1. **الكلفة** (Cost): يجب ان يتم تصنيع المنتوج بكلفة واطئة أو مقبولة لغرض البيع بسعر منخفض للزبون.
2. **اقتصادية الاستعمال أو الاستخدام** (Economy of use) التصميم الجديد يساعد على استعمال المنتوج استعمالاً اقتصادياً.
3. **الجودة** (Quality): يجب ان يكون المنتوج ذا جودة عالية او مقبولة.
4. **الصفات الكمالية أو الجمالية** (Luxury Features): يجب ان يكون تصميم المنتوج ذا لمسات جمالية تسحر وتجذب الزبون.
5. **وظائف الأداء** : أن تتوافرللمنتوج مجموعة من وظائف الأداء التي يؤديها لإشباع حاجة المستهلك وتوقعاته، منها:
   1. **الحجم والطاقة والمتانة** (Size, Capacity & Strength): يجب ان يكون المنتوج بحجم معقول، وله طاقة فنية وإنتاجية عالية، ويتسم بمتانة كافية لحمايته من المؤثرات.
   2. **دوام الاستمرار** (Durability): يجب ان تتوافر للمنتوج القدرة والقابلية على الاستمرار بالعمل وأداء وظائفه وخاصة السلع المعمرة.
   3. **المعولية** (Reliability): يجب ان يكون التصميم قادراً على تأدية الوظيفة المناطة بالمنتوج دون فشل أو عطل أو توقف لمدة معينة.
   4. **القابلية على الصيانة** (Maintainability): يجب ان يسمح التصميم بتبديل الأجزاء المستهلكة أو التالفة بسهولة، ويسمح باجراء الصيانة بسهولة ويسر.
   5. **الأمان عند الاستعمال** (Safety In Use): يجب ان يوفر التصميم درجة عالية من الأمان عند استعمال المنتوج ومن دون ان يسبب حدوث الأضرار أو الأذى للزبون.

4-5-3 مقاييس جودة تصميم المنتوج الجديد في الأمد الطويل

Long Term Measures of Design Quality

تقليدياً، يتم تقويم تصميم المنتوج من خلال كلفة المواد المستخدمة في إنتاجه، ومدى تقيد التصميم بمواصفات الأداء (Performance Specifications) التي يحددها قسم التسويق في الشركة. إلا ان المديرين والمصممين يحتاجون إلى مراقبة جودة التصميم في الأمد الطويل والتي تعتمد في جانب كبير منها على مدى سهولة أو صعوبة تصنيع التصميم. ولكي تكون عملية التصميم اكثر فائدة واكبر جدوى فان هناك عدداً من المعايير أو المقاييس التي يمكن ان تعتمد في قياس فاعلية جودة تصميم المنتوج للأمد الطويل وهي (Russell & Taylor, 98, 201 - 203):

1. **عدد الأجزاء المكونة وخيارات المنتوج :** كلما كان عدد الأجزاء المكونة للمنتوج اقل، وكلما كانت خيارات المنتوج النهائي اكثر كلما كانت جودة التصميم أعلى.
2. **النسبة المئوية للأجزاء القياسية / النمطية في المنتوج:** كلما كانت نسبة الأجزاء القياسية أو النمطية التي يمكن استبدالها بسرعة وسهولة بأجزاء أخرى من مصانع أخرى (أو مناشئ أخرى) نسبة اكبر، كلما كانت جودة التصميم افضل.
3. **استخدام عمليات الإنتاج الموجودة:** كلما كانت هناك إمكانية لاستخدام نفس موارد أو عمليات الإنتاج (المكائن والمعدات .. الخ) الموجودة حالياً في تصنيع أجزاء ومكونات المنتوج الجديد، كلما كانت جودة التصميم احسن.

تشير المقاييس الثلاثة اعلاه الى بساطة التصميم. فكلما كان التصميم يشتمل على عدد صغير من الاجزاء ونسبة مئوية كبيرة منها من الاجزاء النمطية، وباستخدام نفس موارد الانتاج الموجودة حالياً والمعروفة لادارة العمليات، كلما يكون التصميم ارخص واسهل للانتاج.

4. **كلفة وجبة/ دفعة الإنتاج الأولى:** كلما كانت الكلفة الكلية لدفعة الإنتاج الأولى عالية، كلما كانت جودة التصميم منخفضة. لان كلفة دفعة الإنتاج الأولى تقيس لنا إلى أي مدى يكون التصميم الأولي والابتدائي للمنتوج قابلاً للتنفيذ، والذي يعني، إلى أي مدى يقابل التصميم قدرات الإنتاج بصورة جيدة. وبذلك فان كلفة دفعة الإنتاج الأولى تساعد على الاستنتاج إلى أي مدى يكون التصميم مؤهلاً وقابلاً على الإنتاج.
5. **كلفة التغيرات الهندسية خلال الشهور الستة الأولى:** كلما كانت كلفة التغيرات الهندسية في تصميم المنتوج التي تطلبها إدارة العمليات خلال الشهور الستة الأولى لجعل المنتوج اسهل وارخص للإنتاج كلفة قليلة، كلما كانت تشير إلى ان جودة التصميم افضل.
6. **كلفة الخدمة الحقلية (Field Service Cost) والتصليح في السنة الأولى:** تعد هذه الكلفة مقياساً لجودة التصميم التي تنشأ أو تبدأ من الزبون. ان هذه الكلفة تأخذ بنظر الاعتبار تكرار فشل المنتوج، ومدى قسوة أو خطورة الفشل كليهما. تدخل ضمن هذه الفئة أيضا تكاليف إرجاع المنتوج، وتكاليف طلبات الضمان. وعليه كلما كانت كلفة الخدمة الحقلية وتصليح المنتوج عالية في السنة الأولى من اقتنائه من قبل الزبون كلما أشار ذلك إلى ان جودة التصميم منخفضه.
7. **الكلفة الكلية للمنتوج:** كلما كانت الكلف الكلية للمنتوج واطئة كلما كانت جودة التصميم افضل. ان الكلفة الكلية للمنتوج لا تتضمن فقط كلفة المواد بل تشمل أيضا تكاليف التطوير (مثل تكاليف مراجعة التصميم) والتكاليف الصناعية (مثل كلف التجميع النهائي للمنتوج وكلف الاستثمار لشراء معدات وعمليات إنتاج جديدة). وقد وجد بان 75% من

كلف التجميع مصدرها استخدام البراغي والصـــامولات (Screws & Bolts) فـــي تجميع المنتوج جراء تثبيت أو إيداع البراغي وتسنين أو شد الصواميل مما يـــؤثر علـــى الكلفة الكلية للمنتوج، رغم انخفاض أو بساطة كلف إنتاج أو شراء النوابض والصواميل.

8. **المبيعات الكلية للمنتوج:** تشير المبيعات الكلية للمنتوج إلى قابلية تصميم المنتوج علـــى التسويق (Marketability) أي سهولة تسويقه، والى المستوى الأولي لرضا الزبـــون عن ذلك التصميم.
9. **قابلية التطوير المستمر للمنتوج Sustainable Development:** يشـــير هـــذا المقياس إلى قابلية المحافظة على تطوير المنتوج باستمرار لمقابلة الحاجات الحالية مـــن دون ان تتعرض للخطر قابلية أو قدرة التصميم على تقديم أجيال مستقبلية جديدة للمنتوج تلبي الاحتياجات الخاصة لتلك الأجيال.

4-6 مراحل تطوير المنتوج الجديد New Product Development Stages

لاتظهر المنتجات الجديدة عفوياً أو تلقائياً بل تتطلب تخطيطاً محكماً وحـــذراً. وان عمليـــة التخطيط هذه تمر بمراحل عديدة ما بين الفكرة الأولية للمنتوج الجديد وما بين تطـــويره لتحقيـــق النجاح التجاري. إن مراحل تطوير المنتوج الجديد أو ما تسمى بمراحـــل أو خطـــوات عمليـــة التصميم (Design Process) للمنتوج الجديد يمكن ان تكون كآلاتي (انظر الشكل 4-5):

مرحلة توليد الأفكار Idea Generation

ان عملية التصميم أو تطوير المنتوج الجديد تبدأ بتوليد الأفكار. وهناك مصادر عديدة لتوليد أفكار المنتجات الجديدة، أو أفكار التحسين للمنتجات الحالية بضمن ذلك نتائج البحث والتطوير، قسم البحث والتطوير داخل الشركة، شكاوي واقتراحات الزبائن أو طلباتهم لمنتجات قد لا تكون متوفرة حالياً، بحوث التسويق، المجهزين، رجال البيع، العاملين في المصنع، منتجات المنافسين، تغيير القوانين والتشريعات الحكومية، التطورات التكنولوجية الجديدة، مصادر داخلية أو/ و خارجية أخرى. عادة ما يكون من السهل الحصول على الأفكار الجديدة، إلا ان الصعوبة تكمن بتحويل تلك الأفكار إلى منتجات قيّمة لتلك التي يتوقع أن يكون عليها طلب كافي.

المراجعة والتصفية الأولية للأفكار Initial Screening & Filtering

ان جمع الأفكار التي تم الحصول عليها يجب ان تمر خلال بحث وتقصٍ أولي لـــرفض وتصفية تلك الأفكار التي تكون فيها عيوب واضحة. ان عملية التصفية هذه يمكـــن ان تـــرفض بسرعة تلك الأفكار التي:

- لا تمتلك المنظمة قدرات تنفيذها.

- تواجه صعوبات فنية كبيرة، أو من غير الممكن إنتاجها.
- جربت من قبل.
- تقوم على استنساخ منتوج موجود حالياً.
- تتطلب معارف وخبرات غير متوفرة.
- لا تلائم تكنولوجيا العمليات المستخدمة حالياً في الشركة.
- لا تتوافر لها تكنولوجيا ملائمة في ظل ما وصل اليه التطور العلمي والتكنولوجي.

ان مرحلة التقصي والبحث والتصفية الأولية قد تحذف 80% من الأفكار الأصلية وبذلك يمكن الاستثمار فقط مع الأفكار المتبقية (وهي 20%) التي تنتقل إلى المراحل التالية لعملية التطوير. وهي عادة أفكار لا يوجد فيها عيب أو نقص ظاهر أو جلي.

دراسة الجدوى الاقتصادية Economic Feasibility Study

في هذه المرحلة يتم إجراء دراسة الجدوى الاقتصادية للأفكار المتبقية والتي تضم ثلاثة أنواع من التحليل: تحليل السوق، والتحليل الاقتصادي (التقييم التجاري)، والتحليل الفني والاستراتيجي.

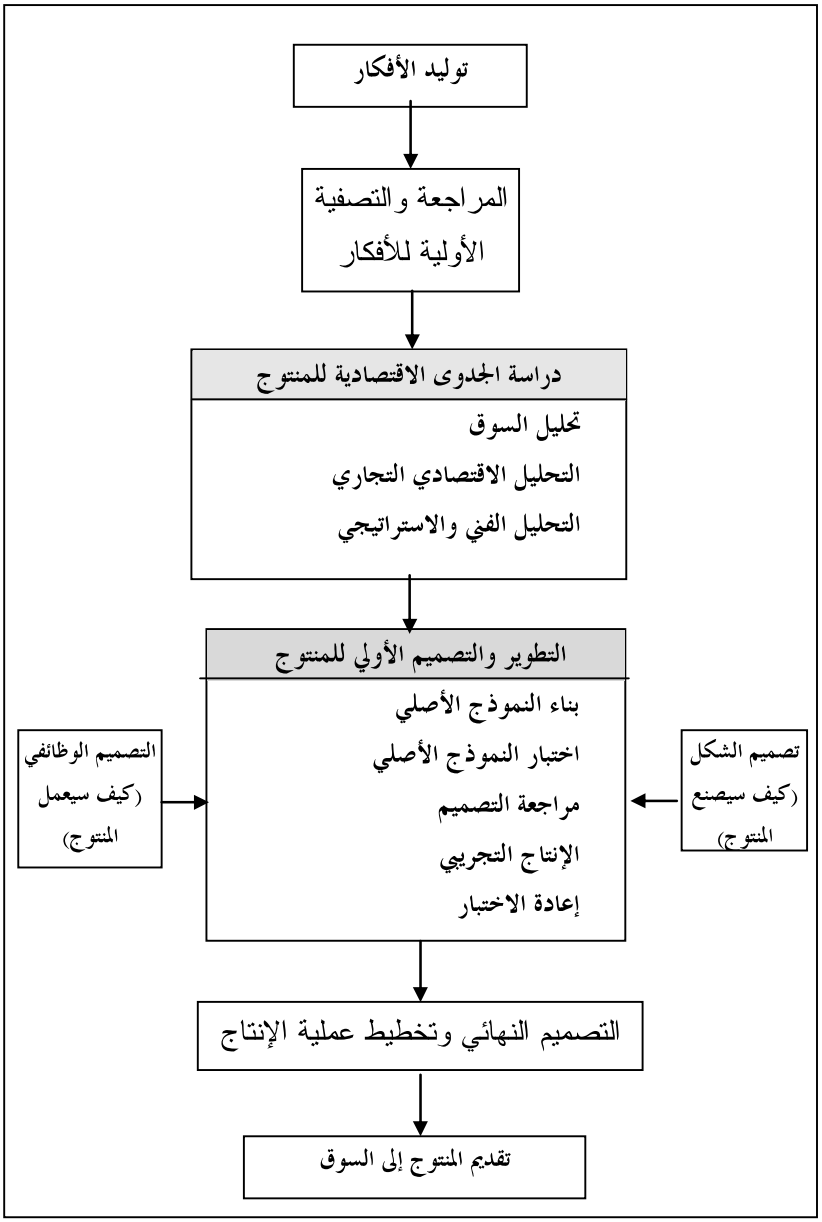
ان **تحليل السوق (Market Analysis)** يهدف إلى إعداد تقديرات عن الطلب المحتمل لمعرفة ما إذا كان هناك طلب كافٍ على المنتوج الجديد بما يبرر الاستثمار في تطوير المنتوج لمرحلة ابعد، فضلاً عن معرفة المنافسة الموجودة في السوق، وتقدير رد فعل الزبون تجاه المنتوج.

اما **التحليل الاقتصادي (Economic Analysis)**، الذي يتم الشروع به بعد ان يتم التأكد من وجود طلب محتمل كافٍ على المنتوج، فيهدف إلى تقدير تكاليف التطوير والإنتاج ومقارنتها بالايرادات المتوقعة للكميات المخمنة للمبيعات لتقدير ما إذا كان المنتوج يحقق ربحا أو لا. وهناك عدد من الأساليب الكمية التي يمكن ان تستخدم لتقييم الربح المحتمل للمنتوج الجديد مثل نظرية القرار، تحليل مستوى التعادل، صافي القيمة الحالية، معدل العائد الداخلي، فترة الاسترداد، ... الخ. . ويلاحظ ان العديد من الأفكار التي تبدو جيدة ترفض في هذه المرحلة من التحليل لعدم نجاحها تجارياً.

أخيرا يتم اجراء التحليل الفني والاستراتيجي لغرض الأجابة على عدد من الأسئلة مثل:

1. 1.هل يتطلب المنتوج الجديد تكنولوجيا جديدة؟ أم ان إنتاجه يمكن أن يتم بواسطة التكنولوجيا المتوفرة في الشركة؟.
2. هل لدى الشركة قوة عمل وخبرات ومهارات إدارية كافية لإسناد التكنولوجيا المطلوبة؟

3. هل ينطوي تطوير هذا المنتوج على مخاطر كبيرة، أو يتطلب استثمارات كبيرة؟
4. هل تكفي الطاقة المتاحة للإنتاج؟ أو هناك حاجة إلى بناء طاقة جديدة؟.
5. هل يحقق المنتوج الجديد ميزة تنافسية للشركة؟
6. هل يتوافق المنتوج الجديد مع النشاط الرئيس لأعمال الشركة؟.



الشكل(4– 5): مراحل تطوير وتصميم المنتوج الجديد

أخيراً يتم كتابة مواصفات الأداء (Performance Specifications) العامة لكل فكرة منتوج يتم اختبارها في هذه المرحلة (دراسة الجدوى) بنجاح ويصادق عليها لغرض التطوير. ان مواصفات الأداء تصف وظائف المنتوج التي ينبغي ان يقوم بها المنتوج لإشباع احتياجات الزبون.

مرحلة التصميم الأولى Preliminary Design

يقوم مهندسو التصميم بتحويل مواصفات الأداء العامة للمنتوج إلى مواصفات فنية. ان عملية التحويل هذه تستلزم بناء **التصميم الأولي** والذي يتم عبر عدة خطوات هي: بناء النموذج الأصلي أو الريادي (Prototype) للمنتوج، اختبار النموذج الأصلي، مراجعة التصميم، الإنتاج التجريبي، وإعادة الاختبار وهكذا، إلى ان يتم الوصول إلى التصميم المرغوب. إن التصميم في هذه المرحلة يتضمن تطوير نوعين من التصميم, تصميم شكل (Form Design) المنتوج والتصميم الوظائفي (Functional Design). يشير **تصميم الشكل** إلى المظهر المادي للمنتوج، وكيف سيكون المنتوج من حيث المكونات، الشكل، اللون، الحجم، والنمط، فضلاً عن النواحي الجمالية الأخرى للمنتوج (كيف سيصنع المنتوج). أما **التصميم الوظائفي** فانه يهتم بتحديد وظائف الأداء/ الإنجاز التي سيقوم بها المنتوج (كيف سيعمل المنتوج). يتم خلال التصميم الوظائفي الأخذ بالحسبان ضرورة توافر خاصيتين للأداء هما: **المعولية** (Reliability)، **والقابلية على الصيانة** (Maintainability). تشير **القابلية على الصيانة** إلى السهولة التي يصلَّح بها المنتوج، لذلك يجب ان يصنع المنتوج بطريقة سهلة لكي تتم صيانته واستبدال أجزائه التي تكون عرضة للتلف أو الفشل بدون صعوبات. فيما تشير **معولية المنتوج: إلى الاحتمال الذي سينجز به المنتوج وظيفته المقصودة لفترة زمنية محددة في ظل ظروف اعتيادية للاستخدام دون أي فشل.** وقد تترجم تلك المعولية من خلال شهادات أو تعهدات الضمان التي تقدمها الشركة المصنعة للمنتوج إلى الزبون مثل ضمان اشتغال جهاز التلفزيون لمدة خمس سنوات، أو ضمان اشتغال سيارة لمدة ثلاث سنوات أو 50000 ميل. ان معولية المنتوج تمثل دالة معوليات الأجزاء المكونة لذلك المنتوج وللكيفية التي ترتب بها تلك الأجزاء. وسوف نتكلم عن موضوع الصيانة والمعولية بالتفصيل في الفصل الرابع عشر.

مرحلة التصميم النهائي وتخطيط عملية الإنتاج (Final Design & Process Planning)

بعد اختبار التصميم الأولي والإنتاج التجريبي (Trial Production) للمنتوج، تأتي مهمة توثيق المنتوج إذ يتم إعداد المخططات والمواصفات التفصيلية التي تمثل التصميم النهائي للمنتوج. بعد ذلك يتم تخطيط عملية الإنتاج التي يجري فيها تحويل التصاميم إلى تعليمات عملية

لغرض تصنيع المنتوج، واختيار وترتيب المعدات والعدد اللازمة، وتحديد الأجزاء التي تصنع داخل الشركة والأجزاء التي ستشترى من المجهزين، وتحديد ترتيب أو تتابع العمليات التشغيلية وعمليات التجميع، وصياغة البرامج للمكائن المؤتمته ...الخ.

4-7 توثيق المنتوج الجديد New Product Documentation

بعد ان يتم اختيار المنتوج وتصميمه فان انتاجه يجري بمؤازرة مجموعة من الوثائق، وهذه الوثائق هي:

- **رسومات التجميع Assembly Drawings** – وهي أشكال مبسطة توضح أجزاء المنتوج وكيفية تركيبها مع بعضها، وهي أشكال ثلاثية الأبعاد عادة وتسمى أيضا بالمجسمات المنظورية Isometric Drawing لان المواقع النسبية لمكونات المنتوج تُرسم حسب علاقتها مع بعضها لكي توضح كيفية تجميع مكونات المنتوج (انظر شكل 5-8).
- **مخطط التجميع Assembly Chart**– هو شكل يوضح كيفية تجميع المنتوج فالأجزاء المصنعة والأجزاء المشتراة أو مزيجا من الاثنين يمكن أن يظهر على مخطط التجميع. كما يوضح هذا المخطط منطقة الشروع بالإنتاج حيث تُركب الأجزاء مع بعضها لتصبح تجميعات فرعية (Subassemblies) وفي النهاية تصبح منتوج نهائي (انظر شكل 5-9).
- **صحيفة المسار Route Sheet**– هي صحيفة تُدرج عليها العمليات (بضمنها التجميع والفحص) الضرورية لإنتاج أحد مكونات المنتوج وتحديد المواد اللازمة في بطاقة المواد (Bill of Materials) تتضمن صحيفة المسار لأحد الأجزاء أو العناصر قيداً واحدا لكل عملية يجري تنفيذها على الجزء ولكن عندما تتضمن صحيفة المسار أساليب محددة للعمليات ومقاييس العمل فعند ذاك تُطلق عليها تسمية صحيفة العمليات (Process Sheet) (انظر شكل 5-10).
- **أمر العمل Work Order** – هو عبارة عن تعليمات لإنتاج كمية محددة من جزء معين استناداً إلى جدول محدد فمثلاً طلبات زبون ما في احد المطاعم التي يثبتها نادل المطعم ويسلمها إلى رئيس الطباخين هي عبارة عن أمر عمل ولكن في الصناعة يُعد أمر العمل وثيقة مهمة تمنح تراخيص لسحب العديد المواد من المخازن، ولأداء وظائف مختلفة ولتخصيص العديد من الأفراد لانجاز تلك الوظائف.
- **إشعارات التغيير الهندسي Engineering Change Notices** – هي إشعارات تُشير إلى التغير في بعض جوانب المنتوج أو في إحدى وثائقه التي أشرنا إليها آنفاً، كالتغيير في رسومات التجميع. فعلى سبيل المثال فان المنتوجات التي تكون دورتها التصنيعية طويلة

كإنتاج طائرة ايرباص، فان التغييرات الهندسية يمكن أن تكون عديدة جدا بحيث لا تتشابه طائرتان بنسبة 100% وذلك حسب تغير طلبات الزبائن. لقد ساعد هذا التغيير الديناميكي في التصميم على ظهور إدارة التشكيل (Configuration Management) وهي عبارة عن نظام يتم بموجبه التخطيط وتغيير هيئة المنتوجات وتثبيت ذلك بوثائق لاغراض ضبط الجودة وقياس الاداء.

4-8 أدوات تصميم وتطوير المنتوج:

هنالك مجموعة من التقنيات والأساليب المهمة في تطوير وتصميم المنتجات التي تساند وتدعم الميزة التنافسية للمنظمة، وسيتم استعراض سبعة منها:

4-8-1 التصاميم الصديقة للبيئة والتصنيع الأخضر

انسجاماً مع المسؤوليات الأخلاقية والبيئية الجديدة للمنظمات خاصة بعد انتشار مفهوم التصنيع الأخضر، يجب على مديري العمليات وفرق هندسة وتحليل القيمة دراسة دورة حياة المنتوج كاملة من التصميم، إلى الإنتاج، إلى التخلص النهائي من المنتوج وذلك بهدف تقليل الآثار السلبية للمنتوج خلال دورة حياته من اجل المحافظة على بيئة آمنة وسليمة والمحافظة على الموارد وصيانتها. لقد اتجهت مجهودات الكثير من الشركات الصناعية في هذا الاتجاه. ومن الأمثلة على ذلك ما قامت به ديبونت DuPont **في مرحلة التصميم**، فقد طورت فلم بولستر أقوى وأنحف سمكاً لكي تستخدم مواد أقل وتكاليف أدنى في إنتاجه. وما حققته فودافون قطر لخدمة الموبايل **في مرحلة الإنتاج** إذ أطلقت بطاقة إعادة تعبئة جديدة Flexi 20 صديقة للبيئة بنصف حجمها السابق خفضت استهلاك الورق بنسبة 50%، وتستعمل في تصنيعها مواد قابلة لإعادة التدوير، كما أنها تتطلب مساحة تخزين أقل، وأصبحت أسهل في النقل, وكل ذلك يساهم في الحد من انبعاث الكربون الخاص بالشركة. وما تحققه صناعة السيارت بشكل عام من نجاح في **مرحلة التخلص النهائي من المنتوج**، إذ تقوم الصناعة بإعادة معالجة أكثر من 75% من مواد السيارات وبما يعادل وزن 10 ملايين سيارة سكراب سنوياً. فالشركة الالمانية BMW مثلاً تقوم بإعادة تدوير الكثير من سياراتها وبضمن ذلك العديد من الأجزاء البلاستيكية للسيارة. وهنا لأبد من الذكر بأن مثل هذه الجهود تتوافق مع متطلبات مواصفة الايزو 14000 للإدارة البيئية.

في ضوء ذلك، تظهر أهمية التصاميم الأخلاقية، والصديقة للبيئة لنشر وتحقيق مفاهيم وبيئة التصنيع الأخضر Green Manufacturing. يعّرف **التصنيع الأخضر** على **أنه "الأستجابة لقضايا البيئة في تصميم وإنتاج المنتوج والتخلص منه من خلال إعادة استعمال**

مكونات المنتوج، أو تجديدها، أو التخلص منها بأمان وبما يؤدي إلى تخفيض التكاليف الكلية للمنتوج خلال دورة حياته". وبذلك ترمي التصاميم الأخلاقية، والصديقة للبيئة إلى تحقيق الأهداف الآتية:

- تطوير منتجات آمنة وأكثر سلامة للبيئة.
- تقليل الهدر في المواد الأولية والطاقة إلى أدنى ما يمكن.
- تقليل الأعباء والمشكلات البئية.
- زيادة فاعلية التكاليف والنفقات التي تصرف للامتثال للقوانين والتعليمات البيئية.
- الاعتراف بك كمواطن صالح للمنظمة التي تؤمن وتتقيد بحماية البيئة.

تتطلب عملية تحقيق التصاميم الصديقة للبيئة والاخلاقية، والتصنيع الأخضر للمنتجات إلى إتباع الارشادات التالية:

1. **تصنيع منتجات قابلة لإعادة التدوير:** يمكن الأن إعادة تدوير معظم السيارات، وأكثر من نصف علب وقناني الالمنيوم، وجزء كبير من منتجات الورق والبلاستك والزجاج.
2. **استخدام مواد معادة:** كقيام فودافون قطر لخدمة الموبايل، كما ذكر من قبل، بأطلاق بطاقة إعادة تعبئة جديدة مصنوعة من مواد قابلة لإعادة التدوير.
3. **استخدام مكونات وأجزاء أقل ضرراً في تصنيع المنتوج:** مثال ذلك استخدام شركة Standard Register للاحبار المستندة على الصويا Soy-Based Inks التي تقلل من تلوث الماء والهواء بدلاً من الاحبار الخطرة بيئياً.
4. **استخدام مكونات وأجزاء أخف:** كاستخدام مكونات الالمنيوم والبلاستك في صناعة السيارات والشاحنات لتقليل الوزن، وكذلك استخدم بوينك لالياف الكاربون ومنتجات الايبوكسي بهدف تقليل وزن طائرتها 787.
5. **استخدام طاقة أقل:** كقيام جنرال اليكتريك بتصميم جيل جديد من الثلاجات يستخدم طاقة كهربائية أقل بكثير خلال عمرها.
6. **استخدام مواد أقل:** مثال ذلك قيام شركة سوني لشبه الموصلات بتخفيض كمية المواد الكيمياوية المستخدمة، في عملية ختم/ نقش رقائق السيليكون، بمقدار 50%، مما أدى إلى تخفيض تكاليف الآنتاج، وتقليل القلق البيئي.

فضلا عن ذلك فأن العديد من الدول في العالم قد قامت بتشريع قوانين لحماية البيئة من التلوث الناتج عن النفايات التي تولدها المنتوجات والعمليات الانتاجية، ومؤخرا عقد مؤتمر قمة كوبنهاغن/الدانمارك (2009) برعاية الامم المتحدة في لدراسة مشكلة الاحتباس الحراري في

الكرة الارضية. شارك في هذا المؤتمر حوالي 200 دولة تنضوي تحت مظلة الامم المتحدة وخرج المؤتمر بعدة مقاييس ــ تتحمل وزرها الدول الصناعية الكبرى في العالم ــ لتخفيض التلوث والاحتباس الحراري. بالاضافة الى ماتقدم فأن التخلص من نفايات المنتوجات والعمليات ما تزال محط اهتمام الباحثين والصناعيين وقد تم اعداد بدائل للتخلص من نفايات المنتوجات واطلق على هذه البدائل تسمية "**هرم النفايات**" وكما يظهر في الشكل (4-6). **يشير هرم النفايات الى ثلاثة مفاهيم اساسية هي التخفيض، والتدوير، واعادة استخدام النفايات.** ان الهدف من التسلسل الهرمي هو الحصول على اكبر قدر من المنافع العملية من عملية تصميم المنتوجات الجديدة واحداث الحد الادنى من النفايات التي تولدها تلك التصاميم. ويتضح من الشكل (4-6) بأنه كلما يتجه تصميم المنتوج نحو خيارات قمة الهرم كلما يكون المنتوج صديقا للبيئة.

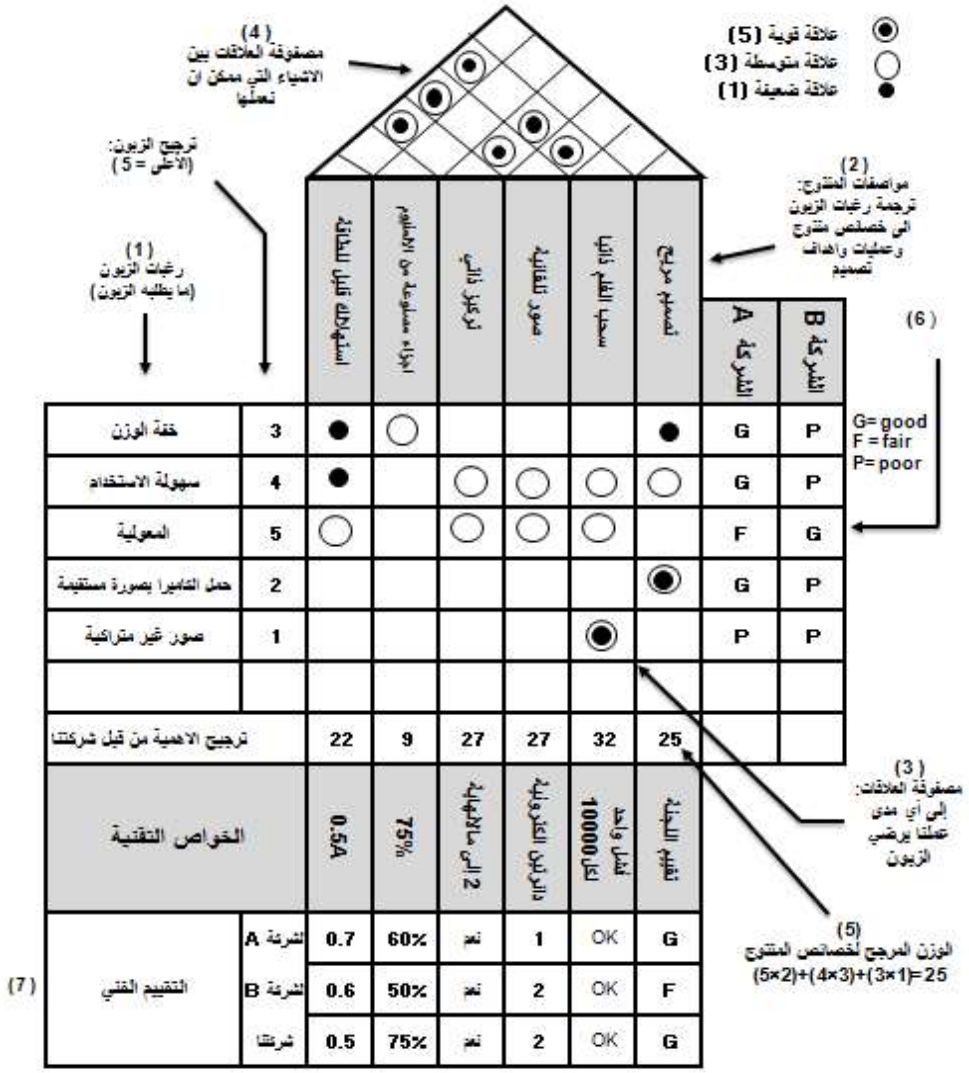
شكل (4-6): هرم النفايات

4-8-2 نشر وظيفة الجودة Quality Function Deployment(QFD)

يهدف نموذج نشر وظيفة الجودة إلى تحديد رغبات الزبون من المنتوج، وترجمة تلك الرغبات إلى خواص تصميم لمنتوج مستهدف. وبذلك يمكن تحديد ما سيرضي الزبون، وأين يجب أن تنشر وظيفة الجودة. يستخدم مخطط بياني يدعى "**بيت الجودة Quality House**" كأحد أدوات QFD، في تحديد العلاقة بين رغبات الزبون وخصائص المنتوج أو الخدمة. إذ يعتبر تحديد هذه العلاقة بمثابة الخطوة الأولى على طريق بناء نظام إنتاج من الصنف العالمي.

ويتم بناء بيت الجودة بإتباع الخطوات السبع التالية (سيتم استخدام بيت الجودة لكاميرا تصوير للتوضيح وكما مبين في الشكل 4-7):

1. **تحديد رغبات الزبون المتوقعة من المنتوج**، إذ يتم استخدام بحوث السوق لتحديد لك الرغبات. توضع هذه الرغبات في يسار بيت الجودة، وهي في مثال الكاميرا خفة الوزن؛ سهولة الاستخدام؛ المعولية؛ حمل الكاميرا بصورة مستقيمة؛ وصور غير متراكبة. كما يتم تحديد الأهمية النسبية لهذه الرغبات من وجهة نظر الزبون وفق مقياس معين ــ خماسي مثلاً (5 = للرغبة الأكثر أهمية، ...، و 1 = للرغبة الأقل).
2. **تطوير مواصفات تصميم المنتوج**، وذلك بتحديد الكيفية التي ستقوم بها المنظمة بترجمة رغبات الزبون إلى خواص فنية مستهدفة في تصميم المنتوج وعملية الإنتاج. لقد حدد فريق التطوير في الشركة المنتجة ستة خواص للكاميرا هي: استهلاك قليل للطاقة؛ تصنيع الأجزاء من الألمنيوم؛ تركيز بؤري ذاتي، صور تلقائية، سحب الفلم ذاتياً؛ وتصميم مريح.
3. **بناء مصفوفة العلاقات بين رغبات الزبون ومواصفات المنتوج**، لتقييم مدى تحقيق كل رغبة من رغبات الزبون من قبل كل خاصية من خواص المنتوج، بعبارة أخرى تقييم مدى تلبية خصائص تصميم المنتوج لحاجات الزبون. وتتحدد قوة هذه العلاقة وفق مقياس معين مثلاً: علاقة قوية (5) نقاط، علاقة متوسطة (3) نقاط، وعلاقة ضعيفة (1) نقطة واحدة.
4. **تطوير مصفوفة العلاقات بين الكيفيات التي تقدمها المنظمة**، لتحديد وتطوير العلاقة ما بين خصائص تصميم المنتوج ببعضها والتي يمكن أن تعملها المنظمة في المنتوج. في مثال الكاميرا، على سبيل المثال، هناك علاقة قوية بين الاستهلاك القليل للطاقة وبين التركيز البؤري الذاتي؛ والصور التلقائية؛ وسحب الفلم ذاتياً لأنها جميعاً تتطلب استهلاك للطاقة.
5. **حساب النقاط الموزونة لكل صفة من صفات تصميم المنتوج**، حيث تعطى قيمة تمثل الوزن النسبي لكل مفردة في مصفوفة العلاقات في الخطوة رقم (3)، إذ تمثل كل مفردة قوة العلاقة بين خاصية من خواص المنتوج ورغبة من رغبات الزبون. ثم يتم ضرب قيمة كل مفردة في مصفوفة العلاقة بالوزن النسبي الذي يخصصه الزبون لقيمة تلك المفردة. توضع النقاط الموزونة في صف **ترجيح الأهمية النسبية من قبل شركتنا** وهو الصف الذي يقع اسفل مصفوفة العلاقات بين رغبات الزبون ومواصفات المنتوج في بيت الجودة. تستخدم النقاط الموزونة في تقييم الأداء، إذ تعتبر خاصية تصميم المنتوج التي تحصل على أعلى النقاط الموزونة، هي الخاصية الأكثر أهمية وتأثيراً في نجاح المنتوج.



شكل (4-7): بيت الجودة ـ وظيفة نشر الجودة (QFD)

Source: Heizer, Jay and Barry Render, Operations Management, 8th ed., Prentice Hall, New Jersey, 2006, p.164

6. **تقييم منتجات المنافسين**، وذلك لتحديد المدى الذي تلبي به منتجات المنافسين رغبات الزبون ــ جيد (G)ood، مقبول (F)air، ضعيف (P)oor. حيث تتم المقارنة عادة مع أكبر أثنين أو ثلاثة منافسين. مثال ذلك، يظهر لنا الشكل (4-7) بأن أداء الشركة A جيد في مقابلة طلبات الزبون المتعلقة بخفة الوزن؛ وسهولة الاستخدام؛ وحمل الكاميرا، ومقبول في معولية الكاميرا، وضعيف في الصور غير المتراكبة.

7. **التقييم الفني للخواص التقنية**، إذ يتم تحديد الخواص التقنية المهمة والحرجة للمنتوج والتقييم الفني لمدى قيام منظمتنا بعملها بشكل جيد لمقابلة تلك الخواص، وإلى أي مدى يقوم المنافسيين بعملهم نحو هذه الخواص. يبين الشكل (4-7) بأن الخواص المهمة والحرجة للكاميرا التي حددها فريق تطوير الكاميرا كانت: الامبيرية المطلوبة من الطاقة = 0.5A؛ نسبة الأجزاء المصنوعة من الألمنيوم = 75%؛ مسافة التركيز الذاني = 2 إلى ما لانهاية؛ عدد الدوائر الالكترونية = 2؛ معدل الفشل = فشل واحد لكل 10000 سحبة ذاتية للفلم؛ ورأي الخبراء بمستوى الراحة التي يوفرها التصميم = جيد (G) أو مقبول (F) أو ضعيف (P). وأمام تلك الخواص يتم إجراء التقييم الفني لمنتوج الشركة، ومنتجات المنافسين كما مبين في الصفوف الثلاثة أسفل المصفوفة.

إن المحاور التي تتدخل في تصميم بيت الجودة كما ورد وصفها بالخطوات السبع ابتداءً بما يرغبه الزبون وحتى المبادلات (التي يتمخض عنها التقييم الفني لخواص ومواصفات المنتوج التي تترجم لما يمكن ان تفعله المنظمة للزبون مقارنة بما يقوم به المنافسين) تخضع للقياسات الكمية كالأبعاد والأوزان النسبية والأداء والمتانة والتي يتم التعبير عنها بواسطة نظام لتصميم منتوج أفضل يعتمد التنسيق والتعاون بين إدارتي المبيعات والتصميم (ميسر الجبوري، 2010، 261).

4-8-3 القابلية على التصنيع وهندسة القيمة، وتحليل القيمة

Manufacturability, Value Engineering, and Value Analysis

يعرف **التصميم القابل للتصنيع وهندسة القيمة وتحليل القيمة على أنه الأنشطة التي تساعد على تصميم، وإنتاج المنتوج، وتوفير قابليته على الصيانة والأستعمال.** تهدف أنشطة التصميم القابل للتصنيع وهندسة القيمة وتحليل القيمة إلى تحسين تصميم ومواصفات المنتوج وخصائص أدائه خلال المراحل التي تمر بها عملية تطوير المنتوج في البحث، والتطوير، والإنتاج. وبذلك يكون التصميم القابل للتصنيع وهندسة القيمة وتحليل القيمة الوسيلة الأفضل المتوفرة لإدارة العمليات في تحقيق تخفيض مباشر للتكاليف، وتحسين القيمة من خلال التركيز على تحقيق خصائص الأداء الضرورية للمنتوج لمقابلة متطلبات واحتياجات الزبون بطريقة مثلى. إضافة إلى ذلك، يحقق التصميم ذو القابلية على التصنيع وهندسة القيمة وتحليل القيمة المنافع التالية:

- تقليل مستوى التعقيد في المنتوج.
- زيادة مستوى النمطية لمكونات المنتوج.

- تحسين وظائف الأداء للمنتوج.
- تحسين قابلية المنتوج على الصيانة (تحسين القابلية على الخدمة).
- بناء تصميم يتسم بالقوة والمتانة Robust Design.
- تحسين تصميم الوظيفة وأمان وسلامة العمل Improved Job Design & Safety.

على الرغم من أن **هندسة القيمة وتحليل القيمة** يحققان نفس المنافع ويستخدمان نفس الأساليب في تحسين المنتوج مع وجود تغييرات ثانوية في التطبيق، إلا أن هندسة القيمة تركز على تحسين تصميم المنتوج قبل الإنتاج بينما يركز تحليل القيمة على مراجعة وتحسين المنتوجات الناجحة خلال عملية الإنتاج.

4-8-4 التصميم ذو المتانة Robust Design

لقد استخدم تصميم القوة أو المتانة حديثاً في محاولة لتصميم المنتجات بطريقة تؤدي إلى: (1) تقليل التباين الطبيعي الذي قد يحدث في خواص وصفات المنتوج أثناء عملية الإنتاج، (2) جعل أداء المنتوج اقل حساسية للتباينات التي تحدث. إذ ان المصمم يستطيع اختيار خصائص وطرائق الإنتاج التي تقلل هذا التباين إلى أدنى ما يمكن، هذا من جهة، وتكييف أو تسوية ذلك التباين الذي تتعرض له تلك الخصائص بطريقة تؤدي إلى تقليل أثاره على أداء أو جودة المنتوج إلى أدنى ما يمكن، من جهة اخرى.

4-8-5 التصميم المعياري Modular Design

التصميم المعياري هو التصميم الذي يوفر القدرة على تجزئة أجزاء المنتوج إلى مكونات تسمح بتحقيق تبادلية الأجزاء واستبدالها بسهولة. وبذلك فأن المنتجات المصممة من مكونات يمكن تجزئتها بسهولة يطلق عليها بالتصاميم المعيارية. يسمح التصميم المعياري للمنظمة بتقديم مزيج المنتوج الذي يرضي اذواق الزبائن المختلفة، إذ تساعد التصاميم المعيارية لمكونات قليلة نسبياً تنتج مسبقاً، على تقديم تشكيلة عالية التنوع من المنتجات النهائية حسب طلبات الزبائن.

تستخدم فكرة التصميم المعياري في العديد من الصناعات، من مصنعي هياكل الطائرات إلى مطاعم الوجبات السريعة لكنها شائعة عادة في صناعة الإلكترونيات، وصناعة السيارات. من الأمثلة على ذلك، تستخدم ايرباص نفس مكونات الجناح بالعديد من طائراتها، كذلك قيام شركة هارلي ديفيدسن Harley-Davidson باستخدام التصميم المعياري لمكونات قليلة نسبياً من محركات، هياكل معدنية، خزانات غاز، وأنظمة تعليق في إعداد مزيج منتوجها لإنتاج تشكيلة هائلة التنوع من الدراجات النارية. بالمقابل، تطبق شركة كامب بيل Campbell لإنتاج الحساء (المرق) التصميم المعياري في إنتاج كميات كبيرة لأربعة أنواع أساسية فقط من الحساء

(broths) الذي يصنع من لحم البقر، والدجاج، والطماطم، واللحوم البحرية ثم تضيف بعد ذلك مكونات خاصة إلى الأجزاء الأربعة لإنتاج تشكيلة متنوعة تضم (125) منتوج نهائي للحساء.

6-8-4 التصميم بمساعدة الحاسوب Computer – Aided Design (CAD)

نظام أو برمجية CAD هو استخدام الحاسوب بصورة تفاعلية في تصميم المنتوج، والتوثيق الهندسي للمنتوج. على الرغم من أن استعمال وتنوع برمجية CAD يتسم بكونه واسع النطاق، إلا أن الكثير منه لا يزال يستخدم في إعداد مسودات رسوم ومجسمات المنتوج ثلاثية الأبعاد. على أية حال، إن استخدامه يتسع بسرعة كبيرة. تسمح برمجية CAD للمصممين بتوفير الكثير من الوقت والأموال وذلك من خلال اختزال دورات التطوير لجميع المنتوجات. إن السرعة والسهولة التي يمكن أن تعالج بها التصاميم المتطورة أو المعقدة، وتحلل، وتحور باستخدام CAD، يجعل مراجعة الخيارات الكثيرة للتصميم أمراً ممكناً قبل الدخول بتعهدات نهائية. التطوير الأسرع، والمنتجات الأفضل، والتدفق الدقيق للمعلومات إلى الإدارات الأخرى كلها تساهم بتحقيق منافع كبيرة لبرمجية CAD. وتكون هذه المنافع مهمة بشكل خاص لأن معظم تكاليف المنتوج تتحد في مرحلة التصميم.

لقد أضيفت أجزاء أخرى لنظام CAD، أحدها هو برمجية **التصميم لاجل التصنيع والتجميع** Desing for Manufacture & Assembly (DFMA) ويركز على تأثير التصميم على تصنيع وتجميع المنتوج، إذ تسمح هذه البرمجية للمصممين بفحص تكامل تصاميم المنتوج قبل أن يتم تصنيعه. كمثال، تسمح لمصممي السيارات بفحص الكيفية التي سيتم بها وضع جهاز ناقل الحركة في السيارة وهي على خط الإنتاج، في الوقت الذي لا يزال الجهاز والسيارة في مرحلة التصميم.

الجزء الثاني المضاف لنظام CAD هو تقنية **التشكيل ثلاثي الأبعاد لمجسم الشيء 3-D Object Modeling** الذي يقوم بتطوير وبناء النماذج الريادية Prototypes الصغيرة للمنتجات. إذ تقوم هذه التقنية ببناء نموذج صغير مؤلف من طبقات رقيقة جداً من مواد التركيب الاصطناعية لأغراض التقييم الأولي بسرعة متفادية بذلك الحاجة إلى مدد أطول لعملية التصنيع.

لقد انتقلت بعض أنظمة CAD على شبكة الانترنت عبر التجارة الالكترونية، حيث تقوم بربط العديد من الأنشطة مع بعضها: ربط التصميم المعد بالحاسوب مع الشراء، والتعاقد الخارجي مع الغير Outsourcing، والإنتاج، والصيانة في الأمد الطويل. يدعم هذا الأنتقال التغير السريع في المنتوج والأتجاه المتنامي نحو الإيصاء الواسع "Mass Customization". إذ يستطيع الزبون، بوجود CAD على الانترنت، الدخول إلى مكتبات المجهزين ويجري

التغييرات التي يرغبها على التصميم، ثم تقوم برمجية المجهز بعدئذ بتوليد رسومات التصميم المعّدل آلياً، وتحديث قائمة المواد، وإصدار التعليمات لعملية الإنتاج في مصنع المجهز لغرض التنفيذ. وبذلك يتم إنتاج منتجات إيصائية حسب رغبات الزبائن بطريقة أسرع وأرخص.

في ضوء ما تقدم، يصبح التعاون ما بين إدارات المنظمة، ومرافق الإنتاج والمجهزين عبر العالم أمراً حرجاً وحاسماً، إذ كلما قَصُرَت دورة حياة المنتوج، كلما أصبح التصميم أكثر تعقيداً. إن امكانية مثل هذا التعاون قد برهنت بشكل جلي من خلال تطوير **قاعدة تبادل بيانات المنتوج Standard for the Exchange of Product Data (STEP)**، التي توفر صيغة تسمح بالإرسال والإنتقال الالكتروني للبيانات ثلاثية الأبعاد. إذ يمكن للشركات المنتجة، بواسطة تقنية STEP إظهار وتصوير المعلومات ثلاثية الأبعاد بشكل قياسي وبالتالي تبادلها على نطاق دولي، كما يمكن للمنتجين الذين لديهم فروع منتشرة جغرافياً تحقيق التكامل بين عمليات التصميم والإنتاج والأسناد.

7-7-4 التصنيع بمساعدة الحاسوب Computer – Aided Manufacturing (CAM)

تشير برمجية CAM إلى استخدام تكنولوجيا المعلومات (برامج حاسوب متخصصة) لإدارة وتوجيه والسيطرة على معدات الإنتاج. فعندما يتم ترجمة معلومات CAD وإرسالها إلى CAM، ستكون الحصيلة لهذين النوعين من البرمجيات هي تكنولوجيا CAD/CAM والتي تحقق الفوائد التالية:

1. **جودة أفضل للمنتوج:** حيث يسمح نظام CAD للمصمم بالتحرى عن بدائل كثيرة، وأكتشاف المشاكل المحتملة والمخاطر المتوقعة.
2. **وقت أقصر للتصميم:** بتقليص مدة مرحلة التصميم يتم تخفيض التكاليف وتتحقق استجابة أسرع للسوق.
3. **تخفيض تكاليف الإنتاج:** يساعد استخدام CAM على تخفيض مستويات المخزون، واستثمار أعلى لكفاءة للعاملين بواسطة تحسين الجدولة، وتنفيذ أسرع لتغيرات التصميم والتي تساهم بدورها جميعاً في تخفيض تكاليف الإنتاج.
4. **بناء قاعدة بيانات:** يساعد انتقال المعلومات من قاعدة البيانات إلى برامج الإنتاج الأخرى، ودقة بيانات المنتوج، التي توفرها قاعدة البيانات، على قيام كل فرد باستخدام نفس المعلومات مما يقود بالنتيجة إلى تخفيض جذري لتكاليف الإنتاج.
5. **توفير قدرات جديدة:** من خلال القدرة على تدوير ورسم ووصف الأشياء بأشكال ثلاثية الأبعاد لمراجعة مستوى الوضوح، وربط الأجزاء ببعضها، وتحسين استخدام الآت

التحكم العددي، ستضاف قدرات جديدة للتصنيع. كما تساعد CAD/CAM على التخلص من العمل التفصيلي بدرجة كبيرة، وتسمح كذلك للمصممين بالتركيز على النواحي الأدراكية والتخيلية لمهامهم.

4-9 أدوات اتخاذ القرار في اختيار المنتوج الجديد

Decision - Making Tools For New Product Selection

يتعامل مديرو العمليات مع مواقف مختلفة للقرارات. وعلى الرغم من ان خصائص كل موقف تختلف، إلا ان عملية اتخاذ القرار تتطلب القيام بنفس الخطوات وهي:

1.إدراك المشكلة وتعريفها بوضوح.

2.جمع البيانات المطلوبة لتحليل البدائل المتاحة.

3.اختيار البديل الأفضل، ووضعه موضع التنفيذ.

وبصدد المنتجات والخدمات الجديدة، يجب ان يقرر مديرو إدارة العمليات ما هي المنتوجات التي يتم اختيار تقديمها للسوق، ومن ثم يتم اختيار خصائص التصميم لكل منها. وبهذا النطاق قد يكون التفكير أو التأمل العميق كافياً لوحده لاتخاذ مثل هذا القرار، ولكن في أوقات كثيرة قد يتطلب الأمر بعض الأساليب المنظمة للوصول إلى ذلك. من بين هذه الأدوات أو الأساليب التي يمكن ان تستخدم في اختيار المنتوج الجديد من بين عدة بدائل متاحة الآتي:

1. تحليل مستوى التعادل (Break - Even Analysis)
2. مصفوفة المفاضلة (Preference Matrix)

4-9-1 تحليل مستوى التعادل Break-Even Analysis

يساعد هذا التحليل في معرفة أو تحديد مستوى النشاط المطلوب، أي تحديد حجم المبيعات اللازم لجعل المنتوج استثماراً اقتصادياً مربحاً. ان هدف تحليل مستوى التعادل هو إيجاد النقطة، بالمبالغ أو الوحدات، التي تتساوى فيها التكاليف مع الإيرادات. فهي بذلك تعبر عن الحجم أو الكمية التي تغطى فيها التكاليف الثابتة والتكاليف المتغيرة بالكامل. وتسمى هذه النقطة بنقطة التعادل (انظر الشكل 4-8). يتطلب تحليل مستوى التعادل تقدير التكاليف الثابتة (F)، والتكاليف المتغيرة الكلية (VQ)، والإيرادات (TR). التكاليف الثابتة هي تلك التكاليف التي لاتتغير بتغير حجم الانتاج، أي تلك التكاليف التي تنفق حتى عندما يكون حجم الإنتاج صفراً من المنتوج. والتكاليف المتغيرة هي التكاليف التي تتغير بتغير حجم الإنتاج من الوحدات المنتجة للمنتوج، وتعرف أيضا بالتكاليف المباشرة. والعناصر الرئيسة للتكاليف المتغيرة هي تكاليف

العمل وتكاليف المواد، فضلاً عن التكاليف الأخرى التي تتغير باختلاف حجم الإنتاج (عدد الوحدات المنتجة).

ان تحليل مستوى التعادل في حقيقة الأمر يستند إلى النموذج الأساسي للنظرية الاقتصادية التي تحدد أو تشير إلى ان الأرباح تظهر أو تتحقق عندما تتجاوز الإيرادات الكلية على التكاليف الكلية.

عندما يستخدم تحليل مستوى التعادل في تخطيط المنتوج أو الخدمة، فأنه يهدف إلى تحديد مستوى النشاط (حجم المخرجات أو عدد الوحدات)، الذي تتساوى فيه الإيرادات الكلية مع التكاليف الكلية. وعندما يستخدم للمقارنة أو المفاضلة بين طرق الإنتاج، فانه يقوم بإيجاد الحجم أو الكمية التي تتساوى فيها التكاليف الكلية لنوعين مختلفين من طرق الانتاج او نوعين مختلفين من تكنولوجيا عملية الإنتاج.

عليه إن الغرض الرئيس من استخدام التعادل في تخطيط المنتوج و الخدمة هو لتقدير الربح المحتمل (أو الخسارة المحتملة) لمنتوج أو خدمة جديدة. إذ ان هذا التحليل سيساعد المدير في الإجابة على الأسئلة الآتية (Krajewski & Ritzman, 96, 72-73):

1. هل ان حجم المبيعات المتوقع (مستوى النشاط المتوقع) للمنتوج أو الخدمة يكفي لتحقيق مستوى التعادل، ذلك المستوى الذي لا يتحقق فيه ربح أو خسارة؟
2. كم هو مقدار التخفيض الذي يمكن ان تجربه الشركة على الكلفة المتغيرة للوحدة الواحدة من المنتوج أو الخدمة في ظل أسعار بيع معينة وحجم مبيعات أو مستوى نشاط متوقع وتبقى الشركة في مستوى التعادل؟
3. كم هو مقدار التخفيض الذي يمكن ان تخفض به التكاليف الثابتة ويبقى المنتوج في مستوى التعادل؟
4. كيف تؤثر مستويات الأسعار (أسعار بيع الوحدة من المنتوج أو الخدمة) في حجم أو كمية مستوى التعادل؟

ان تحليل مستوى التعادل يفترض بان جميع التكاليف المرتبطة بالإنتاج لمنتوج أو خدمة معينة يجب ان تقسم إلى تكاليف ثابتة وأخرى متغيرة. التكاليف الثابتة، كما ذكرنا من قبل، تمثل نسبة من التكاليف الكلية التي تبقى ثابتة بغض النظر عن التغير في مستويات أو حجم الإنتاج (عدد الوحدات المنتجة) وهي التكاليف السنوية لاستئجار معدات جديدة أو شرائها ويضمن ذلك تكاليف الاندثار، الفائدة، الضرائب، التامين، والرواتب. التكاليف المتغيرة هي نسبة من التكاليف الكلية التي تتغير بصورة مباشرة بتغير حجم الإنتاج، وهي تكاليف كل وحدة من المنتوج من المواد، العمل، وجزء معين من التكاليف الصناعية.

فإذا ما جعلنا Q تعبر عن عدد الوحدات المنتجة أو المباعة لكل سنة، F عن التكاليف الثابتة، VQ عن التكاليف المتغيرة الكلية للوحدات المنتجة والمباعة سنوياً، فان التكاليف الكلية (TC) لإنتاج المنتوج أو الخدمة تساوي التكاليف الثابتة، مضافا اليها الكلفة المتغيرة لانتاج الوحدة الواحدة مضروبة بحجم الإنتاج، أي:

$$TC = F + VQ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}1)$$

هناك عدد من الافتراضات التي يستند عليها النموذج الأساسي لتحليل التعادل وهي:

- ان التكاليف الكلية تتألف من تكاليف ثابتة وتكاليف متغيرة.
- ان دالة الكلفة هي دالة خطية لان الكلفة المتغيرة للوحدة هي نفسها بغض النظر عن الوحدات المنتجة و المباعة.
- ان جميع الوحدات المنتجة يتم بيعها ومن ثم فان الإيرادات (TR) تساوي سعر البيع لكل وحدة مباعة (P) مضروباً بالكمية المباعة (Q)أي:

$$TR = P \times Q \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}2)$$

إلا ان الأمر في الحياة العملية يكون مختلفاً، إذ لا تبقى التكاليف الثابتة كما هي عليه ضمن مديات أو مستويات مختلفة من المخرجات أو الإنتاج. كما أن إضافة معدات جديدة أو مساحات مخزنية جديدة مثلاً، لزيادة حجم المخرجات قد يؤدي إلى ظهور دوال متعددة المستويات (Step Functions) لهذه الكلفة. فضلا عن ان التكاليف المتغيرة هي ليست خطية، إلا ان ذلك يوضع افتراضاً لأغراض تطبيق النموذج الأساسي لتحليل مستوى التعادل. فقد تتغير مثل هذه التكاليف عند استخدام العمل الإضافي (Over Time) أو عند استخدام عمال مهرة.....الخ. وإذا ما جعلنا الإيرادات الكلية مساوية للتكاليف الكلية، فأننا نستطيع إيجاد نقطة مستوى التعادل (Break – Even Point - BEP) وكالآتي:

$$TR = TC$$
$$P*Q = F + VQ$$
$$F = PQ - VQ$$
$$F = Q\,(P\text{-}V)$$

$$\mathbf{Q_{BEP}} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{P - V}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-3)$$

ولإيجاد نقطة مستوى التعادل بالمبالغ (بالدولار مثلاً) تستخدم الصيغة الآتية: