int_0^t f(u)du \quad and \quad R(t)=\int_t^\infty f(u)du$$

<u>مثال-1</u> – إذا علمت إن دالة الكثافة الإحتمالية للمتغير العشوائي T الذي يمثـل الـزمن المـستغرق (ساعة عمل) قبل عطل الضاغطة *Compressor* هي :

$$f(t)=\frac{0.001}{(0.001t+1)^2} \quad t\geq 0$$

$$=0 \qquad o.w$$

أوجد : أ) دالة المعولية لإشتغال الضاغطة 100 ساعة عمل .

ب) ما هو الزمن الممكن أن تشتغل فيه الضاغطة إذا كانت المعولية هي 0.95 ؟

ج) إحتمال إشتغال الضاغطة فترة [100 , 10] ساعة عمل .

<u>الحل</u> – أ)

$$R(t)=\int_t^\infty \frac{0.001}{(0.001t+1)^2}dt=-\left[\frac{1}{0.001t+1}\right]_t^\infty=-\frac{1}{\infty}+\frac{1}{0.001t+1} \quad \Rightarrow \quad R(t)=\frac{1}{0.001t+1}$$

$$R(100)=\frac{1}{0.001*100+1}=0.909$$

ب)

$$R(t)=\frac{1}{0.001t+1}=0.95 \quad \Rightarrow \quad t=\frac{1}{0.001}\left(\frac{1}{0.95}-1\right)=52.6 \quad hrs.$$

ج)

$$Pr(10\leq T\leq 100)=R(10)-R(100)=\frac{1}{0.001*10+1}-\frac{1}{0.001*100+1}=0.081$$

<u>متوسط زمن العطل *Mean Time of Failure (MTTF)*</u> : يمكن حساب متوسط زمـن العطل من الصيغة التالية :

$$MTTF=E(t)=\int_0^\infty t.f(t)dt=\int_0^\infty R(t)dt$$

أما التباين *Variance* للتوزيع الإحتمالي للعطل فيحسب من الصيغة :

$$\sigma^2=V(t)=\int_0^\infty t^2.f(t)dt-(MTTF)^2$$

ومن الطبيعي فإن الإنحراف المعياري *Standard deviation* للتوزيع يكون الجذر التربيعي للتباين.

مثال-2- إذا كانت دالة الكثافة الإحتمالية *p.d.f.* كما يلي :

$$f(t) = 0.002 * e^{-0.002t} \qquad t \geq 0$$
$$= 0 \qquad\qquad o.w$$

إحسب متوسط زمن العطل *MTTF* والتباين والإنحراف المعياري .

الحل- أ) متوسط زمن العطل يكون :

$$MTTF = \int_0^\infty t.f(t)dt = \int_0^\infty 0.002t * e^{-0.002t}dt$$

$$MTTF = -\left[t * e^{-0.002t} + \int e^{-0.002t}\right]_0^\infty = \left[-t * e^{-0.002t} - \frac{1}{0.002}e^{-0.002t}\right]_0^\infty = 500 \qquad hrs.$$

$$where \qquad \lim_{t\to\infty}\frac{t}{e^{0.002t}} = 0 \qquad by \qquad L'Hopital \quad rule$$

ب) التباين يكون :

$$\sigma^2 = \int_0^\infty t^2 f(t)dt - (MTTF)^2 = \int_0^\infty t^2(0.002 * e^{-0.002t})dt - (500)^2$$

بإستخدام طريقة التجزئة لتكامل الدالة أعلاه نحصل على :

$$\sigma^2 = \left[-t^2e^{-0.002t} - \frac{2t}{0.002}e^{-0.002t} - \frac{2}{0.00004}e^{-0.002t}\right]_0^\infty - (500)^2 = 250000 \qquad hrs.^2$$

$$By \quad L'Hopital \quad rule \quad \lim_{t\to\infty}\frac{t^2}{e^{0.002t}} = 0 \quad and \quad \lim_{t\to\infty}\frac{t}{e^{0.002t}} = 0$$

ج) الإنحراف المعياري يكون :

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{250000} = 500 \qquad hrs.$$

<u>دالة نسبة المخاطرة *Hazard rate function*</u> : وتسمى أيضاً دالة نسبة العطل *Failure rate function* ، إذ تتمثل بالإحتمال الشرطي لعطل الجهاز خلال الفترة $t\ ,\ t + \Delta t$ ، علماً بأن الجهاز إشتغل حتى الزمن t ، أي إن :

$$Pr(t \leq T \leq t + \Delta t / T \geq t) = \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \Rightarrow \quad R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

مثال-3- إذا كانت دالة نسبة المخاطرة الخطية هي :

$$\lambda(t) = 5 * 10^{-6}\, t$$

إذ إن t تمثل ساعات الإشتغال ، ما هو الزمن الذي يشتغله الجهاز قبل عطله ، إذا علمت إن المعولية هي 0.98 ؟

الحل-

$$R(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad \Rightarrow \quad 0.98=e^{-\int_0^t 5*10^{-6}\, tdt}$$

$$0.98=e^{-2.5*10^{-6}t^2} \quad \Rightarrow \quad t=\sqrt{\frac{\ln 0.98}{-2.5*10^{-6}}}\cong 90 hrs.$$

مثال-4- إذا علمت إن دالة المعولية لجهاز هي :

$$R(t)=1-\frac{t^2}{a^2} \quad where \quad 0\le t\le a$$

إذ إن a تمثل معلمة التوزيع (أعلى عمر للجهاز) ، أوجد :

أ) دالة الكثافة الإحتمالية $p.d.f.$ للعطل .

ب) دالة نسبة المخاطرة (العطل) للجهاز خلال الفترة t .

ج) متوسط زمن العطل $MTTF$.

الحل- أ)

$$f(t)=-\frac{d}{dt}R(t)=-\frac{d}{dt}\left(1-\frac{t^2}{a^2}\right)=\frac{2t^2}{a^2}$$

ب)

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{2t}{a^2}\div\left(1-\frac{t^2}{a^2}\right)=\frac{2t}{a^2-t^2}$$

ج)

$$MTTF=\int_0^a R(t)dt=\int_0^a\left(1-\frac{t^2}{a^2}\right)dt=\left[t-\frac{t^3}{3a^2}\right]_0^a=\frac{2}{3}a$$

دالة المعولية الشرطية *Conditional Reliability* : تمثل إحتمال إشتعال الجهاز فترة زمنية إضافية قدرها t أكثر من الزمن الذي إشتغله فعلاً T_0 ، أي إن :

$$R(t/T_0)=exp\left(-\int_{T_0}^{T_0+t}\lambda(t)dt\right)=\frac{R(T_0+t)}{R(T_0)}$$

مثال-5- إذا كانت

$$\lambda(t)=\frac{1}{2000}\left(\frac{t}{1000}\right)^{-0.5} \quad where \quad t \quad in \quad years$$

أوجد قيمة إذا علمت إن : $1)R(t)=0.90 \quad and \quad 2)R(t/0.5)=0.90$

الحل- 1)

$$R(t)=e^{-\int_0^t\lambda(t)dt}=e^{-\int\frac{1}{2000}\left(\frac{t}{1000}\right)^{-0.5}}=e^{-\left(\frac{t}{1000}\right)^{0.5}}=0.90$$

$$\Rightarrow \quad t=1000*(\ln 0.09)^2=11.1 years$$

$$R(t/0.5)=\frac{R(t+0.5)}{R(0.5)}=\frac{e^{-\left(\frac{t+0.5}{1000}\right)^{0.5}}}{e^{-\left(\frac{0.5}{1000}\right)^{0.5}}}=0.90$$

(2

$$\Rightarrow \quad t=1000\left[\left(\frac{0.5}{1000}\right)^{0.5}-\ln 0.90\right]^{2}-0.5=15.813\,years$$

<u>مثال-6</u>- إذا كانت $\lambda>0 \quad where \quad \lambda(t)=\lambda t$ ، أوجد قيمة $R(t/T_0)$.

<u>الحل</u>-

$$R(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}=e^{-\int_0^t \lambda t dt}=e^{-\frac{\lambda}{2}t^2}$$

$$R(t/T_0)=\frac{R(t+T_0)}{R(T_0)}=\frac{e^{-\frac{\lambda}{2}(t+T_0)^2}}{e^{-\frac{\lambda}{2}T_0^{\,2}}}=e^{-\frac{\lambda}{2}(t^2+2T_0t)}$$

<u>مثال-7</u>- أوجد $R(t/T_0)$ لدالة المثال-4 .

<u>الحل</u>-

$$R(t/T_0)=\frac{R(t+T_0)}{R(T_0)}=\frac{1-\frac{(t+T_0)^2}{a^2}}{1-\frac{T_0^{\,2}}{a^2}}=\frac{a^2-(t+T_0)^2}{a^2-T_0^{\,2}}$$

<u>دالة المعولية الأسية *The Exponential Reliability function*</u> : يعتبر التوزيع الأسـي *exponential distribution* من أكثر التوزيعات إستخداماً في الدوال الهندسية للمعولية ويسمى أيضاً نموذج *Constant Failure Rate (C.F.R.)* .

بإفتراض ثبات دالة نسبة العطل (أي إن: $t\ge 0 \quad \lambda(t)=\lambda$) ، وعليه فإن :

$$R(t)=e^{-\lambda t} \quad , \quad F(t)=1-e^{-\lambda t}$$

$$f(t)=\lambda e^{-\lambda t} \quad , \quad MTTF=\frac{1}{\lambda}$$

$$\sigma^2=\frac{1}{\lambda^2} \quad and \quad R(t/T_0)=R(t)$$

<u>مثال-8</u>- جهاز *Microwave transmitter* يعطي نسبة عطل ثابتة مقدارها *0.00034* لكـل سـاعة عمل ، لذا فإن :

$$\lambda(t)=0.00034 \quad , \quad R(t)=e^{-0.00034t}=R(t/T_0)$$
$$F(t)=1-e^{-0.00034t} \quad , \quad f(t)=0.00034*e^{-0.00034t}$$
$$MTTF=\frac{1}{0.00034}=2941.18hrs. \quad and \quad \sigma^2=\frac{1}{(0.00034)^2}=8650519hrs.^2$$

أما إحتمال إشتغال الجهاز أكثر من 30 يوماً بشكل متواصل يكون :

$$t=30*24=720 \quad \Rightarrow \quad R(720)=e^{-0.00034*720}=0.783$$

توزيع ويبل للمعولية ***Weibull distribution in reliability*** : من التوزيعـات الأخـرى الأكثر أهمية هو توزيع ويبل . بإفتراض إن دالة نسبة العطل هي :

$$\lambda(t)=\frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad , \quad \theta,\beta>0 \quad , \quad t\geq 0$$

where θ is scale parameter

β is shape parameter

وعليه فإن :

$$R(t)=e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad , \quad F(t)=1-e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$$
$$f(t)=\frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1}e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad , \quad MTTF=\theta.\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right)$$
$$\sigma^2=\theta^2\left[\Gamma\left(\frac{2}{\beta}+1\right)-\left(\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right)\right)^2\right]$$
$$and \quad R(t+T_0)=exp\left[-\left(\frac{t+T_0}{\theta}\right)^{\beta}+\left(\frac{T_0}{\theta}\right)^{\beta}\right]$$
$$where \quad \Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty}y^{\alpha-1}e^{-y}dy=(\alpha-1).\Gamma(\alpha-1)$$

علماً بأن $\Gamma(\alpha)$ يمكن إستخراجها من الجداول المرفقة .

مثال-9- إذا كانت معلمات توزيع ويبل لعطل الجهاز كالآتي :

Shape parameter (β) = 1 / 3 and Scale parameter (θ) = 16000 ، لذا فإن :

$$1)\quad \lambda(t)=\frac{\frac{1}{3}}{1600}\left(\frac{t}{16000}\right)^{\frac{1}{3}-1}=0.0132283*t^{-\frac{2}{3}}$$

$$2)\quad R(t)=e^{-\left(\frac{t}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}}=e^{-0.0132283*t^{\frac{1}{3}}}$$

$$3)\quad F(t)=1-e^{-0.0132283*t^{\frac{1}{3}}}$$

$$4)\quad f(t)=\frac{\frac{1}{3}}{16000}\left(\frac{t}{16000}\right)^{\frac{1}{3}-1}e^{-\left(\frac{t}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}}=0.0132283*t^{-\frac{2}{3}}e^{-0.0132283*t^{\frac{1}{3}}}$$

$$5)\quad MTTF=16000*\Gamma\left(\frac{1}{\frac{1}{3}}+1\right)=16000*\Gamma(4)=16000*3!=96000hrs.$$

$$6)\quad \sigma^2=(16000)^2\left[\Gamma\left(\frac{2}{\frac{1}{3}}+1\right)-\left(\Gamma\left(\frac{1}{\frac{1}{3}}+1\right)\right)^2\right]=(16000)^2\left[\Gamma(7)-(\Gamma(4))^2\right]$$

$$=(16000)^2\left[6!-(3!)^2\right]=1.75104*10^{11}\quad\Rightarrow\quad\sigma=418454.3$$

$$7)\quad R(t/T_0)=exp\left[-\left(\frac{t+T_0}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}+\left(\frac{T_0}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

بإفتراض إن $R(t/10)=0.90$ لذا فالزمن سيكون :

$$0.90=exp\left[-\left(\frac{t+10}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}+\left(\frac{10}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

$$\Rightarrow\quad t=16000\left[\left(\frac{10}{16000}\right)^{\frac{1}{3}}-ln0.90\right]^3-10=101.24hrs.$$

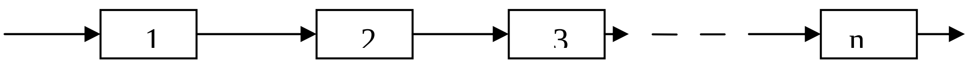
<u>ربط المنظومة</u> : يتم ربط الأجهزة داخل المنظومة في إحدى الحالات الثلاثة التالية :

1- ربط على التوالي ***Serial configuration*** .

2- ربط على التوازي ***Parallel configuration*** .

3- ربط على التوالي والتوازي معاً ***Combined series-parallel system*** .

1- **<u>الربط على التوالي *Serial configuration*</u>** : لضمان إشتغال المنظومة في هذا الربط يجب أن تعمل جميع المركبات في داخلها ، وإن عطل أي جهاز يؤدي إلى عطل المنظومة ككل ، ومخطط الربط يكون :



أما معولية المنظومة System Reliability $R_S(t)$ عند الزمن t لهذا الربط تكون :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t)$$

إذ إن $R_i(t)$ تمثل معولية الجهاز i عند الزمن t .

بشرط أن تكون عطلات المركبات مستقلة فيما بينها .

تكون معولية المنظومة إذا كان العطل لجميع المركبات يخضع :

أ- للتوزيع الأسي *exponential dist.* :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} e^{-\lambda_i t} \quad \Rightarrow \quad R_S(t) = e^{-\lambda_S t} \quad where \quad \lambda_S = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

ب- لتوزيع ويبل *Weibull dist.* :

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^{n} exp\left[-\left(\frac{t}{\theta_i}\right)^{\beta_i}\right] \Rightarrow \quad R_S(t) = exp\left[-\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{t}{\theta_i}\right)^{\beta_i}\right] and \quad \lambda(t) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\beta_i}{\theta_i}\left(\frac{t}{\theta_i}\right)^{\beta_i - 1}$$

<u>مثال-10</u>- منظومة تحتوي على أربعة مركبات مستقلة ومتماثلة تتوزع توزيعاً أسـياً مرتبطـة علـى التوالي ، إذا علمت إن $R_S(100) = 0.95$. أوجد متوسط زمن العطل *MTTF* للجهاز الواحد.

<u>الحل</u>-

$$R_S(100) = e^{-100\lambda_S} = 0.95 \quad \Rightarrow \quad \lambda_S = \frac{ln0.95}{-100} = 0.0005129$$

$$\lambda = \frac{0.0005129}{4} = 0.000128$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000128} = 7812.5$$

<u>مثال-11</u>- منظومة تحتوي على أربعة مركبات مرتبطة على التوالي كل واحـدة لهـا توزيـع ويبـل ومعلماتها كما مثبتة في الجدول أدناه :

Component	Scale parameter	Shape parameter
1	100	1.20
2	150	0.87
3	510	1.80
4	720	1.00

أوجد معولية المنظومة عند الزمن $t = 10$.

<u>الحل</u>-

$$R_S(t)=exp\left[-\left(\left(\frac{t}{100}\right)^{1.20}+\left(\frac{t}{150}\right)^{0.87}+\left(\frac{t}{510}\right)^{1.80}+\left(\frac{t}{720}\right)\right)\right]$$

$$R_S(10)=exp\left[-\left(\left(\frac{10}{100}\right)^{1.20}+\left(\frac{10}{150}\right)^{0.87}+\left(\frac{10}{510}\right)^{1.80}+\left(\frac{10}{720}\right)\right)\right]=0.8415$$

<u>ملاحظة</u> : إذا إرتبطت n من المركبات على التوالي وكل مركبة عطلها يتوزع توزيع ويبـل بحيـث β تكون ثابتة للتوزيع و θ تكون مختلفة (أي ظهور θ_i) ، وعليه فإن :

$$R(t)=exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right]\quad where\quad \theta=\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{\theta_i}\right)^{\beta}\right]^{-\frac{1}{\beta}}$$

<u>مثال-12</u>- محرك نفاث *Jet engine* يتألف من خمسة مركبات مرتبطة على التوالي وكل مركبة لهـا توزيع ويبل للعطل بحيث :

$\theta_5 = 9300$, $\theta_4 = 4780$, $\theta_3 = 5850$, $\theta_2 = 7200$, $\theta_1 = 3600$ و $\beta = 1.5$

أوجد *MTTF* ، و دالة معولية المحرك .

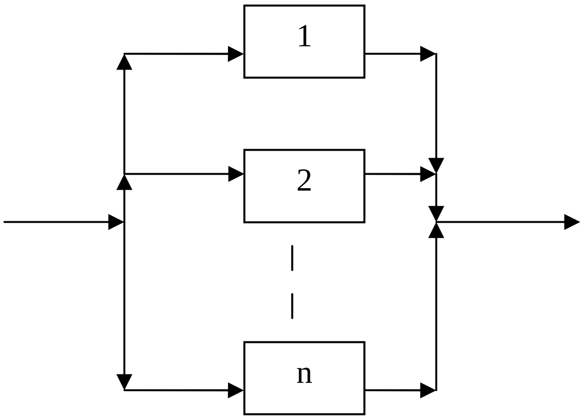
<u>الحل</u>-

$$\theta=\left[\left(\frac{1}{3600}\right)^{1.5}+\left(\frac{1}{7200}\right)^{1.5}+\left(\frac{1}{5850}\right)^{1.5}+\left(\frac{1}{4780}\right)^{1.5}+\left(\frac{1}{9300}\right)^{1.5}\right]^{-\frac{1}{1.5}}=1842.7$$

$$MTTF=\theta.\Gamma\left(\frac{1}{\beta}+1\right)=1842.7*\Gamma\left(\frac{1}{1.5}+1\right)=1842.7*0.9033=1664.5$$

$$R_S(t)=exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}\right]=exp\left[-\left(\frac{t}{1842.7}\right)^{1.5}\right]\quad,\quad t\geq 0$$

3- <u>الـربط علـى التـوازي *Parallel configuration*</u> : ويـسمى أيـضاً الـربط الفـائض *Redundante* ، وفي هذا الربط فإن أي عطل في أي مركبة لا يـؤدي بالتـالي إلـى عطـل المنظومة ككل التي تنتمي إليها هذه المركبة . وإن إشتغال أي من هذه المركبات تـؤدي إلـى إستمرار إشتغال المنظومة ، وبمعنى آخر إن عطل أي منظومة بكاملها يتأتى فقط نتيجة لعطـل جميع مركباتها في آن واحد . والمخطط التاي يمثل إسلوب الربط :



وإن معولية المنظومة $R_S(t)$ عند الزمن t لهذا الربط تكون :

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i(t))$$

إذ إن $R_i(t)$ تمثل معولية الجهاز i عند الزمن t .

ويشرط أن تكون عطلات المركبات مستقلة فيما بينها .

أما معولية المنظومة إذا كان العطل لجميع المركبات يخضع للتوزيع الأسي :

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - e^{-\lambda_i t})$$

إذ إن λ_i تمثل نسبة العطل للمركبة i .

مثال-13- منظومة تتكون من مركبتين مربوطتين على التوازي بتوزيع أسي ، أوجد متوسط زمن العطل للمنظومة .

الحل-

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - e^{-\lambda_i t}) = 1 - (1 - e^{-\lambda_1 t})(1 - e^{-\lambda_2 t}) = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

$$MTTF = \int_0^\infty R_S(t)dt = \int_0^\infty \left(e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t}\right)dt = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

مثال-14- مركبتان مستقلتان ومتماثلتان مربوطتان على التوازي لها توزيع أسي إذا رغبنا أن تكون $R_S(1000) = 0.95$ ، أوجد متوسط زمن العطل $MTTF$ للمركبة وللمنظومة .

الحل-

$$R_S(1000) = 1 - (1 - e^{-1000t})(1 - e^{-1000t}) \quad \Rightarrow \quad 0.95 = 2e^{-1000\lambda} - e^{-2000\lambda}$$

$$Let \quad e^{-1000\lambda} = X \quad \Rightarrow \quad X^2 - 2X + 0.95 = 0$$

$$either \quad X = 1.223606798 \quad \Rightarrow \quad \lambda = -0.000201802 \quad neglicted$$

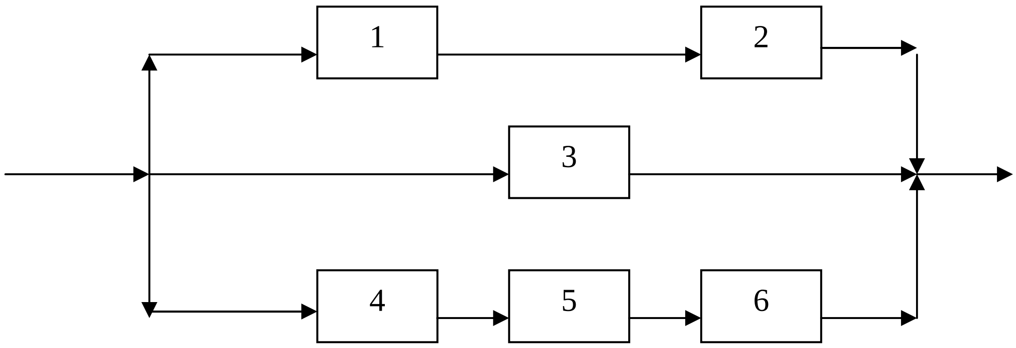
$$or \quad X = 0.776393202 \quad \Rightarrow \quad \lambda = 0.000253096$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.000253096} = 3951$$

$$MTTF_S = \int_0^{\infty} R_S(t)dt = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \lambda} = \frac{2}{0.000253096} - \frac{1}{2 * 0.000253096} = 5927$$

3- <u>الربط على التوالي والتوازي معاً *Combined series- parallel system*</u> – أي إن بعض المركبات في المنظومة تربط على التوالي وبعضها الآخر تربط على التوازي . وكما في الحالات التالية :

أ- ربط توالي - توازي *Series-parallel system* - كما موضحة في المخطط التالي (على سبيل المثال لا الحصر) :



إذ يلاحظ وجود ثلاثة مجاميع مرتبطة على التوازي وفي داخل كل مجموعـة توجـد مركبـات مرتبطة فيما بينها على التوالي . وعليه فإن معولية المنظومة للمخطط أعلاه تحسب كالآتي :

معولية المجموعة الأولى $R_{S_1}(t) = \prod_{i=1}^{2} R_i(t)$

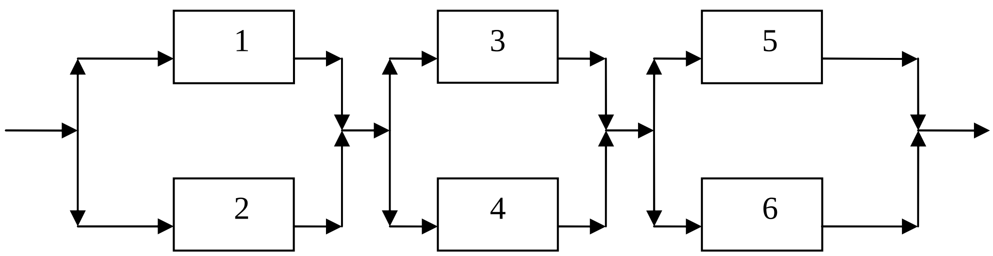
معولية المجموعة الثانية $R_{S_2}(t) = R_3(t)$

معولية المجموعة الثالثة $R_{S_3}(t) = \prod_{i=4}^{6} R_i(t)$

وعليه فإن معولية المنظومة ككل تكون :

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^{3}(1 - R_{S_i}(t))$$

ب-ربط توازي-توالي *parallel-series system* - كما موضحة (على سبيل المثال لا الحـصر) في المخطط التالي :



إذ يلاحظ وجود ثلاثة مجاميع مرتبطة على التوالي وفي داخل كل مجموعـة توجـد مركبتـان مرتبطتان على التوازي . وعليه فمعولية المنظومة للمخطط أعلاه تكون :

معولية المجموعة الأولى $$R_{S_1}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{2}(1 - R_i(t))$$

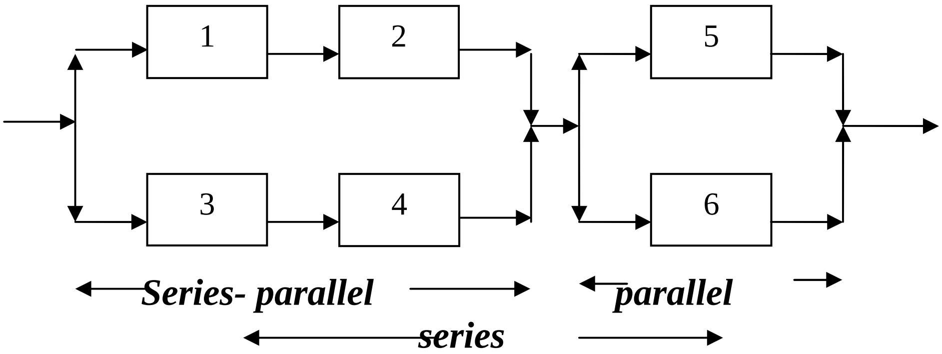
معولية المجموعة الثانية $$R_{S_2}(t) = 1 - \prod_{i=3}^{4}(1 - R_i(t))$$

معولية المجموعة الأولى $$R_{S_3}(t) = 1 - \prod_{i=5}^{6}(1 - R_i(t))$$

لذا فمعولية المنظومة ككل تكون : $$R_S(t) = \prod_{i=1}^{3} R_{S_i}(t)$$

ج- ربط مختلط توازي-توالي و توالي-توازي ***Mixed parallel-series and series-parallel***

يمكن توضيح هذا الربط كما في المخطط التالي (على سبيل المثال لا الحصر) :



إذ يلاحظ وجود مجموعتين مرتبطتين عل التوالي :

المجموعة الأولى- تتضمن مجموعتين فرعيتين مرتبطتين على التوازي وكل مجموعة فرعية تحوي مركبتين مرتبطتين على التوازي .

المجموعة الثانية- تتضمن مركبتين مرتبطتين على التوازي .

وعليه فمعولية المنظومة للمخطط أعلاه تكون :

معولية المجموعة الفرعية الأولى : $$R_{S_{11}}(t) = \prod_{i=1}^{2} R_i(t)$$

معولية المجموعة الفرعية الثانية : $$R_{S_{12}}(t) = \prod_{i=3}^{4} R_i(t)$$

لذا تكون معولية المجموعة الأولى : $$R_{S_1}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{2}(1 - R_{S_{1i}}(t))$$

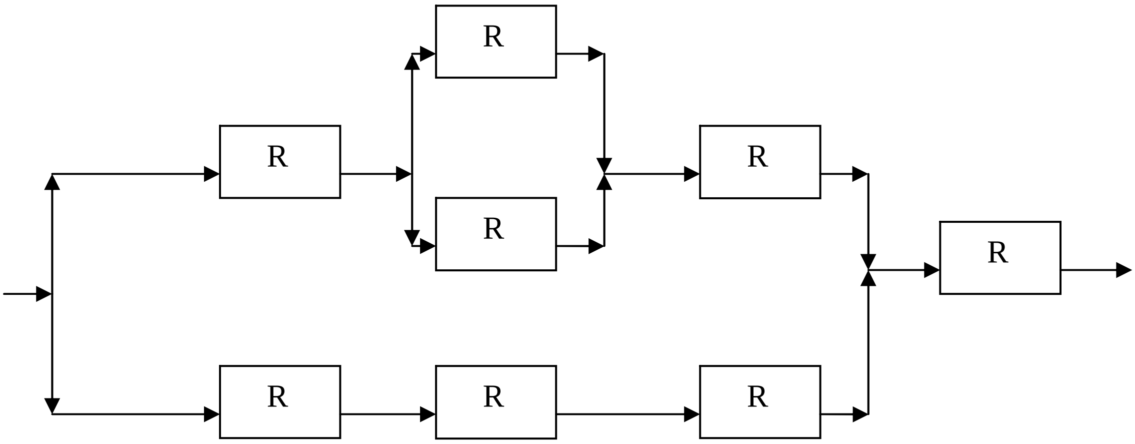
معولية المجموعة الثانية : $$R_{S_2}(t) = 1 - \prod_{i=5}^{6}(1 - R_i(t))$$

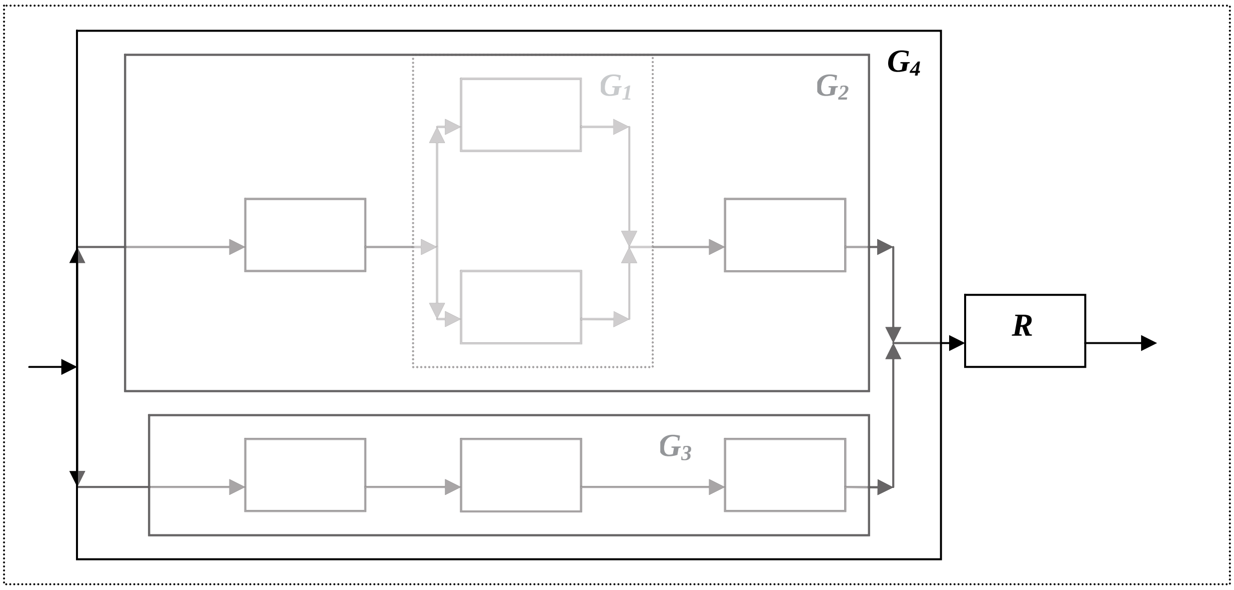
و أخيراً فمعولية المنظومة ككل تكون : $$R_S(t) = \prod_{i=1}^{2} R_{S_i}(t)$$

<u>مثال-15</u>- للمخطط الشبكي التالي :

أ- إشتق صيغة لمعولية المنظومة بدلالة معوليات المركبات (بإفتراض إنها متساوية وقيمها R).

ب- إحسب معولية المنظومة إذا كانت $R = 0.90$.



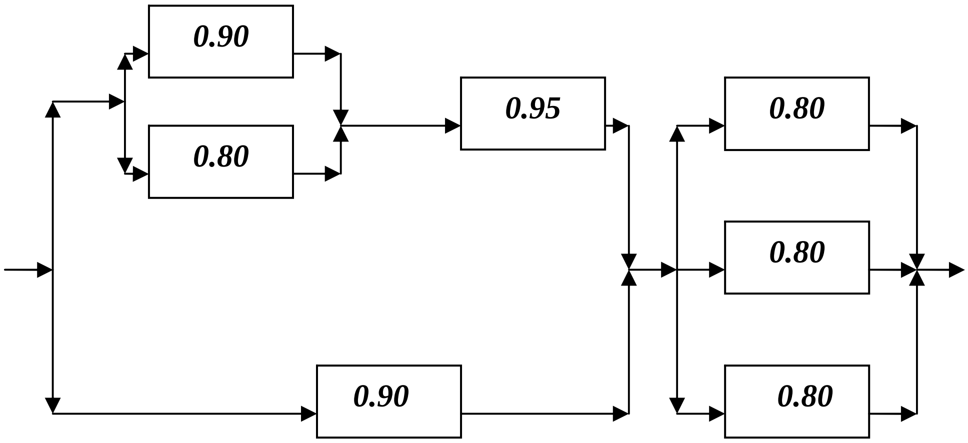


$$R_{G1} = 1 - (1 - R)^2 = R(2 - R)$$
$$R_{G2} = R * R_{G1} * R = R^3(2 - R)$$
$$R_{G3} = R^3$$
$$R_{G4} = 1 - (1 - R_{G2})(1 - R_{G3}) = R^3(R^4 - 2R^3 - R + 3)$$

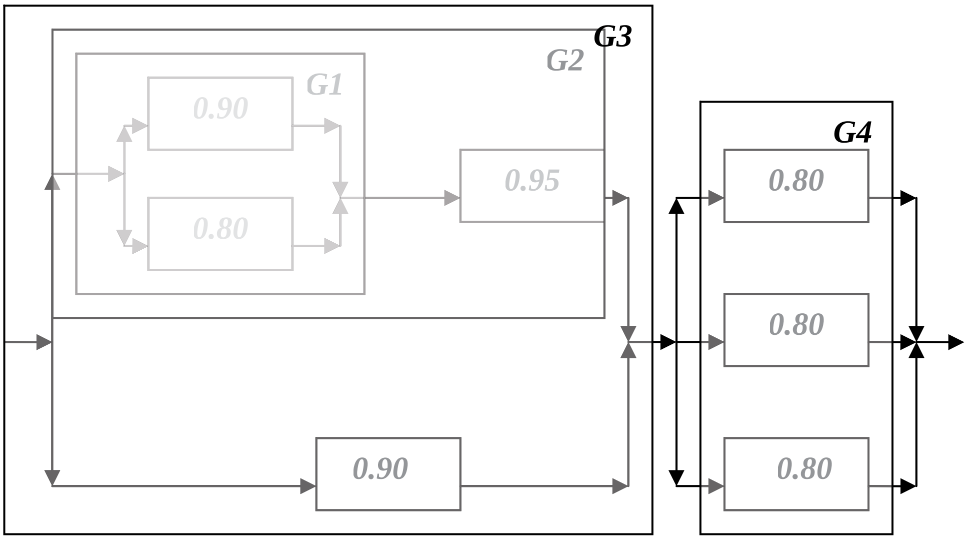
$$R_S = R_{G4} * R = R^4(R^4 - 2R^3 - R + 3)$$

$$at \quad R = 0.90 \quad \Rightarrow \quad R_S = (0.9)^4\left[(0.9)^4 - 2(0.9)^3 - 0.9 + 3\right] = 0.8517$$

16



üϴǁȅ



$$R_{G1} = 1 - (1 - 0.9)(1 - 0.8) = 0.98$$

$$R_{G2} = R_{G1} * 0.95 = 0.98 * 0.95 = 0.931$$

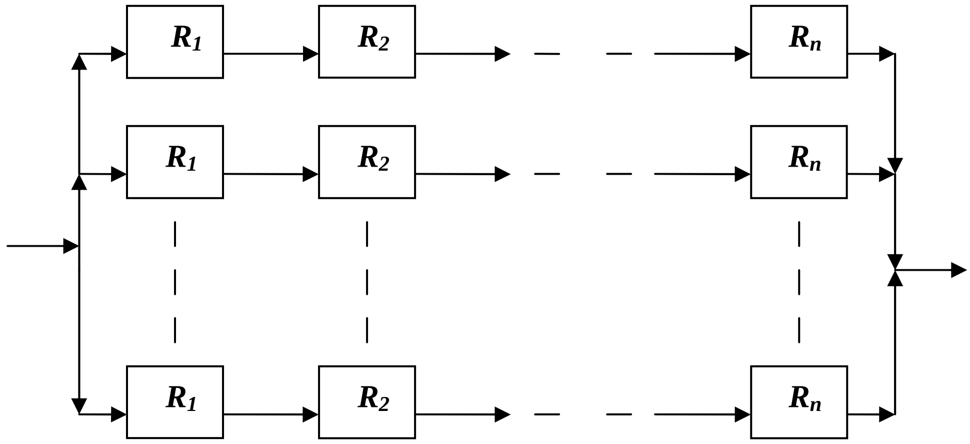
$$R_{G3} = 1 - (1 - 0.931)(1 - 0.90) = 0.9931$$

$$R_{G4} = 1 - (1 - 0.80)^{3} = 0.992$$

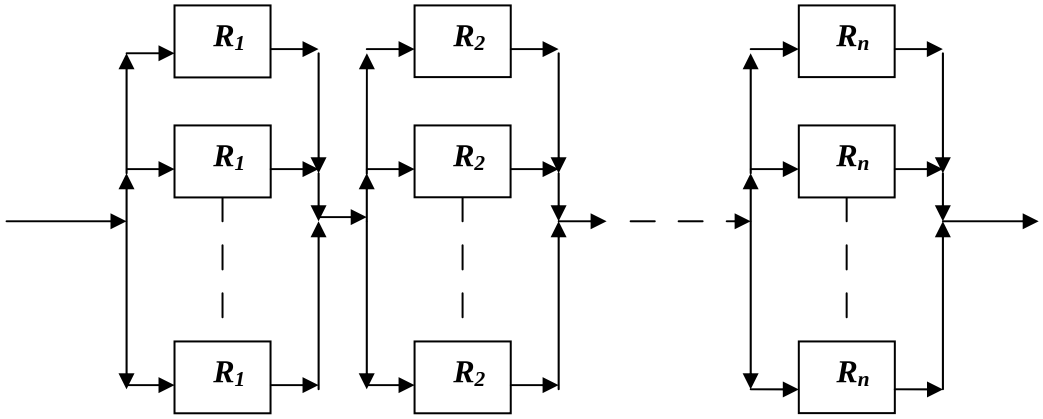
$$R_{S} = R_{G3} * R_{G4} = 0.9931 * 0.992 = 0.9852$$

ǁøDŽNjuǁDŽǁȅ ƭ ǝFʒ Džǝ <u>*High-level and low-level redundancy*</u> bĬƯƐNj ĬǁFY DžĩĩNjŧƨDžǴ ƭ ǝFʒ DžĩŧǁFϴǁȅ njqϴǝ Ĭʒ DžNjIĬ ƒDžǴþ

üIʅǴ ǁƯƓŧþDž üII ǁDžNjuǁDžǁȅ IǁFI ƐPǝ Ƙqϴŧ *High-level redundancy* ǎFY njNjŧƨDžǴ ƭ ǝFʒ ƈ ǇFǁqƈ ƯƯƢDžǁȅ Ĭʒ ǁϴƮNjDž ƑDžINj ƱNjǁȅ ƧƻǁDžDž þƙIƈ Njƈ ǁDžNjuǁDž ƱDž ǎƦƐNjŧDž



ب- فائض بمستوى واطيء *Low-level redundancy* - تحدث إذا كانت كل مركبة تربط بـشكل متوازي مع مركبة أو أكثر من نفس النوع ، وكما موضحة في المخطط أدناه :



إذا إستخدمنا مركبتين فقط وبإفتراض إن معولية كل مركبة هي R فتكون معولية المنظومة لكل من الحالتين كالآتي :

$$R_{high} = 1-(1-R.R)(1-R.R) = 2R^2 - R^4$$

$$R_{low} = [1-(1-R)(1-R)][1-(1-R)(1-R)] = (2R-R^2)^2$$

$$R_{low} - R_{high} = (2R-R^2)^2 - 2R^2 - R^4 = 2R^2(R-1)^2 \geq 0$$

في هذه الحالة فإن الفائض بمستوى واطيء R_{low} هو الأفضل من الفائض بمستوى عالٍ R_{high} .

<u>مثال-17</u>- مجموعة راديو تتكون من ثلاثة مركبات رئيسية هي :

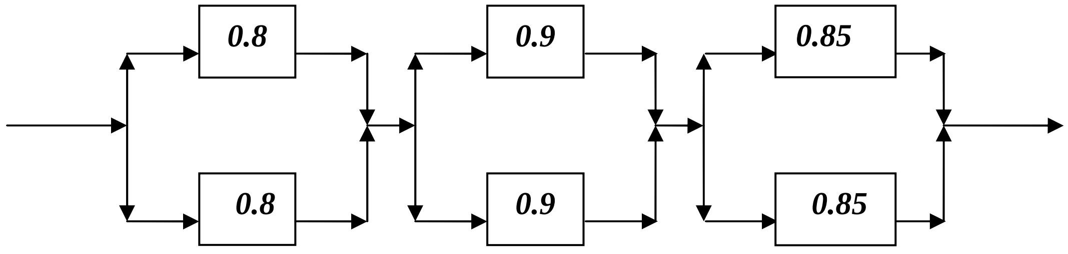
وحدة تجهيز القدرة *Power Supply* وبمعولية *0.80* .

وحدة الإستلام *Receiver* وبمعولية *0.90* .

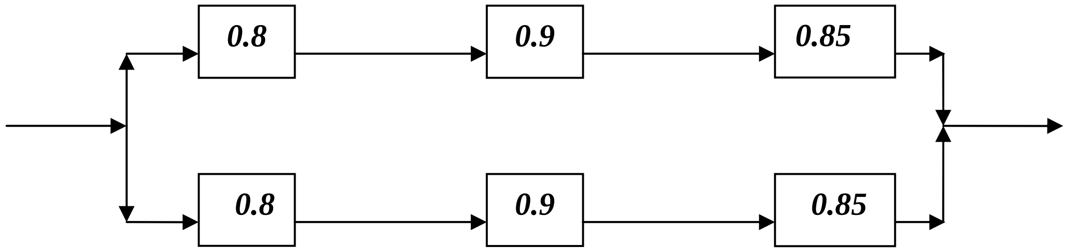
وحدة تضخيم الصوت *Amplifier* وبمعولية *0.85* .

أوجد معولتي المنظومة للفائض بالمستويين العالي والواطيء عند ربط منظومتين على التوازي.

<u>الحل</u>-



Low – level Redundancy



High – level Redundancy

$$R_{low} = \left[1-(1-0.8)^2\right]\left[1-(1-0.9)^2\right]\left[1-(1-0.85)^2\right] = 0.929$$

$$R_{high} = 1-(1-0.8*0.9*0.85)^2 = 0.849$$

تمارين الفصل الحادي عشر

1- بإفتراض إن دالة المعولية كانت :

$$R(t)=\frac{1}{0.001t+1} \quad , \quad t\geq 0 \quad , \quad t \quad in \quad hours$$

أ- أوجد المعولية بعد 100 ساعة عمل ، بعد 1000 ساعة عمل .

ب- إشتق دالة نسبة العطل ، وهل هي متناقصة *DFR* أم متزايدة *IFR* ؟

(ans.: a) 0.909 , 0.5 ; b) DFR)

2- إذا كانت *p.d.f.* لمنظومة ما كالآتي :

$$f(t)=0.01 \quad , \quad 0\leq t\leq 100 \quad days$$

أوجد : أ) دالة المعولية ، ب) دالة نسبة العطل ، ج) متوسط زمن العطل

د) الإنحراف المعياري. *(ans.: a)1-0.01t , b) 1/(100-t) , c) 50 ; d) 28.868)*

3- إذا كانت دالة العطل معرفة كالاتي :

$$f(t)=\frac{3t^2}{10^9} \quad , \quad 0\leq t\leq 1000 \quad hrs.$$

أ- ما هو إحتمال العطل ضمن الفترة 100 ساعة ؟

ب- أوجد متوسط زمن العطل .

ج- أوجد العمر المصمم عندما تكون المعولية 0.99 .

(ans.: a) 0.001 , b) 750 ; c) 215.44)

4- إذا كانت : $R(t)=e^{-\sqrt{0.001t}} \quad , \quad t\geq 0$

أ- إحسب المعولية إلى 100 ساعة إشتغال .

ب- برهن على إن دالة نسبة المخاطرة هي دالة متناقصة .

ج- إذا إشتغل الجهاز 10 ساعات عمل ، ما هي المعولية لإشتغاله 50 ساعة أخرى ؟

د- ما هو العمر المصمم لمعولية 0.95 ، علماً بأنه إشتغل 10 ساعات ؟

(ans.: a) 0.7289 , c) 0.8651 ; d) 12.89)

5- شركة صناعية تنتج معدات معينة ، إذا كانت دالة زمن العطل (بالسنوات) لهذه المعدات هي :

$$f(t)=\frac{200}{(t+10)^3} \quad , \quad t\geq 0$$

أ- إشتق دالة المعولية وحدد المعولية للسنة الأولى من الإشتغال .

ب- إحسب متوسط زمن العطل .

ج- ماهو العمر المصمم لمعولية 0.95 ؟

د- هل دالة نسبة المخاطرة (العطل) هي دالة تناقصية *DFR* أم تزايدية *IFR* أم ثابتة *CFR* ؟

(ans. : a) $f(t) = 100/(t+10)^2$, 0.8264 , b) 10 , c) 0.2598 ; d) DFR)

6- دالة الكثافة الإحتمالية *p.d.f.* للتوزيع المتماثل *Uniform dist.* للعطل هي :

$$f(t) = \frac{1}{b} \quad , \quad 0 \le t \le b$$

أوجد كلٍ من : $F(t)$, $R(t)$, $\lambda(t)$, $MTTF$, σ .

(ans. : F(t)= t / b , R(t)=1 – t / b , λ (t) = 1 / (1 – b) , MTTF= b / 2 ; σ = b / 2√3)

7- أختبرت منظومة جديدة لضخ الوقود *Fuel injection* ، فكانت دالة المعولية :

$$R(t) = (t+1)^{-\frac{3}{2}} \quad , \quad t \ge 0 \quad in \quad years$$

إذا كانت المعولية عند عمر سنتين هو 0.19 ، والتي هي غير مقبولة . بإستخدام فترة إضافية عن 6 أشهر هل ستتحسن المعولية ؟ وإذا كانت كذلك ، فما هي كمية المعولية التي ستزيد ؟

(ans. : 0.2806 ; 0.0906)

8- محرك طائرة يتكون من ثلاثة مركبات مرتبطة على التوالي ونسب العطل ثابتة *CFR* بحيث :

$\lambda_1 = 0.002 \quad , \quad \lambda_2 = 0.015 \quad , \quad \lambda_3 = 0.0025$ عطل / ساعة عمل . أكتب دالـة المعوليـة ومتوسط زمن العطل للمحرك .

(ans. : a) R(t)=exp(-0.0195t) , b) 51.282)

9- جهاز يخضع للتوزيع الأسي *CFR* بمتوسط زمن العطل *MTTF = 1100* أوجد :

أ- معولية 200 ساعة عمل .

ب- العمر المصمم لمعولية 0.90 .

ج- المعولية إلى 200 ساعة عمل ، إذا أضيف جهاز آخر فائض ومستقل (ربط على التوازي).

(ans.: a) 0.8338 , b) 115.897 , c) 0.9724)

10- منظومة لها توزيع *CFR* بحيث *λ = 0.0004* ، إشتغلت لمدة 1000 ساعة . ما هـو إحتمـال إشتغال المنظومة 100 ساعة أخرى ؟ 1000 ساعة أخرى ؟

(ans.: 0.9608 ; 0.6703)

11- وحدة القدرة *Power unit* تتكون من ثلاثة مركبات مستقلة ومرتبطة علـى التـوالي ، العمـر المصمم المطلوب 5 سنوات بمعولية 0.95 :

أ- لتكن كل مركبة لها نسبة عطل ثابتة *CFR* بحيث إن نسبة المركبة الأولى هي ضعف الثانية ونسبة المركبة الثالثة هي ثلاثة أضعاف الثانية . ماهو متوسط زمن العطل لكل مركبة و للمنظومة ككل .

ب- إذا ربطت وحدتان متماثلتان للقدرة على التوازي ، ماهي معولية المنظومة لخمسة سنوات ؟ متوسط زمن العطل للمنظومة ككل ؟

(ans.: a)292.398 , 584.795 , 194.932 ; 97.466 , b) 0.9975 , 146.199)

12- إذا كان زمن العطل لمصابيح الفلورنسنت في معملٍ ما يتوزع أسياً بنسبة عطل ثابتة قدرها 0.03125 ساعة . ما هو عدد المصابيح الإحتياط الذي يجب توفره لضمان إنارة المعمل خلال يوم واحد من الإشتغال من خلال إبدال جميع المصابيح العاطلة وبإحتمال قدره 0.95 ؟ بإفتراض إن الإنارة تستمر بالإشتغال 24 ساعة . *(ans.: 4.69)*

13- لوحة لدائرة اليكترونية *Electronic Circuit Board* نسبة عطلها $\lambda(t)=0.00021$ لكل ساعة. ما هو إحتمال عطل اللوحة الثالثة بزمن قدره 1000 ساعة ؟ *(ans.: 0.9932)*

14- منظومة لها توزيع ويبل *Weibull* للعطل بالمعلمات التالية :

Shape parameter = 1.4 , Scale parameter = 550 ، أوجد ما يلي :

أ) المعولية إلى 100 يوم عمل ، ب) متوسط زمن العطل ، ج) الإنحراف المعياري ،

د) العمر المصمم لمعولية 0.90 . *(ans.: a) 0.9122, b) 501.47 , c) 359.9 , d)110.224)*

15- وحدة تجهيز القدرة *Power Supply* تتكون من ثلاثة مقومات *Rectifier* مرتبطة على التوالي، كلٍ واحدة لها توزيع ويبل للعطل بحيث $\beta = 2.1$ وإن θ مختلفة بحيث $\theta_1 = 12$, $\theta_2 = 18.5$, $\theta_3=21.5$. أوجد متوسط زمن العطل ، والعمر المصمم لوحدة تجهيز القدرة بمعولية 0.90 .

(ans.: 8.2627 ; 3.1948)

16- ما هو العدد الأعظم من المركبات المتماثلة والمستقلة التي لها توزيع ويبل بالمعلمات : *Shape parameter = 1.3 , Scale parameter = 10000* والتي يمكن ربطها على التوالي لتحقيق معولية قدرها 0.95 إلى 100 ساعة عمل ؟ و ما هي قيمة متوسط زمن العطل للمنظومة الناتجة ؟ *(ans.: 21 ; 888.111)*

17- إذا كانت دالة نسبة العطل لوحدة القدرة كالآتي :

$$\lambda(t) = 0.003\left(\frac{t}{500}\right)^{0.5} \quad , \quad t \geq 0 \quad in \quad hours$$

أ- ما هي المعولية إذا إشتغلت الوحدة 50 ساعة متواصلة ؟

ب- حدد العمر المصمم إذا كانت المعولية المطلوبة 0.90 .

ج- إحسب متوسط زمن العطل .

د- إذا إشتغلت الوحدة 50 ساعة ، ما هو إحتمال إشتغالها 50 ساعة أخرى ؟

(ans.:a)0.969 , b) 111.538 , c) 451.375 ; d)0.9438)

18- إذا علمت إن عطل مقياس الضغط *Pressure gauge* يخضع لتوزيع ويبل بالمعلمات :

Shape parameter = 2.1 , Scale parameter =12000 ، أوجد :

أ- المعولية إلى 5000 ساعة عمل .

ب- متوسط زمن العطل والإنحراف المعياري .

ج- إحتمال عطل المقياس خلال السنة الأولى من الإشتغال المستمر .

د- بإفتراض ربط مقياس آخر على التوازي ، أوجد :

1) معولية المنظومة لفترة إشتغال 5000 ساعة .

2) متوسط زمن العطل للمنظومة .

3) إحتمال عطل المقياس خلال السنة الأولى من الإشتغال المستمر .

(ans.: a) 0.853 , b) 10628 , 5315.8 , c) 0.403 ,d)0.978 , 18777.638, 0.356)

19- إذا علمت إن زمن العطل (سنة) للحاسوب *Cyclone-365* يخضع للدالة التالية :

$$f(t) = \frac{1}{(t+1)^2} \quad , \quad t \ge 0$$

أ- إذا ربطت ثلاثة حاسبات على التوازي حول محطة مقترحة . ما هي المعولية للمنظومة خـلال 6 أشهر عمل ؟

ب- ما هو العمر المصمم للمنظومة بمعولية مطلوبة 0.999 ؟

(ans.: a) 0.963 , b) 0.111)

20- أي من المنظومتين (أ) أو (ب) لهما معولية أكثر عند نهاية 100 ساعة عمل :

أ- مركبتان لهما توزيع أسي *CFR* مرتبطتان على التوالي ولكل مركبة يكون *MTTF = 1000*

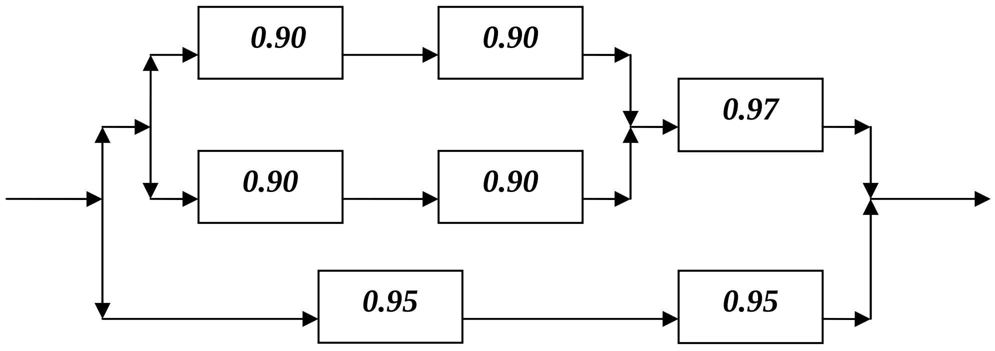
ب- مركبة لها توزيع ويبل بالمعلمتين $\beta = 2$, $\theta = 10000$ مرتبطة على التوالي مع مركبة لها توزيع أسي *CFR* بنسبة عطل قدرها *0.00005* . *(ans.: b)*

21- عشرة مركبات مرتبطة على التوالي يتوزع زمن العطل فيها توزيع ويبل بالمعلمـة $\beta = 0.80$. حدد قيمة المعلمة θ إذا علمت إن معولية إشتغال المنظومة لسنة واحدة هو 0.99 .

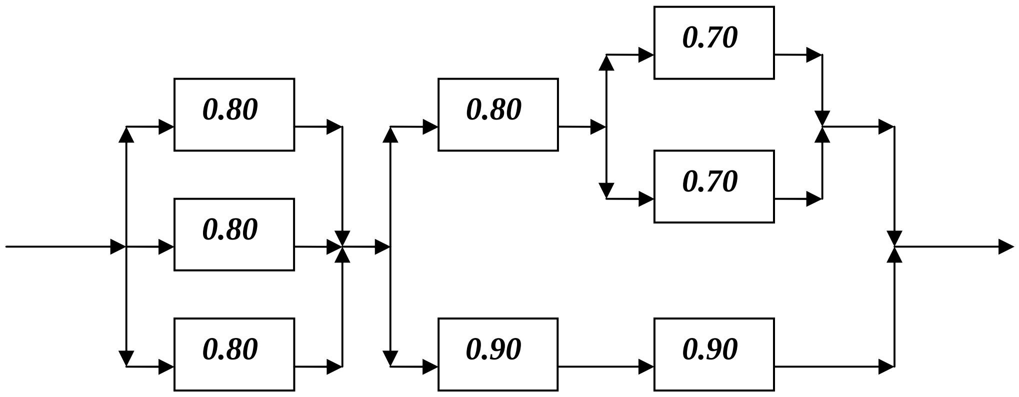
(ans.: 5588.23)

22- أوجد معوليتي المنظومتين التاليتين :

أ-

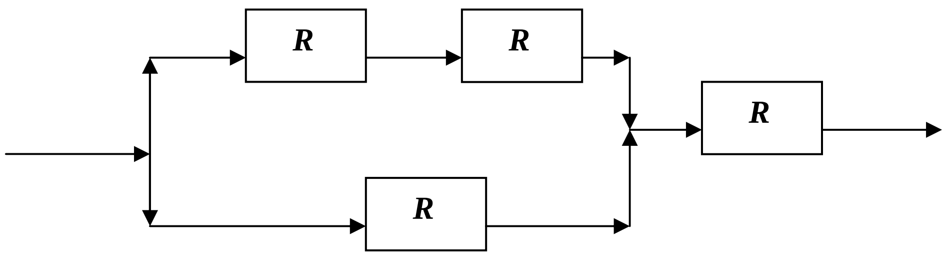


ب-



(ans.: a) 0.994 , b) 0.940)

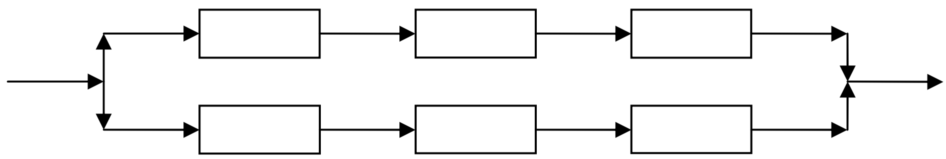
23- إذا علمت إن المعولية للمنظومة التالية هي *0.99* ، أوجد قيمة *R* :



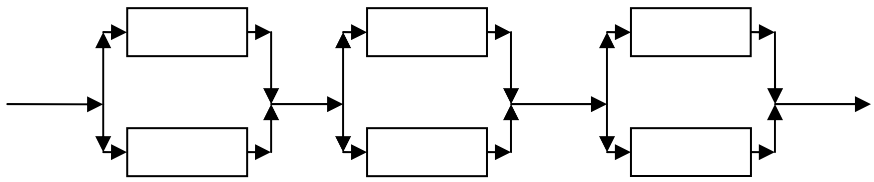
(ans.: 0.99)

24- حدد متوسط زمن العطل *MTTF* للمركبة الواحدة لكلٍ من المنظومتين التـاليتين بحيـث تجعـل معولية المنظومة الواحدة بعد إشتغال *100* ساعة عمل مساوية إلى *0.90* . علماً بأن المركبـات لها نفس نسبة العطل الثابتة *CFR* .

أ-



ب-



(ans.: a) 787.4 , b) 486.6)

25- صممت منظومة للإشتغال *100* يوم ، تتكون هذه المنظومة من ثلاثـة مركبـات مرتبطـة علـى التوالي. أوجد معولية المنظومة إذا كانت توزيعات العطل فيها تخضع إلى :

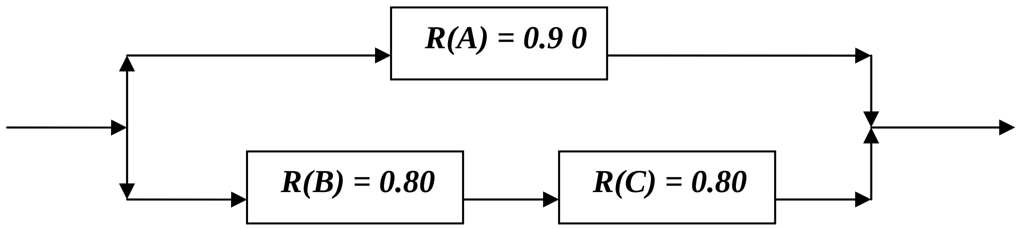
أ- توزيع ويبل بالمعلمتين $\theta = 840$, $\beta = 1.2$.

ب- التوزيع الأسي *CFR* بحيث $\lambda = 0.0001$.

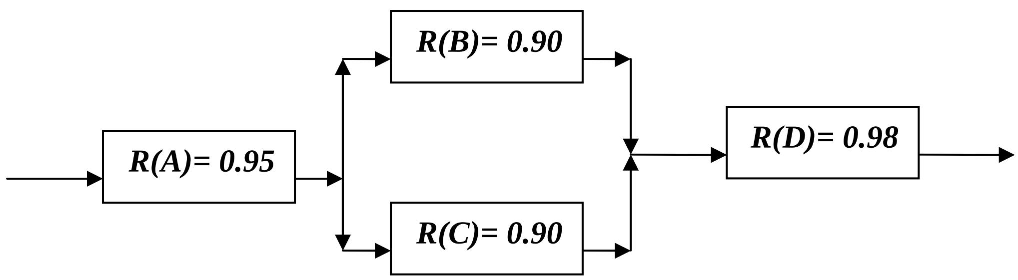
(ans.: a) 0.7919 , b) 0.9704)

26- أكتب الدالة الهيكلية *Structure function* ، ثم أوجد المعولية لكلٍ من المنظومتين التاليتين:

أ-



ب-



(ans.: a) $R_S(t)=R(A)+R(B).R(C)-R(A).R(B).R(C);0.964$ *,*
b) $R_S(t) = R(A).R(D)\ [\ R(C)+R(B) - R(B).R(C)\ ]\ ;\ 0.9217$ *)*