به نام ایزد یکتا

۱۱۱۸۳۳

دانشگاه علوم و فنون مازندران
دانشکده مهندسی صنایع

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی صنایع-گرایش مهندسی صنایع

توسعه سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید WLC در محیطهای تولیدی ساخت برای سفارش(MTO) برای مدیریت بهتر زمان تحویل

نگارش:
سید احسان فتاحی

۱۳۸۸ /۲/ -۵

اساتید راهنما:
دکتر نیکبخش جوادیان
دکتر سید علی ترابی

۱۳۸۸ /۲/ -۵

۱۱۱۸۳۳

تابستان ۸۶

تقدیم به

خانواده‌ام که صبر و شکیبائی را به من آموخت

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌دانم تا بدین‌وسیله از تمام عزیزانی که همواره در طول زندگی و در راه کسب علم و دانش مشوق و یاور من بوده‌اند و به نوعی بر اندوخته‌های علمی من افزوده‌اند تشکر نمایم. همچنین مراتب سپاس و قدردانی خود را از اساتید محترم و ارجمند جناب آقای دکتر نیکبخش جوادیان به پاس زحمات و راهنمایی‌های روشنگرشان و جناب آقای دکتر سید علی ترابی به پاس یاری و مشاوره در راه تهیه این پایان‌نامه ابراز نمایم. در خاتمه از زحمات و تلاش‌های جناب آقای مهندس محمود عبادیان و سایر دوستان و یارانی که من را در راه تهیه و تکمیل این پایان‌نامه تشویق و راهنمائی نموده‌اند، سپاسگزارم.

چکیده

در این پایان‌نامه یک ساختار توسعه یافته رویکرد برنامه ریزی و کنترل تولید بارکاری (WLC) در محیط‌های تولیدی ساخت برای سفارش (MTO) پیشنهاد شده است. رویکرد پیشنهادی دارای ساختار برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی با چهار سطح مختلف تصمیم‌گیری است. در سطح اول که سطح درخواست مشتری است، تصمیم‌گیری اصلی شامل رد یا پذیرش سفارشات جدید ورودی با توجه به محدودیت‌های داخل و خارج سیستم تولیدی می‌باشد. در این سطح یک ساختار تصمیم‌گیری سلسله مراتبی جدید برای رد یا پذیرش سفارشات ورودی پیشنهاد شده است. در سطح دوم در صورت رد نشدن سفارش در سطح اول، مقدار زمان تحویل و قیمت سفارشات پذیرفته شده با استفاده از مدلهای بهینه سازی ریاضی تعیین می شوند. سطح سوم مرحله ترخیص سفارشات به‌درون کف کارگاه است. مسئله تصمیم‌گیری در این سطح، زمان و مقدار ترخیص سفارشات به‌درون کف کارگاه به‌گونه‌ای است که سیستم تولیدی هموار باشد. در سطح آخر، زمان‌بندی سفارشات در ایستگاه‌های کاری مختلف با هدف دستیابی به زمان‌های تحویل کوتاه انجام می‌شود. تصمیمات در سطوح مختلف به‌گونه‌ای اتخاذ می‌شوند که خروجی نهائی رویکرد WLC پیشنهادی در محیط‌های MTO، تولید سفارشاتی با زمان تحویل کوتاه و قیمت پایین رقابتی می‌باشد. به‌منظور اعتباردهی و ارزیابی مدل‌های پیشنهادی در سطوح مختلف سیستم برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی، این مدل‌ها با داده‌های کارهای قبلی و نیز داده‌های تصادفی تولید شده اجرا و با کارهای قبلی مقایسه شده‌اند.

واژگان کلیدی: محیط‌های تولیدی ساخت برای سفارش (MTO)، رویکرد برنامه ریزی و کنترل تولید بارکاری (WLC)، برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی (HPP)، زمان تحویل پایین و قابل اطمینان، قیمت

IN THE NAME OF GOD

Abstract

In this thesis suggested a development structure of programming approach and controlling producing WLC load working in producing environment for order MTO . suggested approach has produce programming structure with different four levels for deciding . In the first level that is the level of customer application , main decide is involved rejected or accepted new enter orders according to inside and outside limitations of producing system . In this level are suggested a new hierarchical decided structure for rejecting or accepting enter orders . In the second level if order doesn't reject in the first level , the rate of delivering time and accepted order cost define by using from math improvement models . Third level is discharge orders process in the floor of workshop . In this level decision , time and rate of discharge of orders into the floor causes that producing system to be smooth . In the final level timing orders in various working stations are doing with the aim of obtaining to short delivery time . Decision in various levels causes that final exit of WLC approach is suggested in MTO environment , producing order with short delivery time and competitive low cost . For trusting and measuring suggested models in various levels of programming hierarchical producing system these models are compared with previous working data and also producing accident data of implement and with previous works .

Key words : Make To Order(MTO) , Work Load Control (WLC), Hierarchical Production Planning (HPP), reliable and low delivery time , cost .

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات تحقیق

1-1- مقدمه 7
1-2- انواع محیط‌های تولیدی 8
1-2-1- ساخت برای انبار (MTS) 10
1-2-2- مونتاژ طبق سفارش (ATO) 11
1-2-3- ساخت طبق سفارش (MTO) 11
1-2-4- مهندسی طبق سفارش (ETO) 11
1-3- دلایل پیدایش رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی 13
1-4- رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی در مدیریت تولید 14
1-5- کلیات ساختار سیستم پیشنهادی برنامه‌ریزی و کنترل تولید WLC در محیط‌های تولیدی MTO 19
1-5-1- بیان مسئله 19
1-5-2- اهمیت تحقیق 19
1-5-3- اهداف تحقیق 20
1-5-4- ساختار پیشنهادی برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی WLC در محیط‌های تولیدی MTO 20
1-5-5- وجوه ممیزه تحقیق 21

فصل دوم: مرور ادبیات

2-1- مقدمه 23
2-2- مرور ادبیات رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی (HPP) در محیط‌های تولیدیMTS 24
2-2-1- مدل HPP پیشنهادی هاکس و میل 25
2-2-2- توسعه و بهبود مدل پیشنهادی هاکس و میل 27
2-2-3- سایر مدل‌های مهم برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی در محیط‌های تولیدی MTS 27
2-3- مرور ادبیات روش WLC برمبنای رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی (HPP) در محیط‌های‌تولیدی MTO.. 29
2-3-1- مرور ادبیات مرحله زمان‌بندی سفارشات در خط تولید 30
2-3-2- مرور ادبیات مرحله ترخیص سفارشات به‌درون خط تولید 32
2-3-3- مرور ادبیات رویکرد برنامه ریزی و کنترل تولید WLC در محیط‌های تولیدی MTO 40
2-3-4- تقسیم بندی مدلهای مختلف WLC بر اساس نوع ترخیص سفارشات به درون کف کارگاه، نوع تعریف بارکاری و نیز تعیین مقادیر حدود کنترل 43
2-3-4-1- مفهوم WLC بر طبق روش بچت 45
2-3-4-2- مفهوم WLC بر طبق روش برتند 47
2-3-4-3- مفهوم WLC بر طبق روش تاتسیپولوس 49
2-3-4-5- تعاریف بار کاری ایستایی کف کارگاه در مدل‌های مختلف WLC 51

فصل سوم: ساختار پیشنهادی رویکرد برنامه‌ریزی و کنترل تولید WLC در محیط‌های تولیدی MTO

3-1- مقدمه 56
3-2- ساختار رویکرد WLC پیشنهادی در محیط‌های تولیدی MTO 56
3-2-1- سطح اول رویکرد WLC پیشنهادی: مرحله درخواست مشتری 62
3-2-1-1- مدل تصمیم گیری پیشنهادی سطح اول برای رد یا پذیرش سفارش جدید 63
3-2-2- سطح دوم رویکرد WLC پیشنهادی: مرحله ورود سفارش به سیستم 68
3-2-2-1- کلیات سطح دوم رویکرد WLC پیشنهادی 70
3-2-2-2- فرضیات سطح دوم رویکرد WLC پیشنهادی 70
3-2-1-3- مدل تصمیم گیری پیشنهادی سطح دوم برای تعیین قیمت و زمان تحویل سفارش جدید 71
3-2-3-مدل تصمیم گیری سطح سوم رویکرد WLC پیشنهادی:
مرحله ترخیص سفارشات به‌درون کف کارگاه 87
3-2-3-1- کلیات سطح سوم رویکرد WLC پیشنهادی 88
3-2-3-2- ویژگی‌های مدل پیشنهادی ترخیص سفارشات به‌درون کف کارگاه 88
3-2-3-3- مدل تصمیم گیری پیشنهادی سطح سوم جهت ترخیص سفارشات به‌درون کف کارگاه 91
3-2-4- سطح چهارم رویکرد WLC پیشنهادی: مرحله اولویت‌بندی سفارشات در ایستگاه‌های‌کاری 95
3-2-4-1- کلیات سطح چهارم رویکرد WLC پیشنهادی 95
3-2-4-2- نحوه اولویت‌بندی سفارشات در صف ایستگاه‌های کاری 96

فصل چهارم: تحلیل نتایج محاسباتی ساختار برنامه‌ریزی تولید سلسله‌مراتبی پیشنهادی

4-1- مقدمه 98
4-2- ارزیابی سطح اول و دوم رویکرد WLC پیشنهادی 98
4-3- ارزیابی سطح سوم و چهارم رویکرد WLC پیشنهادی 102

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی

5-1- مقدمه 107
5-2- نتیجه‌گیری 107
5-3- پیشنهادات برای تحقیقات آتی 109

منابع و مراجع 110

پیوست‌ها

پیوست الف: ساختار برنامه‌نویسی مدل IP1 در نرم‌افزار LINGO 6.0 117
پیوست ب: خروجی مدل IP1 در نرم‌افزار LINGO 6.0 120
پیوست ج: ساختار برنامه‌نویسی مدل IP2 در نرم‌افزار LINGO 6.0 132
پیوست د: خروجی مدل IP2 در نرم‌افزار LINGO 6.0 135
پیوست ه: مدل شبیه‌سازی شده سطح دوم و سوم ساختار HPP پیشنهادی به وسیله نرم‌افزار Arena 7.0 147

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

شکل 1-1- مقایسه محیط‌های تولیدی مختلف بر اساس مکان CODP ——— 10

شکل 1-2- ساختار تصمیم‌گیری سلسله مراتبی در مدیریت تولید ——— 15

شکل 1-3- عملکرد کلی برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی ——— 17

شکل 2-1- ساختار رویکرد MRP ——— 24

شکل 2-2- ساختار رویکرد MRPII ——— 25

شکل 2-3- وضعیت یک ایستگاه‌کاری در مرحله زمان‌بندی سفارشات ——— 30

شکل 2-4- وضعیت سیستم تولیدی در مرحله ترخیص سفارشات ——— 33

شکل 2-5- انواع بارکاری موجود در کف کارگاه برای ایستگاه‌کاری ——— 37

شکل 2-6- ساختار برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی توسط کینگزمن و همکاران ——— 42

شکل 3-7- اجزای زمان لیدتایم ——— 44

شکل 2-8- کنترل بارکاری طبق روش بچت ——— 46

شکل 2-9- کنترل بارکاری طبق روش برتند ——— 48

شکل 2-10- کنترل بارکاری طبق روش تاتسیپولوس ——— 50

شکل 2-11- شرایط ترخیص طبق رویکرد وین ——— 51

شکل 2-12- مقایسه رویکردهای مختلف محاسبه بار کاری ——— 51

شکل 3-1- اجزاء تشکیل دهنده زمان تحویل سفارش جدید ——— 58

شکل 3-2- ساختار پیشنهادی رویکرد WLC در محیط‌های تولیدی MTO ——— 61

شکل 3-3- مقایسه سطوح مختلف رویکرد WLC پیشنهادی از لحاظ زمانی ——— 62

شکل 3-4- نحوه انجام محاسبه سرانگشتی ظرفیت ——— 67

شکل 3-5- اجزای تاثیرگذار زنجیره تامین در قیمت و زمان تحویل سفارش در یک محیط تولیدی MTO ——— 69

شکل 3-6- ساختار پیشنهادی برای رد یا پذیرش سفارش جدید در مرحله ورود سفارش ——— 72

شکل 3-7- ظرفیت تجمعی یک ایستگاه‌کاری در طول یک افق برنامه‌ریزی 10 هفته‌ای ——— 75

شکل 3-8- صف انتظار هر ایستگاه کاری ——— 76

شکل 3-9- آلترناتیوهای مختلف به منظور محاسبه زمان‌های ERD و OCD سفارشات با زمان تحویل ثابت ——— 79

شکل 3-10- آلترناتیوهای مختلف برای تولید زمان تحویل وقتی که زمان تحویل سفارش قابل مذاکره است——— 86

شکل 3-11- ترتیب فعالیت‌های انجام شده جهت دستیابی به زمان‌های SFTT کوتاه و قابل اطمینان در سطح سوم رویکرد WLC ——— 89

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول 1-1- ویژگی‌های محیط‌های تولیدی انبار مبنا و سفارش مبنا ——— 9
جدول 1-2- ویژگی‌های محیط‌های تولیدی در مقایسه با یکدیگر ——— 12
جدول 2-1- مرور ادبیات مرحله ترخیص سفارشات به‌درون خط تولید ——— 36
جدول 3-1- نمودار گروه بندی مشتریان ——— 64
جدول 3-2- اندیس‌ها، پارامترهای ورودی و متغیرهای تصمیم مدل IP1 ——— 79
جدول 3-3- اندیس‌ها، پارامترهای ورودی و متغیرهای تصمیم مدل IP2 ——— 83
جدول 4-1- ساختار مدل IP1 در مسائل تست شده ——— 98
جدول 4-2- ساختار مدل IP2 در مسائل تست شده ——— 99
جدول 4-3- میانگین زمان CPU در مسائل تست شده ——— 99
جدول 4-4- داده‌های مربوط به سفارش‌ها ——— 100
جدول 4-5- مقادیر ورودی (iwirt) و خروجی (owirt) هفتگی در مدل IP1 ——— 100
جدول 4-6- داده‌های مربوط به ظرفیت در مدل IP1 ——— 100
جدول 4-7- هزینه‌های تولید در وقت عادی در مدل IP1 ——— 101
جدول 4-8- هزینه‌های تولید در اضافه‌کاری در مدل IP1 ——— 101
جدول 4-9- هزینه‌های پیمانکاری تولید در مدل IP1 ——— 101
جدول 4-10- مقادیر ضریب αrt در مدل IP1 ——— 101
جدول 4-11- مقادیر STir ——— 101
جدول 4-12- مقادیر βir و β'ir ——— 102
جدول 4-13- مقادیر Pirs ——— 102
جدول 4-14- مقادیر MADirs ——— 102
جدول 4-15- نتایج شبیه‌سازی مدل‌های مختلف ترخیص سفارشات ——— 104
جدول 4-16- نتایج شبیه‌سازی مدل‌های مختلف ترخیص سفارشات ——— 104

فصل اول:

کلیات تحقیق

1-1- مقدمه

عبارت "سیستم‌های مدیریت تولید"[1] ترکیب سه واژه مکمل است که بیانگر پیچیدگی این عبارت می‌باشد. اینکه نگرش به امر برنامه‌ریزی و مدیریت تولید باید "سیستمی" باشد ناشی از شکست‌های مکرری است که در اثر برخوردهای خردگرایانه حاصل شده است. نگرش خردگرایانه، دیر یا زود باید جای خود را به نگرش کل‌گرایانه بدهد تا از فعل و انفعالات و ارتباطات زیرسیستم‌های یک سیستم غافل نماند. اینکه در عبارت فوق، واژه "مدیریت" قرار گرفته نه بر حسب تصادف و اتفاق بلکه مبتنی بر این واقعیت است که برنامه‌ریزی در امر تولید به خودی خود کارگشا نیست مگر اینکه هر جزء برنامه تولید مدیریت شده و به نتیجه برسد. بالاخره واژه "تولید" در این عبارت بر مبنای این تجربه است که توجه به تولید به عنوان یک سلاح رقابتی کارا می‌تواند شرکت‌ها را از رقبای خود جلو بیاندازد (1). با این مقدمه می‌توان گفت یک سیستم جامع مدیریت تولید به دنبال آن است که پیچیدگی‌های شرایط نوین تولیدی را شناسائی کرده و با توجه به آنها، فعالیت‌های برنامه‌ریزی و مدیریت تولید را سازماندهی نماید. بنابراین هر شرکت تولیدی باید بنا به شرایط بازار، وضعیت رقبا و نوع محصولات تولیدی خود،استراتژی‌های تولیدی را بکار گیرد تا حداکثر سطح خدمت به مشتری را کسب نماید.

امروزه کارخانه‌های تولیدی با توجه به نقش تولید در نظام رقابتی بازار، خود را در محیطی کاملاً تغییر یافته می‌یابند. نمونه این تغییر را می‌توان در صنایع مختلف کالاهای مصرفی و سرمایه‌ای نظیر خودروسازی، صنایع الکترونیک و لوازم خانگی مشاهده کرد. مدیریتی که با این تغییرات سریع مواجه می‌شود، باید راهکارهای جدیدی را برای کنار آمدن با محیط رقابتی اتخاذ نماید. راهکار قدیمی برنامه‌ریزی تولید یکپارچه اعتبار خود را از دست داده و رویکردهای نوین انعطاف‌پذیری جایگزین آن شده‌اند. رویکردهای نوین مدیریت تولید توانسته‌اند دوره طراحی، زمان ارائه محصولات به بازار و دوره سفارش تا تحویل به مشتری را کاهش دهند. مهمترین ویژگی‌های محیط‌های جدید تولیدی عبارتند از (2):

- افزایش تنوع محصول
- کاهش شدید دوره عمر محصول
- تغییر انتظارات اجتماعی
- تغییر الگوی هزینه و ....

با توجه به این ویژگی‌ها، شرکت‌های تولیدی به منظور وفق دادن خود با شرایط جدید باید سطوح مختلف برنامه‌ریزی خود را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و مدیریت کنند که بتوانند انعطاف‌پذیری لازم جهت مقابله به تغییرات ناگهانی بازار را داشته باشند. اینکه چگونه می‌توان چنین سیستم تولیدی را ایجاد نمود موضوعی است که در ادامه این فصل به آن پرداخته می‌شود.

در ادامه این فصل ابتدا به معرفی انواع محیط‌های تولیدی پرداخته می‌شود. سپس رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی[2] (HPP) بعنوان یک نگرش جامع جهت ایجاد هماهنگی در سطوح مختلف برنامه‌ریزی و کنترل

---

[1] Production Management Systems (PMS)
[2] Hierarchical Production Planning (HPP)

تولید مطرح می‌شود. در انتهای این فصل کلیات رویکرد سلسله مراتبی پیشنهادی کنترل بار کاری[1] (WLC) در محیطهای تولیدی ساخت برای سفارش[2] (MTO) ارائه می‌شود.

1-2- انواع محیطهای تولیدی

امروزه رویکردها، روش‌ها و ابزارهای بسیاری برای برنامه‌ریزی و کنترل تولید سازمان‌های تولیدی وجود دارد. رویکردها و روش‌های مختلف در هر سازمان تولیدی قابل پیاده‌سازی نیستند و قبل از انتخاب و پیاده‌سازی آنها در یک سازمان تولیدی ابتدا باید ویژگی‌های محیط تولیدی که سازمان در آن مشغول فعالیت می‌باشد شناسائی شوند. عمده این ویژگی‌ها به نوع محصولات تولیدی سازمان بر می‌گردند. تاثیر و عملکرد رویکردها و روش‌های برنامه‌ریزی و کنترل تولید در محیطهای تولیدی مختلف، متفاوت می‌باشد. هر کدام از نگرش‌ها و ابزارهای تولیدی باید در محیطی به‌کار گرفته شوند که تاثیرات مثبت قابل توجهی در عملکرد سیستم تولیدی داشته باشند. بنابراین قبل از به‌کارگیری هر گونه نگرش تولیدی ابتدا باید نوع محیط تولیدی و ویژگی‌های آن شناسائی شده و سپس متناسب با این ویژگی‌ها، نگرش‌های متناسب استفاده شوند. بنابراین لازم است که ابتدا با محیطهای تولیدی مختلف و ویژگی‌های آنها آشنا شویم.

در ادبیات برنامه‌ریزی تولید، محیطهای تولیدی را می‌توان در حالت کلی به سیستم‌های انبار مبنا[3] و سفارش مبنا[4] دسته‌بندی نمود. تمایز اصلی سیستم‌های انبار مبنا و سفارش مبنا در زمان ورود سفارش جدید و زمان تولید و مونتاژ محصول نهائی می‌باشد. در سیستم‌های انبار مبنا، محصول نهائی قبل از تقاضای تولید توسط مشتری، تولید می‌شود در حالی که در سیستم‌های تولیدی سفارش مبنا ابتدا سفارش وارد سیستم شده و سپس تصمیم به تولید آن گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، در محیطهای تولیدی انبار مبنا، تقاضای محصول قابل پیش‌بینی بوده و بنابراین سازمان می‌تواند محصول نهائی را قبل از دریافت سفارش از مشتری براساس مقادیر پیش‌بینی تقاضا تولید کرده و در انبار ذخیره نماید. در محیطهای تولیدی سفارش مبنا، نوع و میزان سفارش محصول قابل پیش‌بینی نبوده و تنها با ورود سفارش به سازمان است که سیستم تولیدی قادر به تولید آن می‌باشد(3).

تا قبل از سال 1990 عمده تحقیقات در حیطه محیطهای تولیدی انبار مبنا صورت گرفته است. امروزه با تغییرات وسیع در بازارهای تولیدی نظیر یکپارچه شدن بازار تولید و مصرف کشورهای مختلف، افزونی عرضه بر تقاضا، کاهش منابع تولیدی از جمله انرژی، بالابودن هزینه‌های ناشی از انبار موجودی، پیش‌بینی دشوار محصولات تولیدی و افزایش توقعات مشتریان سبب حرکت سازمان‌های تولیدی به سمت سیستم‌های سفارش مبنا و دستیابی به موجودی صفر می‌باشد (4).

انتخاب محیط تولیدی یک تصمیم استراتژیک در هر سازمانی می‌باشد. نوع محصولات تولیدی (تنوع و میزان تولید آنها)، تجهیزات موجود در خط تولید و قابل پیش‌بینی بودن محصولات تولیدی از جمله عواملی هستند که در انتخاب نوع محیط تولیدی مورد توجه قرار می‌گیرند (3). جدول (1-1) ویژگی‌های محیطهای تولیدی انبار مبنا و سفارش مبنا را نشان می‌دهد. مهمترین مزیت سیستم‌های تولیدی انبار مبنا، زمان تحویل

---

[1] Work Load Control(WLC)
[2] Make To Order (MTO)
[3] Stock Driven System
[4] Order Driven System

کوتاه می‌باشد. از آنجا که محصول نهائی قبل از درخواست مشتری تولید و در انبار ذخیره شده است بنابراین امکان تحویل فوری آن وجود دارد. در سیستم‌های تولیدی سفارش مبنا امکان تحویل فوری سفارش وجود ندارد. در چنین سیستم‌هائی زمان تحویل محصول نهائی شامل طراحی محصول، خرید مواد اولیه، تولید، مونتاژ و حمل ونقل می‌باشد ولی در سیستم‌های انبار مبنا زمان تحویل فقط شامل زمان حمل و نقل محصول نهائی به مشتری می‌باشد. در یک سیستم تولیدی انبار مبنا، "مدیریت تدارک[1]" نقش عمده‌ای را در بقا سازمان به منظور ادامه فعالیت در بازار رقابتی بازی می‌کند. مهمترین فعالیتی که باید در سیستم‌های تولیدی انبار مبنا انجام شود پیش‌بینی دقیق تقاضای محصول قبل از اقدام به تولید آن می‌باشد. عدم انجام دقیق این فعالیت سبب موجودی بیش از حد مواد و یا کمبودی موجودی برای پاسخگوئی به تقاضای مشتریان می‌شود که در هر دو حالت هزینه‌های قابل توجهی بر سازمان تحمیل می‌شود. در سیستم‌های سفارش مبنا مدیریت سفارشات ورودی به سیستم از اهمیت بسیاری برخوردار است. مدیریت سفارشات شامل رد یا پذیرش سفارشات جدید و تعیین زمان تحویل سفارشات پذیرفته شده می‌باشد. داشتن یک خط تولید انعطاف‌پذیر و منابع انسانی چند مهارته از جمله نیازمندی‌های اساسی سیستم‌های تولیدی سفارش مبنا می‌باشند.

جدول 1-1- ویژگی‌های محیط‌های تولیدی انبار مبنا و سفارش مبنا (3)

ویژگی	محیط تولیدی انبار مبنا	محیط تولیدی سفارش مبنا
تنوع محصولات تولیدی	حجم تولید بالای محصول استاندارد، تنوع پایین	تعداد کم محصول استاندارد، تنوع بالا
منابع	ماشین‌آلات تخصصی، نیروی‌کار با مهارت ویژه	ماشین‌آلات چند مهارته، نیروی‌کار انعطاف‌پذیر
تقاضا	تقاضای قابل پیش‌بینی	عدم امکان پیش‌بینی از قبل، اقدام به تولید تنها با ورود سفارش به سیستم
برنامه‌ریزی تولید	براساس داده‌های پیش‌بینی، برنامه‌ریزی شده از قبل	براساس زمان ورود سفارش، عدم امکان برنامه‌ریزی از قبل
زمان تحویل	تصمیم‌گیری توسط شرکت	توافق شده با مشتری
قیمت	تعیین شده توسط شرکت	توافق شده با مشتری قبل از تولید

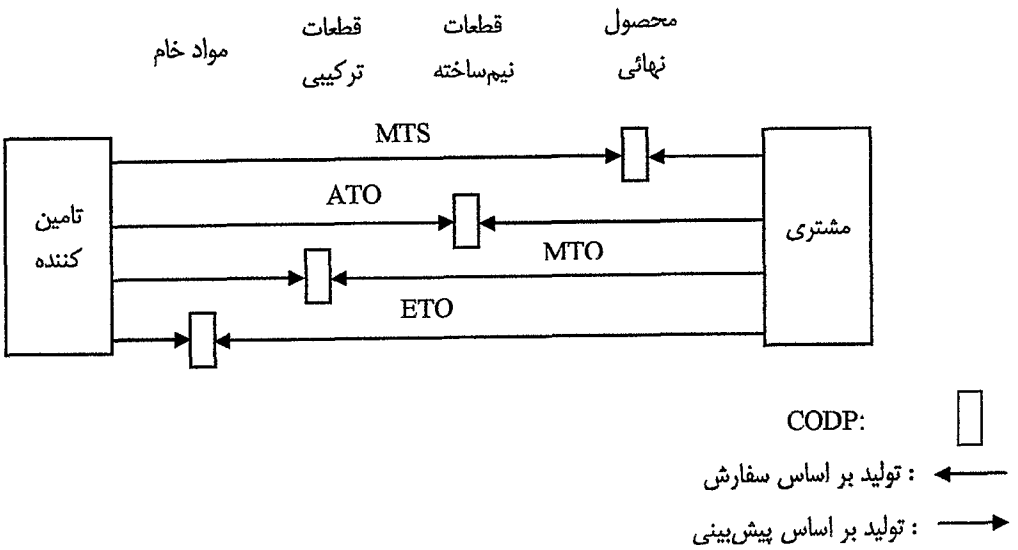
محیط‌های تولیدی امروزی صرفاً انبار مبنا و یا سفارش مبنا خالص نیستند. محیط‌های تولیدی انبار مبنا و سفارش مبنا را می‌توان به موارد زیر تفکیک نمود (5):

- ساخت برای انبار[2] (MTS)
- مونتاژ طبق سفارش[3] (ATO)
- ساخت طبق سفارش (MTO)
- مهندسی طبق سفارش[4] (ETO)

در این پژوهش برای تشریح تفاوت محیط‌های تولیدی فوق از واژه‌ای به نام " نقطه انفصال سفارش مشتری[5] (CODP)" استفاده می‌شود. نقطه CODP نقطه‌ای در جریان تولید است که تمامی فرآیندهای تولیدی

[1] Logistic Management
[2] Make To Stock (MTS)
[3] Assemble To Order (ATO)
[4] Engineer To Order (ETO)
[5] Customer Order Decoupling Point (CODP)

بعد از آن به برآورده‌سازی خواسته‌های تقاضا شده مشتریان تخصیص می‌یابند. به عبارت دیگر تمامی فرآیندهای تولیدی قبل از این نقطه انبار مبنا و فرآیندهای بعد از آن، سفارش مبنا می‌باشند. به این نقطه، "نقطه تقابل موجودی/ سفارش[1]" نیز گفته می‌شود. شکل (1-1) تفاوت محیط‌های تولیدی مختلف براساس مکان CODP را نشان می‌دهد. هر چه این نقطه به انتهای خط تولید نزدیک‌تر باشد باعث کاهش زمان تحویل سفارش به مشتری و افزایش قدرت پاسخ‌گوئی به مشتریان و نیز افزایش موجودی مواد اولیه و نیمه ساخته در ایستگاه‌های ماقبل این نقطه می‌شود. در مقابل هر چه این نقطه به ابتدای خط تولید نزدیک‌تر شود سبب کاهش موجودی مواد اولیه و نیم‌ساخته و نیز افزایش زمان تحویل محصولات به مشتری می‌شود.



شکل 1-1- مقایسه محیط‌های تولیدی مختلف بر اساس مکان CODP (5)

1-2-1- ساخت برای انبار (MTS)

در محیط تولیدی MTS نقطه CODP در انتهای خط تولید قرار دارد. بنابراین تمامی فرآیندهای تولیدی در چنین محیطی انبار مبنا می‌باشند و تعامل با مشتری در سطح پایینی می‌باشد. خط تولید محصولات استانداردی را تولید می‌کند که قابل پیش‌بینی بوده و در انبار محصولات نهائی نگهداری می‌شوند. تقاضای مشتریان از موجودی انبار محصولات نهائی برآورده می‌شود. در واقع تحویل کالا به مشتری وابسته به وجود آن در انبار است. این موضوع سبب کوتاه‌شدن زمان تحویل سفارش به مشتری می‌شود. محصول تولید شده در چنین محیطی دارای طول دوره عمر نسبتاً بلندی می‌باشد. حجم تولید هر یک از محصولات و اقلام نیم‌ساخته بالا می‌باشد. انبار محصول نهائی و قطعات نیمه ساخته به عنوان یک محافظ در برابر نوسانات تقاضا عمل می‌کنند. مسلماً در این روش هزینه نگهداری موجودی بالا است. در چنین محیط تولیدی، شرکت سازنده معمولاً ریسک منسوخ شدن محصولات را متحمل می‌شود. علت استفاده از چنین محیط‌های تولیدی در سیستم‌های سنتی، امکان پیش‌بینی مناسب نیازمندی‌های بازار برای عرضه‌کنندگان و سازندگان بود (6).

[1] Inventory / order Interface Point (I/O)

1-2-2- مونتاژ طبق سفارش (ATO)

در محیط تولیدی مونتاژ طبق سفارش (ATO)، نقطه CODP قبل از فرآیند مونتاژ نهائی قرار دارد. بنابراین قطعات نیم‌ساخته قبل از ورود سفارش، تولید و ذخیره می‌شوند (انبار مبنا) اما فرآیند مونتاژ نهائی با ورود سفارش جدید به سیستم فعال می‌شود (سفارش مبنا). در چنین محیطی، خانواده‌ای از محصولات تعریف و تولید می‌شوند. در محیط ATO همانند محیطهای MTO، تقاضای سفارش قابل پیش‌بینی نبوده و تا زمان درخواست مشتری برای تولید سفارش مشخص نمی‌باشد. سیستم تولیدی قطعات ترکیبی و نیم‌ساخته موردنیاز را تولید می‌کند. سپس براساس سفارشات ورودی به سیستم، ترکیب‌های مختلفی از این قطعات نیم‌ساخته با هم مونتاژ شده و سفارشات مشتریان پاسخ داده می‌شوند. بنابراین مهمترین فعالیت رقابتی در چنین محیطی، مدیریت ایستگاه مونتاژ نهائی می‌باشد. نمونه بارز چنین محیطهائی، شرکت‌های خودروسازی می‌باشند (5).

1-2-3- ساخت طبق سفارش (MTO)

در محیط‌های تولیدی MTO برخلاف ATO، خانواده‌ای از محصولات نهائی برای تولید وجود ندارد. در چنین محیطهائی، نقطه CODP قبل از فرآیند تولید محصولات نیم‌ساخته وجود دارد. قطعات ترکیبی براساس خواسته‌های مشتریان طراحی و تولید می‌شوند. انتخاب محصولات در محیط‌های تولیدی MTO توسط مشتری صورت می‌گیرد. تغییر ویژگی‌های محیطهای رقابتی امروزی و بالا بودن هزینه‌های ناشی از اتلاف موجودی مواد (مواد خام، نیمه ساخته و محصولات نهائی)، شرکت‌های تولیدی را وادار ساخته تا محیط تولیدی خود را بر اساس برآورده‌سازی سفارشات مشتریان طراحی کنند. پیاده‌سازی یک محیط تولیدی که فقط بر اساس سفارش مشتریان اقدام به تولید کرده و تمام ایستگاه‌ها فقط مواد مورد نیاز محصول سفارشی را تولید کنند و نیز موجودی مواد در تمام ایستگاه های کاری بسیار ناچیز و حتی صفر باشد نیازمند هماهنگی بالای سطوح مختلف کارخانه، زمان تدارک کوتاه، انعطاف‌پذیری بالای خط تولید و تجهیزات پیچیده و گران قیمت می‌باشد. برنامه‌ریزی چنین سیستم‌های تولیدی مشکل و پیچیده می‌باشد (7).

1-2-4- مهندسی طبق سفارش (ETO)

این محیط تولیدی توسعه یافته محیط MTO می‌باشد. همانطور که در شکل (1-1) نشان داده شده است تمام مراحل تولید از تامین مواد خام تا محصول نهائی براساس الزامات مشتریان صورت می‌گیرند. شرکت‌هائی که در چنین محیطهای تولیدی کار می‌کنند باید دارای سیستم‌های تولیدی بسیار انعطاف‌پذیر باشند. مشکل‌ترین فعالیت در چنین محیطهای تولیدی، برنامه‌ریزی ظرفیت می‌باشد. مقدار ظرفیت کاملاً وابسته به سفارشات ورودی به سیستم می‌باشد و از آنجا که امکان پیش‌بینی تقاضا وجود ندارد بنابراین برنامه‌ریزی ظرفیت بسیار مشکل می‌باشد. در محیطهای تولیدی MTO و ETO طول دوره عمر محصول کوتاه می‌باشد (6).

عدم قطعیت در محیطهای تولیدی MTS پایین می‌باشد. تنها منبع عدم قطعیت در چنین محیطهای تولیدی دوره عمر محصول می‌باشد. تا زمانی که برای تولید یک محصول تقاضا وجود دارد سیستم تولیدی مشکلی برای تولید آن ندارد. در سیستم‌های تولیدی ATO میزان عدم قطعیت افزایش می‌یابد. عدم قطعیت بدلیل نامشخص بودن ترکیب محصولات نهائی می‌باشد. در محیطهای MTO عدم قطعیت به زمان تحویل

سفارشات موجود در سیستم تولیدی بر می‌گردد. از آنجا که زمان ورود سفارش از سوی مشتری نامشخص می‌باشد بنابراین تخمین مناسبی از زمان تحویل برای سفارشات ورودی وجود ندارد. بیشترین عدم قطعیت بدون شک مربوط به محیط‌های تولیدی ETO می‌باشد. در این حالت تمام ویژگی‌های محصول برای سیستم تولیدی نامشخص می‌باشند (7). جدول (1-2) ویژگی‌های چهار محیط تولیدی ذکر شده را نشان می‌دهد.

جدول 1-2- ویژگی‌های محیط‌های تولیدی در مقایسه با یکدیگر (5)

ویژگی	MTS	ATO	MTO	ETO
محصول	استاندارد	خانواده محصولات تعریف شده	سفارشی	سفارشی
تقاضا	قابل پیش‌بینی	←	←	غیر قابل پیش‌بینی
ظرفیت	قابل برنامه‌ریزی	←	←	غیر قابل برنامه‌ریزی
زمان تحویل	بدون اهمیت برای مشتری	مهم	مهم	خیلی مهم
عامل رقابتی	تدارکات	مونتاژ نهائی	تولید قطعات نیم‌ساخته و مونتاژ نهائی	تمام عملیات تولیدی
فعالیت پیچیده	توزیع	مونتاژ	تولید قطعات ترکیبی	مهندسی و طراحی
عدم قطعیت	پایین‌ترین	→	→	بالاترین
تمرکز مدیریت ارشد	بازاریابی و توزیع	نوآوری	ظرفیت	تماس درست با مشتریان
تمرکز مدیریت میانی	کنترل موجودی	سربرنامه تولید و سفارش مشتری	کنترل کف کارگاه و سفارش مشتری	مدیریت پروژه

امروزه تعداد اندکی از شرکت‌های تولیدی دقیقاً بر اساس محیط MTS یا MTO عمل می‌کنند. عملاً هر شرکتی بخشی از عناصر این سیستم‌ها را دارد. تکامل سیستم‌های تولیدی در جهت فاصله گرفتن از MTS، به سوی سیستم های ATO و MTO و در نهایت وصول ETO می‌باشد. بیشتر شرکت‌های تولیدی با گرفتن مزایای محیط‌های تولیدی MTS و MTO قصد پیاده‌سازی محیط تلفیقی (MTS/MTO) را دارند. برنامه‌ریزی و کنترل تولید محیط‌های تلفیقی باید به گونه‌ای باشد که سیستم تولیدی ضمن داشتن موجودی کافی و بهینه از مواد به‌منظور پاسخ‌گوئی به نوسانات بازار و وقایع پیش‌بینی نشده خط تولید، امکان پاسخ‌گوئی به موقع سفارشات مشتریان را نیز داشته باشد. مهمترین مسئله تصمیم‌گیری در محیط‌های تلفیقی MTS/MTO یافتن مکان بهینه نقطه CODP می‌باشد. مکان بهینه این نقطه به نوع محصول تولیدی، وضعیت بازار و استراتژی تولید

شرکت بستگی دارد. در واقع این نقطه، نقطه تعادل مابین موجودی و زمان پاسخ‌گوئی به سفارشات مشتریان می‌باشد (8).

از آنجا که در ساختار پیشنهادی سیستم برنامه ریزی و کنترل تولید WLC از رویکرد تولید سلسله مراتبی بهره گرفته شده است در ادامه لازم است که با رویکرد تولید سلسله مراتبی نیز آشنا شویم. در بخش بعدی ابتدا دلیل پیدایش این رویکرد و سپس ویژگی‌های و مزایای آن تشریح می‌شوند.

3-1- دلایل پیدایش رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی

مدیریت تولید شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که با توجه به سفارشات واقعی مشتریان و تقاضاهای پیش‌بینی شده و به منظور تعیین زمان‌های شروع و خاتمه عملیات مورد نیاز ساخت محصولات مورد نظر در یک سیستم تولیدی انجام می‌شود که در این میان فعالیت‌های برنامه‌ریزی تولید، زمانبندی تولید و برنامه‌ریزی مواد از مهمترین فعالیت‌ها می‌باشند. برنامه‌ریزی تولید با استفاده از داده‌هایی نظیر اطلاعات مربوط به تقاضا، ساختار محصول و فرآیند ساخت و با هدف حداقل‌کردن هزینه‌های تولید و یا حداکثرکردن سود با توجه به ارضاء مجموعه‌ای از محدودیت‌ها نظیر ظرفیت منابع ساخت، اقدام به صدور برنامه‌های تولید در طی یک افق زمانی[1] می‌نماید. در زمان‌بندی تولید نیز سفارشات ساخت بدست آمده از فعالیت برنامه‌ریزی تولید در یک پریود زمانی مشخص مدنظر قرار گرفته و زمان‌های شروع و خاتمه عملیات موجود در این سفارشات در هر منبع تولیدی تعیین می‌شوند. در نهایت فعالیت برنامه‌ریزی مواد جهت سفارش خرید مواد مورنیاز ساخت محصولات مختلف انجام می‌شود (9).

در رویکرد برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تمامی این تصمیمات یک‌جا و همزمان اتفاق می‌افتند. به عبارت دیگر، فعالیت‌های برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی تولید و برنامه‌ریزی مواد تحت یک برنامه تولید انجام می‌شوند. معایب چنین رویکردی عبارتند از (9):

- هر یک از فعالیت‌های فوق دارای افق‌های زمانی متفاوتی می‌باشند. بنابراین نوع داده‌های استفاده شده در هر فعالیت متفاوت هستند. در فعالیت برنامه‌ریزی تولید که با محصولات نهائی سر و کار دارد افق زمانی بلندمدت بوده و نیاز به داده‌های بسیار دقیق نیست. در حالی‌که در فعالیت زمان‌بندی تولید که در آن زمان‌بندی ماشین‌آلات صورت می‌گیرد نیاز به داده‌های دقیق جهت استفاده موثر از منابع تولیدی می‌باشد. بنابراین انجام فعالیت‌های فوق بصورت یکپارچه سبب آشفتگی و برنامه‌ریزی نادرست فعالیت‌ها می‌شود.
- در شرکت‌های امروزی از نرم‌افزارهای بهینه‌سازی جهت انجام فعالیت‌های مدیریت تولید استفاده می‌شود. انجام فعالیت‌های مدیریت تولید بصورت یکپارچه سبب ایجاد یک مدل تصمیم‌گیری پیچیده و بزرگ می‌شود که حل آن برای بسیاری از نرم‌افزارهای موجود بسیار مشکل و حتی ناشدنی است. حل چنین مدل‌های تولیدی زمان‌بر و دستیابی به یک جواب نزدیک به بهینه در بسیاری از موارد غیر ممکن است. حتی مدل‌سازی ریاضی فعالیت‌های تولیدی در چنین رویکردی بسیار مشکل می‌باشد.
- در مدیریت تولید با وقایع تصادفی مختلفی روبرو هستیم. برخی از این وقایع از داخل سیستم تولید نشات می‌گیرند (خرابی ماشین‌آلات) و منشا برخی دیگر در محدوده‌ای خارج از سیستم تولید است (تغییر مقادیر

[1] Planning Horizon

تقاضا، تاخیر در دریافت مواد اولیه). بنابراین در طول افق برنامه‌ریزی لازم است که داده‌های ورودی سیستم بطور پیوسته بهنگام شوند. بروزآوری و بهنگام‌سازی داده‌های ورودی مدیریت تولید در رویکرد یکپارچه نیازمند حل کل مدل تصمیم‌گیری حتی با تغییر کوچکترین داده ورودی می‌باشد. بنابراین بهنگام‌سازی مدل تصمیم‌گیری تولید با توجه به تغییرات پیوسته محیط‌های رقابتی در رویکرد یکپارچه، فرآیندی زمان‌بر و مشکل می‌باشد.

1-4- رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی در مدیریت تولید

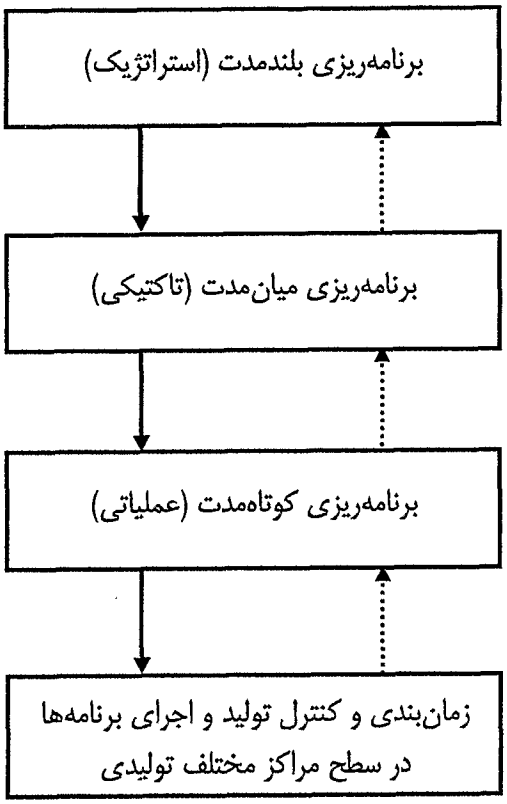
با توجه به معایب عمده رویکرد یکپارچه، این نگرش راه‌حل خوبی برای مدیریت تولید در سازمان‌های امروزی نمی‌باشد. بطورکلی برنامه‌ریزی و کنترل تولید و مواد یک تک فعالیت نیست که بتوان از طریق رویکرد یکپارچه آن را مدیریت نمود بلکه توالی یک سری تصمیمات در رابطه با موضوعات مختلف در سیستم تولید است. معمولاً این تصمیمات در سطوح مختلف مدیریتی مطابق با سلسله مراتب فعالیت‌های تولیدی اخذ می‌شوند به‌طوریکه با پایین رفتن در این ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، افق تصمیمات تنگ‌تر شده و سطح جزئیات داده‌های موردنیاز تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. به‌منظور مدیریت بهتر فعالیت‌های مختلف تولیدی یک ارتباط تنگاتنگ ما بین تصمیمات سطوح متوالی ضروری است.

یک روش مؤثر برای انجام این فرآیند تصمیم‌گیری سلسله مراتبی چندسطحی، رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی (HPP) است. در یک رویکرد سلسله مراتبی، مسئله تصمیم‌گیری اصلی بر اساس یک ساختار سلسله مراتبی از سطوح مختلف تصمیم‌گیری، به زیرمسائلی تجزیه شده و این زیرمسائل در یک توالی مشخص مطابق با سطوح مختلف ساختار سلسله مراتبی حل می‌گردند. همچنین به منظور حفظ یکپارچگی مسئله اصلی و اتصال این زیر مسائل به یکدیگر، جواب هر سطح از ساختار سلسله مراتبی به عنوان محدودیتی در مدل تصمیم‌گیری سطح پایین‌تر اعمال می‌شود. شکل (1-2) یک ساختار تصمیم‌گیری سلسله مراتبی را در مدیریت تولید نشان می‌دهد. سطوح بالاتر در این ساختار سلسله مراتبی بیانگر مسائل کلی‌تر و تجمعی‌تر[1] برنامه‌ریزی بوده و برعکس سطوح پایین‌تر مربوط به مسائل با جزئیات بیشتر می‌باشند. فرآیند برنامه‌ریزی طبق این ساختار به‌گونه‌ای است که مدل‌های تصمیم‌گیری مربوط به سطوح مختلف به‌صورت متوالی و از بالا به پایین[2] حل شده و برنامه تولید مربوط به هر سطح، به عنوان محدودیتی در مدل تصمیم‌گیری سطح بعدی برنامه‌ریزی به کار می‌رود. نهایتاً تصمیمات اخذ شده در پایین‌ترین سطح ساختار سلسله مراتبی بیانگر جزئی‌ترین برنامه‌های تولیدی بوده و در مراکز تولیدی اجرا می‌شوند. بنابراین هر سطح از تصمیم‌گیری در یک ساختار HPP مشخصات خاص خود را دارد که شامل طول افق، بازه‌های زمانی برنامه‌ریزی و سطح جزئیات داده‌های مورد نیاز (نظیر پیش‌بینی‌های تقاضا و ظرفیت‌های تولیدی) می‌شوند (10).

معمولاً در یک ساختار HPP از یک مکانیزم بازخور پایین به بالا به منظور تعدیل و بهبود تصمیمات سطوح بالاتر (بر اساس آخرین اطلاعات بدست آمده ازسطوح پائین‌تر) استفاده می‌گردد که در شکل (1-2) این قضیه با خطوط خط‌چین نمایش داده شده است (11).

---

[1] Aggregate
[2] Top down



شکل 1-2- ساختار تصمیم‌گیری سلسله مراتبی در مدیریت تولید (11)

در برنامه‌ریزی بلندمدت یا استراتژیک که دارای افق زمانی یک تا پنج سال می‌باشد، تصمیمات کلی و کلان در رابطه با استراتژی‌های کلی تولید، نوع محصولات تولیدی، تکنولوژی‌های ساخت، سطوح کلی ظرفیت، نیروی انسانی و موارد مشابه گرفته می‌شود. اطلاعات در این سطح کلی و کلان بوده و عمدتاً از منابع خارج از شرکت بدست می‌آیند. تصمیمات اخذ شده در این مرحله، محدودیت‌های اصلی را در سطح برنامه‌ریزی تاکتیکی تشکیل می‌دهند. در سطح برنامه‌ریزی میان‌مدت یا تاکتیکی که به سطح برنامه‌ریزی ادغامی [1] (AP) نیز معروف است معمولاً یک افق 12 تا 18 ماهه مدنظر می‌باشد. برنامه‌ریزی ادغامی بر اساس داده‌های ادغامی نظیر پیش‌بینی تقاضاهای ادغامی و ظرفیت‌های ادغامی منابع گلوگاهی، در سطح محصولات ادغامی و بازه‌های زمانی یک تا سه ماهه صورت می‌گیرد. در این سطح از برنامه‌ریزی، تمامی پارامترهای مدل تصمیم‌گیری نظیر تعریف محصولات و فرآیندها، تقاضاها و ظرفیت‌های منابع تولیدی در یک سطح ادغامی و کلان بیان شده و خروجی آن نیز سطوح تولیدی محصولات مختلف در یک سطح ادغامی است و این جواب به عنوان محدودیت سطح بعدی برنامه‌ریزی تلقی خواهد شد. از مزایای عمده AP می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- کاهش زمان و هزینه جمع‌آوری داده‌های موردنیاز در سطح ادغامی (به‌خصوص در مورد پیش‌بینی تقاضا که این کاهش با افزایش دقت پیش‌بینی‌ها نیز همراه است)
- کاهش حجم و زمان محاسبات جهت تعیین برنامه‌های تولیدی

[1] Aggregate Planning