**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR İSOARŞİK HOLONİK İMALAT SİSTEMİNİN MONTAJDA EŞZAMANLILIK İLE UYGULANMASI VE FARKLI ÜRETİM TİPLERİYLE KARŞILAŞTIRILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ceyda OLCAN**

**Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği**

**Programı : Endüstri Mühendisliği**

**HAZİRAN 2010**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR İSOARŞİK HOLONİK İMALAT SİSTEMİNİN MONTAJDA EŞZAMANLILIK İLE UYGULANMASI VE FARKLI ÜRETİM TİPLERİYLE KARŞILAŞTIRILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ceyda OLCAN**
**(507071109)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2010**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Murat BASKAK (İTÜ)**
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. M. Mutlu YENİSEY (İTÜ)**
**Doç. Dr. Semih ÖNÜT (YTÜ)**

**HAZİRAN 2010**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada üretim yönetimine yeni bir bakış açısı getirilmiş ve şirkette hiyerarşi olmaksızın iş sıralama yazılımla otomatikleştirilmiştir. Bu konuda birçok yöntem bulunmaktadır ve bu yöntemlerin bir kısmına yer verilmiştir. Eski klasik yöntemler ile kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca bir yönteme yönelip geliştirme yapılmıştır.

Tezimin oluşturulması ve geliştirilmesinde, bana yön gösteren ve yardımcı olan danışmanım Sayın Y.Doç.Dr. Murat Baskak'a ve yöntemin geliştiricisi Fransa'daki hocam Patrick Pujo'ya saygılarımı sunar, teşekkür ederim. Uygulama kısmında bana yardımları dokunan doktora öğrencisi Yves Dubromelle, simülasyon hocam Y.Doç.Dr. Erhan Bozdağ ve yazılımcı olan Serhan Özhan'a teşekkür ederim. Son olarak, yüksek lisans eğitimim boyunca verdiği maddi destekten ötürü TÜBİTAK'a ve bütün eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ailem ve arkadaşlarıma teşekkürler…

Haziran 2010 Ceyda Olcan

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ** ... **iii**
**İÇİNDEKİLER** ... **v**
**KISALTMALAR** ... **vii**
**ÇİZELGE LİSTESİ** ... **ix**
**ŞEKİL LİSTESİ** ... **xi**
**ÖZET** ... **xiii**
**SUMMARY** ... **xv**
**1. GİRİŞ** ... **1**
**2. ÜRETİM SİSTEMLERİ** ... **3**
2.1 Sistem ve Üretim Tanımları ... 3
2.1.1 Sistem kavramı ... 3
2.1.2 Üretim kavramı ... 4
2.1.3 Üretim sistemi ... 5
2.2 Üretim Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi ... 6
2.3 Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması ... 9
2.3.1 MRP ... 11
2.3.1.1 MRP'nin elemanları 12
2.3.1.2 MRP'nin tarihsel gelişimi 13
2.3.1.3 MRP'nin amaçları 14
2.3.2 JIT ve Kanban ... 15
2.3.2.1 Kanban Yöntemi 17
2.3.2.2 Kanban döngüsü 18
2.3.2.3 Bir Kanban güzergâhı 18
2.3.2.4 Kanban yardımıyla iş sıralama 19
2.3.2.5 Kanban'ın gerçekleşmesi 20
2.3.2.6 Kanban ve orta vâdeli yönetim 21
2.3.2.7 Kanban yönteminin hesaplama parametreleri 21
2.3.2.8 Her müşteri/tedârikçi ilişkisi için hesap formülü 22
2.3.2.9 Kanban etiketi 22
2.3.3 MRP ve Kanban arasındaki farklar ... 23
**3. ÜRETİM YÖNETİMİ** ... **27**
3.1 Üretim Yönetim Sistemlerinin Gelişimi ... 27
3.1.1 Pilotaj tanımı ... 27
3.1.2 Üretim yönetiminde geleneksel yaklaşımlar ... 29
3.1.3 Ürün tarafından pilotaj ... 30
3.1.4 Birçok açıdan pilotaj ... 31
3.2 Hiyerarşik, Heterarşik ve Akıllı İmalat Sistemleri ... 31
3.2.1 Hiyerarşik ve/veya düzenli yapılar ... 32
3.2.2 Heterarşi kavramının tanımı ... 33
3.2.3 Dağıtık veya merkezî olmayan yapılar ... 34
3.2.4 Akıllı îmalat sistemleri ... 34
**4. HOLONİK İMALAT SİSTEMLERİ** ... **37**

4.1 Holon ve Holonik Sistem Tanımları ..... 37
4.1.1 Holonik kavramı ..... 37
4.1.2 Holonik îmalat sistemi ..... 39
4.2 Farklı Holonik Sistemler ..... 41
4.2.1 PROSA'nın temel kavramları ..... 41
4.2.2 Diğer holonik sistemler ..... 43
4.3 Literatürdeki Çalışmalar ..... 45
4.4 Çok Ajanlı Sistemler ile Uygulama ..... 51
**5. İSOARŞİ VE PROSİS ..... 53**
5.1 İsoarşi Tanımı ..... 53
5.2 PROSIS Tanımı ..... 53
5.2.1 İsoarşik holonik yaklaşımının uygulanması ..... 54
5.2.2 PROSIS'in uygulama alanları ..... 56
5.3 Holonlara Destek Yazılımı ve RFID ..... 57
5.3.1 Özerk pilotaj varlığı (OPV) ..... 57
5.3.2 Holonik sisteme bütünleşik RFID ..... 58
**6. HOLONİK VE İSOARŞİK PİLOTAJDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME ..... 63**
6.1 Çok Ölçütlü Karar Yöntemleri ..... 63
6.1.1 Çok ölçütlü karar yöntemlerinin panoraması ..... 63
6.2 AHP ..... 64
6.2.1 AHP'nin oluşturma ve kullanma aşamaları ..... 66
6.2.1.1 AHP algoritmasının oluşturma aşaması 66
6.2.1.2 AHP algoritmasının kullanma aşaması 68
6.3 Isoarşik Pilotajın Sipâriş Tipi Atölyede ve Çekme Sisteminde Uygulanması . 68
6.3.1 Ölçütlerin tanımlanması ..... 69
6.3.1.1 Kaynak holonu açısından analiz 69
6.3.1.2 Ürün holonu açısından analiz 70
6.3.1.3 Emir holonu açısından analiz 71
6.3.2 Ölçüt öncelikleri ve matematiksel formülleri ..... 71
6.3.3 Dağıtık ve birlikte işleyen simülasyon platformu ..... 74
6.3.4 Test verilerinin girilmesi ..... 78
**7. PEDAGOJİK FABRİKADA UYGULAMA ..... 81**
7.1 Pedagojik Fabrikada Üretim ..... 81
7.2 Üç Farklı Üretim Sisteminin Simülasyonu ..... 85
7.2.1 MRP'de simülasyon ..... 86
7.2.2 Kanban'da simülasyon ..... 88
7.2.3 PROSIS'te simülasyon ..... 89
7.3 Üç Üretim Sisteminin Performans Karşılaştırması ..... 93
**8. AHP'YE MONTAJ SENKRONİZASYONU ÖLÇÜTÜNÜN EKLENMESİ 95**
8.1 Montajda Senkronizasyon ..... 95
8.2 Pedagojik Fabrikada Yeni Modelin Uygulanması ..... 99
8.3 Elde Edilen Sonuçlar ..... 99
**9. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 103**
**KAYNAKLAR ..... 107**
**EKLER ..... 123**
**ÖZGEÇMİŞ ..... 137**

## KISALTMALAR

**AGV** : Automated Guided Vehicule
**AHP** : Analytic Hierarchy Process
**ANP** : Analytic Network Process
**APICS** : American Production and Inventory Control Society
**CR** : Critical Ratio
**EH** : Emir holonu
**ERP** : Enterprise Resource Planning
**FIFO** : First In First Out
**FOM** : Federation Object Module
**HAIMES** : Holonic Ambiant Isoarchic Manufacturing Execution System
**HLA** : High Level Architecture
**HMES** : Holonic Manufacturing Execution System
**HMS** : Holonic Manufacturing System
**IMS** : Intelligent Manufacturing System
**İS** : İşlem Süresi
**JIT** : Just-in-Time
**KH** : Kaynak holonu
**KİS** : Kalan İşlemlerin Süresi
**KTS** : Kalan Teslim Süresi
**LSIS** : Bilgi ve Sistem Bilimleri Laboratuarı
**MCDM** : MultiCriteria Decision-Making
**MES** : Manufacturing Execution System
**MRP** : Materials Requirement Planning
**MRP II** : Manufacturing Resource Planning
**OID** : Operational, Informational, Decisional
**OPV** : Özerk Pilotaj Varlığı
**PER** : Process Efficiency Ratio
**PROSA** : Product, Resource, Order, Staff Architecture
**PROSIS** : Product, Resource, Order, & Simulation Isoarchic System
**PSO** : Particle Swarm Optimization
**PTT** : Plânlanan Teslim Tarihi
**RFID** : Radio Frequency IDentification
**SMED** : Single Minute Exchange of Die
**ÜH** : Ürün holonu
**VBA** : Visual Basic for Applications
**WIP** : Work in Process

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1 :** Üretim sistemlerinin tarihsel gelişimi ..... 9
**Çizelge 3.1 :** Karar tipleri .....28
**Çizelge 4.1 :** Ajan ve holonik kavramlarının kıyaslanması .....52
**Çizelge 6.1 :** İkili karşılaştırmalar ölçeği.....65
**Çizelge 6.2 :** *n* boyutlu matriste rastgele indeks (RI) değerleri .....67
**Çizelge 6.3 :** Ölçütler arası öncelik matrisi.....72
**Çizelge 6.4 :** $C_1$, $C_2$ ve $C_3$ ölçütleri için göstergeler arası öncelik matrisleri.....72
**Çizelge 6.5 :** Ölçütler ve holonlar arası ilişkiler .....74
**Çizelge 7.1 :** Alt ürünler ve işlemleri .....83
**Çizelge 7.2 :** İşlemlerin makinalara dağıtımı.....90
**Çizelge 7.3 :** Üç sistemin simülasyon sonuçları .....93
**Çizelge 8.1 :** Ölçütler arası yeni öncelik matrisi.....99
**Çizelge 8.2 :** $C_6$ ölçütü için göstergeler arası yeni öncelik matrisi .....99
**Çizelge 8.3 :** Dört sistemin simülasyon sonuçları.....100

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1 :** Karmaşık sistemin kanonik OID Modeli ..... 4
**Şekil 2.2 :** Genel bir üretim sistemi ..... 5
**Şekil 2.3 :** Üretim sistemlerinin sınıflandırılması ..... 10
**Şekil 2.4 :** Örnek bir sipâriş tipi atölye sistemi ..... 10
**Şekil 2.5 :** Örnek bir akış tipi atölye sistemi ..... 11
**Şekil 2.6 :** Örnek bir sabit konumlu atölye sistemi ..... 11
**Şekil 2.7 :** MRP sistemi ..... 12
**Şekil 2.8 :** MRP'de girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler ..... 15
**Şekil 2.9 :** Kanban'ın dolaşımı ..... 19
**Şekil 2.10 :** Kanban etiketi ..... 22
**Şekil 2.11 :** Klasik MRP (sol) ve Kanban (sağ) organizasyonu ..... 24
**Şekil 2.12 :** İtme sistemi ..... 25
**Şekil 2.13 :** Çekme sistemi ..... 25
**Şekil 3.1 :** Pilotaj sistemlerinin tipolojisi ..... 32
**Şekil 3.2 :** Hiyerarşik yapılar ..... 32
**Şekil 3.3 :** Düzenli yapılar ..... 33
**Şekil 3.4 :** Karar düzeyleri ve etkileşimler açısından heterarşik yapılar ..... 33
**Şekil 4.1 :** Holonik sistemin hiyerarşik modeli ..... 38
**Şekil 4.2 :** Holonun genel yapısı ..... 40
**Şekil 4.3 :** Temel holonlar ve ilgili bilgiler ..... 43
**Şekil 5.1 :** Bir holonun modeli ..... 54
**Şekil 5.2 :** Yatay Holonik Form ..... 54
**Şekil 5.3 :** XX holonunun temel yapısı ..... 55
**Şekil 5.4 :** OPV tarafından bir holona sağlanan çevresel hizmet tipleri ..... 60
**Şekil 6.1 :** AHP'de farklı düzeylerin genel yapısı ..... 65
**Şekil 6.2 :** Çok ölçütlü hiyerarşik karar yapısı ..... 69
**Şekil 6.3 :** HLA simülasyonunun yapısı ..... 75
**Şekil 6.4 :** OPV tarafından sağlanan hizmetler ..... 75
**Şekil 6.5 :** OPV Ağı ..... 76
**Şekil 6.6 :** İş postası arayüzü ..... 77
**Şekil 6.7 :** OPV'nin arayüzü ..... 77
**Şekil 7.1 :** Tasarlanan 4 tip cep kılıfı modeli ..... 82
**Şekil 7.2 :** Cepsiz (a) modelinin üretim aşamaları ($V_f$, $V_b$, S hazır) ..... 83
**Şekil 7.3 :** Pedagojik fabrika ..... 85
**Şekil 7.4 :** MRP'de üretim süreçleri ve kaynaklar ..... 86
**Şekil 7.5 :** MRP'de kaynaklar arası transferler ..... 86
**Şekil 7.6 :** MRP'de simülasyon modeli ..... 87
**Şekil 7.7 :** MRP simülasyonunda kaynak kullanımı ..... 87
**Şekil 7.8 :** Kanban'da üretim süreçleri ve kaynaklar ..... 88
**Şekil 7.9 :** Kanban'da kaynaklar arası transferler (9 kanban döngüsü) ..... 88
**Şekil 7.10 :** Kanban simülasyonunda kaynak kullanımı ..... 89
**Şekil 7.11 :** PROSIS simülasyon modeli ..... 91

**Şekil 7.12 :** PROSIS simülasyonunda MC1 alt modeli..... 92
**Şekil 7.13 :** PROSIS simülasyonunda kaynak kullanımı ..... 92
**Şekil 8.1 :** Senkronizasyon ölçütü eklenmiş AHP modeli ..... 96
**Şekil 8.2 :** Yeni PROSIS simülasyonunda kaynak kullanımı..... 100
**Şekil A.1 :** MRP ve Kanban simülasyon modeli ..... 125
**Şekil A.2 :** PROSIS simülasyon modeli (ana model) ..... 127
**Şekil A.3 :** PROSIS simülasyon modeli (MC1 alt modeli) ..... 129

## ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR İSOARŞİK HOLONİK İMALAT SİSTEMİNİN MONTAJDA EŞZAMANLILIK İLE UYGULANMASI VE FARKLI ÜRETİM TİPLERİYLE KARŞILAŞTIRILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZET

Üretim sistemlerinde yönetim ve plânlama, genellikle belirli bir hiyerarşik düzen ve tahminlere dayalı hesaplar sâyesinde gerçekleşmektedir. Günümüzde çeşitli yöntemler geliştirilerek, tahmin hatalarından ve fazla stoktan kurtulmaya çalışılmıştır ancak onlarda da belirli bir hiyerarşi sözkonusudur. Hiyerarşinin varlığı karar vermede merkezî bir yapıya karşılık gelir ve karar düzeylerinin üstünde bulunan insanların öznelliğine bağımlılığı gerektirmektedir. Bu nedenle bâzı çelişkili durumlarda en iyi karar verilemeyebilir. Hiyerarşinin getirdiği sakıncalar dikkate alınırsa, üretim sisteminde sorumlu olan herkesin eşit karar verme yetkisi tartışılmaya başlanmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalarda holon kavramı ele alınmış ve heterarşik düzen araştırılmıştır. Tüm dünyada, üretimle sınırlı olmayan uygulama alanlarında yeni otomatikleşmiş yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin, son bilgi teknolojileri ve RFID'nin (Radyo Frekansı ile Tanımlama) katılımı ile daha da geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu tez kapsamında, son zamanlarda geliştirilen, holonik ve diğerlerinden farklı olarak isoarşik tabanlı PROSIS adlı bir yöntem, uzun süredir üretimde uygulanan diğer klasik yöntemler ile kıyaslanmıştır. Çizelgeleme ve iş sıralamanın önceden plânlandığı MRP (Malzeme Gereksinim Plânlaması) ve müşteri talebine göre tetiklenen Kanban sistemleri ile yeni PROSIS yöntemi ele alınmıştır. Çok ölçütlü karar vermenin dâhil edilmesiyle özellikle çelişkili durumlarda daha iyi çizelgeleme ve iş sıralama yapabilen PROSIS yöntemi, oluşturulan pedagojik fabrika uygulamasının simülasyon modeline göre diğer yöntemlerden daha başarılı olmuştur. Son olarak, PROSIS'te kullanılan çok ölçütlü AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yönteminin iyileştirilmesi için montaj aşamasında gerekli olan parçaların eşzamanlılığını sağlamak adına, yeni bir ölçüt ve alt göstergeler eklenmiştir. Yeni modelin uygulaması simülasyonda gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

## APPLICATION OF A MULTICRITERIA ISOARCHIC HOLONIC MANUFACTURING SYSTEM WITH SYNCHRONIZATION IN ASSEMBLY AND EVALUATION BY COMPARING WITH DIFFERENT PRODUCTION TYPES


## SUMMARY

The management and planning in production systems are generally realized with a specific hierarchical order and calculations based on estimations. Nowadays various methods are developed to reduce estimation errors and overstock but they possess some hierarchy too. The existence of hierarchy corresponds to a centralized structure in decision making and requires dependence on subjectivity of people in the top decision levels. Therefore the best decision may not be made in some contradictory situations. Considering the disadvantages of hierarchy, equal arbitrament of responsible people in a production system is already started to be argued. In the literature about this subject, both the concept of holon and heterarchical structure are studied. New automated methods not only being limited in production areas, but also those in other areas have been developed all over the world. More contributions to these methods by the participation of new information technologies and RFID (Radio Frequency Identification) are aimed.

Regarding the studies based on this subject, in this thesis, a method developed lately and called PROSIS which is based on holonic and isoarchic structure, is compared with classical methods applied for many years. MRP (Materials Requirement Planning) where scheduling and ordering of works are planned before, Kanban which is triggered by client's demand and new PROSIS method are covered. PROSIS method including multicriteria decision making, which makes better scheduling and ordering of works specially in contradictory situations, is more successful than other methods in accordance with a simulation model of a pedagogical factory application. Lastly, for the amelioration of the multicriteria method AHP (Analytic Hierarchy Process) used in PROSIS, a new criterion and indicators have been added in order to provide synchronization of pieces necessary for an assembly. New model application is realized on simulation and the results are compared.

# 1. GİRİŞ

Küresel ve dinamik ekonomik yapı ile rekabetçi pazar koşullarında, firmalar îmalat süreçlerinde sürekli iyileşme ve esneklik sâyesinde başarıyı elde etmektedir. Îmalat şirketleri, hızlı, esnek ve kaliteli üretim yapabilmek için aktif ve verimli bir üretim sistemine sahip olmalıdır.

Endüstrideki kuruluşlar üretimde verimliliği arttırmak için her zaman yeni arayışlar içindedir. Ancak bu konudaki teknolojiler ve üretim yöntemleri limitine ulaşmış durumdadır ve yöntemlerin arayışı için yenileşim (inovasyon) gerekmektedir. Bilimsel çevre yaklaşık yirmi yıldır, ortaya yenilikçi düşünceler atmıştır ve bunlar heterarşik ve holonik pilotaj yapılarını esas almıştır (Deen, 2003). Her ne kadar düşünceler başarılı olsa da, gerçek dünyada uygulamalı olarak gerçekleşememiştir.

Yenilikçi üretim yönetim düşüncelerinden biri olan isoarşi, hiyerarşik karar almanın tamamıyla kaldırılması özelliğini taşır ve gerçek zamanlı olarak kaynaklar, iş emirleri ve ürünlerin arasındaki etkileşimlere göre çok ölçütlü analiz yardımıyla karar almaktadır (Pujo *ve diğ.,* 2009a). Üretimde çizelgeleme ve iş sıralama bu şekilde gerçekleşip holon kavramından yararlanılmaktadır. Hem bir bütünün parçası hem kendisi bir bütün olabilen holonlar, eşit karar verme yetkisine sahip olan üretim elemanlarını ifâde etmektedir.

Bu tez çerçevesinde, üretim sistemlerinin yönetilmesi için bilimsel dünyada önerilen en tanınmış çözümler ve özellikle holonik yapıya sahip PROSA (Van Brussel *ve diğ.,* 1998) tanıtılacaktır. Sonra PROSA'nın yeni bir yaklaşımı olarak geliştirilen holonik PROSIS yöntemi, isoarşi ve çok ölçütlü karar verme yöntemi AHP (Analytic Hierarchy Process) (Saaty, 1980) algoritması sâyesinde çok ölçütlü karar alma yapısı ile tanımlanacaktır.

PROSIS yöntemi için, benzetim ve gerçek bir pilotaj sağlayan ona özel göstergeli simülasyon platformu kullanılmıştır. Birçok görevi yapabilen çok işlevli bu araç, sipâriş tipi işleyen her atölyeye uyarlanabilmekte ve çok ölçütlü yapı sâyesinde

performans değerlerini ölçebilmektedir (Pujo *ve diğ.,* 2009a). Bu yönteme özgü simülasyon platformu anlatılacak ve uygulamada kullanılacaktır.

PROSIS yönteminin geçmiş çalışmalarına ek olarak, tez kapsamında, pedagojik amaçlarla kurulan bir atölyede uygulanması ve geleneksel yöntemler olan MRP ve Kanban ile kıyaslanması yer alacaktır. Son olarak PROSIS yönteminde kullanılan mevcut AHP yapısına, eşzamanlılık ölçütünün eklenmesi ve testleri anlatılacaktır. Bu tezin amacı PROSIS yönteminin diğer yöntemlerden daha iyi olduğunu kanıtlamak ve bu yöntemi geliştirmektir.

Sırasıyla Bölüm 2'de genel üretim tanımları ve varolan üretim sistemlerinden sözedilecektir. Bölüm 3'de, üretim yönetimi (pilotaj) ve geliştirilen çeşitli pilotaj sistem yapıları anlatılacaktır. Bölüm 4'de holonik îmalat sistemlerinden sözedilecek, Bölüm 5'de isoarşik bir holonik îmalat sistemi olan PROSIS açıklanacaktır. Bölüm 6'da PROSIS'e çok ölçütlü karar vermenin dâhil edilmesi gösterilmiş, Bölüm 7'de pedagojik bir fabrikada 3 ayrı üretim yönetim sisteminin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bölüm 8, PROSIS yapısına montaj eşzamanlılığı ölçütünün eklenmesini anlatacaktır. Bölüm 9'da ise sonuçlar ve öneriler yer alacaktır.

# 2. ÜRETİM SİSTEMLERİ

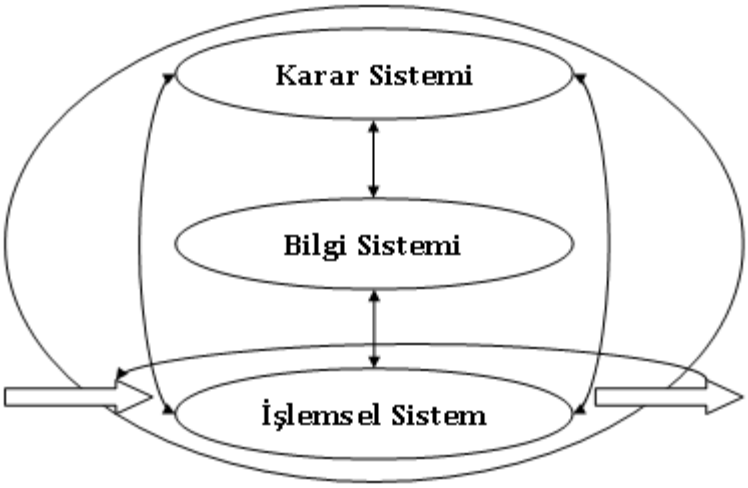
## 2.1 Sistem ve Üretim Tanımları

### 2.1.1 Sistem kavramı

Sistem, amacı doğrultusunda süreçleri, birbirleri ve çevresiyle etkileşim içinde olan eleman topluluğu olarak tanımlanabilir. Her sistem karmaşık bir nesnedir ve dinamik etkileşim içinde olan ayrık bileşenlerden (alt sistemlerden) oluşur. Bileşenlerinin durumu, diğer bileşenlerin durumuna bağlı olarak belirlenir. Alt sistemlerin de bileşenleri olabilir ve daha ince analiz düzeyine sahip alt sistemleri olabilir (Pujo, 2009).

Bir sistem, basitleştirmek ve anlamak amacıyla modelini oluşturduğumuzda vardır. Sistemlerin modelleştirilmesi konusunda çok fazla çalışma vardır ve standart modeller önerilmiştir. Örneğin karmaşık sistem kavramı ortaya atıldığında, genel sistemin teorisine referans olarak (LeMoigne, 1977; Erikson, 1997) gösterilebilir. Her sistemin karmaşık olması kanonik OID (Operational, Informational, Decisional) modeliyle tanımlanır. Bu model, fonksiyonel üç alt sistem ile bir sistemin yapısını tanımlar (Şekil 2.1):

- İşlemsel alt sistem, sistem faaliyetinin somut kısımlarını sağlar. Dolayısıyla sistem çevresine bir değer kazandırmış olur (çevresine etkisi olmayan bir sistem sistem değildir),
- Bilgi alt sistemi, somut olmayan kısımları yönetir ve çevresi üzerinde sistemi temsil eder. Sistemin çevresiyle olan işlemlerini ve davranışını gösteren iç durum değişkenlerinin belleğe alınmasını ve gözlenmesini sağlar,
- Karar alt sistemi, ulaşılması hedeflenen bir amaç doğrultusunda sistemin pilotajını (yönetilmesini) sağlar ve bunun için bilgiyi işler, sistemin durumuyla amaç arasındaki farkları inceler, sistemin durumunu etkileyen kararlar alır ve durumunu bu kararlara göre ayarlar.




**Şekil 2.1 :** Karmaşık sistemin kanonik OID Modeli (LeMoigne, 1977)

Ayrıca her sistem alt sınıfa ait alt sistemlere parçalanabilir ve onlar da OID modeli ile tanımlanabilir. Bu yinelenen yapı, üretim sistemi dâhil her sistemi yapay olarak modellemeyi sağlar.

### 2.1.2 Üretim kavramı

Genel olarak üretim, topluma değer yaratmak ve doğadan karşılanamayan insanî gereksinimleri gidermek olan temel hedefleri gerçekleştirmek için insanlık tarafından geliştirilen bir etkinliktir. Üretim, yaratılan bir değer veya ekonomik değer yaratan bir faaliyet olarak varsayılır. Üretim sözcüğü salt ürün yaratmak için değil, aynı zamanda ürüne değer kazandıran veya değerini arttıran faaliyetler için de kullanılmaktadır. Bu anlamda üretim, mal ve hizmetlerin ortaya çıkması için gösterilen her çabadır. Üretmek; bir kazanç yaratmak veya mal ve hizmetlerin kazançlarını arttırmaktır.

Üretim temel olarak dört şekilde gerçekleşir (Tanyaş ve Baskak, 2006):

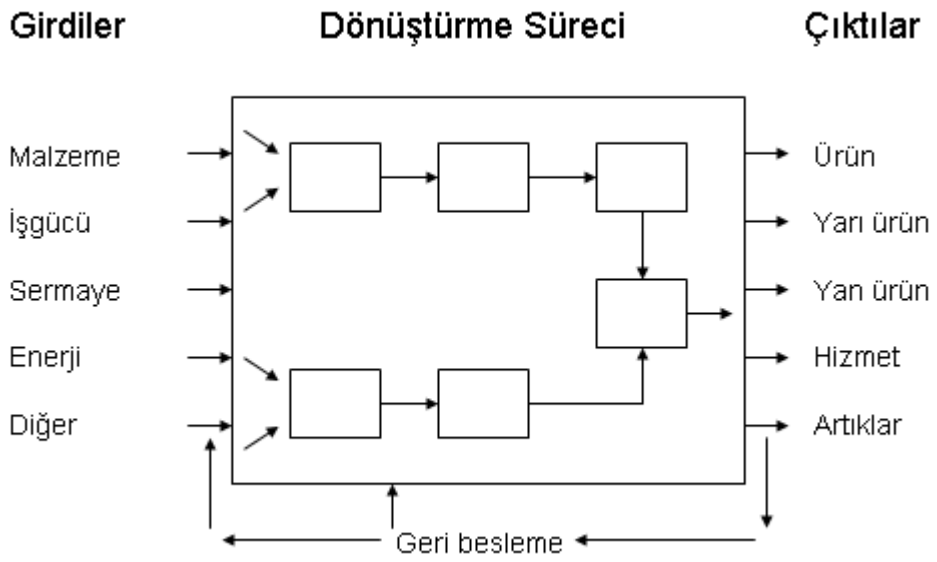
- Şekil değişikliği ile (ağaçtan sandalyeye, kumdan alçıya vb.)
- Yer değişikliği ile (taşıma vs.)
- Zaman değişikliği ile (soğuk hava deposu) (*değeri korumak için*)
- El değişikliği ile (ticaret)

Üretim kavramı mühendisler ve ekonomistler tarafından farklı tanımlanır. Ekonomistler üretimi bir yarar yaratmak olarak tanımlar. Mühendisler ise üretimi, fiziksel bir nesnenin değerini artıran değişiklikleri yapmak (hammaddeleri eklemek

vb.) veya yarı ürünleri kullanılabilir ürüne dönüştürmek olarak tanımlar. Ama üretimin esas amacı topluma değer yaratmaktadır. Dolayısıyla üretim sistemleri salt fiziksel üretimler ile kısıtlı değildir; hizmet üreten sistemler de birer üretim sistemi olarak sayılır.

### 2.1.3 Üretim sistemi

Üretim sistemi açık bir sistemdir ve dönüştürme süreçlerinden geçen girdiler, çıktılar hâline gelir. Girdiler malzeme, işçilik, sermaye, enerji vb. olabilir. Çıktılar ise ürün, yarı ürün, yan ürün, hizmet ve artıklar olabilir. Süreç işlem, taşıma, kontrol, stoklama faaliyetlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.2). Üretim süreçlerinde fiziksel bir dönüşüm yapmak veya bilginin işlenmesi için insanlar, malzeme, enerji ve makinalar kullanılmaktadır. Elemanlar arasında veya çevre ile olan ilişkilerin değişimi, sistemde bir geri besleme gerektirir ve sistemin amacına göre doğru zamanda önlemler alınmalıdır.




**Şekil 2.2 :** Genel bir üretim sistemi (Tanyaş ve Baskak, 2006)

Üretim sistemi şirketin içi ve dışı ile etkileşim içindedir. Şirketin organizasyonel yapısının bir parçasıdır ve pazarlama, satış, finans, insan kaynakları, satın alma bölümlerinde alınan kararlardan etkilenir. Dış çevreden çeşitli etkiler şirketin işlevlerini etkilemektedir. Ekonomi, yasalar, rekabet, teknoloji ve diğer dış koşullar üretim sistemini olumlu veya olumsuz olarak etkiler.

## 2.2 Üretim Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Üretim sistemleri 18. yüzyıldan beri önemli beş aşama geçirmiştir. İlk aşama 1760 yılında James Watt'ın buhar makinası buluşu ve buharı insanlara hizmet etmek için kullanmasıdır. Bu gelişme büyük bir devrim ve mekanizasyona geçişte büyük bir adımdır. 18. yüzyılda Adam Smith uzmanlaşma kuramıyla işleri küçük parçalara ayırarak her işçinin salt bir işi yaptığında daha etkin çalışacağını öne sürmüştür (Tanyaş ve Baskak, 2006). Charles Babbage ise uzmanlaşmaya göre işbölümü kavramını daha da geliştirmiştir.

İkinci aşama 19. yüzyılın başlarında ikâme edilebilir parça (standardizasyon) kavramının geliştirilip uygulanmasıdır. Bu parçalar nerede üretilirse üretilsin, kullanıldığı yerde istenen işleve uygun olur. Dolayısıyla bu parçalar belirli yerlerde büyük miktarlarda ve daha ucuza üretilebilir. Gereksinimi olan şirketler, bu parçaları kendi üretmez ve satın alarak doğrudan üretiminde kullanır. İkâme edilebilir parçalar üretimi hızlandırmış ve usta tipi nitelikli elemandan daha ucuz işgücüne geçiş sağlamıştır. Örneğin 1846'da dikiş makinalarında, 1847'de A.B.D.'de tarım makinalarında, 1848'de kol saatlerinin üretiminde bu parçalar kullanılmaya başlanmıştır (Wild, 1971).

Üçüncü aşamayı Frederic W. Taylor tarafından geliştirilen 'üretim yönetimi' kavramı oluşturur. Taylor işçileri iş başında ayrıntılı incelemeye almasıyla bilimsel yönetimin temelini oluşturmuştur. Frank ve Lilian Gilbreth hareket ekonomisi ilkelerini ortaya koymuş ve mikro hareketleri tanımlamıştır. Henry Lee Gantt iş çizelgelemede kullanılacak Gantt diyagramını geliştirmiştir. Bu diyagram etkinliklerin zaman ekseni boyunca sıralanması için kullanılan, dinamik yapıda basit bir programlama ve kontrol aracıdır.

Dördüncü aşama, 20. yüzyılın başında Henry Ford tarafından geliştirilen montaj hatları ile birlikte kitle üretimine geçişle oluşmuştur. Bu geçiş piyasadaki ürünlerin fiyatını daha da düşürmüş, üretimi hızlandırmış ve ürünlerin daha geniş toplum kesimleri tarafından elde edilebilmesine olanak sağlamıştır (Tanyaş ve Baskak, 2006). Ford'un ilk T modeli 1908 yılında üretilmiş, 1913 yılında da Ford'un Haghland ve River Rouge fabrikalarında ilk montaj hattı kullanılmıştır (Wild, 1971). 1920'lerde ise F.W. Harris matematiksel modelleri stok kontrol problemlerine uygulamıştır. Sayısal kontrol devrimiyle otomasyon ve otomasyon kontrolüne geçiş

1950'de, çeşitli üretim faaliyetlerinin (otomatik tezgâhlar ve otomatik üretim kontrolü) bütünleştirilmesi 1968'de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bilgi-işlem ve iletişim teknolojilerinde gelişmeler yapılmıştır.

II. Dünya Savaşı'ndan 1970'lerin sonuna kadar olan sürede büyük istikrârlı pazarlar ortadan kalkmış ve günümüzde tüketicinin mal çeşitlemesi, yeni ürün, değişik tasarım ve kaliteye yönelmiştir. Üretim sisteminde de yeni arayışlar başlamıştır. Bu gelişmeler Fordist üretim sisteminin sarsılmasına neden olmuştur. Taylorist bilimsel yönetime göre örgütlenmiş olan bu sistemin özelliği, akan üretim hattında özel amaçlı makinalar ve niteliksiz işgücü kullanarak ayrıntılı iş bölümü esasına göre kitle üretimi yaparak verimlilik sağlanmasıdır. Çalışanların sosyal yanlarını ihmal eden Taylorist ve Fordist yaklaşımlar, 1970'lerin sonuna doğru yeni üretim anlayışları ve kalite felsefesinin ortaya çıkmaya başlamasına kadar etkisini sürdürmüştür.

Pazar ve tüketici yapısındaki değişime yanıt verebilmek ve sistemin atölyedeki tıkanıklıklarını aşarak verimliliği arttırmak için üretim sisteminde köklü bir değişiklik gerekmektedir. Bunu Fordist üretimden Post-Fordist (Yalın) üretime geçiş olarak nitelendirebiliriz. Bu, üretim sistemlerinin tarihsel gelişiminin beşinci aşamasını oluşturur.

Endüstride ortaya çıkan bu yeniden yapılanma sürecinin pazara uyum açısından en belirgin yönelimi ürünün niteliğindeki değişimle ilgilidir. Yeni rekabet koşullarında, firmaların değişken pazar yapısında ve tüketici tercihlerindeki mal çeşitlemesine hızla yanıt verecek ürün esnekliğine sahip olmaları gerekmektedir. Üretilen ürün yelpazesinin geliştirilmesi ayrıca ürün esnekliğinin sağlanması için firmaların sürekli tasarım değişikliği ve yeni buluşlar yapma kapasitelerini geliştirmeleri önemlidir. Esnek ürün ve yeni tasarıma dayalı rekabet koşulları, zamanında teslim, kısa sürede üretim ve kaliteli mal konusunun önemini de ortaya çıkarmaktadır.

Yalın üretim, yapısında gereksiz hiç bir öğe taşımayan üretim sistemidir. Bu sistemde hatanın, mâliyetin, stoğun, ürün geliştirme süresinin, üretim alanının, firenin, müşteri hoşnutsuzluğu gibi öğelerin en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır.

II. Dünya Savaşı ile birlikte artan talebe yanıt vermek gerekmiştir ve bu aşamada MRP (Materials Requirement Planning: Malzeme Gereksinim Plânlaması) ortaya çıkmıştır. MRP, gereksinimler doğrultusunda çeşitli evreler geçirerek 1980'li yıllara kadar başarıyla kullanılmış ancak talep yapısında dolayısıyla üretim yapısında

değişiklik olunca kullanılmamaya başlanmıştır. Stoğa üretim yapısından sipârişe göre üretim yapısına geçilmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2006). Üretimin her aşamasında müşteri odaklılık benimsenmiştir.

Malzeme, sermaye, işgücü gibi kaynakların birlikte yönlendirilmesi sorunu belirmiştir. Bu aşamada firmaların tüm kaynaklarını etkin bir biçimde plânlayabilecek bir anlayış ortaya çıkmıştır. MRP II (Manufacturing Resource Planning: Üretim Kaynakları Plânlaması) yazılımları bu sorunlar gidermiş, şirketin üretimle doğrudan ilgili olan ve olmayan tüm sistemlerini bütünleştirmiş, böylece işletme atmosferini olumlu yönde etkilemiştir. 1990'lı yıllarda ise küreselleşme kavramı doğrultusunda çok uluslu şirketler ve birden fazla yerleşim biriminde fabrikaları olan şirketler oluşmuştur. Bu şirketlerin gereksinimlerini karşılayacak, tüm alt birimlerin bütünleşmesini sağlayacak, tüm fabrikalar arası oluşan dağıtım sistemini düzenleyecek ERP (Enterprise Resource Planning: Kurumsal Kaynakların Plânlanması) yazılımları ortaya çıkmıştır.

Gelişen bilişim teknoloji ve otomasyon yöntemleri üretim yönetiminde yepyeni kavramlar ortaya çıkarmıştır (Tanyaş ve Baskak, 2006):

- Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)
- Bilgisayar Destekli Üretim (CAM)
- Tam Zamanında Üretim Sistemi (JIT)
- Toplam Kalite Yönetimi (TQM)
- Esnek Üretim Sistemleri (FMS)
- Optimize Üretim Teknikleri (OPT)
- Bilgisayarla Bütünleşik Üretim Sistemleri (CIM)
- Müşteri Odaklı Üretim Sistemleri (COMMS)
- Üretim İşletim Sistemi (MES)
- Tedârik Zinciri Yönetimi (SCM)

Üretim sistemlerinin tarihsel gelişimi sırasıyla Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

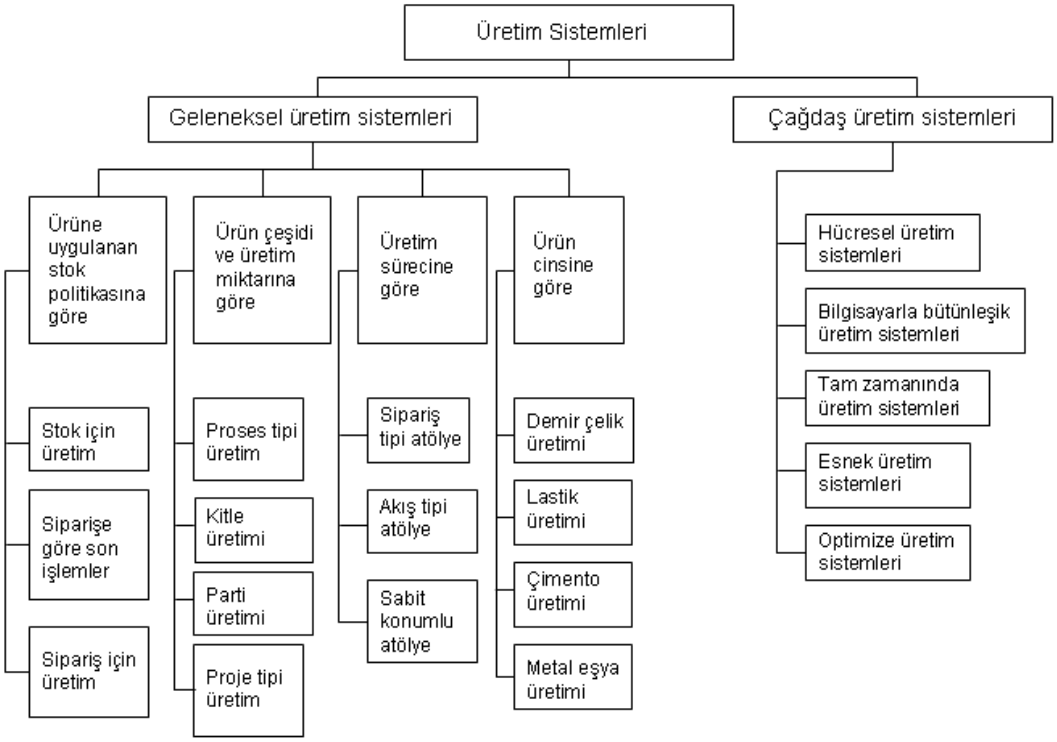
**Çizelge 2.1 :** Üretim sistemlerinin tarihsel gelişimi (Tanyaş ve Baskak, 2006)

| YIL | KONU | ÖNCÜSÜ |
|---|---|---|
| 1760 | Buhar makinasının bulunması | James Watt |
| 1776 | Îmalatta uzmanlaşma | Adam Smith |
| 1832 | Uzmanlaşmaya göre işbölümü | Charles Babbage |
| 1800'ler | İkâme edilebilir parça kullanımı (standardizasyon) | |
| 1900 | Bilimsel yönetim | Frederic W.Taylor |
| 1900 | Hareket ekonomisi ilkeleri | Frank ve Lilian Gilbreth |
| 1901 | Çizelgeleme | Henry Lee Gantt |
| 1913 | Montaj hattı üretimi | Henry Ford |
| 1920 | Stok kontrol | F.W. Harris |
| 1940'lar | II. Dünya Savaşı'nda Yöneylem Araştırması | P.M.S. Blacket |
| 1950'ler | Otomasyona geçiş | |
| 1968 | Üretimde bütünleştirme | |
| 1970'ler | Üretimde bilgisayar destekli uygulamalar (CPM, PERT, MRP) | |
| 1980'ler | CAD/CAM, MRP II, JIT, TQM, FMS, OPT, CIM | |
| 1990'lar | ERP, COMMS, MES | |
| 2000'ler | SCM | |

## 2.3 Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Bu tez kapsamında MRP ve JIT üretim yönetim sistemleri kıyaslanacaktır. Bu nedenle sınıflandırma başlığı altında, bu iki sistem ayrıntılı açıklanmıştır.

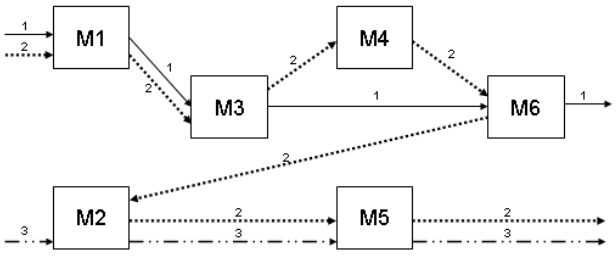
Genelde üretim sistemleri iki sınıfa ayrılır: geleneksel üretim sistemleri ve çağdaş üretim sistemleri (Şekil 2.3).




**Şekil 2.3 :** Üretim sistemlerinin sınıflandırılması (Tanyaş ve Baskak, 2006)

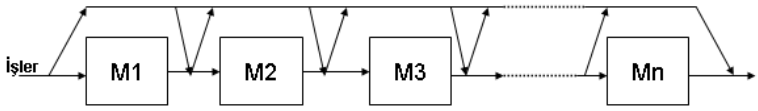
Geleneksel üretim sistemlerinde üretim sürecine göre üç tip atölye ayrımı yapılmıştır. Bu ayrım ilerleyen bölümlerde kullanılacağından, salt onların tanımı verilmiştir:

**Sipâriş Tipi Atölye (Job-Shop):** Genel amaçlı takım tezgâhları kullanılır. Sisteme giren farklı sipârişler, seçenek makinaların boş olanlarında veya boş yoksa makinalar arkasında kuyruğa alınarak üretime sokulur. Bu tip atölyede yüksek makine kullanım süresi verimlerine ulaşılır. Eğer karmaşık iş akışı varsa, uzun üretim süresi, büyük süreç içi stoklar, yüksek taşıma değerleri ve kötü kalite şeklinde üretime yansır (Şekil 2.4) (Tanyaş ve Baskak, 2006). Şekil 2.4'de M harfi makinaları, (1, 2, 3) rakamları ise sipârişleri ifâde etmektedir.



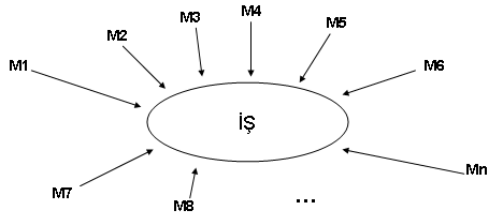

**Şekil 2.4 :** Örnek bir sipâriş tipi atölye sistemi

**Akış Tipi Atölye (Flow-Shop):** Sisteme giren birimler ardışık olarak aynı sıradaki etkinlikler ile üretilir. Hammadde ve yarı ürün olarak alınan malzemeler, hattan işlemleri tamamlanmış veya ürün durumuna getirilmiş olarak ayrılır. Üretim sırasında her tezgâhın işlemi için belirli bir süre ayrılmıştır. Bu nedenle de duraklama ve ara bekleme süreleri en aza indirgenmiştir. Hat üretiminde boş beklemeler, gecikmeler ve ara depolardaki yığılmalar, işlem süreleri arasındaki farklardan oluşur. Bu farkları gidermek için üretim hattı dengelemesi yapılır (Şekil 2.5) (Tanyaş ve Baskak, 2006).




**Şekil 2.5 :** Örnek bir akış tipi atölye sistemi

**Sabit Konumlu Atölye:** Bu sistemde ürün sabittir ve her türlü üretim etmeni ürünün yanına gelir. O noktada üretim gerçekleştirilir. Gemi ve yol, köprü, tünel gibi inşaat işleri bu tür atölye tipine örnektir. Uçak, lokomotif, kule, büyük tank gibi ürünler de belirli üretim aşamalarından sonra sabit konumlu atölye düzeninde üretimlerini tamamlar (Şekil 2.6) (Tanyaş ve Baskak, 2006).




**Şekil 2.6 :** Örnek bir sabit konumlu atölye sistemi

### 2.3.1 MRP

MRP (Materials Requirement Planning), bilgisayar tabanlı bir üretim plânlama ve kontrol sistemidir ve îmalat süreçlerini yönetmek için kullanılmaktadır. MRP, üretim (üretici) ve tedârik (satıcı) arasındaki faaliyetlerin çarpıcı farklarını ortaya çıkaran bir yöntemdir ve üretimin temel gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. Belirli bir tarihe kadar hazırlanacak donanım birimini oluşturmak için yapılması gereken montaj parçalarını ve malzemeleri belirleyen bir bilgi sistemidir. Bir ürünün hazırlanışı için gerekli elemanların, temel yatırım ve stok verilerinden türetilen

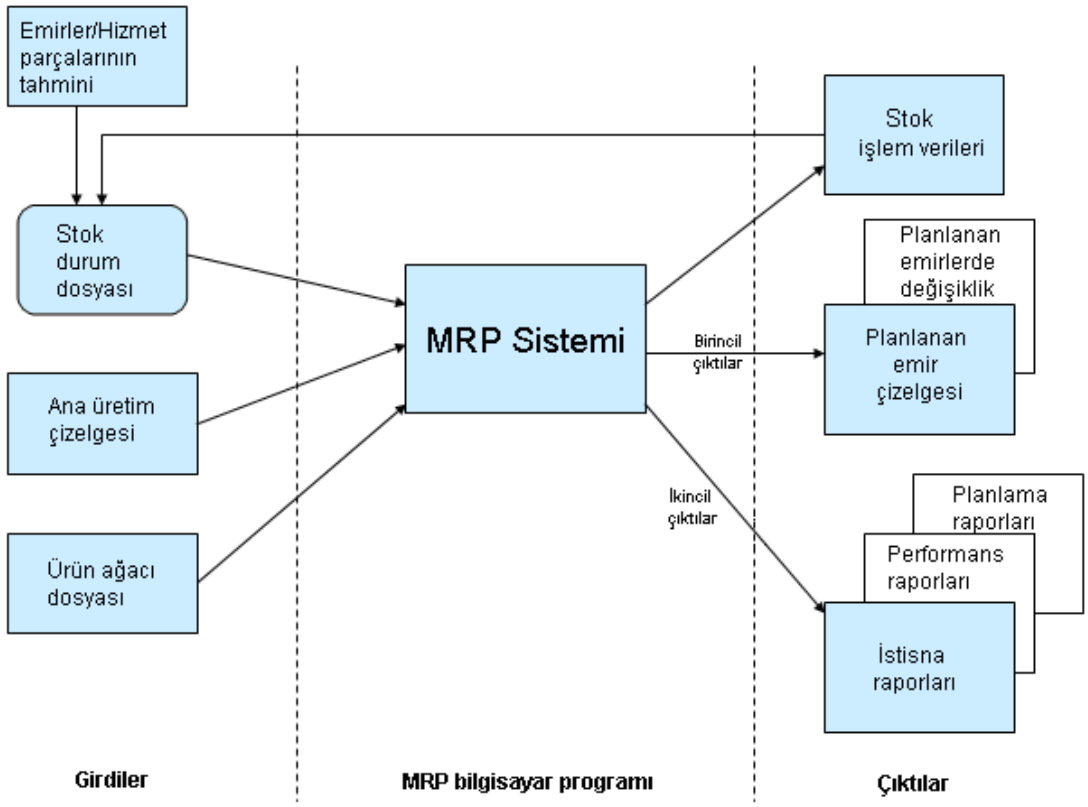
hiyerarşik listesini talep eder. Bu sistem stokların yönetimini, üretim plânlamasının dışında düşünmez.

MRP sistemi, talep tahmini sonuçları ve sipârişlere göre hazırlanan ana üretim çizelgesi ile yola çıkan, bu bilgi ile birlikte stok bilgilerini, ürün ile ilgili bilgileri (ürün ağaçları) ve daha önceki MRP sonuçlarını kullanarak üretim emirleri ve satınalma sipârişi raporları (plânları) hazırlayan bir yazılım sistemi olarak tanımlanabilir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Bir MRP sistemi aynı anda üç amaca hizmet etmektedir:

- Malzemelerin ve ürünlerin üretim ve müşteriye teslim için varolmasını sağlamak.
- Stoğu ve dolaylı olarak envanteri olası en alt düzeyde tutmak.
- Îmalat faaliyetlerini, teslim çizelgesini ve satınalma faaliyetlerini plânlamak.

### 2.3.1.1 MRP'nin elemanları




**Şekil 2.7 :** MRP sistemi (Gaither, 1992)

Şekil 2.7 MRP sisteminin işleyişini göstermektedir. Ana üretim çizelgesi tüm MRP sistemini yönlendirir ve girdi verisi olarak kabul edilir. Bu çizelge plânlama

dönemleri ve ürün tiplerine göre üretim miktarlarını gösterir. Ürünler, satın alınan parçalardan, alt montaj parçalarından ve hammaddelerden oluşmaktadır. Stok durum dosyası ve ürün ağacı dosyası, ana üretim çizelgesinde yer alan ürünlerle ilgili ek bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler MRP programına girilir ve çıktılar oluşturulur. Stok işlemleri MRP faaliyetlerinden elde edilir ve veriler, stok kayıtlarının güncel tutulabilmesi için stok durum dosyasına geri gönderilir. Plânlanan emir çizelgesi ve plânlanan emirlerde değişiklikler MRP'nin birincil çıktılarıdır. İstisna olarak performans ve plânlama raporları, yönetimin kullanması için üretilir.

Değişken talep koşullarına sahip şirketlerde, etkili bir MRP yaklaşımı, istenen düzeyde etkin ve ekonomik çalışmalar elde etmek için uygulanmalıdır. MRP kullanımı sâyesinde; stok düzeylerinde düşüş, müşterilerle daha iyi ilişkiler, zamanında teslimler, ana üretim çizelgesinde yeniden düzenleme şansı, sipâriş mâliyetlerinde düşüş ve kullanılmayan kapasitenin düşüşü olanaklı hâle gelmektedir.

#### 2.3.1.2 MRP'nin tarihsel gelişimi

Bağımlı talep yapısına dayalı olan sipâriş verme sistemlerinde, sipârişin zamanı ve miktarı MRP sistemine göre belirlenmektedir. Sipâriş verme işlemi, talep tahminlerine veya doğrudan kesinleşmiş müşteri sipârişlerine göre yapılmaktadır. Burada uygulanan MRP sistemleri, 1960'lı yıllardan sonra geliştirilmiş, Toyota'nın JIT (Tam Zamanında Üretim) kavramını yaygınlaştırmasıyla ayrı bir önem taşımaya başlamış ve firmaların uygulama ve ilgi alanına girmiştir (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Toplu Gereksinim Plânlaması, bağımlı talep yapısına göre uygulanan sipâriş verme sistemlerinin ilk aşamasıdır ve üretimin varolduğu günden beri özellikle sipâriş üzerine çalışan firmaların uyguladıkları bir sistemdir. Bu sistemde, gerekli olan malzeme ve parça miktarları hesaplanıp üretim programıyla belirtilen tarihten geriye doğru giderek sipâriş verilme zamanları hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım Gantt şemaları ile üretim plânlama ve kontrol, proje plânlama teknikleri (CPM ve PERT), denge çizgisi (line of balance) teknikleriyle çeşitli uygulama aşamalarından geçip üretim-stok yönetimi yazılım sistemi olarak MRP noktasına ulaşmıştır. Bu sâyede bilgisayarların gücünden faydalanarak, binlerce parça içeren karmaşık ürünleri tam zamanında ve düşük stok düzeyleri ile üretmek olanaklı hâle gelmiştir.

Klasik stok kontrol modelleriyle yürütülen malzeme gereksinimlerinin karşılanması problemi 1960'lı yıllara kadar uygulanmış, sonrasında ürün ağacı işlemcilerinin

geliştirilmesi ile MRP'ye geçilmiştir. Programlarda, alt montajlar, bileşenler ve malzemeler arasındaki bağlantı düzenlenmiştir. Ancak MRP kapasiteye duyarsızdı. Bu nedenle, sipâriş plânları hazırlandıktan sonra üretim kapasitesinin yetip yetmediğini kontrol eden kapalı döngülü MRP geliştirildi. 1970'li yıllarda MRP II geliştirildi ve üretim programı, finansal ve diğer kaynaklara etkilerin sonuçlarını da analiz edilmeye başlandı. 1980'lerde çok sayıda MRP II yazılım paketleri sunuldu. APICS (American Production and Inventory Control Society: Amerikan Üretim ve Envanter Kontrolü Derneği) MRP II'nin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynamıştır ve MRP II endüstrisinde ortak bir dil ile yazılım geliştirilmesi için standartlarını belirlemiştir.

1990'larda farklı ülke ve bölge kurulları, farklı üretim tipleri, farklı para birimleri, farklı diller kullanan çok tesisli şirketler yaygınlaştı ve onların üretim kaynaklarını işbirliği içinde plânlaması kontrol etmesi için ERP yazılım sistemleri geliştirildi. 2000'li yıllara gelindiğinde ise SCM geliştirilmiş ve son kullanıcıdan ilk tedârikçiye kadar olan tedârik zincirinin tüm noktalarına bakmak ve ona göre plânlama yapmak olanaklı duruma geldi.

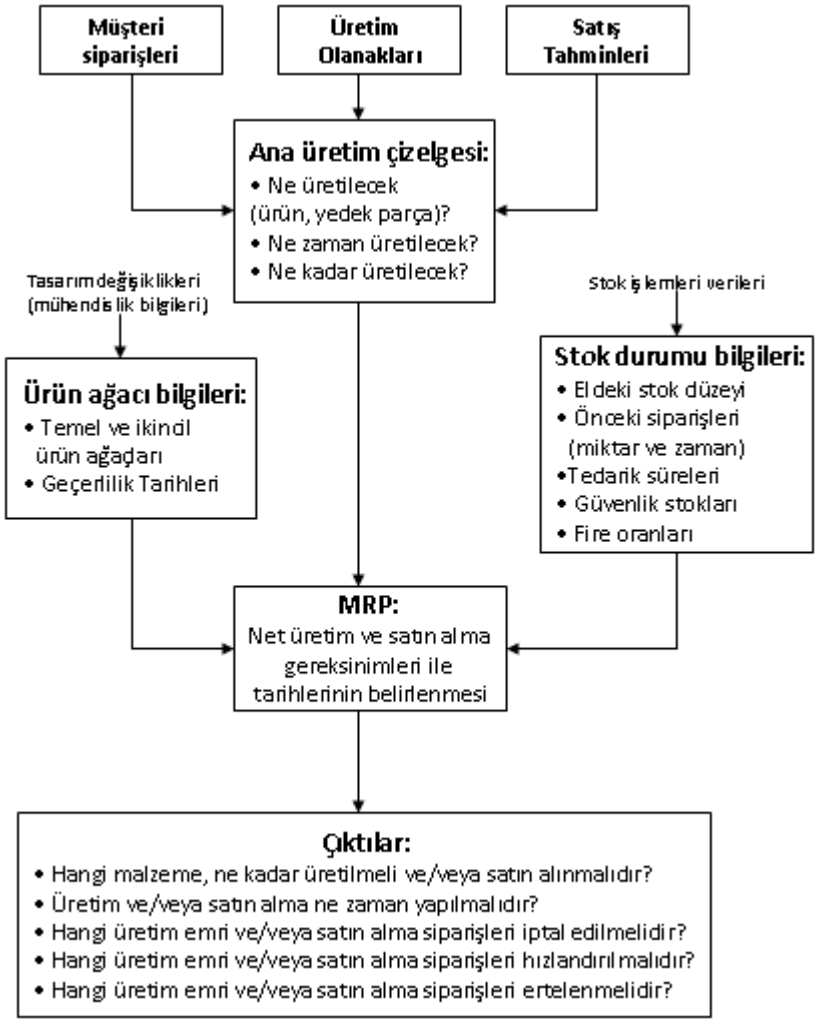
#### 2.3.1.3 MRP'nin amaçları

MRP sistemi, stok yönetiminin satınalma ve üretim faaliyetlerindeki gereksinimleri hesaplamaktadır. Sipârişlerin belirli tarihte belirli miktarda yapılması, üretimde iş emrinin verilmesi bu hesaplamalara bağlı olmaktadır. MRP'nin ana amacı, stok çalışmalarının doğru gerçekleştirilmesi için bilgi üretilmesidir. Bu nedenle tüm malzemelerin net gereksinimlerini ve gereksinim zamanlarını saptamaktadır. Brüt gereksinimler, stok miktarları veya sipâriş verilmiş miktarlar düşürülerek net gereksinim miktarları elde edilmektedir. Daha sonra net gereksinimler, plânlanan sipârişler ile karşılanır. MRP sisteminin saptadığı plânlanan sipâriş aynen veya uygun parti büyüklüğüne getirilerek verilir. Sipârişin zamanlamasını MRP sistemi gerçekleştirir. Ayrıca net gereksinimlerde değişiklik olduğunda, MRP sistemi gerekli düzeltmeleri yapar ve sipârişlerin yeniden çizelgelenmesi için gerekli önlemleri alır. MRP sisteminin ana amaçları aşağıda özetlenmiştir:

- Stokları plânlama ve denetleme: Plânlanan üretimi ve teslimi gerçekleştirebilmek için malzemeleri zamanında temin etmek.

- Malzemelerin istenilen zamanda fabrikada olmasını sağlayarak sistemde olabildiğince en az stoğu bulundurmak.
- Üretim, dağıtım ve satınalma faaliyetlerini plânlamak: tüm parçaların temin etme (satınalma veya üretim) plânlarını geliştirmek, gerekli düzeltmelerini yapmak, parçanın bulunabilirliği ve teslim tarihleri hakkında en güncel bilgilere göre çizelgeleme ve kontrol işlevleri için öncelikleri saptamak.

Şekil 2.7'ye ek olarak MRP sisteminin girdileri ve çıktıları arasındaki ilişkiler Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Burada girdiler ve çıktılar daha ayrıntılı açıklanmıştır.




**Şekil 2.8 :** MRP'de girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler (Tanyaş ve Baskak, 2006)

### 2.3.2 JIT ve Kanban

APICS (American Production and Inventory Control Society) JIT'i tüm israfların engellenmesine ve verimlilik için sürekli iyileşme stratejisine dayanan bir felsefe olarak tanımlamıştır.

JIT (Just-in-Time) Toyota'nın mühendisi olan Taïchi Ohno tarafından geliştirilmiştir. Toyota'nın şimdiki üretim sistemi onun israfları engelleme görüşlerinden yararlanmaktadır. Bu anlayışa göre, "eğer bir şeye şu anda ihtiyacınız yoksa yapmayın" denir. JIT kavramına katkıları önemlidir: hızlı alet değişimi (SMED), hata karşıtı sistem (Poka-Yoke), Kanban yöntemi vb.

JIT'in ilkesi, müşteriye istediği anda, istediği sayıda ürünü, istediği yere kalite standartları ve sabit mâliyetler içinde sağlamaktır. Üretimin tümü müşterinin (iç veya dış müşteri) talebine uygun olmalıdır. Bu ilke, şirketleri 'hızlı satmak için hızlı yapmaya' yönlendirmiştir çünkü müşteri talepleri gittikçe değişken olmakta ve teslim süreleri gittikçe kısalmaktadır. Talep alındığı andan itibaren, üretime koyma veya montaj gerçekleşmelidir.

JIT kavramı istenen ürünü, istenen zamanda, istenen miktarda elde etmeyi hedeflemektedir. Amaç stok problemini çözmektir. İlkel bir çözüm, her şeyi her zaman her miktarda bulundurmaktır ama ekonomik boyutları ve mâliyet problemini düşününce bu olanaksızdır. Ayrıca ekonomik sistemin büyük istikrârsızlığı, hiç bir zaman önceden birikim yapmamaya yönlendirir. O hâlde JIT ilkelerinin gerçekleşmesi ve sürekliliği üç temele dayanır: iyi bir stok yönetimi, iyi bir mâliyet yönetimi ve sürekli iyileşme politikası.

JIT'in üstün yanları aşağıdakiler olabilir:

- Düşük stoklar
- Yüksek esneklik
- Kısa hazırlık süreleri
- Kısa üretim süreleri
- Kısa taşıma süreleri
- Kısa arıza süreleri
- Yüksek verimlilik
- Daha az alan gereksinimi
- Yüksek kalite
- Düşük mâliyetler

### 2.3.2.1 Kanban Yöntemi

Japonca olan Kanban, etiket, sinyal veya bilet demektir. Yöntem JIT'le son derece bağlantılıdır çünkü Toyota'nın üretim zincirlerinde iş sıralama aracı olarak ve üretim önceliklerinin tanımlanmasında denenmiştir. JIT organizasyonun temel aracıdır. İlk Kanban düşüncelerinin 1950'li yıllara denk geldiği yöntem, üretim yönetiminin görsel ve manuel şeklidir. Kanban'da akışın gerekliliği, atölyede üretilecek miktarı akışın gelişine göre tetiklemektedir.

Kanban yönteminin temel amaçları şunlardır:

- Üretimi akışa göre çağırmak, yâni iç veya dış müşterinin gerçek tüketimine göre üretmek,
- Önceliklerin kurulmasını, gerçek tüketime doğrudan bağlayarak kolaylaştırmak,
- Yürütme düzeyinde üretim emirlerinin kesin iş sıralarını getirmek,
- Üretim akışını sürekli olarak görülebilir yapmak.

Bu yöntem, üretim akışlarının ve dış koşulların kontrolüne ve işbirliğine aracı olur. Aşağıdaki işlevleri gerçekleştirir:

- Kanbanlar üretim emirlerinin içeriğini verir: Ne, ne kadar, ne zaman üretilmeli, parçalar nereden alınmalı?
- Atölyelerde dolaşan parçaların hacmi, Kanban sayısı ile kontrol edilir.
- Üretim tâlimatını basitleştirerek, Kanban talep değişikliklerine yanıt vermede büyük esneklik elde etmeyi sağlar.
- İletilen Kanban sayısı, görevin geliştirilmesi için kontrol edilir, sorunları saptayıp çözmede yardımcı olur.

Kanban yöntemi, büyük, orta ve küçük çaplı üretim yapan tüm endüstri alanlarında uygulanabilir. Albert Deloin şirketi 1989'da ortaya çıkışından beri, birçok ve çeşitli sektörlerde aracılık etmiştir:

- Ağır endüstri (çelik, döküm, hadde, tel çekme vb.)
- Plastik (enjeksiyon, kalıptan çekme vb.)
- Taşıma (demiryolu, havayolu, otomobil, ağır yükler, bisiklet vb.)
- Ev ve bina donanımı (güvenlik, çilingirlik, mobilya, kapı vb.)

- Elektrik ve elektronik (kablo, elektrikli ev eşyası, elektronik makine vb.)
- Tekstil (dokuma, örme, konfeksiyon vb.)
- Hastane ve medikal (tedârik, ilaç ve madde akışı yönetimi vb.)
- Büro malzemeleri, hırdavat vb.

#### 2.3.2.2 Kanban döngüsü

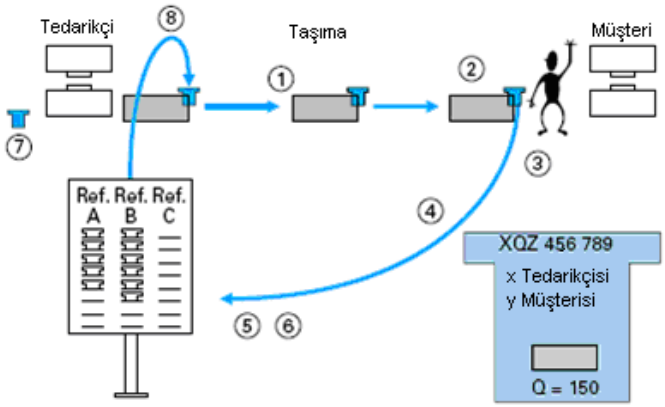
JIT'in amaçlarından biri, fabrikadaki tüm operasyonları basitleştirmek ve bir kişi veya sorumlu küçük bir ekip tarafından yönetilebilecek operasyonlara bölmektir. Kanban iki iş postası veya iki iş ünitesi arasındaki bilgilerin ve ürünlerin dolaşımını kolaylaştırmaya yarayan bir araçtır. Oysa klasik üretim yönetim sistemleri, üretim aşamalarını daha doğrusal ve sürekli görür. Ancak Kanban üretim akışını birbirine bağlı döngüler şeklinde görür. Kanban yöntemi iş postaları arasında, kolayca kontrol edilebilir ve özellikle sonraki iş postasının talebindeki değişimlere karşı esnek olan, basit bir değiş-tokuş kurmayı hedefler.

#### 2.3.2.3 Bir Kanban güzergâhı

Bir Kanban üretme emri veren veya bir parçayı gösteren bir fiştir. Tam bir çevrimde Kanban'ın dolaşımı Şekil 2.9'daki gibidir.

1. İlk başta, Kanban müşteri postasında beklemededir. Tedârikçiden gelen ürünün bulunduğu dolu bir konteynere bağlıdır. Konteyner, Kanban'ı ile birlikte tüketilmeyi beklemektedir.
2. Müşteri postasındaki operatör, konteyneri alır çünkü üretimini gerçekleştirmek için parçalara gereksinimi vardır.
3. Müşteri postasındaki Kanban operatör tarafından konteynerden alınır.
4. Kanban o hâlde tedârikçi postasına gelir. (Müşteri postasındaki operatör veya başka bir dönüş mekanizması getirir.)
5. Gelişinde, Kanban bir plânlama tablosunda tanımladığı ürünün sütununa (tedârikçi postasında) bırakılır.
6. Eğer beklemede bir tek o varsa, Kanban diğer etiketlerin dönüşünü bekleyebilir.
7. Küçük ürün partisini başlatmak için yeterince etiket varsa, Kanban plânlamadan çıkar ve bir iş emrine dönüşür.

8. Ürünün konteynerine bağlanır ve müşteri postasındaki operatörün stoğuna taşınır. Ve bu çevrim yeniden başlar.




**Şekil 2.9 :** Kanban'ın dolaşımı

### 2.3.2.4 Kanban yardımıyla iş sıralama

Birçok ürün arasında iş sıralamasını veya üretim önceliklerini oluşturmak için, her iş postası kendi öncelik sistemine sahip olmalıdır. Bu sistem aşağıdaki şekilde çalışan bir plânlamadan üretilir:

- Her ürün için, iş postasının sorumlu olduğu bir sütun vardır.
- Her bir ürün için, dolaşacak Kanban sayısı önceden belirlenir.

Bu sayıyı sabitlemek için, sezgisel yaklaşılabilir: 'Müşterinin alışıldık ürün tüketim hızı ve benim onu tedârik etme hızımız dikkate alındığında onun iş postasına yakın ne kadar stok bırakmalıyız? Üretilecek en küçük parti büyüklüğü ne olmalıdır?' sorularına yanıt aranır.

Sezgisel yöntem matematiksel yöntem kadar geçerli olabilmektedir. Eğer operatör müşteri merkezli ise ve üretim yöntemlerine hakim ise, üretimini ne zaman ne kadar hacimde başlatacağını bilir. Dolaşacak Kanban sayısı ise (2.1) ifâdesi yardımıyla hesaplanabilir. En az eşik denklemi ise bir çarpım formülü şeklinde (2.2)'de verilmiştir.

**Kanban Sayısı** = En Az Eşik + Üretim Partisi **(2.1)**

**En Az Eşik** = Tepki Süresi * Ortalama Tüketim **(2.2)**

Eğer Kanban tepki sürelerini etkileyen etmenlerden (ayarlama zamanı, kalite, tedârik vb.) uzak tutulursa, üretim partisi başta klasik ekonomik partiye eşit olur. Bu arada

üretimde yaşanan sorunlar olursa, parti büyüklüğü azaltılıp, en az eşik ile Kanban sayısı düşürülebilir. Dolaşacak olan Kanban sayısı belirlendikten sonra, stokları izleme olanağı vardır çünkü Kanban'lar salt üç yerde olabilir: Üretim akışındaki iş postasının konteynerinde, iş postasından dönerken ve üretici postada.

Plânlama yardımıyla öncelikleri seçmek için, bir alarm eşiği (*kırmızı indeks*) yâni en üst kritik eşiği (dolaşan en yüksek Kanban sayısı) üretim yapmayı zorunlu kılar. Bu 'müşterinin korunması'dır. Bu eşik, ürünlerin müşteriye gecikmesi anlamına gelir. Kanban plânlaması ise, eşik, klasik kumanda noktasına benzemektedir. Burada tabloda bulunan Kanban sayısı ile müşteri postasındaki stok bilinir, doğrudan stoklar gözlemlenmez. Aslında dolaşan Kanban sayısı düzenlendiği gibi salt plânlama tablosundaki Kanban'ların birikimi incelenerek, iş postasında kalan stok tahmin edilebilir.

Tam tersine, başlatmak için de bir en az eşik (dolaşan en az Kanban sayısı) olmalıdır ki buna 'tedârikçinin koruması' (*yeşil indeks*) denir. Bu indeks bir partinin üretimini başlatma kararını verdirecek eşiktir. Yeşil ve kırmızı indeksin varlığı öncelikleri tanımlama görevini daha esnek duruma getirir. Böylece kendi üretimine ve müşterisinin tüketimine bağlı olarak, küçük partileri daha önce başlatma (yeşil indeks) kararı alınır ve müşteri için rahat bir düzey sağlanır veya daha geç başlatma (kırmızı indeks) kararı alınır ve üretim akışındaki gerilim zorlanır. İkinci strateji bâzı koşullarda zorunlu duruma gelebilir. Bâzen de sistemi denemek ve gizli kalmış sorunları (kalite, tedârik, vs.) görebilmek için istenerek seçilebilir.

Birçok tamamlayıcı kural, iş postasına veya atölyeye öncelik şeklini yönetmesini sağlar. Örneğin plânlama tablosunda ve üretimde, üretim başlangıçlarını ürün ailelerine göre gruplamak, personelin işini kolaylaştırır ve yola koyma zamanını iyileştirir. Bir diğer örnek, fabrika düzeyinde ürünlerin önemini önceden belirleyerek iş postalarında üretim öncelikleri desteklenebilir.

#### 2.3.2.5 Kanban'ın gerçekleşmesi

Kanban fişi, konteynere ilişkin miktar için bir operasyona bağlı bir üretim emrini gösterir. Gereksinimleri doğrultusunda şirket, fiş üstünde az çok büyük sayıda bilginin tutulmasına karar verir. Salt tanımlama bilgileri üretim için zorunludur. Yapım yeri bilgileri, şirketin birbirine uzak çeşitli fabrikaları var ise gereklidir. Eğer Kanban sistemi iki fişe göre düzenlenmişse (1 fiş üretim, 1 fiş yapım yeri için),

yapım yeri bilgileri ikinci fişe yazılır. Yönetim bilgileri, üretim akışının kontrolünü kolaylaştırmak için gereklidir. Teknik bilgiler ise, klasik teknik fişlerdeki role sahiptir.

Fişlerin bilgisayar sistemiyle yönetimi, referans sayısı yüksekse doğrulanabilir. Bu durumda kayıpları ve hataları önlemek için Kanban'ların çok dikkatli bir kontrolü yapılmalıdır. Bilgisayar sistemi bu durumda, Kanban fişlerini değiştirmek, güncellemek ve çıkarılan Kanban'ların bir kopyasını tutmak için kullanılır.

Barkodlar veya basit olarak bir konteyner veya bir alan, boşaldığında yeniden üretime başlama mesajı gönderir ve Kanban fişinin yerine kullanılabilir.

#### 2.3.2.6 Kanban ve orta vâdeli yönetim

Kanban daha önce de sözedildiği gibi iş sıralamasını ve öncelik tanımlamayı kolaylaştırmaya çalışır. Üretim akışını iyileştiren ve daha esnek kılan bir araçtır. Ancak Kanban fabrikanın kapasitesini yönetmez. Dolayısıyla başka plânlama sistemleri bu konuyla ilgilenir. Aynı şekilde tedâriklerin genel yönetimi salt Kanban ile yönetilemez. Tedârikçi ile işleyiş kuralları (ortalama hacim, teslim sistemi vb.) hazırlandıktan sonra Kanban yerleştirilebilir ve bu sâyede küçük partilerle teslim etme ve tüketimi daha iyi izleme sağlanır. Ama örneğin Kanban ile bildirerek temel tedârikçinin talebi arttırılamaz, bunun için başka sistemler kullanılmalıdır.

#### 2.3.2.7 Kanban yönteminin hesaplama parametreleri

- **Günlük Ortalama Tüketim (GOT):** Müşteri-tedârikçi ilişkisini ürün tarafından düzenler ve şirketin faaliyet döneminde tanımlıdır.
- **Taahhüt Limiti (TL):** Tedârikçinin başlatma serisidir. Miktarı sabittir. GOT'nin güne çevrilmesinden sonra Kanban sayısının hesabında kullanılır.
- **Tedârikçi Tarafından Ayrılan Zaman (AZ):** Programlamak, üretmek ve müşteriye (atölye veya dükkan) teslim etmek için gerekli olan süredir.
- **En Az Stok (MS):** Müşteriler tarafından değişikliklere karşı istenen güvenlik stoğudur.
- **Kanban Değeri (KD):** Kanban etiketini gösteren miktardır.

### 2.3.2.8 Her müşteri/tedârikçi ilişkisi için hesap formülü

Ürün ile hesaplanan bir formülle her müşteri/tedârikçi ilişkisi hesaplanır. Her parça için kendi içindeki müşteri/tedârikçi ilişkisi, Kanban yöntemi parametrelerine göre şu iki şekilde hesaplanır:

TL (Taahhüt Limiti) olarak Kanban sayısı (2.3):

$$\frac{TL_miktari}{KD} = TL_olarak_Kanban \quad \text{(üst sayıya yuvarlanır)} \tag{2.3}$$

Toplam Kanban sayısı (2.4):

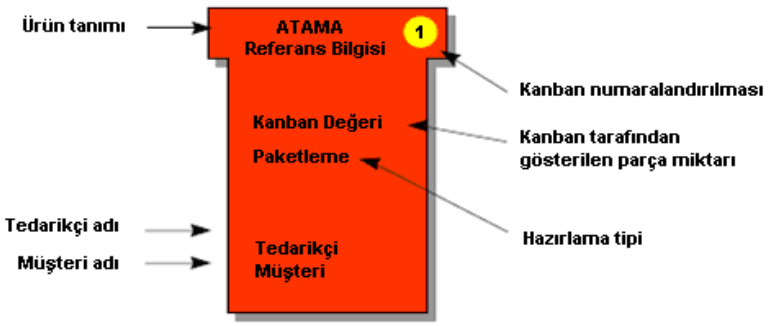
$$\left[\frac{(TL + AZ + MS)_{gun}\, xGOT_{miktar}}{KD_{miktar}}\right] - 1 = Toplam_Kanban_sayisi \quad \text{(yarım birime göre yuvarlanır)} \tag{2.4}$$

Atölyelerde dolaşan parçaların miktarı, Kanban sayısı ile kontrol edilir. Düzenli bir akışa göre Kanban parametrelerinin kullanımı, Ortalama Stoğun belirlenmesini sağlar (2.5):

$$Ortalama_Stok = \left(\frac{TL}{2} + MS\right) \tag{2.5}$$

### 2.3.2.9 Kanban etiketi

Kanban, müşteri (akış yönü) ve tedârikçisi (akış yönünün tersi) arasında ikili taahhütleri gerçekleştirir. Her mal partisine bağlı etiket olan Kanban'ın tedârikçiye dönmesi bir üretim emrinin gereksinimi anlamına gelir. Şekil 2.10'da örnek bir Kanban etiketi gösterilmektedir.




**Şekil 2.10 :** Kanban etiketi

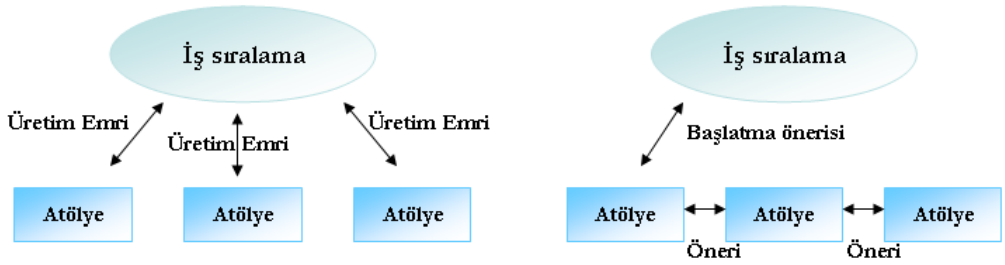
Kanban görsel yönetimin temel taşıyıcılarından biridir. Şekli, rengi ve plânlamalardaki yerleşmesi, ürünlerin ve işleyişin durumu hakkında yarı ayrıntılı bilgiler vermektedir:

- Stoktaki ürün
- Tüketilen ürün
- Başlayacak üretim
- Yürütülmekte olan üretim
- Varolan malzeme

### 2.3.3 MRP ve Kanban arasındaki farklar

MRP bir itme üretim sistemidir ve plân (çizelge) temelli bir sisteme dayanır. Şirket ürünleri için gelecek taleplerin çok dönemli ana üretim çizelgesi hazırlanır ve bileşenler için ayrıntılı plânlar oluşturulur. Üretim çalışanlarını gerekli parçaları yapmaya yönlendiren ve parçaları dışarı ve ileri iten plândır. İş sıralama hazırdır ve üretim emirleri talep tahminleri ile hazırlanıp atölyelere dağıtılmıştır (Şekil 2.11 (soldaki kısım)).

İtme sisteminde veya MRP'de, sistem yönetimi çekme sistemindekine göre daha iyi yapılır. Ama MRP, parçaların üretim süreleri müşterilerin yapacağı talep tahminlerine göre plânlandığı için zayıf kalır. Sistem her gün düzeltmeler yapmaya izin verir, buna atölye kontrolü denir. Bununla birlikte bâzı parçaların kötü tahminleri stoğun artan kısmında yer alır ki bu, çekme sisteminin toplam stoğundan fazla değildir. Toyota'nın çekme sistemi olan Kanban'da veya akışa göre organizasyonda, müşteri talebini yapar ve başlatma önerileri atölyelere dağıtılır (Şekil 2.11 (sağdaki kısım)). Kanban tahmin yapmadan gerekli olduğu zaman parçaları sağlar ve kötü tahminler nedeniyle stoğun artan kısmı oluşmaz. Ama Kanban'ın önemli bir sınırlaması vardır. Kanban genelde JIT sistemi içerisinde düzgün çalışır ve ancak JIT'te hazırlık süreleri ile parti büyüklüklerinin azaltılması özelliği işlemektedir. Bir JIT programı Kanban alt sistemi olmadan başarılı olur fakat Kanban, JIT'ten bağımsız düşünülemez.




**Şekil 2.11 :** Klasik MRP (sol) ve Kanban (sağ) organizasyonu

Çekme sisteminin iki özelliği vardır:

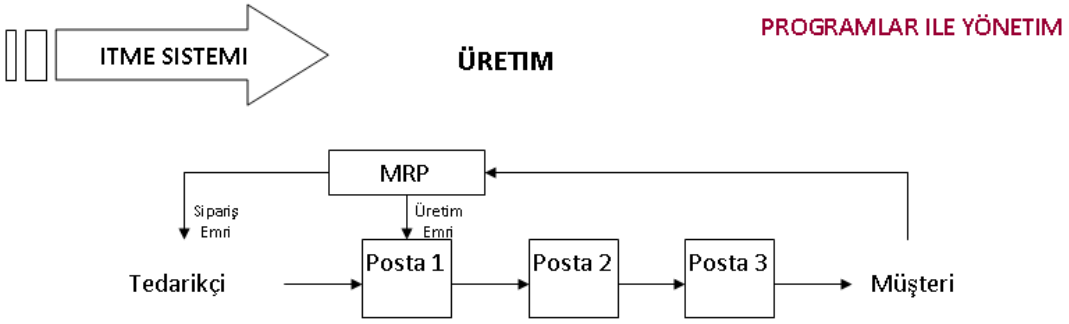
- Çekme sisteminde, müşteri tarafından talep edilen veya tüketilen parçaların üretimi gerçekleşir.
- Çekme sisteminde malzeme kontrolü, kullanılan operasyon tarafından talep edilen stokların çekilmesidir. Akıştaki kullanıcı tarafından bir sinyal gelmedikçe malzemenin üretimi başlatılmaz.

Çekme sisteminde, müşteri üretimi ve malzemenin çekilmesini tetikler. Çekme üretim dış müşteri veya her operasyonun iç müşterisi tarafından başlatılır ve üretim süreçlerinde geriye doğru tetiklenmeyi sürdürür. Bu yaklaşım üretimde "*pazar-içi*" olarak adlandırılır.

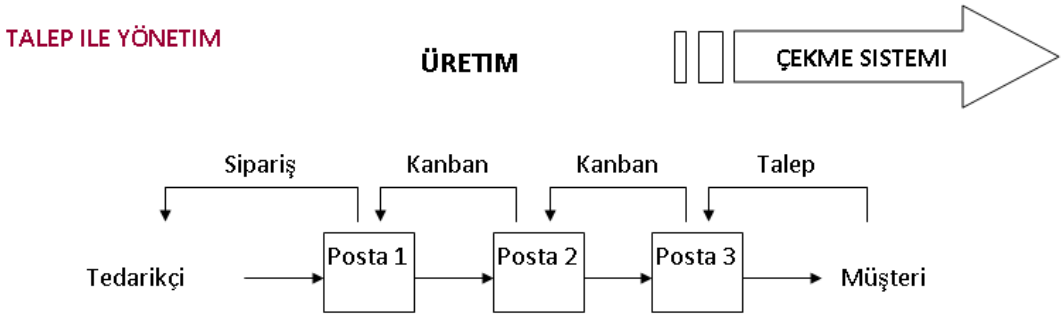
Çekme üretim, birçok geleneksel itme üretim sistemlerinin aksine, israfı engeller. Malzeme uygun olduğu zaman, gerideki işlemden bir sonraki işleme geçilir. İtme sisteminde, hammaddenin varolması, üretime başlamayı sağlar ve malzemenin elde edilmesi müşterilerinin talebinin tahminine dayanır. Burada üretim "*ürün-dışı*" bir felsefedir ve fazla üretim ve/veya teslim gecikmeleri olarak sonuçlanır. Gecikmeleri engellemek için stok ve kritik süreçlerin birleşimi depolarda oluşturulur. Tıkanıklıklar üretim sürecinde gerçekleşince sonraki süreçler ilerleyemez ve üretim baskısı ile gerideki süreçlerde pazarın talebinden fazla üretim yapılır.

Sonuç olarak, itme sisteminde uygulama etkinliği ve problemleri tanımlama kolaylığı bir iyileşme gerektirir. Çekme üretim bireysel işleri daha tatmin edici yapabilir çünkü çalışanlar müşterilerin talebine uygun çalışır, daha çok yetkinlik kazanır ve iş plânını iyileştirme yetkisine sahip olur. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 itme ve çekme sisteminin çalışma şeklini göstermektedir. Şekil 2.12'de görüldüğü gibi itme sisteminde müşteri talepleri sistemi geriye doğru tetikler ve programlama yapıldıktan sonra üretim ile

sipâriş emirleri dağıtılır. Şekil 2.13'te çekme sisteminde ise, talep geldiği anda sistem elemanları sırasıyla tetiklenir ve üretim ile tedârik başlar.




**Şekil 2.12 :** İtme sistemi




**Şekil 2.13 :** Çekme sistemi

Bu iki sistem arasındaki farklar şu şekilde özetlenebilir. MRP sistemi, beklenen talebe karşılık üretim yaparken, JIT talep gerçekleşmeden üretim yapmaz. MRP sistemi üretim süreçlerini görmek ve kontrol etmek için genelde karmaşık merkezî bir bilgisayar tabanlı yönetime sahiptir. Ancak JIT'te üretim aşamaları arasında tetikleme, fişler veya boş kareler ile olur ve bu basit, görsel ve şeffaf kontrol ile sonuçlanır. Geleneksel MRP sisteminde makinalar çalıştırılır ve işçiler hep meşgul tutulmaya çalışılır çünkü çalışmaz ise israf olarak değerlendirilir. Ancak JIT'te bir makinayı veya insanı boş bırakmamak için olarak çalıştırmak esas israftır. JIT'e göre sonraki işlemden talep gelmezse üretim yapılmaz. Boş bekleyen işçiler, makina kullanma yeteneklerini geliştirmek üzere meşgul tutulmaya çalışılır. Son olarak MRP çok kaynaklı çalışmayı yeğler ancak JIT tek kaynakla çalışmayı yeğler. Bunun nedeni, kalitenin tedârikçi seçimiyle ilgili olduğuna inanılmasıdır.

# 3. ÜRETİM YÖNETİMİ

Üretim sistemleri genellikle sayısı, yapısı ve karşıt durumlarda bulununca çelişkisinden dolayı anlaşılması zor etkileşimleri olan elemanlardan oluşmuş karmaşık sistemlerdir. Bu nedenle bu sistemler yönetilmeli, beklenmedik olaylara ve kesintilere rağmen amaca ulaşmayı hedefleyecek yönergeler ile onlara pilotluk yapılmalıdır. Yönergelerin tamamlanması yâni pilotaj, otomatikleştirilebilecek uygun sayısal yöntemlerle ele alınmalıdır. Çok sayıda etkileşim ve karmaşıklık nedeniyle birçok çözüm arasından en uygununa karar verebilmesi için ise bir insana, uzmana gereksinim duyar. Genelde üretim sistemleri optimal olarak çalışmaz ve birçok bilimsel alan kendi yöntemleri ile bu probleme eğilmiştir. Modeller ve yöntemler, pilota karar verme sırasında yardım edecek tam bir otomatikleşmeyi aramaktadır (Pujo, 2009). Bu alanlar arasında robotik, yöneylem araştırması, yapay zekâ vb. sayılabilir.

## 3.1 Üretim Yönetim Sistemlerinin Gelişimi

### 3.1.1 Pilotaj tanımı

Pilotaj sözcüğü temelde götürme, ulaştırma, rehberlik etme, navigasyon olarak tanımlanır ama zorluklar, kesintiler ve tepkiler ile birlikte yönetme kavramını da eklememiz gerekir.

Pilotluk yapma kavramı ilk olarak 1483'de gemiye yüklemeleri yönetmek için kullanılmıştır. 1611'de pilotaj sözcüğü, limanda gemiyi yönlendirme hareketi veya sanatı olarak tanımlanmıştır. Havacılığın gelişmesiyle, uçağın yönetilmesi hâline gelmiştir. Son olarak 1960'lı yıllara gelindiğinde, bu kavram bilimsel alanlarda yönetimin ve sistem kuramının kontrolü için kullanılmaya başlanmış ve işletmeyi yönetme tanımını almıştır (Pujo, 2009).

İşletme açısından, üretim yönetiminin esas görevleri, îmalat işlerinin dağıtılması ve başlatılmasıdır. Bir işletmenin pilotajı, dolayısıyla üretim sisteminin pilotajı, iyi tanımlanmış bir amaca ilişkin gerekli kararları almak demektir.

Endüstriyel rekabetin artışı ve son gelişmeler, bu sistemlerin birçok olası olaya karşın sürekli bir performans geliştirme arayışı içinde yönetilmesini gerektirmektedir. Yerine getirilmesi gerekenlerin karmaşıklığı ve çakışan durumlar nedeniyle karar alma problemi tek ve optimal çözümlü olamamaktadır. Bunun yerine, birçok ölçütü gözönünde bulundurarak en az kötü olan çözümü bulmaya çalışmaktadır. Karar almaya yardımcı olacak yöntemler ve araçlar kullanılmaktadır ancak rasyonel yöntemler kısıtlı çözüm önerir. Bu nedenle karar alırken, operatörün sezgileri ve öznellik çoğu kez devreye girmektedir.

Bir işletmede karar alması gereken farklı düzeyler bulunur. Çizelge 3.1'de ayrıntılı olarak kıyaslanan bu karar düzeyleri aşağıdaki gibidir:

1. **Stratejik:** Stratejik kararlar, uzun vâdede (5 yıldan fazla) işletmeyi yönetmek üzere alınırlar. Bu kararlar hiyerarşik kademenin en üst düzeyi yâni ya Genel Yönetim ya da Devlet tarafından alınır. Bu kararlar tektir ve nâdiren alınır.
2. **Taktik:** Taktik kararlar, orta vâdede işletmeyi (2-5 yıl) yönetmek üzere üst kadro tarafından alınırlar. Seyrek alınır ve tahmin edilebilir sayılmazlar.
3. **Operasyonel:** Operasyonel kararlar kısa vâdede (2 yıldan az) işletmeyi yönetmek için uygulayanlar tarafından alınırlar. Sıklıkla alınırlar ve önceden tahmin edilebilirler.

**Çizelge 3.1 :** Karar tipleri

| Özellikler | Stratejik | Taktik | Operasyonel |
|---|---|---|---|
| **Karar alanı** | Çevreyle ilişkiler | Kaynakların yönetimi | Dönüşüm sürecinde kaynakların kullanımı |
| **Zaman dilimi** | Uzun vâde | Orta vâde | Kısa vâde |
| **Kararın etkisi** | Uzun ömürlü | Kısa | Çok kısa |
| **Kararın geri dönüş şansı** | Yok | Zayıf | Kuvvetli |
| **Karar prosedürü** | Programlanamaz | Yarı programlanabilir | Programlanabilir |
| **Karar alma düzeyi** | Genel yönetim | İşlevsel yönetimler | Hizmet/atölye şefleri |
| **Bilgilerin yapısı** | Belirsiz ve dış kaynaklı | Nerdeyse eksiksiz ve iç kaynaklı | Eksiksiz ve iç kaynaklı |

İşletmede tüm sorumluluk düzeyleri karar almada rol oynamaktadır. Hiyerarşinin en tepesinde pilotaj stratejik veya taktiktir, zaman ufkunun üretim sistemine uzun veya orta etkileri olur. Ekonomik hedefler kâr, pazardaki yer, verimlilik, finans, yenileşim

(inovasyon) olabilir. Alt düzeylerde ise, pilotaj operasyoneldir ve kısa vâdelerde net bir şekilde tamamlanması gereken görevleri tanımlar.

Son olarak, üretim sistemine pilotluk yapmanın birkaç bilim adamı tarafından tanımları şu şekilde olmuştur:

- "Bir sisteme pilotluk yapmak, en iyi yolu belirleyecek bir amaç seçmektir. Sistem başlatıldığı andan itibaren, o yola göre açıklarını düzeltmek gerekir. Daha sonra dış dünyaya ve ilk plânını koruyamayan bu sistemin davranışına göre bu yolu hattâ amacı değiştirmeye gidilmelidir." (Avenier, 1984)
- "Bu faaliyet grubu … doğrudan plânlanmış birçok emrin birçok ürüne uygulanmasından sorumludur. İşletmenin plânına göre öngörülmüş emirler başlatıldığı andan itibaren, ayrıntılı plânı, yürütülmesini ve üretim emirlerinin yürütülmesini kontrol edecek denetleme faaliyetlerini kısa vâdede yönetir." (APICS; Melnik ve Carter, 1987).
- "Fabrika kontrolü, işletmenin şimdiki ve geçmiş durumu ile pazar taleplerini kullanarak ürün üretmek üzere işletmeyi çalıştırmak olarak tanımlanır." (Baker, 1998).

### 3.1.2 Üretim yönetiminde geleneksel yaklaşımlar

Üretim sisteminin uygulandığı atölyede, pilotaj, kısa vâdeli ve gerçek zamanlı olarak görevleri belirler ve etkili ve verimli bir üretim sistemi elde etmeye çalışır. İşletmedeki tüm görevler için kimin neyi, ne zaman, nasıl, nerede, neden yapacağı tanımlı olmalıdır. Kısaca neyin, nerede ve ne zaman yapılacağı plânlanmalıdır. Bu plânlama işlemi çok ayrıntılıdır ve atölyenin çalışmasını önceden analiz eder. Beklenmedik olaylar, ilk plânı sekteye uğrattığı zaman, pilotun rolü, atölyenin performansını koruyarak anında çözüm üretmektir.

Genellikle işletmedeki sorumlular en büyük verimliliği arar. Çıkan ürünlerin mâliyetlere olan ekonomik değerinin en yüksek düzeyde olması istenir. Mâliyetlerin artması, optimizasyon yapılmasını gerektirir. Son zamanlarda verimliliğe daha karmaşık, hızlı ve kaliteli ürünler, üretimin esnekliği, kesintilere tepki performansı gibi yeni varsayımlar da dâhil olmaktadır.

Günümüzde üretimde pilotajın operasyonel kısmı, MES'ler (Manufacturing Execution System) ile gerçekleştirilmektedir. Böylece teknolojinin sağladığı

olanaklar ile ilgili kaynaklara görevlerin yeniden atanması kolaylaşmaktadır (Pujo *ve diğ.,* 2009a).

### 3.1.3 Ürün tarafından pilotaj

On yıldır, geleneksel üretim yönetimi yaklaşımı birkaç araştırma ekibi tarafından sorgulanmaktadır. Önceden plânlama yapmak, aksaklıklar olduğunda üretim kesildiği için zaten sorgulanmaktaydı ama artık plânlamanın işlevsel rolü ve pilotaj için etkileşimli parçaların katılması gibi sebeplerden de sorgulanmaktadır. Getirilen çözümler genelde ürüne rol veren heterarşik pilotaj yapısı olmuştur (Pujo ve Brun Picard, 2002; Trentesaux, 2007). Bu konuda Fransa'da Nancy ve Marseille'de farklı çalışmalar yapılmıştır. Chaxel *ve diğ.* (1999) ürüne verilebilecek rolü, kendi bilgi sistemine sahip göçebe varlık ve kendi karar verme yetisi bulunan bir nesne olarak göstermiştir. Charpentier *ve diğ.* (2001) heterarşide ürünler ve kaynaklar arasında bilgi akışının matrissel formunu önermiştir. Broissin (1999) uygun görevlerin üretilmesi ve bu görevleri yerine getiren donanımın dinamik ve gerçek zamanlı karar vermedeki rolü için, ürünün teknik olarak dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Pujo ve Brun Picard (2002) ise otomatik iş atamalarının ürün tarafından yönetilebileceğini veya mesleğe yönelik görevlerin yerel ve içeriksel olarak üretilmesini önermiştir.

Bir bilimsel topluluk, GDR MACS ('dinamik sistemleri modelleme, analiz ve yürütme' araştırma grubu) projesi kapsamında ürün tarafından kontrol edilen sistemlere yönelmiştir (Bajic ve Sallez, 2007). Bu topluluk, Wireless Sensors Network ve RFID (Radio Frequency Identification) gibi yeni iletişim teknolojilerinin sibernetiğini kullanan üretim yöntemi ve ürün arasındaki etkileşim ile ilgilenmektedir. Bu teknolojiler üretim sisteminde çevresiyle iletişimi, hesaplama ve değişkenleri akılda tutma, karar alabilme kapasitesi gibi özellikleri bakımından ürünü 'aktif' varsaymayı sağlar.

Bu araştırma projesi, bilimsel topluluğun ürün tarafından kontrole olan ilgisinden kaynaklanmaktadır (Morel *ve diğ.,* 2007). Birçok araştırmacı, bu sâyede üretim sistemlerinin pilotajında farklı açılardan performansların oldukça geliştirilebileceğini farketmiştir (McFarlane *ve diğ.,* 2002; Gouyon, 2004; Pétin *ve diğ.,* 2007; Panetto *ve diğ.,* 2007). Bu yol aynı zamanda bilimsel araştırmanın ulusal merkezi olan

CNRS'de üretimde uzmanlar komitesi tarafından da duyurulmuştur (Bourrières *ve diğ.,* 2007).

### 3.1.4 Birçok açıdan pilotaj

CNRS'deki üretim konusunda çalışan komite, farklı doğadaki birçok etkileşim içinde olabilen nesnelerin homojenik duruma getirilip etkileşim içinde çalışmalarını sağlamak gerektiğini vurgulamıştır ve holonik kavramını anımsatmıştır. Bu kavram ise salt HMS (Holonic Manufacturing System) alanıyla ve ürüne yönelik bir bakış açısıyla kısıtlı değildir.

Pujo *ve diğ.* (2009a) ürün tarafından kontrolün yetersiz olduğunu kanıtlamıştır çünkü ürün, pilotaj kararına ilişkin tüm işlev ve bilgileri taşımamaktadır. Ürün tarafından kontrolün uygulandığı çözümlerde, ürüne zekâ veren karar düzeyi düşük kalmaktadır. Örneğin (Gouyon ve David, 2008)'de ürün kendi başlangıcını verir ve sürdürür ama ne yapması gerektiğini bilmek için merkezî bir gözetmene çağrı yapar ve bu görevlerin düzenlenmesinde geleneksel ve geçici bir yaklaşımdır. IMS (Intelligent Manufacturing System) topluluğundaki çalışmalar, üretim sisteminde etkileşim içinde olan farklı tipteki varlıkları tanımlamıştır ve 'ürün'ün yanısıra 'iş emri' ve 'kaynak' varlıklarını saymışlardır (Deen, 2003). Bu varlıkların her biri kendi verilerini ve kısıtlarını getirir ve farklı bakış açısı oluşturmaktadır. Belirli bir zamanda, tüm verilerin ve bâzen 'çelişkili' olan tüm kısıtların gözönünde bulundurulması, olası en iyi çözüme götürebilir. Topluluk birçok bakış açısıyla ve etkileşimdeki farklı tip varlıklarla pilotajı ele alır. Bu kavramsal olarak HMS (Holonic Manufacturing Systems)'deki sonuçlarla uyuşmaktadır.

## 3.2 Hiyerarşik, Heterarşik ve Akıllı İmalat Sistemleri

Pilotaj sisteminin yapısı çok taraflı, uzun süren, hiyerarşik ve farklı alt sistemler arasında organizasyonunu yansıtan ilişkilerin tamamı ile tanımlanmaktadır. Pilotaj sisteminin fiziksel olarak uygulanması işlevsel yapısına bağlı olmaktadır (Pujo, 2009). 1980'li yılların ortasına kadar pilotaj sistemleri tümüyle merkezî yapılar çevresinde organize edilmiştir. Sonra hiyerarşik yapılar değerlendirilmeye başlanmıştır. Son olarak yeni bilgi ve iletişim teknolojileri ile heterarşik yapılar ortaya çıkmış ve geliştirilmiştir. Bu nedenle, Şekil 3.1'de pilotaj sistemleri üçe ayrılarak sınıflandırılmıştır.

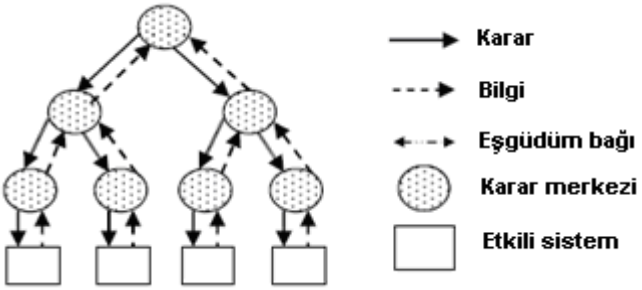



**Şekil 3.1 :** Pilotaj sistemlerinin tipolojisi (Pujo, 2009)

Her durumda pilotaj sorunu, karar verme düzeyinde genel bir bakış açısına sahiptir, geçici bir zaman ufku içindir ve ayrıştırılarak incelenmelidir. Bu saptama hiyerarşik yapıdaki pilotaj sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

### 3.2.1 Hiyerarşik ve/veya düzenli yapılar

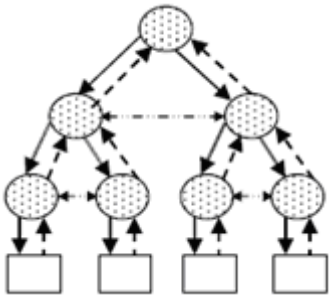
Hiyerarşik bir pilotaj sisteminde, ayrıştırınca herhangi bir N düzeyindeki farklı varlıklar N+1 düzeyindeki bir veya birçok varlık tarafından yönlendirilir. Bu sistemde karar alma yerel olarak merkezî yapılır, kararlar üst düzeyde alınır ve bilgiler alt düzeydeki karar merkezlerinden sağlanır (Şekil 3.2).




**Şekil 3.2 :** Hiyerarşik yapılar

Karar alma her düzeyde tutarlı olmalıdır (Mercé, 1987). Dikey bilgi akışını sağlayan karar ağacını inceleyen modeller arasında: CASPAIM (Bourey, 1988), NCS (Biemans ve Vissers, 1991), PCS (Archimède, 1991) modelleri sayılabilir. Ancak bu modeller, diğer dallardan bilgi gerektiğinde zorluk çekmiştir ve hiyerarşik yapılar yatay işbirliği bağları ile tamamlanmıştır (Şekil 3.3). Bu, karar merkezleri arasındaki ilişkinin bütünleşmesi için ilk adımdır. Bu yapıya iyi bir örnek CODECO yaklaşımıdır (Binder, 1977; Kallel, 1985). Bu yaklaşımın temel katkısı, karar almayı üst düzey, alt düzey ve aynı düzeydeki diğer karar merkezlerinden gelen melez bilgileri oluşturmaktır. Eğer karar alma hiyerarşik ve/veya merkezî değilse, özerklik (otonomi) ve merkezî olmama CODECO'da zayıftır çünkü tek bir üst düzeyde karar

alınır ve çözüm bulunamadığında yine bu üst düzeye başvurulur. Ayrıca N düzeyinde alınan kararlar, N-1 düzeyine uygulanır.

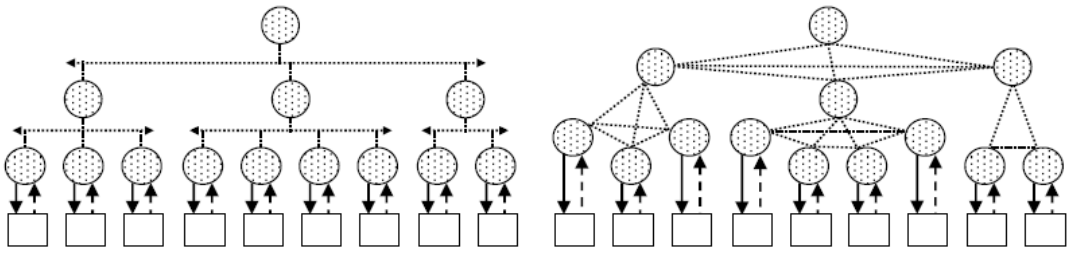


**Şekil 3.3 :** Düzenli yapılar

### 3.2.2 Heterarşi kavramının tanımı

Heterarşi kavramı ilk olarak McCulloch (1945) tarafından etki mekanizmalarını açıklamak için biyomedikal alanında kullanılmıştır. 2 hipotezden yola çıkmıştır: X, Y'yi etkiliyor ve Y, Z'yi etkiliyor. Eğer X, Z'yi etkiliyor ise X hiyerarşik yapının tepesindedir. Eğer Z de X'i etkiliyor ise {X, Y, Z} kümesi bir heterarşi oluşturur. Artık karar merkezlerini bağlayan ilişki ağacından sözedemeyiz. Tâlimat etkileşimleri (daha çok dikey) ve yardımcı etkileşimleri (daha çok yatay) gösteren bir çizge ile gösterilir. Kısaca karar almadaki ilişkilerin bütünsel olarak yönerge şeklinde olmayışı heterarşiyi tanımlar (Trentesaux, 2007).

Heterarşik yapıda pilotaj, karar düzeyinin ayrıştırılmasıyla uyumsuz değildir. Aslında Şekil 3.4'teki gibi aynı dağıtık sistemde farklı düzeyler arası yardımcı etkileşimler olabilir.



**Şekil 3.4 :** Karar düzeyleri ve etkileşimler açısından heterarşik yapılar

Bâzıları (Trentesaux, 2002) gibi heterarşik yapıları, aynı düzeyde dikey ve yatay etkileşimleri, ilgili karar merkezlerini bağlayan bir iletişim ağı olan yatay bir çizgi ile gösterir (Şekil 3.4, soldaki kısım). Bu şeklin üstünlüğü daha yapısal olmasıdır ama iç karar merkezlerinin ilişkilerini gösteremez. Diğerleri (Saad *ve diğ.,* 1995) gibi doğrudan etkileşimleri karar merkezlerini ikişerli bağlayarak göstermeyi yeğler

(Şekil 3.4, sağdaki kısım). Bu şekil ise farklı etkileşimleri net gösterir ama etkileşim içindeki varlıklar arttığı zaman çok çabuk karmaşıklaşabilir (Pujo, 2009).

### 3.2.3 Dağıtık veya merkezî olmayan yapılar

Bilgisayarcılar dağıtık sistemi, bir iletişim ağı sâyesinde bilgi alışverişi yapabilen alt sistemler topluluğu olarak tanımlamaktadır (Banâtre ve Banâtre, 1991). Ancak bu tanım geneldir ve yerel olarak merkezî yapıda olan karar merkezlerinin bulunduğu sistemi tanımlamaz. Hiyerarşik yapıda bilgi alışverişleri, farklı karar merkezlerini bağlayan iletişim ağı sâyesinde gerçekleşir ve dağıtık bir hiyerarşik pilotaj yapısında olduğumuzu varsayabiliriz. Eğer bu aynı ağ, eşgüdüm bilgilerinde sorumluluğu aynı olan karar düzeyindeki karar merkezi arasında dolaşıyor ise, dağıtık ve düzenli hiyerarşik pilotaj yapısıdır. Eğer karar mekanizmalarında işbirliği bilgilerinin araya girmesi gerekiyorsa, heterarşik pilotaj yapısındayızdır. Heterarşi kavramı hiyerarşinin zıttıdır. Merkezî yapıya çok yakın olan hiyerarşiye karşın merkezî olmama ve heterarşi arasındaki ilişki sorgulanmalıdır (Pujo, 2009).

Bir yapı merkezî olunca tüm karar güçleri organizasyonda tek bir noktadadır ama güç birçok kişi arasında paylaşılırsa merkezî olmayan yapıdır (Mintzberg, 1982). Mintzberg dikey merkezî olmamayı yatay olanından da ayırır. Dikeyde karar gücü alt karar düzeylerine aktarılır ama yatayda farklı karar merkezleri arasında karar gücü paylaşılır ve aktarılır. Bu iki merkezî olmama yapısının aynı anda uygulanması ile karar almalar yer ve zaman olarak yaklaşır.

Bilimsel toplulukta tartışmalar "merkezî, hiyerarşik ve merkezî olmayan" vb. terimler arasında gerçekleşmektedir. Elbette bu terimlere ara ve melez çözümler de 'yarı-xx', 'sahte-yy', 'kısmî zz', 'xy geniş anlamda', 'xz gözetilen' gibi terimler ile dâhil olmaktadır. Bu tür yapıları kullanan pilotaj sistemleri daha çok 'heterarşi' kategorisinde sınıflandırılmaktadır.

### 3.2.4 Akıllı îmalat sistemleri

Bilgi sistemlerinin işlemesi gereken bilgi hacminin gün geçtikçe artması ve karmaşıklaşması nedeniyle akıllı sistemlerden de sözedebiliriz (Jorion, 1989).

Yapay zekâ aklı tasarlamayı amaçlar ve bu esasında pilotluk yaptığı sistemlere özerklik vermek demektir. Akıllı sistemlerin kendi yapılarına göre organize edilmesi ve davranışlarının ayarlanması gerektiğini varsayıyoruz. Özellikleri klasik

sisteminkiler gibidir: sistem bileşenleri arasındaki ayarlama esastır ve belirli bir sırayı üretir (Van Bertalanffy, 1969). Bu sıra, sistemin davranışını adlandırmanın diğer bir yoludur ve süreklilik veya yinelenebilirlik için gerçek özellikleri gösteren bir çalışmayı tanımlamaya izin vermelidir. Akıl, çözümler bazında rastgele bir çekiliş olabilir ama kendi rolü, uygulama alanı ve etkileşimlere tepki kuralları olan etkileşimli sistem bileşenlerinin normal çalışmasının bir sonucu gibi gözükür (Cardon, 2004).

Aynı başlangıç koşullarına sahip ve aynı uyarıcılarla aktive edilen bir akıllı sistem aynı sonucu üretmelidir. Üretim sistemlerine akıl mekanizmalarını yerleştirmek için sistemin davranışını dolayısıyla aklını tanımlayan kurallar kullanmak gerekmektedir. Bu kurallar uyarıları algıladıktan sonra sistemin durumu için yapılan analize tepki gösterecektir.

Bu şekildeki akıl (zekâ) dağıtık bir biçimde uygulanabilir. Dağıtılmış yapay zekâ, klasik yapay zekânın bir dalıdır ve üretimde birçok uygulaması vardır. Klasik yapay zekânın dağıtılmış ve/veya paralel uygulamalarının yanısıra, yapay sinir ağları, problemlerin dağıtılmış ve ortak çözümü, çok ajanlı sistemler gibi konuları da içermektedir (Espinasse *ve diğ.,* 1997; Tranvouez, 2001). Klasik yapay zekâ tek bir ajanın davranışını modellemeye yardımcı olur ama çok ajanlı sistemler bireysel davranıştan bütünsel davranışa geçişi sağlar ve böylece karmaşık problemler çözülebilir. Bu durumda davranışın zekâsı birçok ajanın faaliyetine bağlı olur. Bunların ortak hareket etmesi, eşgüdüm ve iletişim kapasitelerinin olması zorunludur (Ferber, 1995).

Bir ajan, özerkliğe sahip karar verebilen bir varlıktır: bir ajan özellikle özerk, tamamlanmış ve iletişim kurabilen bir yazılım nesnesidir. Kendi önceliğine göre çalışmaktadır. Ajanlı bir sistem, tasarımcısı tarafından önceden programlanan amaçları karşılamak için ortaya çıkarılmıştır. İki tip çok ajanlı sistemi yaratabilecek iki tip ajan vardır: tepkisel ve bilişsel. Tepkisel ajanlı sistemler, daha basit kuralları olan, uyarıcı/hareket tipinde, çevresini veya geçmişini yansıtmayan çok sayıda ajandan oluşur. Bilişsel ajanlı sistemler ise çevresiyle ilgili iyi bir algısı olan, geçmişini tutabilen ve özellikle karmaşık kurallara uyabilen ajanlardan oluşmaktadır.

Çok ajanlı sistemler, her tipte akıllı pilotaj sistemlerini gerçekleştirmek için kullanılabilir. Örneğin çok ajanlı teknoloji, karmaşık bir sorunu, esnek etki

gösterebilen çoklu özerk bileşenler şeklinde modüler duruma getirerek, yapısal olarak dağıtık ve dinamik özelliklere sahip karmaşık sistemlerin incelenmesi için uyarlanabilmektedir (Liu *ve diğ.,* 2004; Liu *ve diğ.,* 2005). Bu sistemler robotiğe uygulanmıştır; örneğin mobil robotikte (Kramer ve Scheutz, 2007; Mes *ve diğ.,* 2008), iş sıralamada (Gozzi *ve diğ.,* 2002; Wong *ve diğ.,* 2006), veya tedârik zinciri yönetiminde (Kwon *ve diğ.,* 2007; Li ve Wang, 2007) örnekleri görülmektedir.

# 4. HOLONİK ÎMALAT SİSTEMLERİ

## 4.1 Holon ve Holonik Sistem Tanımları

1990'lı yılların başında uluslararası bir konsorsiyum, üretimin gelişmesi ve yenilikçi çözümlerin düşünülüp keşfedilmesi için birçok ülkeden gelen araştırma ekiplerini bir araya getirmiştir. Intelligent Manufacturing System (IMS) çerçevesinde yapılan 6 fizibilite çalışması arasında Holonic Manufacturing System (HMS) projesi bulunmaktaydı.

Bir holon, filozofik tanımına göre, kendisi bir bütün olan ama daha büyük bir sistemin parçası olan bir sistemdir. Holonik sistemler, holonlardan oluşur ve aralarında ikişerli dinamik etkileşimler vardır. Holon, aynı zamanda bir bütün ve bir bütünün parçası olmalıdır ki buna Janus etkisi denir ve kimilerine göre yinelenme kavramını ifâde eder. Bu yaklaşım, efendi-köle anlayışı olan önceki hiyerarşik modellerin ağaç yapısına ve değişmez karar merkezlerine (alt düzey karar merkezleri üst düzeyin emirlerine uymak zorunda) göre bir kırılma noktasıdır.

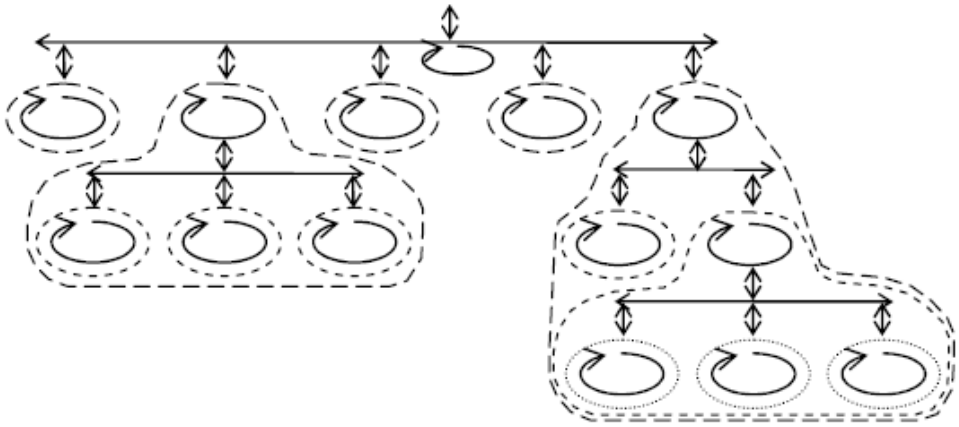
### 4.1.1 Holonik kavramı

Holonik kavramı ilk olarak Koestler (1967) tarafından karmaşık sosyal sistemleri modellemek için ortaya atılmıştır. Böyle sistemlerde bir varlık (holon) aynı zamanda bir 'bütün' ve bir bütünün 'parça'sıdır (Janus etkisi). Dolayısıyla bir 'holon' eşsiz bir kimliği olan ama alt parçalardan oluşan ve daha büyük bir bütünün parçası olan bir sistemde tanımlanabilir bir parçadır (Koestler, 1967).

Bu yaklaşımın temel elemanı holon olarak adlandırılır ve Yunancadan gelen '*holos*' (bütün) ve '*on*' (elementer yapı) ekinden oluşur. Sistemi temsil edebilen holon, gösterdiği sistemin özelliklerini de ifâde eder, yâni tutarlı ve özerktir. Ayrıca ait olduğu sistemin özelliklerini de gösterir, yâni katıldığı işleyişteki bütünün bir parçasıdır.

Önceki hiyerarşik modellerde değişmez karar merkezleri ve farklı karar düzeyleri vardı. Her düzey bir üst düzeyin emirlerini gerçekleştiriyordu. Ancak bu yaklaşımda

holonun karar verme zekâsı varolup, kendi davranışına karar verebilmektedir. Aynı zamanda, bulunduğu sistemin davranışına da müdahale edebilmektedir (Şekil 4.1). Diğer bir deyişle, holonun kendi plânlarını yaratmak ve yürütülmesini kontrol etmek için yeterli bir özerkliği vardır ve tüm üretim sisteminin bütünsel amacını gerçekleştirmek üzere ortak plânları geliştirmek amacıyla diğer holonlarla birlikte çalışabilir. Hiyerarşik ayrıştırma yerine, holonların yinelenebilirliği ve Janus etkisinin uygulanışı geçmiştir. Bu özellik, heterarşik yapılara göre pilotaj sisteminin uygulanmasında serbestlik kazandırır ve merkezî ile merkezî olmayan kısımları karıştırmayı sağlar (Trentesaux, 2002).



**Şekil 4.1 :** Holonik sistemin hiyerarşik modeli

Koestler'in adlandırdığı Janus etkisi, Roma tanrı inanışında zıt yönlere bakan iki surattır (Koestler, 1978). Bu etki, holonik bakış açısıyla kıyaslanmıştır. Bir açıdan, holonun özerk bir kimliği vardır; kendi kendine varolabilir (*Self-Assertative tendencies*). Diğer açıdan, holon bir bütün ile bütünleşmiş bir parçadır (*Integrative tendencies*). İkinci açıdan, holonun zekâsı sistemin genel işleyişi için bir kısmına katkıda bulunmayı sağlamalıdır. Aslında holon kavramı, özerk kimlik ve bütünleşme eğilimleri arasındaki dengeye göre farklı biçimdeki yapıları kısmen esnek göstermeyi sağlar. Bu, saf hiyerarşik yapılardan heterarşik yapılara kadar gider ama Koestler tarafından çalışılan sosyal ve biyolojik organizasyonların ortak konusu olan heterarşik yapılar daha baskındır.

Holonik yaklaşımı her türlü sisteme uygulanabilir: Doğal sistemler (biyolojik gibi) ve yapay sistemler (insanın yarattığı).

### 4.1.2 Holonik îmalat sistemi

Holonik îmalat sisteminde, bir karar merkezi tarafından dayatılan diğer çözümlere karşın, her holon diğer holonlarla işbirliği yaparak faaliyetini sürdürür. HMS projesinin bilimsel çalışmalarının temeli olan bu kavram, köklü bir değişikliktir (Pujo, 2009).

Üretim alanındaki bilimsel tanımlar geliştirilmiştir (Ulieru, 1997; Van Leeuwen ve Norrie, 1997) :

- *Holon:* Özerk ve işbirlikçi bir modüldür. Dönüştürmek, taşımak, bilgileri ve/veya fiziksel nesneleri depolamak ve/veya onaylamak için üretim sisteminin bir elemanıdır. Holonun bir bölümü bilgi işleme, diğer bölümü ise işlenen parçanın fiziksel kısmını oluşturur. Bir holon, diğer bir holonun parçası olabilir.
- *Özerklik:* Bir varlık için kendi plânlarını veya stratejilerini yaratmak ve yürütülmesini kontrol etmektir.
- *İşbirliği :* Kabul edilebilir plânların bir grup varlık tarafından geliştirilmesi ve yürütülmesi sürecidir.
- *Holarşi:* Bir hedefi veya tanımlı bir amaca ulaşmak için işbirliği içinde çalışan holonların sistemidir. Holarşi, holonların işbirliği için temel kuralları tanımlar ve bu açıdan özerkliklerini kısıtlar (Wyns *ve diğ.,* 1997).
- *HMS:* Üretim faaliyetlerini, satışlar için talepleri tahmin etme etkinliklerini bütünleştiren bir holarşidir.
- *Holonik özellikler:* Bir varlığı holon yapan niteliklerdir. Bu özellikler en azından özerklik ve işbirliğinden oluşur (Bongaerts *ve diğ.,* 1996; Markus *ve diğ.,* 1996; Bongaerts *ve diğ.,* 2000; Morel *ve diğ.,* 2003).

Bu tanımlardan yola çıkarak, HMS hiyerarşik bir talep oluşturmak için bir üretim ünitesinin ve işletme bazında genel üretim yönteminin birleşmesi gibi düşünülebilir. Bir holonun yinelenebilir olduğunu söyleyebiliriz; bir holarşiye aittir ama kendisi de bir holarşi olabilir ve hem özerk hem de işbirlikçi bir davranışa sahip olabilir. Bu klasik hiyerarşi tanımından ayrılır ve bir holonla ona tâlimat verip yöneten üst düzeydeki diğer bir holon arasındaki bağ, hiyerarşideki gibi efendi-köle ilişkisi değildir. Bağlı iki holon, zorunlu olarak yinelenebilme ilişkisi ile bağlı değildir. Öyleyse holonlar özerk çalışmaya öncelik verir ve varoldukları düzeye ilişkin karar

alabilme yetkisine sahiptir: bir holon ilgili olduğu konuda karar almaya katkıda bulunmalıdır (Pujo, 2009).

Bir HMS'in çalışması hem bir tepkisellik, hem de bir istikrâr olarak belirlenmiştir. Sistemin hızlı bir şekilde uygun yanıtı üretme kapasitesini belirleyen tepkisellik, holarşiyi oluşturan holonların özerkliğiyle ilgilidir: Holon kendi kendine bir zorluğu anında çözmeye çalışır. İstikrâr ise, her holona bağlı yüksek özerklik kapasitesi sağlayan karar kurallarından gelir. HMS'de arızalara tolerans şu şekildedir: bir holonun arızası anında değerlendirilir ve bütünsel çalışmaya katılması kesilir. Blokaj olmaz ama diğer holonlar bu aksaklığın bir kısmını telafi etmeye çalışır.

Farklı amaçları tamamlamak için bir holonun çeşitli işlevsellikleri tanımlanmalı ve organize edilmelidir:




**Şekil 4.2 :** Holonun genel yapısı (Christensen, 1994)

Bu model holonun temel iki bileşenini gösterir: bir kısmı 'Bilgi İşlem', diğer kısmı 'Fiziksel İşlem'dir. Ama ikincisi isteğe bağlıdır çünkü bâzı holonlar salt karar merkezi olabilmektedir. 'Fiziksel İşlem' kısmı kumanda sistemi ve işlemsel sistem olmak üzere iki alt parçaya ayrılmıştır. 'Bilgi İşlem' kısmı ise 3 modül içerir:

- Holonlar arası arayüz modülü, diğer holonlarla iletişim ve etkileşim içindir.
- Karar alma modülü, holonun kalbidir ve muhakeme ile özerklik kapasitelerini holona verir.
- İnsan-makina arayüzü modülü, operatörlerle diyalogu sağlamak için holon-insan arasındadır.

Bu bakımdan holon kavramının kanonik OID modeliyle uyumlu olduğu görülür ancak yinelenebilme olmadan her holon düzeyinde yerel olarak uygulanmıştır: Bir

holon maddesel olmayan kısımları (bilgi ve karar) ve maddesel kısımları (fiziksel gerçek nesne) bütünleştirmektedir.

Holonik sistemler üzerinde yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu bu modeli kullanmıştır ve holarşide bulunan farklı tip holonları daha ayrıntılı yorumlamıştır, rollerini, ilişkilerini, etkileşimlerini tanımlayıp işlevsel ve ilgili organizasyonel yapılarını betimlemiştir ve kullanılan karar alma süreçlerini açıklamıştır (Pujo, 2009).

Bir holarşide holonlar arası 2 tip ilişki gözlemlenebilir:

- Holondan holona doğrudan ilişkiler: Holonun diğer holonun sorularına yanıtı, işbirlikçi olmasa bile yanıt verme yetkisi vardır.
- Birçok holon arasında ortaklaşa ilişkiler: İşbirliği sonucu ortak ve karmaşık bir amaca ulaşabilmek, örneğin dağıtılmış bir problemi çözmek için ortak bir plânda uzlaşmak içindir.

Bu iki olasılık karar mekanizmalarının uygulanmasında ve karar almanın organizasyonunda seçilmiş yapı sâyesinde geniş bakış açısı sağlamaktadır (Bongaerts *ve diğ.,* 2000).

## 4.2 Farklı Holonik Sistemler

Bu başlık altında en tanınmış holonik sistemlerden sözedilmektedir. Bilimsel literatürde HMS için önerilen değişik holonik yapılar arasında en bilindik olanı ve en çok uyarlananı PROSA'dır (Van Brussel *ve diğ.,* 1998).

### 4.2.1 PROSA'nın temel kavramları

PROSA (Product, Resource, Order, Staff Architecture)'nın temel kavramları olarak holon tipleri anlatılmıştır. Van Brussel *ve diğ.* (1998)'de anlatılan holonik bir mimarîdir ve heterarşik (kararların bağlı olması veya olmaması) yapılara güzel bir örnektir.

PROSA üretim alanında holarşi tanımlamayı sağlayan üç temel holonu içerir (Şekil 4.3). Bir temel holon, kendine ait verilerin yönetimini (durum modeli), kendi sorumluluğunda olan özellikleri barındıran özel fonksiyonların uygulanmasını (bireysel davranışa katkı: *Self-Assertative tendencies*) ve güvenceye almayı (ortaklaşa davranışa katkı: *Integrative tendencies*) sağlamalıdır.

Bu temel holonlar şunlardır:

- Ürün Holonu (ÜH), ürünün üretim süreçlerini ve fiziksel özelliklerini, yâni yeterli bir kalite elde ederek üretimini sağlamak için gerekli bilgilerini içerir. HMS'de diğer holonlara bilgi sağlayıcıdır ama ürünün durumu hakkında bilgisi yoktur: Yalnızca tanım belirtir ama belirli bir anda durumunu göstermez.
- Kaynak Holonu (KH), üretim araçlarını bilecek şekilde fiziksel bir kısımdan ve araçları atama yapacak yöntemleri içeren ve araçlara kumanda eden bilgi işleme kısmından oluşur. Ürünlerin listesi, çalışma durumu ve modu, araçlar ve onların faaliyet durumu gibi statik ve dinamik bilgiler tutar.
- Emir Holonu (EH), üretim sisteminde bir görevi temsil eder. Verilen zamanda işin yürütülmesinden sorumludur. Fiziksel ürünü ve ürünün durumunun modelini kontrol eder, işe bağlı lojistik bilgisinin işlenmesini yönetir. Fiziksel ürünün durumuna, görevin süreçte ilerleyişinin durumuna ve görevlerin geçmiş bilgilerine ilişkin verileri tutar.

HMS'de holarşiyi oluşturan bir üst düzeydeki holon, salt bu holarşinin holonlarını yönetmek zorunda değildir ama yapabilir veya yönetim emirlerinin hazırlanışına katkıda bulunabilir veya bütün etkileşimler dışında durup hiç karışmayabilir (Pujo, 2009).

Üretim sisteminin yönetimine ilişkin emirlerin üretilmesi, holonlar arası etkileşimlerden elde edilen bilgilere göre yapılır. Üretime bağlı bilgilerin yönetilmesi üç tip holon arasında etkileşimleri doğurur. ÜH-KH arası etkileşimler, süreç hakkında bilgi verir: Kaynakların, kapasitenin, ulaşılabilir kalitenin ve olası sonuçların yürütülmesi için yöntemleri içerir. ÜH-EH arası etkileşimler, üretim hakkında bilgi verir: Partilerin tanımı (teslim edilecek miktarlar, ürünlerin referansı, teslimlerin alacak defteri vb.). KH-EH arası etkileşimler ise, yürütülen süreçler hakkında bilgi verir: Kaynaklardaki süreçlerin yürütülmesine göre devamlılığın gözetimi, sürecin kesintiye uğraması vb.




**Şekil 4.3 :** Temel holonlar ve ilgili bilgiler (Van Brussel *ve diğ.,* 1998)

Karar mekanizmaları etkileşim protokolleridir (FIPA, 2003) ve bu tür etkileşimleri yönetmeyi ve gerçekleşen işbirliklerini kontrol etmeyi sağlamaktadır. PROSA, holarşilerin ortasında 'ContractNet' (Smith, 1980; FIPA 2002) protokolünü kullanmaktadır.

İşbirliği kötü olunca, PROSA aynı zamanda Personel Holonu'nu kullandırır. Bu holon, temel holonları görevlerin yerine getirilmesi aşamasında blokaj durumlarına çözüm bulmak veya optimizasyon araştırmak için bulunur. Bu tip holonun karar verme yetkisi yoktur ama diğer holonlardan aktarılan verilere göre problem için genel bir çözüm önerebilir. Son kararı verme yetkisi diğer tip holonlardadır. Bununla birlikte, personel holonunun kullanılması hiyerarşik yapıya benzer çünkü çözüm önerisi merkezî bir şekilde klasik teknikleri kullanarak elde edilir. Ayrıca (Van Brussel *ve diğ.,* 1998) personel holonuna örnek olarak başka holonlarda sayar: 'iş emirlerini yöneten' holonlar veya 'MRP' holonlar. Sonra bu çözüm tahmini program olarak işe yarar ve aynı klasik dağıtılmış çözümdeki gibi temel holonları yönetmeye çalışır. Personel holonu, yalnızca bilgi sağlayıcısı olan ÜH ile doğrudan ilişki içinde değildir ve üretimin yürütülmesindeki süreçleri etkilemez (Van Brussel *ve diğ.,* 1998).

### 4.2.2 Diğer holonik sistemler

Çeşitli holonik yapılar HMS'lerin pilotajı için bilimsel literatürde önerilmiştir (Deen, 2003). En tanınmışı PROSA'dır ama diğer yapılar da çok yakındır. Örneğin Adacor (Leitão ve Restivo, 2006) hiyerarşiyi öne çıkarır veya Metamorph (Balasubramanian *ve diğ.,* 2001) endüstriyel ilgiye sahip olmaya başlayan IEC 61499 normuna ve

dağıtık özdevinim (otomatizm) yapılarına dayanır (Sünder *ve diğ.,* 2006). Farklı holonik yapılardan bir kısmı aşağıda anlatılmıştır.

- **Adacor** (*ADAptive holonic COntrol aRchitecture for distributed manufacturing systems*) : Holonik kavramıyla ilgili olan bir yapıdır ve 2000'li yılların başında Porto Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Amacı, üretim sistemlerinin çevikliğini ve esnekliğini destekleyerek yürütülmesini iyileştirmek ve böylece işletmenin çevredeki değişimlerle yüzleşmesini sağlamaktır. Yapısı, amaç optimizasyon olunca merkezî bir yaklaşıma ve beklenmedik olaylar karşısında heterarşik bir yaklaşıma sahip olmaya imkan verir (Leitão ve Restivo, 2006). ADACOR yapısı oto-organizasyon şeklinde çalışan gözetim varlıklarına dayanır. Bu modülarite, merkezî olmama, çeviklik, esneklik ve sağlamlık üstünlüklerini kazandırır.

- **Metamorph**: Çok ajan kavramından çıkmıştır ama bâzı holonik kavramlarını da kullanır, Calgary Üniversitesi'nde (Kanada) geliştirilmiştir. MetaMorph I (Maturana ve Norrie, 1996; Maturana ve Norrie, 1997; Maturana *ve diğ.,* 1999) ve MetaMorph II (Shen ve Norrie, 1999) 'aracı' yaklaşımında toplanmış ajanların federasyonunu kullanan holonik yapılardır.

- **HCD** (*Holonic Control Device*) : HMS topluluğunda ilgi uyandırmıştır ve çeşitli çalışmalar HMS'i uygulama amacıyla IEC 61499 normunun FB'lerini (Function Block) kullanmıştır (Wang, 2001; Christensen, 2003; Bal *ve diğ.,* 2006; Sünder *ve diğ.,* 2006). 10'dan fazla araştırma ekibi, Almanya, Avusturya, USA, Kanada, Finlandiya, Yunanistan, Japonya vb. ülkelerindeki laboratuarlarda, bu yaklaşım üstünde çalışmaktadır.

- **Fabricare**: Porto Üniversitesi'nden çıkan bir diğer holonik uygulamadır. Fabricare Latince'de üretmek anlamına gelir, yâni gelişme durumuna göre listelenen görevleri yapmak veya yaptırmak demektir. Görevlerin dinamiği ve yönetilmesiyle ilgilenir. Yüksek bir esneklik, uyarlanabilirlik ve kullanılabilirlik sahibi olmalıdır. Fabricare ilk olarak (Sousa ve Ramos, 1999) tarafından 2 temel holon ile ortaya atılmıştır: Kaynak (*Resource*) holonu ve Görev (*Task*) holonu (yâni iş emirleri).

### 4.3 Literatürdeki Çalışmalar

Bütün dünyadaki çalışmalar Avrupa ve Asya başlığı altında incelenmiştir.

HMS konusunda Avrupa'da (İngiltere, Almanya, Hollanda, Romanya, İspanya, İtalya, Fransa) ve Türkiye'de çok sayıda çalışma yürütülmüştür.

**İngiltere'de** Cambridge Üniversitesi'nde *Institute for Manufacturing* ve özellikle *Distributed Information & Automation Laboratory* bu konuda çalışmış ve Duncan McFarlane'in ilk çalışmaları olan sürekli bir üretim süreci için HMS simülasyon modeli oluşturulmuştur (McFarlane, 1995). Daha sonra, holonik yaklaşım HCBA (*Holonic Component-Based Approach*) kaynak ve ürün holonlarını tanımlamış ve emir holonunun ajanı olan bir WIP (*Work-In-Progress)* önermiştir (Chirn ve McFarlane, 2000). HCBA'da holonlar *plug and play* kapasitesine sahip akıllı yapı blokları gibi tanımlanmıştır. Şu anda bu araştırma ekibi üretim sistemlerinde infotronik teknolojilerin etkileri üstünde çalışmaları ile tanınmaktadır (McFarlane ve Shaw, 2006; McFarlane *ve diğ.,* 2007). Daha çok akıllı ürüne (McFarlane *ve diğ.,* 2002) ve üretim sistemlerinin akıllı pilotajına (McFarlane *ve diğ.,* 2003; Wong ve McFarlane, 2007) dikkat çekmiştir. Bu son konu üstünde karar yapısını inceleyen HMS (Bongaerts *ve diğ.,* 2000) geliştirilmiştir ve Tedârik Zinciri (*Supply Chain*) organizasyonuna etkileri (Wong *ve diğ.,* 2002; McFarlane *ve diğ.,* 2005), iletişim protokolleri (Brusey ve McFarlane, 2005), çok ajanlı teknolojiler yoluyla uygulanması (Marik ve McFarlane, 2005) incelenmiştir.

**Almanya,** IMS'in başlangıcında önemli bir ortak olmuştur ve üniversiteler (Bremen Üniversitesi, Kaiserslautern Üniversitesi) ile endüstriyel kuruluşlar (Daimler-Benz) katkıda bulunmuştur. Çok ajanlı sistemlerle başlayan bilimsel çalışmalar (Müller ve Pischel, 1993; Bussmann ve Müller, 1993; Bussmann, 1998; Fischer, 1999), holonik yöne ilerlemiştir (Bussmann ve McFarlane, 2000; Gerber *ve diğ.,* 1999) ve holonik kavramı ile çok ajan kavramını zenginleştiren Çok Ajanlı Holonik Sistemi ortaya çıkarmıştır (Fischer, 1999; Schillo ve Fischer, 2003)…

**Hollanda'da** Twente Üniversitesi'nde, Giebels *ve diğ.* (2001) üretim plânlama ile plânlama süreci arasındaki boşluğu doldurmaya yarayan holonik kontrol yapısını sunmuştur.

**Romanya'da** Bükreş Politeknik Üniversitesi'nde, Borangiu *ve diğ.* (2009) robotik bir hücrede sipâriş tipi atölye montajı için bilgiye dayanan holonik yapısını

önermiştir. Daha önceden önerilen 'uzman' holonların modelini (Babiceanu *ve diğ.,* 2004; Borangiu *ve diğ.,* 2007) zenginleştirmiştir.

**İspanya'da** Valencia Üniversitesi'nde, Giret ve Botti (2004) çok ajan ve holonik kavramlarını kıyaslamıştır. İkisi arasındaki boşluğu azaltmak ve çok ajan kavramını zenginleştirmek için, kendisi ajan veya çok ajanlı sistem olabilen bir *Abstract Agent* önerilmiştir. Daha sonra, Giret ve Botti (2009) PROSA tabanlı ve analiz için kavrama ve uygulama şekillerini birleşik ve aynı zamanlı tutmayı sağlayan çok ajanlı bir mühendislik yöntembilimi olan ANEMONA'yı önermiştir.

**İtalya'da** Palerme Üniversitesi'nde ekonomist olan Dominici (2008), HMS hakkında bir etüt yapmıştır ve bu yaklaşımların ekonomik boyutlarını öngörmek istemiştir. Ayrıca Fransız-İtalyan işbirlikleri de sayılabilir: Nancy Üniversitesi ile Milan Politeknik Okulu arasında (Terzi *ve diğ.,* 2007) montaj işlemlerinin izlenebilirliğini sağlamak için ürün holon modelini kullanmıştır veya Belfort-Montbéliard Teknoloji Üniversite ile Palerme Üniversitesi arasında (Cossentino *ve diğ.,* 2007; Cossentino *ve diğ.,* 2008) Çok Ajanlı Holonik Sistemlerin gelişmesi için karşıt yetkileri birleştirmiştir.

**Fransa'da** HMS alanında temel çalışmalar öncelikli olarak Nancy'de ama Nantes ve Marsilya'da da yürütülmüştür. Nancy Henry Poincaré Üniversitesi'nde HMS için CRAN tarafından Gérard Morel etrafındaki ilgi 2000'li yıllara denk gelir ama önceki araştırmalara dayanır (Morel ve Iung, 1997; Chaxel *ve diğ.,* 1999). Üretim sistemlerinin karmaşık dinamik yapısını otomatik kontrol eden sistemleri modelleme tekniklerindeki uzmanlıktan yola çıkarak, Morel *ve diğ.* (2003) geleneksel otomatik mühendislik yaklaşımını sistem mühendisliğine genişleşmeyi önermiştir. Resmî ve resmî olmayan modellerin buna özgü (*ad hoc*) derlemesiyle uygulanacak olan 'Holonic Manufacturing Execution System' önerilmiştir.

Ayrıca araştırmalar sistem mühendisliğinin getirilerini kullanmayı sürdürerek 'ürün tarafından kontrol' kavramına yönelmiştir (Pétin, 2007). Gouyon (2004) ürün tarafından kontrol edilen sistemlerin otomatizasyonu için resmî bir yöntem önermiştir. Birçok kavram, yöntem, araç (holonik sistemler, UML, bitmiş durumda otomatlar) ve denetleme teorisi ile gerçek bir ürünün üretim aşamalarında geçişini izleyen ürünün her örneğinin bir durum modeli geliştirilmiştir. Bu durumda ürün kontrol çemberine girer çünkü karar fonksiyonlarıyla donatılmıştır.

Sahla Baïna'nın (Baïna, 2006) çalışmaları bir tarafta yüksek düzey şirket sistemleri diğer tarafta atölye kontrol sistemleri arasında ürüne odaklı birlikte işlerlik (*interoperability*) yaklaşımını sunmuştur.

IRCCyN (Nantes Üniversitesi) referans olarak PROSA'yı alan HMS çalışma konulu diğer bir laboratuardır ve çalışmaları Pierre Castagna önderliğinde yürütülür. Pascal Blanc, otomobiller için zırhlı cam üreten Güney Amerika şirketinde endüstriyel bir HMES uygulamıştır (Blanc, 2006). Bu HMES şirketin ERP'si ile aynı arayüzde kalmıştır ve böylece emir holonlarının karar mekanizması için gerekli bilgilerin bir kısmını sağlamıştır. Bir kısmı ARENA ile yapılan simülasyon modeli yardımıyla gerçek üretim sistemini içeren, bir kısmı da çok ajanlı JADE aracıyla HMES'i uygulayan bir deney platformu gerçekleştirilmiştir.

Olivier Cardin'in doktora çalışmaları, üretim sistemlerinin pilotajı için çevrimiçi simülasyona ilgiyi göstermiştir (Cardin, 2007). İlk çalışmaları daha sonra PROSA modelini referans alan bir HMS çalıştırmak için uyarlanmıştır (Cardin ve Castagna, 2009). Gözlemci ve simülasyon motoru bir personel holonunu oluşturmuş ve diğer holonlar tarafından danışılmıştır.

**Türkiye'de,** Aktürk ve Türkcan (2000) holonik yaklaşımı kullanarak hücresel üretimde parça-aile ve makine-hücre oluşum problemini çözen bütünleşik bir algoritma önermiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuarında RFID ve onun akıllı îmalat sistemlerine uygulanması araştırılmıştır. Akıllı îmalat sistemleri, çok ajanlı sistemler ve holonik sistemler olmak üzere ikiye ayrılmıştır (Üstündağ ve Korkmaz, 2009). Tuzkaya ve Önüt (2009) tedârik zincirinde holonik yaklaşımı kullanmıştır. Bal ve Hashemipour (2009) îmalatta holonik kontrol sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasını arttırmak için yapay gerçekliğe dayanan bir yöntembilim önermiştir. Yapay holonik fabrika, HOLO-FLOW (HOLOnic control for FLOW-line manufacturing) adında kontrol modeline sahiptir ve PROSA tabanlıdır.

Asya'da HMS konusundaki temel çalışmalar Japonya, Çin ve Tayvan'da yapılmıştır.

IMS'in başlamasında öne çıkan ve HMS'in temel kavramlarına katkıda bulunan (Suda, 1989; Suda, 1990) **Japonya'da**, bu konuda çalışan birçok araştırma ekibi bulunmaktadır. Moriwaki *ve diğ.* (1992) parça ve ekipmanlar (taşıma dâhil) için özerk ajanlarla iş emri yapısı sunmuştur ve böylece üretim sistemine bağlı verilerin modelini oluşturmuştur. Hasegawa *ve diğ.* (1994) plânlama ve iş emirleri için ürün,

parça, makine, makine tipi, çalışma şekli ve düzenleyici holonların olduğu holonik bir yapı önermiştir. Gou *ve diğ.* (1998) lagrange genişlemesini kullanan matematiksel optimizasyon ile holonlar arası işbirliği mekanizmasını çalışmıştır. Bu çalışma, hızlı bir zaman dilimi içinde yüksek kalitede iş emirlerini üretebilen ve üretim sistemleri arası işbirliği tiplerine de uyarlanabilen bir yöntem olduğunu göstermiştir. Kusumi *ve diğ.* (1998) pilotaj holonik sistemi için merkezî olmayan ve (Hopfield ve Tank, 1985) tarafından önerilen sinirsel ağı ile bulanık mantıkta ölçüt fonksiyonunu kullanan bir çözüm önermiştir. Fujita (2001) her holonun aldığı tâlimatları ayrıştırma ve birbirinden ayırma kapasitesine sahip bir holon şablonu tanımlamıştır.

Arai *ve diğ.* (2001) birçok robottan, konveyör ve stoktan oluşan holonik tabanlı bir montaj sistemi önermiştir. Kontrol kumandası 'contract net' tipinde bir protokolle çalışır ve hücre içinde bileşen ve bitmiş ürünlerin dolaşımını organize eder. Tamura *ve diğ.* (2003) yüksek çeşitlilik ve düşük hacimli üretim sistemlerinde araştırmaları geliştirmek için holonik kavramını önermiştir.

Sugiyama (2001) holonik yaklaşımın büyük çaplı karmaşık sistemlere başarılı bir şekilde uyarlanabileceğini göstermiştir. Diğer yöntemlerin böyle bir özelliği yoktur. Kobe Üniversitesi'nin bu ekibi farklı yolları keşfetmiştir. Iwamura *ve diğ.* (2006a) Kaynak (*Resource)*, Emir (*Job)* ve Eşgüdüm (*Coordination)* holonlarından oluşan HMS'in gerçek zamanlı iş emirlerini çalışmıştır. Tanimizu *ve diğ.* (2007) ona özgü görevlerin yüksek önceliklerini tanımlamak ve kaynakların statülerini değiştirebilmek için HMS içinde simülasyon kullanmayı önermiştir. Çok amaçlı tepkisel iş emirlerini elde etmek için genetik algoritmaların kullanımını önerir ve Iwamura *ve diğ.* (2006b) çok ölçütlü karar verme (*MultiCriteria Decision-Making* (MCDM)) kullanarak bâzen zıt açılardan karar problemini ele alıp çözmeyi hedeflemiştir.

**Tayvan'da** Chaoyang Teknoloji Üniversitesi'nde Fu-Shiung Hsieh, HMS'de genel optimizasyona ulaşma yolları üstünde çalışmıştır. Benzer sorunlar ADACOR'da incelenmiştir (Leitão *ve diğ.,* 2003; Leitão ve Restivo, 2006). Sistematik bir yöntembilim ile HMS'de değişimler olduğunda yeniden düzenleme mekanizmalarının ve holon ekleyip çıkaran dinamik yapının geliştirilmesi önerilmiştir. Hsieh'in yaklaşımı (Leitão *ve diğ.,* 2003)'nin çalışmasından farklıdır; kaynakların hatalarının kabul edilebilir olup olmadığını kontrol eder. Edilemez ise yeniden düzenleme gereklidir. Bu durumda yeniden düzenlemeden salt ilgili holonlar

etkilenir ve görevlere olan etkisi enküçüklenerek atölyede kaos önlenir. Bu Petri ağları ile şekillendirilmiştir. Cheng Kung Ulusal Üniversitesi'nde *Manufacturing Engineering Enstitüsü* HMES'ler üstünde çalışmıştır (Cheng *ve diğ.,* 2004a). Bir MES, fonksiyonel holonların uygulama alanlarını bölerek, bu holonlar arasında jenerik ürünleri belirleyerek ve holarşideki mesajları tanımlayarak soyut bir modele dayandırılan holarşi gibi anlaşılır. İşlevsel holonlar, temel bir holonun tüm özelliklerine sahip Jenerik Holon'dan türetilmiştir. Cheng ve Lin (2004) bir şirkette holonlar sâyesinde farklı formattaki bilgilerin etkili bir şekilde aktarılması için holonik bilgi değiş-tokuş sistemi önermiştir. Veri Deposu (*Data Warehouse*) holonu, ERP (Enterprise Resource Planning) holonu vb. gibi farklı işlevsel holonlar gözönüne alınmıştır. Son olarak tüm bunlar, şirket içi elektronik değiş-tokuş süreçlerine ithaf edilen RosettaNet sistemi kullanan bir İletişim Holonu yardımıyla holonik bir tedârik zinciri bazında toplanmıştır (Cheng *ve diğ.,* 2004b).

**Çin'de** HMS ile ilgili gerçekleştirilen ilk araştırmalar Hong Kong Üniversitesi'nde Îmalat Mühendisliği Bölümü'nde yürütülmüştür. Ng *ve diğ.* (1996), holonların bütün boyutlarını birleştiren bir Holonik Atölye Kontrol Sistemi (*Holonic Shopfloor Control System* (HSCS)) önermiştir. Özerk ve işbirlikçi olan holonlar, standartlaşmış ve holarşi denilen dinamik yapılarda gruplaşmıştır ve üretimde merkezî olmayan işbirlikçi pilotaj işlevlerine (plânlama, iş emri yaratma, yürütme vb.) adanmıştır. HMES modellemeyi, ürünlerin ve kaynakların özelleştirilmesini, faaliyetlerin simülasyonu ve kontrolünü gerçekleştiren farklı yazılım modüllerinden oluşmaktadır. Bu yöntem derinleştirilip sonrasında referans yapı olarak önerilmiştir (Cheung *ve diğ.,* 2000). Onaylanması için deneysel dağıtık bir simülasyon platformu birbirine bağlı bilgisayarlar ile oluşturulmuş ve dönüşüm ile taşıma görevleri gerçek zamanlı iş emirleriyle test edilmiştir. Böylece modelin doğruluğu ve yeniden düzenlenebilme özellikleri gösterilmiştir.

Shanghai Üniversitesi'nde benzer bir atılım gerçekleşmiştir (Zhang *ve diğ.,* 2003). CIPPS (*Concurrent Integrated Process Planning System*) olarak adlandırılan model, plânlamayı elde etmek için interaktif yenileme mekanizmaları üstünde durmuştur. Klasik bir atılımda, operasyonel faaliyetlerin plânlanması kademe kademe karar alınarak yapılır ve genel düzeyden ayrıntıya inerek zincirlenmiş fonksiyonların sıralı hesaplamalarına dayanır.

Pekin Otomatik Enstitüsü'nde, Wang *ve diğ.* (2005) esas olarak HMS'lerin yeniden düzenlenebilirliğini ele almıştır. PROSA'yı referans alarak, yeni bir holonun (Konfigürasyon Holonu) gerekliliğini göstermiştir.

Shenyang Otomatik Enstitüsü ise yine yeniden düzenlenebilirlikle ilgili olarak Boston Northeastern Üniversitesi ile işbirliği içinde HMS'ler üstünde çalışmıştır. Huang *ve diğ.* (2004a) bir montaj hattında çok ajanlı teknolojilerle ortaya konan HMS yöntembilimini göstermiştir ve esneklik, yeniden düzenlenebilirlik, operasyonel sistemin altyapısını uygulama teknikleri arasındaki ilişkiyi kurmuştur. Huang *ve diğ.* (2004b) önceki çalışmanın performanslarını doğrulamak ve değerlendirmek için sayısal bir simülasyon platformu kurmuştur. Yapay montaj hattı, birçok düzenlemeye göre özelleştirilmiş, uygulanmış ve incelenmiş olabilmektedir.

Lanzhou Teknoloji Üniversitesi, HMS'lerde iş emirleri ve görevlerin dağıtımı problemleri için araştırmalar yürütmüştür. Yang *ve diğ.* (2006) HMS'de melez PSO (*Particle Swarm Optimization* (Poli, 2007)) algoritması tanımlamış ve bunu HMS'deki görevlerin dağıtılmasında kullanmıştır. Yao *ve diğ.* (2006), PSO ve Genetik Algoritma ile oluşturulmuş HPGA (*Hybrid Particle swarm optimization and Genetic Algorithm*) adlı algoritma ile iş emrini yaratan holona uyan Petri ağında bir model önermiştir. Aslında bu holon, her emri yerine getirmek için oluşan geçici zıtlıkları gösteren, holonlar arası etkileşimleri olan bir holarşidir. Yeniden üretime dinamik olarak bireyler sokarak, algoritmanın yakınsama hızı iyileştirilmiş ve iş emrini elde etme hızlandırılmıştır. Bu algoritma (Zhao *ve diğ.,* 2007a)'de ayrıntılı anlatılmıştır. (Zhao *ve diğ.,* 2006)'da iş emri yaratan holon modeli, modellemek için zor özellikleri olan problemleri modelleme tekniklerini güçlendiren ve Petri ağlarının yeni bir sınıfı olan Buffer-nets ile tanımlanmıştır. (Zhao *ve diğ.,* 2007b)'de bu çalışmalar HMS açısından yeniden incelenmiştir. Pilotaj sistemlerinde araştırmaların amacı, küçük partilerin ve kısa gecikmelerin olacağı kitlesel özel üretimin (*mass customization*) üretim koşullarına yakın bir geleceğe uyarlanabilir olmaktır. Bir pilotaj sistemi; ekipmanlara daha yakın, daha sağlam ve bozukluklara toleranslı, ekipmanlar açısından daha esnek ve yeniden düzenlenebilir, üretilecek ürün karışımları açısından daha esnek ve uyarlanabilir, üretim sisteminde ortaya çıkan kesintiler açısından daha etkin ve etkili olmalıdır. Bu nedenle iş emri algoritmasının araştırılması, farklı holonlara dağıtılmıştır ve genetik algoritmaların hızlı olma özellikleri ile donatılmıştır.

## 4.4 Çok Ajanlı Sistemler ile Uygulama

HMS topluluğu sıklıkla Çok Ajanlı Sistemleri kullanmaktadır. 1970'lerin sonundan bu yana, farklı bilimsel alanlarda, ortak noktası varlıkları ve davranışlarını bilgisayar formatında ifâde etmek ve incelemek olan modelleme ve simülasyon uygulamaları geliştirilmiştir. Bugünkü bilgisayarlar, gelişmekte olan yapılar yâni yapay etkileşimlerinin sunduğu güç ile bunlar gerçekleştirilmektedir. Tüm bu uygulamalar tam olarak aynı sözcükleri kullanmaz. Onlar "ajanlar tabanlı" (Parunak *ve diğ.,* 1998), "nesne odaklı" (Uhrmacher, 1997), "partiküllü" (Schweitzer, 1997), "birey merkezli" (Grimm ve Railsback, 2005), "holonik" (Koestler, 1967) veya "çok ajanlı" (Drogoul *ve diğ.,* 2003) olmuştur. Ama şimdilik ilk terim içinde gruplanmıştır.

Dağıtılmış yapay zekâ, çoğunlukla çok ajanlı sistemlerin eş anlamlısı gibi gösterilmiştir. Tarihsel açıdan, holonik kavramı ajan kavramından daha eskidir ama uygulanması için bilgisayarcılar tarafından özel geliştirilen yazılımları, ajan için geliştirilenler kadar olmamıştır.

Çok ajanlı sistem sabit (veya değil), homojen (veya değil) ve çevrenin içinde tepki gösterebilen ajanlardan oluşan sistemdir. Sabit olmaması, ajanların çok ajanlı sistemde eklenebileceği veya kaybolabileceği anlamına gelir. Homojen olmaması ise, çok ajanlı sistemi oluşturan ajanların doğasının heterojen (farklı tipte, en azından bilişsel ve tepkisel) olabileceğidir.

Çizelge 4.1'de, HMS (holonik) ve çok ajanlı sistem (ajan) kavramları kıyaslanmıştır.

**Çizelge 4.1 :** Ajan ve holonik kavramlarının kıyaslanması

| | **Çok ajan kavramı** | **Holonik kavramı** |
|---|---|---|
| **Özerklik** | Evet | Evet |
| **Tepkisellik** | Evet | Evet |
| **İşbirliği** | Ajanlar rekabet edebilir ve/veya diğer ajanlarla işbirliği yapabilir. | Evet, holonlar diğer bir holonla işbirliğini asla kasıtlı olarak reddetmez. |
| **Proaktivite** | Evet | Evet |
| **Yapının tipi ve açılışı** | Evet, yapılar hiyerarşi ve heterarşi arasında değişebilir. | Evet, holarşiler her tipte yapıya izin verir. Bir holon birçok holarşiye ait olunca yapılar çakışabilir. |
| **Davranış mantığı** | Evet, ama bâzen ajanların davranışları tümüyle tepkisel olabilir. | Evet, ama bâzen holonların davranışları tümüyle tepkisel olabilir. |
| **Öğrenme** | Evet, ama bütün ajanların öğrenme kapasitesi yoktur. | Evet, ama bütün holonların öğrenme kapasitesi yoktur. |
| **Karar modu** | Temelde jenerik uzmanlık sağlayan, bilişsel veya Yapay Zekâ olan tekniklerdir. | Karar mekanizmaları genelde bir davranışı tanımlayan yordamlar veya çizgeler şeklindedir ve olaylar ile yönetilir. |
| **Yardım ve özverili olma** | Bütün ajanları kapsamayan bir olasılıktır. | Evet, bir holon diğer holona, kendi çıkarı ve amaçlarını etkilemiyor ise, yardım etmeye çalışır. |
| **Hareketlilik** | Evet, bilgisayar ağında bir ajanın dolaşabilme kapasitesine bağlıdır. | Evet, ama hareketlilik tümüyle maddesel kısmı ile ilişkilidir. |
| **Yinelenebilirlik** | Yapı yinelenebilir değildir. Çok ajanlı sistemler, bu eksikliği gidermek için yapay hileler kullanır. | Evet, bir holon üst düzeyden birçok tanıma (toplanma ve özelleştirme ile) karşılık verebilir. |
| **Bilgi ve fiziksel nesne ayrımı** | Hayır, kesin bir ayrım yoktur ve bâzen uygulanmamış bir ajan olabilen gerçek sisteme referans yoktur. | Evet, ayrım kesindir. Fiziksel kısmı tercihe bağlı olsa bile, bu holonlar fiziksel kısmı olan holonlardan oluşmuştur. |
| **Gerçek zaman** | Ajanlar gerçek zamana uygulanabilir ama bu istisnadır. | Fiziksel kısmı ile kuşatmanın bir parçası olan holonlar tanımı gereği gerçek zamandadır. |

# 5. İSOARŞİ VE PROSİS

Birkaç yıldır pilotaj çözümleri, hiyerarşik ve merkezî yapılardan uzaklaşmıştır (Pujo ve Brun-Picard, 2002). Merkezî olmama ve oto-organizasyon çalışmaları, isoarşi kavramını geliştirmeye ve PROSA ile önerilen kavramları gözden geçirmeye yöneltmiştir. İsoarşik yapıya dayanan PROSIS yaklaşımı geliştirilip önerilmiştir. Bu özellik ile birlikte oluşturulan HMS yazılımı, HAIMES (Holonic Ambiant Isoarchic Manufacturing Execution System) olarak adlandırılmış ve uygulanmıştır.

## 5.1 İsoarşi Tanımı

İsoarşi terimi, Yunanca'da *iso* (eşit) ve *arşi* (güç) köklerinden oluşmakta ve eşit otorite, hiyerarşinin olmaması anlamına gelmektedir. İsoarşik yapıda her karar merkezi aynı karar verme yetkisine sahiptir. Bu nedenle her karar merkezinde karar verme mekanizmaları kopyalanmıştır ve her birinde farklı parametrelere sahip olacaktır. Dolayısıyla isoarşi, hiyerarşi karşıtı, heterarşinin özel bir hâli gibi karşımıza çıkmaktadır (Mesarović *ve diğ.,* 1980). Trentesaux (2002)'e göre merkezî olmayan yapıların içinde III. tip olarak sınıflandırılmaktadır.

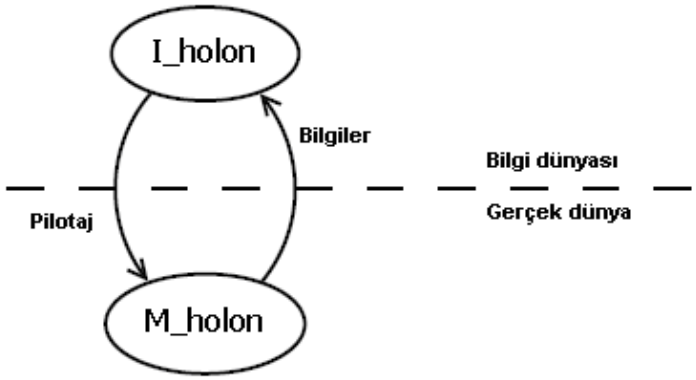
Bilimsel tartışmalara göre 'merkezî/hiyerarşik' ve 'merkezî olmayan/kendi kendini organize eden' olmak üzere iki tip pilotaj yapısı vardır. Merkezî sözcüğüne tam karşıt bir terim bulunamamıştır. Heterarşi, yerel hiyerarşik kararlar veren birçok karar düzeyine dağıtılmış yapılara uygulanmaktadır. Ancak isoarşi gerçekte ve tümüyle eşit olan yapılara uygulanmalıdır ve bu kavram holonik yapı ile gerçekleştirilebilir.

## 5.2 PROSIS Tanımı

PROSIS (Product, Resource, Order, & Simulation Isoarchic System) isoarşik holonik yaklaşımıdır. PROSIS'te tüm holonlar aynı karar düzeyindedir ve karar vermeye yardımcı araçlar sâyesinde her biri kendi ve çevresindeki sistem hakkında karar

verebilir. Holonlar iki parçadan oluşan varlıklardır: bir kısmı fiziksel bir kısmı bilgidir (Şekil 5.1):

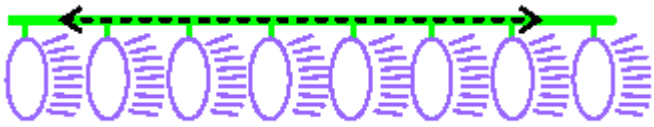
- Fiziksel kısmı M_holon diye adlandırılabilir, varlığın kendisidir.
- Bilgi kısmı I_holon diye adlandırılır ve holona karar verme zekâsını kazandıran bilgi-işlem sisteminden oluşur.




**Şekil 5.1 :** Bir holonun modeli

### 5.2.1 İsoarşik holonik yaklaşımının uygulanması

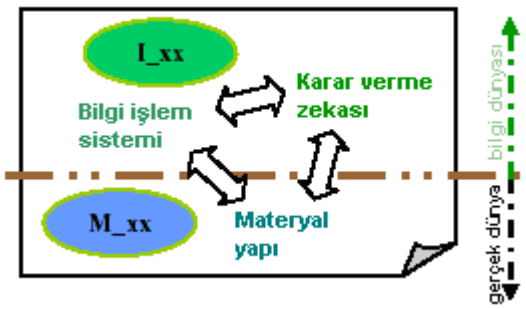
Karar kapasiteleri olan karmaşık bir sistemde, varlıkların özerkliği sâyesinde bütün kararlar alındığı zaman isoarşi vardır. Dolayısıyla varlıklar arasında eşzamanlılık, işbirliği ve destek olabilmesi için doğrudan doğruya iletişim kurmaları gerekmektedir. Karar merkezlerinin merkezî olmaması sonucu, üst düzeyden bir emir veya tavsiye olmadan, ortak bir iletişim protokolüyle etkileşim ve kopyalanmış işlevler sâyesinde, ortaklaşa karar verme sağlanmaktadır (Pujo ve Brun-Picard, 2002). Bu isoarşik yapının holonik yapıda bir uygulaması Şekil 5.2'deki 'Yatay Holonik Form'da (Bongaerts *ve diğ.,* 2000) da görülmektedir.



**Şekil 5.2 :** Yatay Holonik Form

Merkezî bir karar sisteminin olmaması, sistemin çalışması ile ilgili önceden tanımlı veya öngörülen tüm organizasyonları engeller çünkü bunu varlıklar yapacaktır. Bu oto-organizasyon, bu çalışmaya katılan her varlığın bilgilerini gerçek zamanlı olarak dikkate alır (Pujo *ve diğ.,* 2009a). Holon denilen varlıkların her birine zekâ ile bu işlevler birleştirilmiştir. Holon, bir materyal yapı (M_holon) ve diğer holonlarla

etkileşimli çalışmasını sağlayan karar verme zekâsına sahip bir bilgi-işlem sistemi (I_holon)'nden oluşan kavramsal bir varlıktır (Şekil 5.3).




**Şekil 5.3 :** XX holonunun temel yapısı

Üç tip holon vardır: Ürün, kaynak ve emir holonu.

**Ürün Holonu (ÜH):** Ürün holonu M_ürün (fiziksel nesne) ve ürünün üretim süreçlerini, durum modelini, izlenebilirliği için tüm bilgileri, sırasıyla geleceğini, şimdiki durumunu ve geçmişini içeren I_ürün'den oluşur (Pannequin ve Thomas, 2006). Üretilen veya üretim aşamasında ürün sayısı kadar ÜH bulunur. Bu PROSA ile temel farktır. Her bir M_ürün kendi I_ürünüyle infotronik teknolojiler sâyesinde bağlanır. Bu teknolojilere en iyi örnek RFID'dir; M_ürüne bağlı bir ID etiketi olur ve I_ürünün anahtar bilgilerini içerir. M_ürüne sabitlenmiş ID etiketinin tanım numarası I_ürün içinde stoklanır ve böylece ürün holonunun tutarlılığı özellikle de bir parçanın atölyede transferi sırasında fiziksel ile bilgisel akışlar arasındaki uyum sağlanır. Ayrıca ID etiketi I_ürün içinde stoklanan bilgilerin kalabalığına karşı izlenebilirlik özelliği de sağlar.

**Kaynak Holonu (KH):** Kaynak holonu PROSA'daki tanımına benzerdir. M_kaynak standart otomatik bir alete karşılık gelir (endüstriyel robot gibi) veya operasyonların yönetimindeki insan/makina arayüzüne bağlı bir manuel iş postasıdır. Kaynakların dağıtımındaki yöntemler I_kaynak olunca değişir, çünkü farklı tiplerdeki holonlar ile etkileşim isoarşik yapıda daha farklıdır. Kaynak holonunun amacı, kuyruğunu daha etkili yönetmek ve plânlanmış görevler için kendini müsait duruma getirmektir.

**Emir Holonu (EH):** Bu holon üretim sistemindeki bir iş emrini temsil eder. Birçok ürün holonunu kapsayan üretim emirleridir. Parti, kuyruk ve gecikme kavramlarına oldukça bağlıdır. I_emir, işin yerine getirildiği zamanlara, ekonomik etmenlere (parti büyüklüğü, kuyruğun hacmi, üretimdeki değişikliklerin enküçüklenmesi, partinin parçalanması vb.) dikkat çeker. M_emir ise ID etiketine sahip kağıtta bulunan üretim

emirleri veya yine etiketli ve M_ürünlerin manipülasyonunu sağlayan bir konteyner olacaktır. I_emir ve M_emir arasındaki eşzamanlılık, ürün holonundaki şekilde gerçekleşir.

**Simülasyon Holonu:** PROSA ile bir temel fark daha, isoarşik yapıda gerek duyulmayan Personel Holonu'nun olmayışıdır. Onun yerine Simülasyon Holonu konulmuştur fakat amacı tümüyle farklıdır: Tüm holonlar arası etkileşimlerin analizine göre üretim sisteminin durumunu inceler, gelişimini tasarlar ve olası bozukluklarının tahminini yapar. Bu tip holon, oto-organizasyona katkıda bulunmaz ama atölyedeki personelin işini kolaylaştırır: Proaktif özelliklerin (Pujo *ve diğ.,* 2004) pilotluğuna karşılık gelir ancak henüz geliştirilmemiştir.

### 5.2.2 PROSIS'in uygulama alanları

PROSIS, geliştiricileri tarafından çok çeşitli alanlarda uygulanıp denenmiş ve başarılı olmuştur. İsoarşik pilotaj uygulamaları şunlardır:

- **Esnek üretim sistemi (otomatikleşmiş torna hücresi):** Sayısal torna ve endüstriyel robotlardan oluşan üretim sisteminde dönüştürme (torna) ve manipülasyon (transfer) işlemleri için aday kaynaklar bulunmaktadır. PROSIS burada devreye girer ve davet gönderen aday kaynaklar arasından seçim yapmayı sağlar. Her kaynağa bağlı OPV (Özerk Pilotaj Varlığı) yazılımı sâyesinde, kaynağın ürünü işleme mâliyeti ile kaynağın kuyruğunda bekleyen ürünlerin mâliyeti gibi değerlere göre hesaplama yapılır ve aday kaynaklar arasında seçim sağlanır (Pujo *ve diğ.,* 2009b).
- **Robotik taşıma sistemi (demir-demir seçme poyrası):** Bir yöne doğru yol alacak yük trenlerine robotlar tarafından kısa zamanda taşınması gereken çok sayıda konteyner bulunmaktadır. Bu sistemde, ürün holonları konteyner, kaynak holonları robotlar ve emir holonları trenler olmak üzere PROSIS, robot atama ve iş sıralamayı belirlemede kullanılmıştır.
- **Robotik stoklama sistemi (otomatikleşmiş park etme):** AGV (Automated Guided Vehicule: Otomatik Güdümlü Araç) ve robotik park etme olan taşıma sisteminde, her kaynak taşımasını eniyilemeye ve en kısa sürede bu işlemi gerçekleştirmeye çalışır. Bunun için her kaynağa bağlı OPV yazılımı, yolun uygunluk durumunu ona bildirir. Olası en iyi yolu ve performansı ifâde eden teslim zamanı hesabına göre en hızlı yolu bulmasını sağlar.

- **Dinamik yeniden düzenleme yapabilen tedârik zinciri (oto-organize olan lojistik ağı):** Her müşterinin tedârikçi listesi ve her tedârikçinin müşterisinden gelecek sipârişleri genelde tanımlıdır. Müşteri/tedârikçi ilişkisi ticarî anlaşmaya dayanır ama bâzen ek sipârişler olabilir. Aralarında iletişim ağı bulunan bu ortaklar, müşteri sipârişi geldiğinde mâliyet, gecikme, kalite, güvenilirlik ve stratejik gibi birçok ölçüte göre en iyi tedârik çözümünü sağlamaya çalışır. Etkileşim, optimizasyon ve plânlama özellikleri bulunan OPV, kaynak holonu kabul edilen ortaklara bağlıdır ve davet geldiği zaman oto-organize olabilen bir lojistik ağı oluşturur.
- **Geleneksel atölye (Job Shop) (çekme sistemi):** JIT uygulanan sistemde çok ölçütlü PROSIS yaklaşımı sâyesinde kaynakların kuyruğunda bulunan ürünlerin iş sıralaması gerçekleştirilmiştir. Bu örnek ayrıntılı olarak Bölüm 6.3'de anlatılmıştır.

## 5.3 Holonlara Destek Yazılımı ve RFID

### 5.3.1 Özerk pilotaj varlığı (OPV)

Böyle bir holon grubunun oto-organizasyonu, pilotaj kararlarının yerel olarak alınmasına zorlar. PROSIS varlıkların fiziksel organizasyonunu yansıtır: her kaynak çevresinde fiziksel olarak *bir* M_kaynak, $p$ tane M_ürün ve $k$ tane M_emir bulunur. Emirler bu $p$ ürünle ilgilidir ($k \leq p$). Eğer her $k$ EH, $q_i$ ürünü ilgilendiriyorsa, (5.1) denklemi geçerlidir.

$$p = \sum_{i=1}^{k} q_i \qquad \textbf{(5.1)}$$

Pilotajda oto-organize karar alma bütün varlıkların katılımını gerektirir: kaynak, emirler ve ürünler. Bunun için ilgili ($1$+$p$+$k$) holonunun ($1$ I_kaynak, $p$ I_ürün ve $k$ I_emir) I_holonları arasında yerel ve özel etkileşimler gerçekleşir. Bu I_holonlar yerel bir 'Yatay Holonik Form' oluşturur. Bu holonların aynı amacı yoktur ama iyi bir pilotaj çözümünü içeren bir uzlaşma bulunmalıdır.

Bu etkileşimlerin yönetilmesi için, I_holonlara, ona özgü farklı hizmetler sağlayan Özerk Pilotaj Varlığı (OPV) her kaynağa yerleştirilmiştir. Bir OPV, ($1$+$p$+$k$) tane I_holonu alır, etkileşimlerini iyileştirir ve her kaynağın WIP (Work in Process)'i ile ilgili bilgileri gerçekleştirir. İki kaynak arasında bir EH ve/veya ÜH transferi

sırasında, I_holon bilgisayar iletişim ağı ile (*serialization*), M_holon ise az çok otomatikleşmiş taşıma sistemi ile geçer. Holonun iki parçası hiç bir zaman bir araya gelmez: WIP'e girebilmesi için bir holonu oluşturmak ve iki kısmını birleştirmek gerekir. Bunun için her OPV, RFID kuplörü ile donatılmıştır ve fiziksel dünya ile bilgi sistemi arasındaki eşzamanlılığı sağlamıştır. Bir ürün veya ürün partisi kaynağın kuyruğuna geldiğinde (veya terk ettiğinde), ilgili ID etiketi okunur ve {I_ürün, I_emir} bütünü gerçekleşir (OPV bilgi yapısına eklenir veya çıkartılır). Arşivleme, izlenebilirlik veya performans değerlendirme gibi diğer hizmetler, bir OPV tarafından sağlanabilir ve holonlar tarafından kullanılabilir.

Ayrıca OPV, parametre olan ölçütlere göre verimliliği arttırmak amacıyla, I_holonlar arasındaki etkileşimleri organize etmeye yarayan fonksiyonlara sahiptir. Oto-organizasyon problemi, ürün akışlarının gerçek zamanlı yönetilmesidir. Ürünlerin işlemleri tarafından önceden tanımlı akışlar olduğu zaman, kaynaklar arasında seçim yapma şansı yoktur. Pujo *ve diğ.* (2009a) bu durumun tam tersini ele almıştır ve bir ağ ile bağlı OPV'ler akışlara ait bilgileri değiş-tokuş etmektedir. Gerçek problem bu akışların geçiçi olarak ayarlanmasındadır. I_holonların taleplerine onları ilgilendiren bilgilere dayanarak yanıt vermek, bir sonra işlenecek ürüne WIP'tekiler arasından karar vermesi için sınıflandırma yapmak ve optimale yakın çözüme katkıda bulunmak OPV'lerin temel hizmetleridir. Birinci sınıflanan I_ürün ve I_kaynak doğrudan etkileşime girer ve bu çözümü uygular. Eğer bu gerçekleşmezse, sınıflandırılan ÜH'lerin devamına bakılabilir. PROSIS bu problemi, geleneksel sezgisellerle ve tek ölçütlü olarak ele almayı sağlar. PROSIS'in potansiyelini tam kullanmak için, ilgili holonların verilerini kullanan çok ölçütlü karar verme yöntemlerine yönelinmiştir.

### 5.3.2 Holonik sisteme bütünleşik RFID

RFID (*Radio Frequency IDentification*), radyo-etiket denilen işaretçileri kullanarak uzaktan veri alma ve bellekte tutma yöntemidir. Radyo-etiketler (*RFID etiketi* veya *RFID şifre çözücü*) kendinden yapışkanlı küçük etiketlerdir ve nesnelere, ürünlere, hattâ canlı varlıklara yapıştırılıp birleştirilebilir. Radyo-etiketler bir elektronik çipi olan antene sahiptir ve verici-alıcıdan gelen radyo uyarılarını alıp yanıt verebilmektedir. Bu çipler, bir tanımlayıcı ve tamamlayıcı bilgiler içermektedir. Bu tanımlama teknolojisi, barkod (elektronik etiket) ve insanlar gibi nesneleri

tanımlamak için kullanılabilir ve pasaportlara, taşıma kartlarına, ödeme kartlarına (temassız kartlar) uygulanabilir.

Ambiyans zekâsı kavramı aynı anda her yerde bulunma olarak da adlandırılıp, kullanıcıya nerede olursa olsun birbirine bağlı infotronik aletler, sensörler, işleticiler ile etkileme olanağını sağlar. Bunu çevresine gömülmüş ve dağıtık bilgisayar yapısına göre düzenlenmiş ağlar sâyesinde gerçekleştirir. Zekâ ambiyans olarak nitelendirilebilir çünkü görünür bir bağ olmadan iletişim kurabilen ve her yerde bulunabilen ajanlar bulunur. Bu yaklaşım üretim sistemlerinde birçok yerde uygulanır. Alışılmış çalışmalarına teknolojiler ve uygulamalar yenilik getirmiştir. Örneğin GPS modülleri araç filolarını, RFID çipleri paletleri izlemek için kullanılmıştır. Böyle bir kapasite, ambiyans ürünlerinin izlenmesini kolaylaştırır ve böylece stok düzeyleri düşer, ürün verilerinin gerçek zamanlı alınması ile elde bulundurmalar daha iyi saptanır (Rekik *ve diğ.,* 2008).

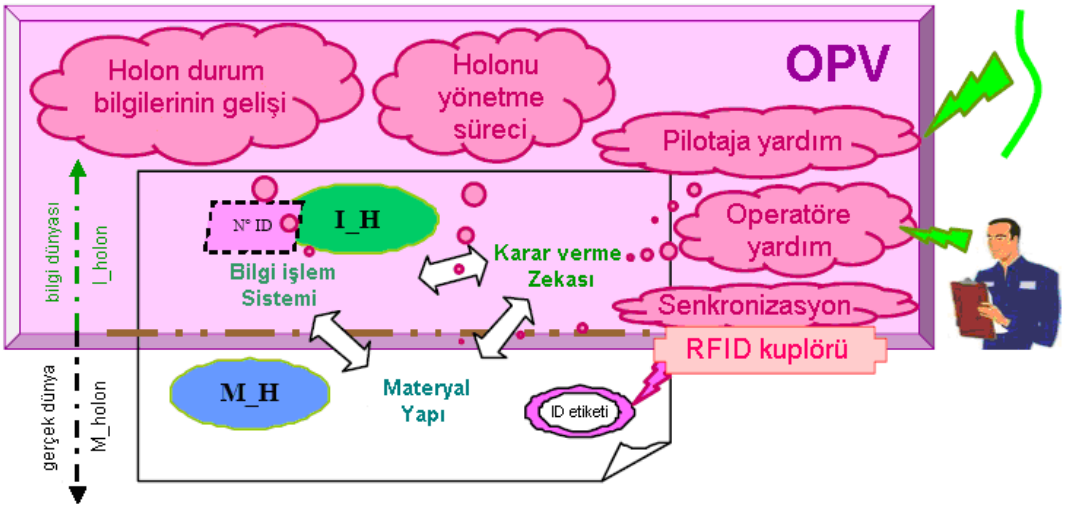
Uzun vâdede, kitlesel üretim (Ducatel *ve diğ.,* 2001; Huang *ve diğ.,* 2007), ürün güvenliği (Dobre ve Bajic, 2008) veya üretim ve dağıtımın işbirlikçi organizasyonu (Soroor *ve diğ.,* 2008) için daha iyi üstünlükler geliştirilebilir. Bu aşamada, araştırmalar basit infotronik teknolojilerin (RFID) 'akıllı ürün'de kullanılması ile sınırlıdır.

Örnek olarak, Hribernik *ve diğ.* (2006) yarı-özerk ürün kavramını önermiştir. Bu önerme 'Avatar Ürün' tarafından sağlanan bilginin yönetimine yoğunlaşmıştır. Bu kavram, dağıtık üretim ve her ürünün ilgili bilgisinin merkezî olmayan şekilde yönetilmesi olarak uygulamayı sağlamıştır. RFID, bağsız ağlar ve her yerde olabilen bilgi sistemi gibi yeni teknolojilerin kullanımı, ürünü, üretime, bakıma ve ürünün onarımına bağlı uygulamaların ağına bağlamayı sağlamıştır.

RFID'nin holonik sisteme bütünleştirilmesi için, Şekil 5.4, holonlara OPV tarafından önerilen çevresel hizmetlerinin farklı sınıflarını göstermektedir:

- Holonun durum verilerinin alınması (I_holon'un verilerinin yapısı)
- Holonun yönetim süreci (holon durumundaki değişikliklerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve her duruma göre ilgili hizmetlerin uygulanması)
- Operatöre yardım (OPV'nin ve bulunduğu bilgisayarların görsel arayüzü)

- Infotronik teknolojiler (RFID) yoluyla, I_holon ve M_holon eşzamanlılığı (senkronizasyon)
- Pilotaj çözümlerinin hazırlanmasına yardım




**Şekil 5.4 :** OPV tarafından bir holona sağlanan çevresel hizmet tipleri

Bir OPV'nin karşılama, yönetme ve eşzamanlılık hizmetleri vardır. OPV $(1+p+k)$ tane I_holonunu karşılar: Bu ilk çevresel hizmet, yerleşik olan I_kaynağını ayrıca WIP'i oluşturan mobil holonların dinamik bütününü de ilgilendirir. İç durum değişiklikleri veya holon giriş-çıkışı oldukça veriler güncellenmektedir. Her OPV, kaynağın kuyruğundaki ve ilgili $k$ tane I_emir holonuna bağlı $p$ tane I_ürün holonunu karşılamaktadır. WIP'e giren ürün için kural listesi oluşturulmuştur. OPV, ilerlemekte olan fiziksel bir akıştaki {I_EH, I_ÜH} çiftini içeren bir mesaj alır. OPV, RFID kuplorü tarafından taranmaya hazırdır:

- Her yeni RFID eşzamanlılığı olayında, WIP'e yeni ürün girer veya çıkar.
- OPV mesajda doğru M_ÜH olup olmadığına bakar:
- Hayır ise, başka mesaj arar.
- Evet ise, OPV'nin WIP'inde I_ÜH yaratılır, verileri yüklenir ve güncellenir. Sonra I_EH'de OPV'nin yerleşmiş olup olmadığı kontrol edilir:
    - Evet ise, I_EH güncellenir (ürün_miktarı = ürün_miktarı + 1).
    - Hayır ise, OPV'nin WIP'inde I_EH yaratılır, verileri yüklenir ve güncellenir.
- 2 durumda da, 2 varlık arasındaki ilişkisel bağlar belirlenmelidir.

Mobil holonun çıkışı için de benzer kurallar vardır. Bu geliş ile aktif duruma gelen oto-yönetim süreci, aslında bir durum modelini yönetir. Ulaşılan her duruma, ulaşılabilecek diğer olası durumlara ve varolan ve/veya aktif hizmetlere göre holonun davranışı değişir. Ayrıca holonla ilgili bilgilerin durumu ilgili I_holon'da gerçekleştirilmiştir (Pujo, 2009).

İki kaynak arası EH ve/veya ÜH transferi sırasında, I_holon bilgi iletişim ağı ile geçiş yaparken M_holon yarı otomatik taşıma sistemi ile geçiyordu. Bu nedenle holonun iki kısmı hiç bir zaman bir araya gelemiyordu. Bu noktada RFID kuplorü ile donatılan her OPV sâyesinde fiziksel dünya ile bilgi dünyası arasında eşzamanlılık sağlanabilmektedir. Dolayısıyla RFID teknolojilerinin PROSIS yönteminin içinde uygulanması ile bilgi sistemi ve gerçek maddesel durumun uyumu yönetilebilir.

# 6. HOLONİK VE İSOARŞİK PİLOTAJDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME

İsoarşik pilotaj, eşit olmayarak bâzı tip holonlara öncelik vermektedir. Bu holonların her biri kendi amaçlarına sahiptir ve bu, birleşik ve uyumlu karar almayı gerektirir. Çok ölçütlü analiz yaklaşımı bâzen zıt görüşleri dikkate almayı ve/veya uzlaştırmayı sağlar. Bu nedenle çok ölçütlü bir yöntemin kullanımı uygundur.

## 6.1 Çok Ölçütlü Karar Yöntemleri

### 6.1.1 Çok ölçütlü karar yöntemlerinin panoraması

Çok ölçütlü yöntemler üç tip sınıfa ayrılabilir: Çok ölçütlü karara yardım eden yöntemler, elemanter yöntemler ve matematiksel optimizasyon yöntemleri (Mekaouche, 2007). Problemin verilerine veya karar vericinin tercih modellemesine göre bu üç sınıftan biri seçilir. Holonik ve isoarşik sistem durumunda, bir kaynakta işlenecek ürünü seçmek, farklı seçeneklerin bilgisini gerektirir. Farklı ölçütlere göre seçenekler arasından seçilir. Bu yüzden matematiksel optimizasyon yöntemleri uygulanamaz. Amaç sınıflama yapmak olduğu için, elemanter yöntemler de kabul edilemez. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ise olası seçenekler arasından seçmek için karar vericiye yardımcı olur. Kaynağın kuyruğunda bekleyen tüm ürünler, seçenekleri oluşturur. Seçim tutarlılığını, mantığını inceleyerek ve tercihleri bütünleştirerek, tam, kısmî veya yerel yaklaşımlara göre seçenekler sınıflandırılır (Pujo *ve diğ.,* 2009a).

PROSIS'te bir kaynağın kuyruğunda bekleyen tüm ürünler sınıflandırmaya dâhil edilmelidir çünkü hiç bir ölçüt gözardı edilmez (Ounnar, 1999).

Birçok yöntem vardır (Mekaouche, 2007): ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), MAVT (Multiple Attribut Value Theory), MAUT (Multiple Attribute Utility Theory), SMART (Simple Multiple-Attribut Rating Technique), UTA (Utility Theory Additive), EVAMIX (EVAluation of MIXed criteria), WSM

(Weight Sum Method), WPM (Weight Product Method), AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process).

PROSIS'te uygulamak üzere, bu yöntemler arasından, yapısal ve biçimsel özellikleri bakımından AHP seçilmiştir (Pujo *ve diğ.,* 2009a). Bu yöntem, tercihler arasında tutarlığı kontrol etmeye izin verir. Ayrıca ölçütler niteliksel veya niceliksel olup, bağımsız ve aralarında da bağımsızdır.

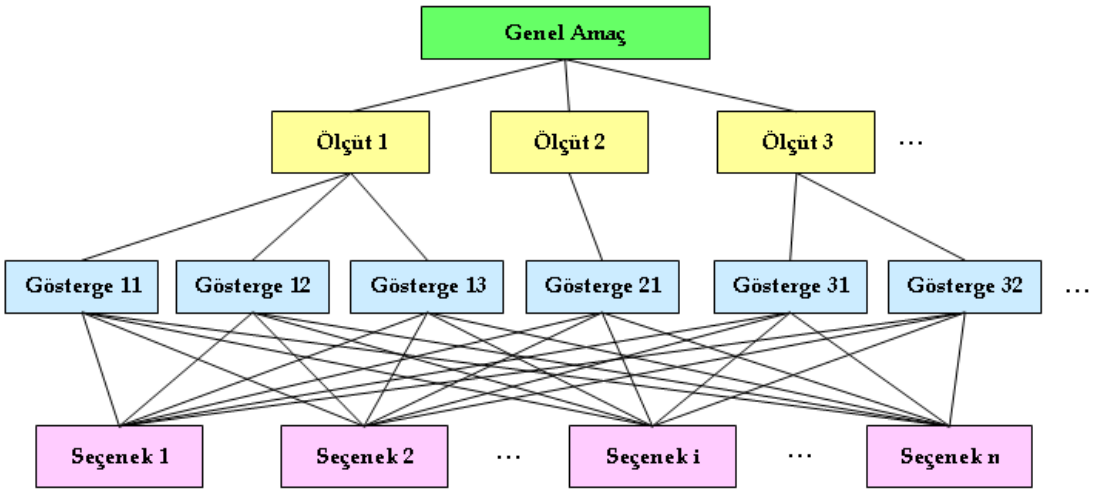
Genellikle AHP'nin üstün yanları şunlardır:

- Kullanma ve anlama basitliği
- Ölçütler, göstergeler, seçenekler vb. arasında hiyerarşi oluşturur. Bu, problemi ve çözümü bulmayı basitleştirir.
- Tutarlığı kontrol için tek bir yöntem önerir.
- Çok ölçütlü karar problemlerinin karmaşıklığını analiz edip çözmede başarılıdır.

## 6.2 AHP

AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi esas olarak Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir (Saaty, 1980; Saaty, 1982). AHP, karmaşık karar problemini bir veya birçok düzeye (amaç, ölçütler, alt ölçütler veya göstergeler, seçenekler) ayrıştıran ve ikili karşılaştırmalar sonucu değerlendirmelerin yapıldığı bir yöntemdir (Şekil 6.1). Bu yöntemin uygulamaları birçok alanda göze çarpar: taşıma plânlama, portföy seçimi, şirket plânlaması, pazarlama vb. AHP yönteminin gücü, karmaşık, çok kişili, çok özellikli ve çok zamanlı bir problemi hiyerarşik olarak yapılandırma özelliğinden gelmektedir.

Elemanların (genelde seçenekler ve ölçütler) ikili karşılaştırmaları bir ölçek (1-9 arası) yardımıyla oluşturulur ve hangi elemanın üstün olduğu gösterilir. Bu ölçekten sonra, seçeneklerin kıyaslanması, tutarlılık ölçüleri içinde hazırlanan öncelik (puan) hesabıyla yapılır.




**Şekil 6.1 :** AHP'de farklı düzeylerin genel yapısı

İki eleman arasında öncelik ölçeği Çizelge 6.1'de gösterilmektedir. 1-9 arasında olan bu ölçeği Saaty oluşturmuştur.

**Çizelge 6.1 :** İkili karşılaştırmalar ölçeği

| Eğer x, y'den … ise | Öncelik değeri |
|---|---|
| Eşit öneme/tercihe sahip | 1 |
| Az fazla öneme/tercihe sahip | 3 |
| Fazla öneme/tercihe sahip | 5 |
| Çok güçlü öneme/tercihe sahip | 7 |
| Mutlak üstün | 9 |

Ara değerler 2, 4, 6, 8 uzlaşma için kullanılmaktadır. Eğer x y'den daha önemsiz ise, bu değerlerin çarpmaya göre tersi öncelik değer olarak alınır.

AHP'nin hesaplama süreci 3 adımdan oluşur. 4.adım tercihe bağlıdır.

1. Ölçütlerin ve göstergelerin (alt ölçütlerin) ilgili önem derecelerinin belirlenmesi,
2. Her göstergeye ve sonra her ölçüte göre her seçeneğin önem derecelerinin belirlenmesi,
3. Her seçeneğin toplam öncelik puanının belirlenmesi,
4. Her ikili karşılaştırmanın tutarlılıklarının belirlenmesi.

Diğer yöntemlerden farklı olarak AHP karar vericinin tercihlerinin tutarlılığını ölçen tek yöntemdir ve varolan ölçütlerin bağımsız ve aralarında bağımsız olmasını dikkate alır. Bağımsızlığı dikkate alması, ölçütleri bağlayan ilişkileri farklı düzeylerin hiyerarşik yapısı ile oluşturulması demektir. Hiyerarşi yapısı (ölçütler, alt ölçütler,

seçenekler) aralarında bağlı olmak zorunda değildir, ayrı kümeler olarak gruplanabilir. Bu nedenle bu yöntemde hiç bir değerlendirme ölçütü gözardı edilmez (Pujo *ve diğ.,* 2009a).

Ayrıca AHP yöntemi, niteliksel ve niceliksel ölçütlerin dikkate alınmasını sağlar. Tüm bu özellikleri AHP'nin güçlü yanlarını göstermektedir (Ounnar *ve diğ.,* 2007). Dolayısıyla AHP yöntemi hiyerarşik yapıların incelenme sürecidir ve ölçütler ve göstergeler arasında tercihlerini belirterek seçeneklerin sıralamasını elde etmektedir. AHP verileri ve bilgileri doğrudan karar alma sürecinde kullanır ve tümüyle otomatikleştirilebilir (Pujo *ve diğ.,* 2009a).

AHP'yi uygulayan çok ölçütlü karar algoritması, her bir OPV'nin içine yerleştirilmiştir. Bu algoritma OPV tarafından holonlara ayrılmıştır ve holonların gereksinimini karşılamak için kullanılır: ÜH, KH ve EH'lerin farklı durumlarını dikkate alarak ÜH'ler için bir sınıflandırma tanımlar. Bir M_ürün işlenmesini tamamlayan bir KH için salt birinci olarak sınıflanan I_ürün önemlidir çünkü kaynak tarafından işlenecek bir sonraki M_ürüne aittir. Herhangi bir ÜH için algoritma, işlenme olasılığı hakkında az çok fikir verir ve ÜH parametrelerinin bâzılarını muhtemelen değiştirecektir.

AHP algoritması iki büyük aşamada gerçekleştirilir. İzleyen bölümde bu aşamalar incelenecektir.

### 6.2.1 AHP'nin oluşturma ve kullanma aşamaları

#### 6.2.1.1 AHP algoritmasının oluşturma aşaması

Kuyruktaki ürünleri sınıflandırmak için kullanılan AHP algoritması için, ilk önce ölçütlerin ve göstergelerin ilgili önem derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu, ÜH seçiminde önemlerine göre farklı $C_j$ ölçütlerinin arasında ikili karşılaştırmalar oluşturulmasını gerektirir. Algoritmanın bu 'statik' aşamasının (yâni KH ve geçebilecek ÜH'ler bazında OPV içine yerleştirilmiş her algoritma için bir kez uygulanacaktır) matematiksel tutarlılığı doğrulanmalıdır (Pujo *ve diğ.,* 2009a).

İlk önce ölçütleri genel amaca göre sınıflandırmak gerekir. Bunun için, 1-9 ölçeğine göre $C_i$ ve $C_j$ ölçütleri arasında ikili karşılaştırma değerleri olan her $c_{ij}$ elemanının bulunduğu [C] matrisi oluşturulur. Aşağıdaki kurallara uyulur ((6.1) ve (6.2)) :

$c_{ij} = 1/ c_{ji}$ **(6.1)**

$c_{ii} = 1$ **(6.2)**

Bu matris ilgili [$V_{COg}$] önem vektörünü belirlemeyi sağlar. Tutarlılık doğrulamaları verilen ağırlıkları denetlemeyi ve düzeltmeyi sağlar: Her belirlenen tutarsızlık, ilgili önem parametrelerinin yeniden tanımlanmasını gerektirir.

Tutarlılık aşağıdaki şekilde hesaplanır:

- $[C]_{nxn} x [V_{COg}]_{nx1} = [I]_{nx1}$ : İkili karşılaştırma matrisi, ilgili önem vektörü ile çarpılır ve I matrisi elde edilir.
- $[D]_{1xn} = \frac{I_n}{n}$ : I matrisinin her değeri n'ye bölünür (n önem matrisinin boyutudur: karşılaştırılan ölçüt sayısıdır).
- $\lambda_{max} = \frac{\sum_{k=1}^{n} D_k}{n}$ : D matrisinin her değerinin toplamı n'ye bölünür, $\lambda_{max}$ elde edilir (en yüksek özdeğer)
- $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$ : Bu bölme işlemi ile n boyutlu matrisin tutarlılık indeksi (*consistency index*) elde edilir.
- $CR = \frac{CI}{RI} \leq 0{,}10$ ise tutarlılık kabul edilebilir: bu formül, birçok simülasyon ile Saaty'nin belirlediği RI (*random index*: rastgele indeks) değerlerini (Çizelge 6.2) kullanarak, tutarlılık oranını verir (*consistency ratio*). Saaty, deneysel olarak CR değerlerinin 0,10'a eşit ve daha küçük olması durumunda tutarlılığın kabul edilebileceğini önerir.

**Çizelge 6.2 :** *n* boyutlu matriste rastgele indeks (RI) değerleri

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | … |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | … |

Sonra, $C_k$ ölçütlerine göre her $I_{kx}$ göstergesinin sınıflandırılması gelir. Bunun için $I_{ki}$ ve $I_{kj}$ göstergelerinin ikili karşılaştırma değeri olan her $i_{k,ij}$ elemanının olduğu, [$I_{Ck}$] matrisi oluşturulur. Her [$I_{Ck}$] matrisi için, [$I_{Ck}$] matrisinin tutarlılığı onaylanarak, ilgili önem vektörü [$V_{ICk}$] aynı ilkeye göre hesaplanır.

### 6.2.1.2 AHP algoritmasının kullanma aşaması

AHP algoritmasının dinamik kullanma aşaması, kuyruktaki ÜH'leri sınıflandırmayı sağlar. İlk olarak, her $C_k$ ölçütünün $I_{kx}$ göstergesine göre ÜH'ler sınıflandırılır. Her gösterge için, kuyruktaki ÜH'lerin gösterge değerleri ikili karşılaştırılır ((6.3), (6.4) ve (6.5)). Böylece $[P_{kx}]$ matrisi oluşturulur:

$p_{kx;ij} = I_{kx,j} / I_{kx,i}$ (gösterge değeri enküçüklenecek ise) **(6.3)**

$p_{kx;ij} = I_{kx,i} / I_{kx,j}$ (gösterge değeri enbüyüklenecek ise) **(6.4)**

$p_{kx;ij} = 1/p_{kx;ji}$ ve $p_{kx;ii} = 1$ (her iki durumda da geçerlidir) **(6.5)**

ÜH'ler arasında ilgili önem vektörü hesaplanır ve $[V_{PIk,x}]$ olarak adlandırılır. Sonra, ilgili seçimleri hiyerarşide yukarı çıkarmak gerekir çünkü esas amaç ÜH'lerin genel amaca göre önceliklerini belirlemektir. Her bir sütunun $[V_{PIk,x}]$ vektörü olduğu $[P_{Ik}]$ matrisi oluşturulmuştur. Her ölçüte göre ürünlerin ilgili önemlerini veren vektör oluşturulmuştur ve her ölçüt için şöyle hesaplanır (6.6):

$$[P_{Ck}] = [P_{Ik}] * [V_{ICk}] \quad \textbf{(6.6)}$$

$[P_{Ck}]$ vektörleri $[PC] = [PC_1, PC_2, ..., PC_n]$ matrisini oluşturmayı sağlar. $[PC]*[V_{COg}]$ çarpımı varsayılan ÜH'lerin öncelik vektörü $[V_{POg}]$ yi verir. Burada en büyük $v_{POg;y}$ bileşeni, seçilmesi gereken $ÜH_y$ 'ye aittir.

## 6.3 Isoarşik Pilotajın Sipâriş Tipi Atölyede ve Çekme Sisteminde Uygulanması

Bu bölümde, Pujo *ve diğ.* (2009a) makalesinde anlatılan PROSIS uygulaması üstünde durulacaktır. Bu örnek, tez çalışmasının temel kaynağı olmuştur.

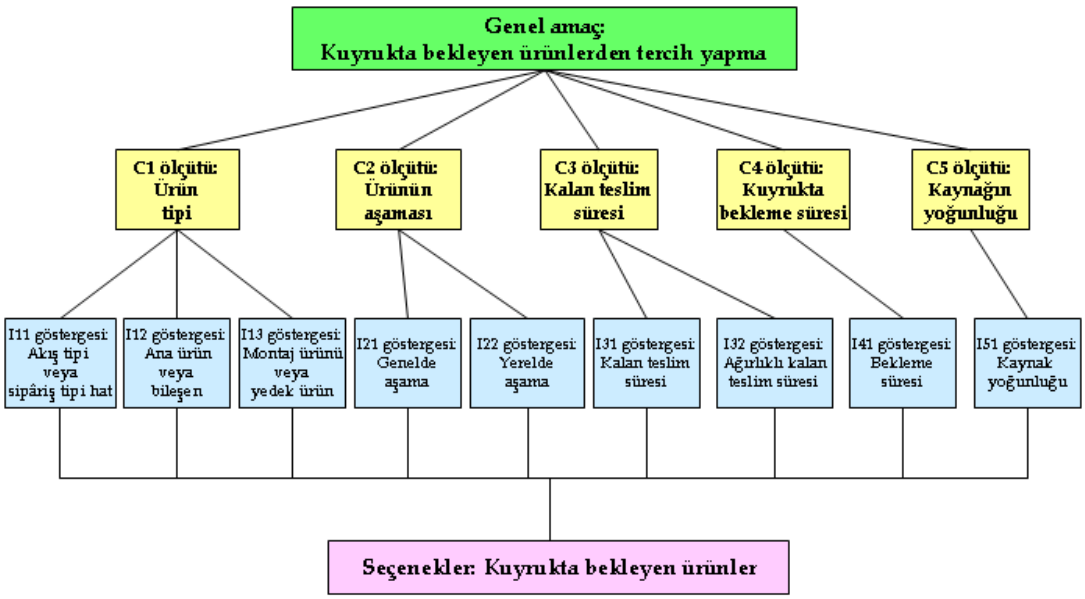
PROSIS modelini kullanarak sipâriş tipi atölyede isoarşik pilotaj uygulaması geliştirilmiştir. Pujo *ve diğ.* (2009a) yapay olarak çekme sistemi etkisi yaratmıştır. PROSIS'in holonik yaklaşımı, isoarşik karar yapısı ve çok ölçütlü analiz ile karar almaya yardımcı süreci sâyesinde, ÜH, KH ve EH'ler arasında farklı çıkarların uzlaşmasına olanak sağlamaktadır. Çözümün optimale yakın olması ve çekme sistemi stratejisine uyması için en iyi uzlaşmayı bulmak gerekmektedir.

PROSIS'in modellemesinde çok ölçütlü hiyerarşik karar yapısında farklı holonların ilgili bütün ölçütleri ve göstergeleri tanımlanmıştır. Bu model aşağıda alt başlıkta açıklanmaktadır.

Formülasyonundan sonra, bu modeli havacılık endüstrisinde uygulamışlardır. AHP ile PROSIS kullanımı sâyesinde, atölyede ortalama üretim süresinde %25'ten fazla düşüş, bekleme sürelerinde ise %50 civarında azalma ve PER'te (Process Efficiency Ratio) %35 iyileşme sağlanmıştır.

### 6.3.1 Ölçütlerin tanımlanması

Çok ölçütlü yapıda ölçütlerin tanımlanması için farklı (ÜH, KH, EH) bakış açılarından analiz gerekmektedir. Şekil 6.2'de gösterilen hiyerarşik karar yapısında seçilen ölçütler ve ilgili göstergeler gösterilmiştir. Bu yapı, PROSIS'te etkileşim içinde olan holonlar için farklı bakış açılarını birleştirmeyi sağlamıştır (Pujo *ve diğ.* 2009a).




**Şekil 6.2 :** Çok ölçütlü hiyerarşik karar yapısı

#### 6.3.1.1 Kaynak holonu açısından analiz

Bir kaynak her şeyden önce verimliliği sağlamalı ve bunun için üretim mâliyetlerini enküçüklemelidir. Bu ise en yüksek olması gereken PER (süreç verimlilik oranı) değerine göre hesaplanabilir. Bir strateji, kaynağın durmasını engellemektir. Bunun için muhtemelen daha az öncelikli olan ikinci bir üretim ile esas üretimle ilgili görev tamamlattırılır.

***$C_1$ ölçütü:*** İlk $C_1$ ölçütü, her KH'yi ÜH'ye bağlar ve bâzı üretim tiplerine öncelik vermeyi sağlar. Esas kaynak (ürüne adanmış kaynak) veya ikincil kaynak (denk bir kaynağın meşgul olması durumunda yerini alan kaynak) olması, önemli bir üretim hacminin parçası olan veya olmayan ve bir 'üretim hattı' yaklaşımıyla yönetilen ürün olması, yeni aletlerin montajı için ürün veya yedek parça için ürün olması vb. sınıflara ayrılabilir. İlgili her ($I_{11}$, $I_{12}$, $I_{13}$) göstergesi nitelikseldir ve atölyenin yönetimi tarafından dönem dönem tanımlanan değerlerdir.

***$C_5$ ölçütü:*** Bir diğer düşünce ise, etkinlik olmadan çalışmamaktır. Bir kaynağın yükü ne kadar artarsa, yüksek öncelikli ürünleri doğru sıralamak daha da olanaklı olur. Aynı şekilde, eğer sonraki ilgili kaynak çok yüklüyse, kaynakta zayıf veya orta öncelikli bir ürünü işlemek doğru olmayacaktır. $C_5$ ölçütü kaynağın yoğunluk oranına bakar ve bu varsayımları dikkate alır. Diğer durumlarda, bu ölçüt AHP algoritması ile elde edilen sınıflandırmayı etkilemeyecektir. Bu ölçüte bağlı $I_{51}$ göstergesi, kaynağın kuyruğunda bekleyen görevleri ölçer.

#### 6.3.1.2 Ürün holonu açısından analiz

Bir ÜH için temel amaç, en az üretim mâliyetidir. Yazılımda işlem sürelerinin genelde optimize edilmesi sonucu, ürünün bekleme süresini enküçüklemeye yönelmelidir. Eğer bu, kuyruklardan geçen tüm ürünler için sistematik olarak gerçekleşirse, olası en kısa çevrim dolayısıyla elde bulundurma mâliyetlerinin en küçüğü elde edilebilir.

***$C_2$ ölçütü:*** Bu amacı yanıtlamak için, yapay olarak çekme sistemi stratejisi uygulanmıştır. $C_2$ ölçütü, üretim sürecinde son aşamaya yakın olan ÜH'lere öncelik atar. Bir ÜH'nin geçirmesi gereken aşama sayısı n ve şu anki aşaması k olsun. ÜH bitişe ne kadar yakınsa (k/n 1'e yakınsar), bu ÜH'nin önceliği o kadar fazla olmalıdır. $I_{21}$ ($I_{21}$=k/n) göstergesi, ürünün genelde aşamalarına bakar ve geçirmesi gereken üretim aşamalarıyla (yâni ÜH'nin geçmesi gereken kaynakların sırası) ilgili 'yapay üretim hattı' boyunca akışları dinamikleştirir. Akış yönünde harekete geçirilen bu çağrı, ÜH'nin kendisi tarafından yapılır. Diğer bir deyişle, ÜH öncelikli olarak üretim sistemini ve KH'lere bağlı üretim kapasitesini boşaltmayı hedefler. Aynı şekilde, bekleme gecikmelerini her zaman enküçüklemek için, yerelde aşamayı gösteren $I_{22}$ göstergesi, eğer o ÜH'nin işleneceği bir sonraki KH'nin onu uzun sürede

işleyeceği kesinse ÜH'nin akışını hızlandırır. Bu gösterge önceden hiç bir taahhüt gerektirmez.

***$C_4$ ölçütü:*** Farklı öncelikli farklı ürünler, üretim sisteminde aynı anda dolaşmaktadır. Zayıf öncelikli bir ürünü kuyruğa gömmek ve bir daha onu oradan çıkaramamak, gözardı edilemeyecek bir risktir. $C_4$ ölçütü ve $I_{41}$ göstergesi, KH önünde ÜH'nin bekleme süresini dikkate alır ve çok uzun süredir kuyrukta bulunuyorsa, önemini arttırarak onu kuyruktan çıkarmayı hedefler.

#### 6.3.1.3 Emir holonu açısından analiz

***$C_3$ ölçütü:*** EH açısından esas amaç, teslim sürelerine uymaktır. İş sıralamada oldukça klasik bir yaklaşımdır. $C_3$ ölçütü her ÜH için kalan teslim süresini inceler. ÜH'nin kalan operasyon sayısı önemli olduğunda ve bağlı olduğu EH'nin teslim tarihi yaklaştığında, bu ÜH'ye, diğer ÜH'lere göre öncelik sağlanmalıdır. Dolayısıyla bu ölçüt bir EH'nin teslim tarihlerine uymayı sağlar. Birçok ÜH'den oluşan EH için, ÜH'lerin büyük bir bölümünün zaman içinde işleneceği varsayılır ama bâzı ÜH'ler gecikmeli olabilir. Bu ölçüt de geciken ÜH'lerin işlenmesini hızlandırmayı amaçlar. İlgili $I_{31}$ göstergesi, kalan süreden kalan aşamaların süreleri çıkarılarak bulunabilir ve ne kadar küçükse, ilgili ÜH o kadar önceliklendirilmelidir. Ağırlıklı kalan teslim süresi olarak tanımlanan $I_{32}$ göstergesi ise, $I_{31}$'i kalan aşama sayısına oranlar ve geçirmesi gereken aşama sayısının az olduğu ÜH'leri önceliklendirir.

Başka göstergeler de dikkate alınabilir. Örneğin Kritik Oran (*Critical Ratio*) (Berry ve Rao, 1975) kullanılarak, kalan teslim süresinin farklı yönlerinin dikkate alınmasını sağlayabilir. ($CR = [D_i - \tau] / \Sigma\, t_{ij}$, burada $D_i$: $EH_i$ için teslim tarihi (*due date*), $t_{ij}$: $ÜH_i$'nin ilgili KH'de işlendiği j aşamasının işlem süresi ve $\tau$: şimdiki zaman)

### 6.3.2 Ölçüt öncelikleri ve matematiksel formülleri

PROSIS'teki AHP hiyerarşisinde, ölçütler ve her ölçüt için göstergeleri arası öncelik matrisleri oluşturulmuştur (Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4). Bu matrisleri oluştururken, örneğin Çizelge 6.3'de ikinci satır birinci sütuna bakıldığında, $C_2$'nin $C_1$'den 3 kat daha önemli olduğu tecrübelere dayanarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde matris okunduğunda, $C_1$'in $C_3$'ten 3 kat daha önemsiz olduğu görülmektedir.

**Çizelge 6.3 :** Ölçütler arası öncelik matrisi

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **$C_1$** | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 |
| **$C_2$** | 3 | 1 | 1 | 9 | 3 |
| **$C_3$** | 3 | 1 | 1 | 9 | 3 |
| **$C_4$** | 1/3 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/3 |
| **$C_5$** | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 |

**Çizelge 6.4 :** $C_1$, $C_2$ ve $C_3$ ölçütleri için göstergeler arası öncelik matrisleri

| | $I_{11}$ | $I_{12}$ | $I_{13}$ |
|---|---|---|---|
| **$I_{11}$** | 1 | 1/3 | 1/3 |
| **$I_{12}$** | 3 | 1 | 1 |
| **$I_{13}$** | 3 | 1 | 1 |

| | $I_{21}$ | $I_{22}$ |
|---|---|---|
| **$I_{21}$** | 1 | 1 |
| **$I_{22}$** | 1 | 1 |

| | $I_{31}$ | $I_{32}$ |
|---|---|---|
| **$I_{31}$** | 1 | 5 |
| **$I_{32}$** | 1/5 | 1 |

Ölçütlerin ve göstergelerin sayısal değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu yüzden AHP için matematiksel formülleri geliştirilmiştir. Her bir göstergenin yanında enbüyükleneceği veya enküçükleneceği belirtilmiştir.

**C1 ölçütü: Ürün tipi**

Bu ölçüt, en yüksek verimliliği hedefleyen ürün holonunun gereksinimlerine yarar. Kaynaktaki ürünlerin durumuna bakar ve önceliklendirme yapar. Akış tipi atölye olan bir üretim hattının, sipâriş tipine göre daha önemli olduğu varsayılır, çünkü atölyede akışların doğrusallaştırılması gerekir. Bir montaj ürünü, yedek parça için stoklanan bir ürüne göre daha önemlidir. Bu bilgiler başta tanımlanır ve sabittir. ÜH Excel dosyasında tutulur.

**I11 göstergesi: Akış tipi veya sipâriş tipi hat (enbüyükleme)**

ÜH dosyasında ilgili alandaki bilgi alınır. Eğer alan boş ise 1, “Sipâriş Tipi" yazılı ise 3, “Akış Tipi” yazılı ise 5 değerleri gönderilir.

**I12 göstergesi: Ana ürün veya bileşen (enbüyükleme)**

ÜH dosyasında ilgili alandaki bilgi alınır. Eğer alan boş ise 1, “Bileşen" yazılı ise 3, “Ana” yazılı ise 5 değerleri gönderilir.

**I13 göstergesi: Montaj ürünü veya yedek ürün (enbüyükleme)**

ÜH dosyasında ilgili alandaki bilgi alınır. Eğer alan boş ise 1, “Yedek" yazılı ise 3 ve "Montaj" yazılı ise 5 değerleri gönderilir.

**C2 ölçütü: Ürünün aşaması**

Bu ölçüt ürün holonunun mâliyeti küçültmesini sağlar. Kuyrukları ve ürünün çevrim süresini küçülterek bu amaca ulaşmayı hedefler.

**I21 göstergesi: Genelde aşama (enbüyükleme)**

Atölyenin çıkışına en yakın ürünleri hızlandırmak için akışları yapay olarak değiştirir. ÜH'nin üretim sürecinde toplam üretim aşama sayısına (statik) ve şu anki aşama numarasına bakar (6.7).

$$I21 = \frac{suanki_asama_no}{toplam_asama_sayisi} \tag{6.7}$$

**I22 göstergesi: Yerelde aşama (enbüyükleme)**

Alet değişimi olmayacak (aynı tip) ve aynı üretim emrine ait ürünleri önceliklendirir. Partiler hâlinde üretimi destekler ama zorunlu kılmaz. Aslında üretimdeki değişiklik sayısını indirgeyerek tek parça akışı yapılmaya çalışılır. ÜH dosyası için ilgili EH ve ürün tipi alanlarına bakılır. Bu bilgiler dinamiktir çünkü KH'nin WIP'inde o anda bulunan ÜH ve EH'lere bağlıdır.

Eğer ÜH, EH'sinde sonuncuysa 1, eğer işlenmiş ÜH ile şu anki ÜH farklı tipten ise 3, eğer işlenmiş ÜH ile şu anki ÜH aynı tip fakat farklı EH'den ise 5, eğer işlenmiş ÜH ile şu anki ÜH aynı tip ve aynı EH'den ise 7 değerleri gönderilir.

**C3 ölçütü: Kalan teslim süresi**

EH'nin amacı üretim gecikmelerinin olmamasıdır. Bu gecikmeler çok pahalı olduğu için en üst derecede kaçınılmalıdır. Bu nedenle bu ölçüt, kalan teslim süresi azalan ürüne öncelik verir.

**I31 göstergesi: Kalan teslim süresi (enküçükleme)**

EH'de teslim tarihine, şu anki zamana (dinamik) ve ÜH'de kalan aşamaların (toplamda *n* aşama var) süresine (dinamik) bakılır (6.8).

$$I31 = (tes\lim_tarihi - suanki_zaman) - \sum_{i=suanki_asama}^{n} asama_suresi[i] \tag{6.8}$$

**I32 göstergesi: Ağırlıklı kalan teslim süresi (enküçükleme)**

ÜH'de kalan aşama sayısı hesaplanır (dinamik) (6.9).

$$I32 = \frac{I31}{n - suanki_asama} \quad \textbf{(6.9)}$$

**C4 ölçütü: Kuyrukta bekleme süresi**

Bu ölçüt bir ürünün tüm blokajlarına engel olur. Bir kaynaktan geçen tüm ürünler düşünüldüğünde, AHP'de sürekli kötü puan alan bir ürün WIP'ten çıkamayabilir. Bu ölçüt ile kaynağın kuyruğunda uzun süredir bekleyen ürün öncelik kazanır.

**I41 göstergesi: Bekleme süresi (enbüyükleme)**

ÜH'nin kaynağın WIP'ine geliş tarihine (dinamik) ve şu anki zamana (dinamik) bakılır (6.10).

$$I41 = suanki_zaman - gelis_tarihi \quad \textbf{(6.10)}$$

**C5 ölçütü: Kaynağın yoğunluğu**

Bu ölçüt, bir ürün ile kaynağın tekelleşmesini (monopolizasyonunu) engellemek içindir. WIP'teki ürünlerin toplam işlem sürelerine bakılır.

**I51 göstergesi: Kaynak yoğunluğu (enküçükleme)**

WIP'te bulunan tüm ürünlerin o kaynakta işlem süreleri bulunmalıdır (6.11).

$$I51 = \sum_{i=0}^{nWIP} WIP.Urun_Holonu[i].suanki_asamanin_suresi \quad \textbf{(6.11)}$$

Çizelge 6.5, PROSIS'teki ölçütler ve farklı tip holonlar arası iletişimleri göstermektedir. Örneğin $C_3$, EH ile ilgilidir ve ondan veri alır.

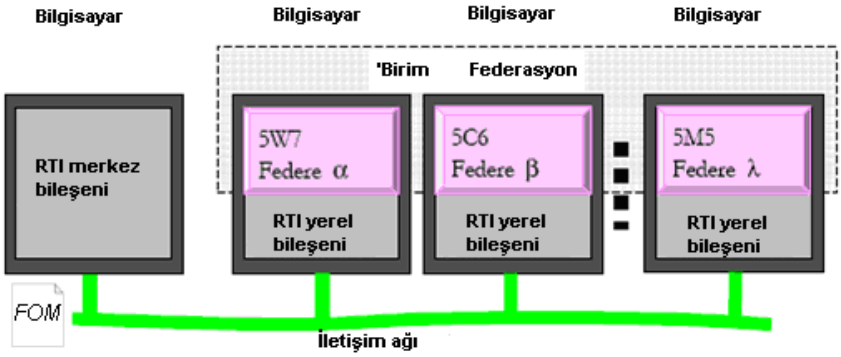
**Çizelge 6.5 :** Ölçütler ve holonlar arası ilişkiler

| | ÜH | KH | EH |
|---|---|---|---|
| $C_1$ | | X | |
| $C_2$ | X | | |
| $C_3$ | | | X |
| $C_4$ | X | | |
| $C_5$ | | X | |

### 6.3.3 Dağıtık ve birlikte işleyen simülasyon platformu

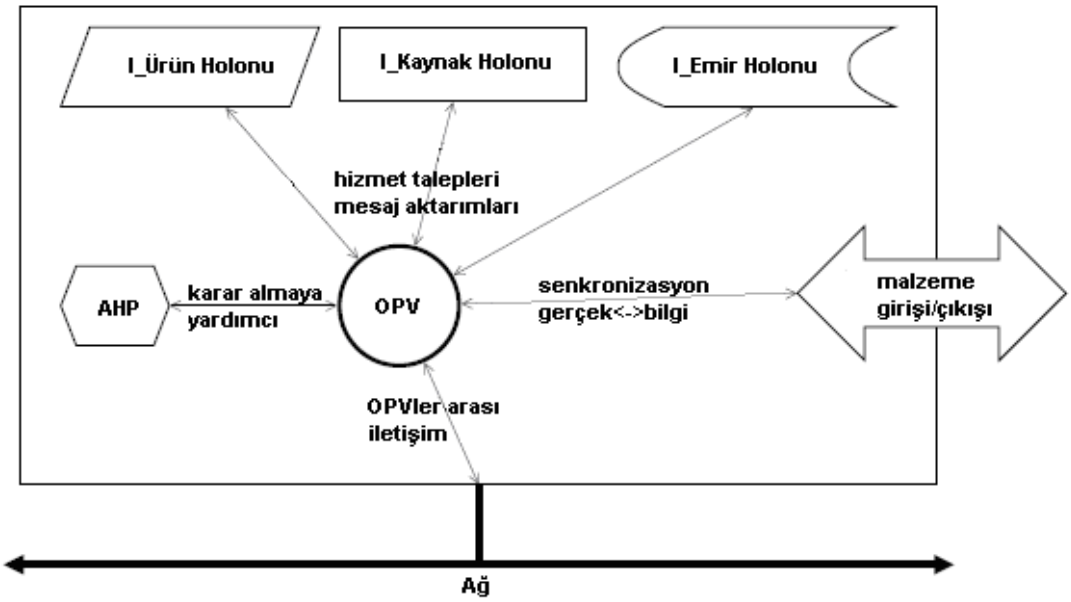
Java'da bir uygulama platformu geliştirilmiştir. HLA (High Level Architecture - IEEE P1516) dağıtık simülasyonu da kullanılmıştır. Kaynaklar arası iletişimde eşzamanlılık problemi HLA sâyesinde giderilmeye çalışılmıştır. Bu platformda

kaynakların isoarşisi, simülasyon federasyonu ve her federe OPV'nin bir kaynak holonuna bağlı olup I_kaynak'ı desteklemesi sağlanmıştır (Şekil 6.3). Bu OPV, emir ve ürün holonlarının dolaşması için gerekli I_emirleri ve I_ürünleri alır. Ayrıca çok ölçütlü pilotaj mekanizmalarını çalıştırır (Pujo *ve diğ.,* 2009a). Gerçek zamanlı veri transferi sağlanır ve iletilen bilgiler Federation Object Module (FOM) dosyasında gözükür.




**Şekil 6.3 :** HLA simülasyonunun yapısı

Holonların iletişimi, bilgi alışverişi, karar vermelerine yardımcı olmak için OPV'ler bulunmaktadır. Holonlar fiziksel gerçeğe göre oluşturulmuştur ancak grafik arayüzü olan özel bir iletişim sistemine bağımlı olmamalıdır.

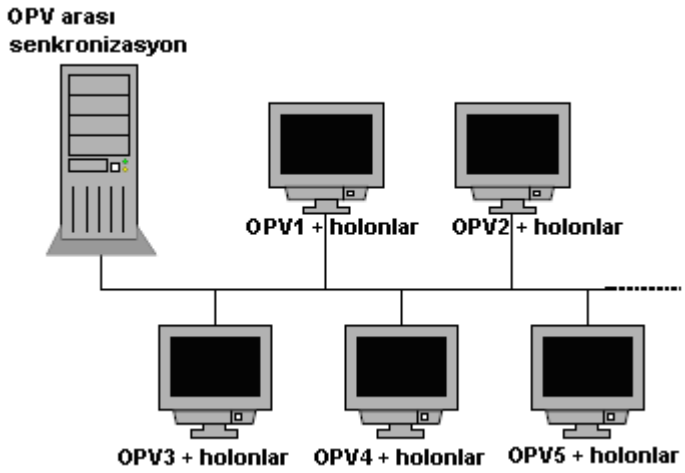



**Şekil 6.4 :** OPV tarafından sağlanan hizmetler

Bunun için OPV holonlara gereksinim duyulan bâzı hizmetleri (Şekil 6.4) sağlar:

- **İletişim sistemi:** Holonların mesaj gönderip alabilmeleri için kapsamlı yöntemler önerir.
- **Biçimlendirme ve arşivleme sistemi:** OPV holonları başlatıp simülasyon sonuçlarını kaydetmelidir.
- **Karar vermeye yardımcı sistem:** OPV yöneylem araştırması algoritmalarıyla holonların karar vermesine yardımcı olmalıdır. PROSIS'te kullanılan AHP'dir.
- **Giriş/çıkış sistemi:** Holonların ilkesine göre I_holon her zaman M_holonun durumunu yansıtmalıdır. Malzeme giriş çıkışlarına göre ile holonların gerçek dünya ile eşzamanlılığı sağlanmalıdır.

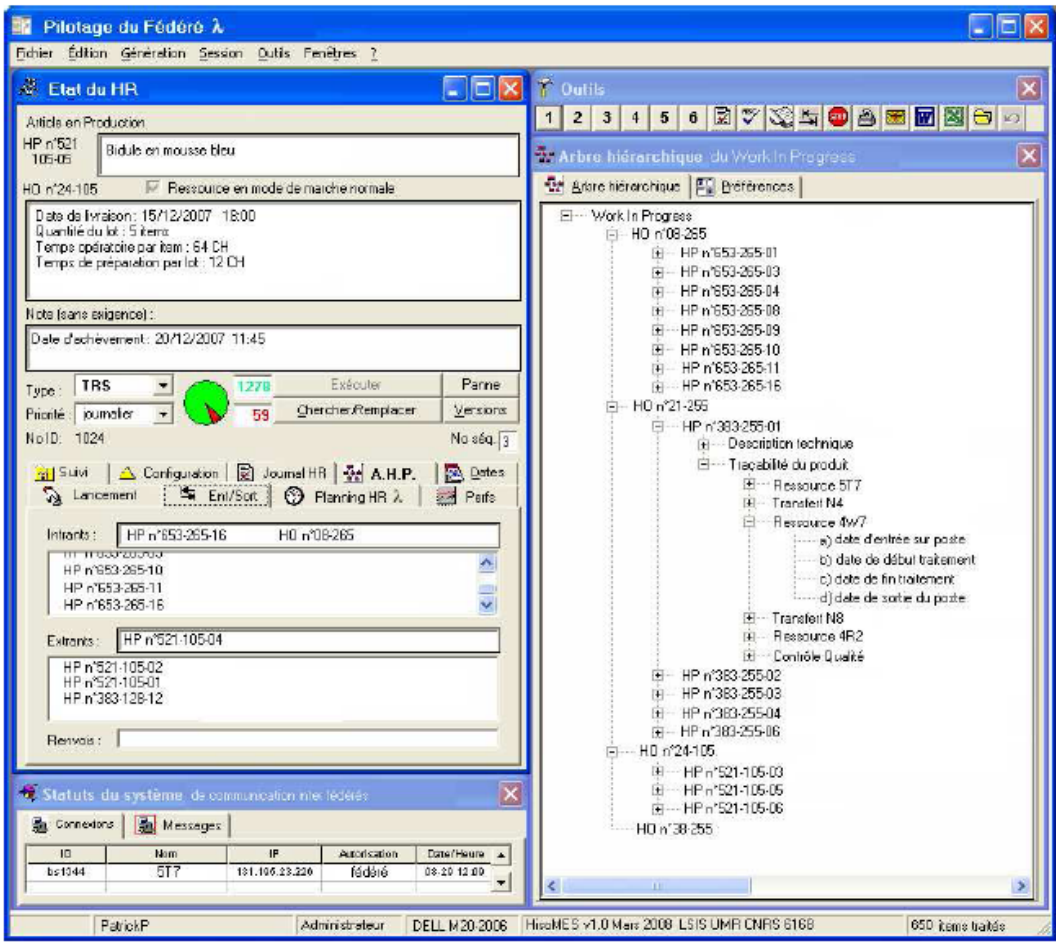
OPV tarafından holonik sisteme sağlanan iletişim kapasiteleri birçok OPV'yi birleştiren dağıtılmış bir pilotaj mimarisine imkan verir (Şekil 6.5).



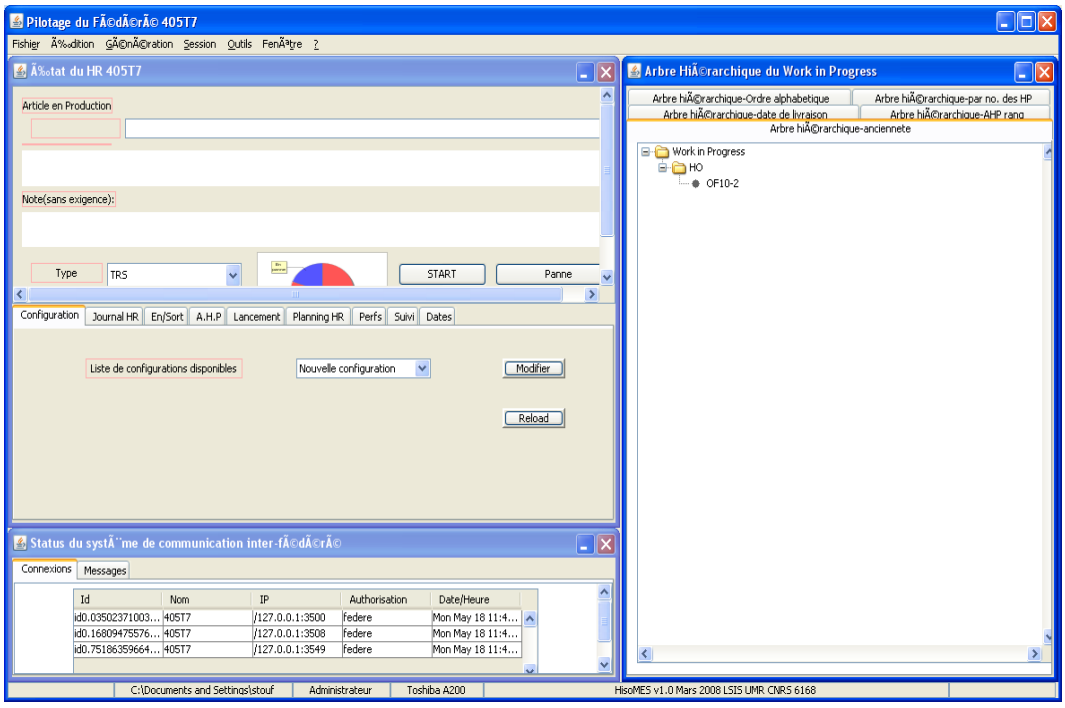

**Şekil 6.5 :** OPV Ağı

Bu yapı için HLA programı kullanılarak "federe" denilen farklı varlıklar senkronize edilmiştir. Her federede bir OPV vardır ve holonlar onun hizmetlerinden yararlanır. Bu dağıtılmış yapı, bütün atölyeyi merkezî olmayan biçimde tasarlamak ve yönetmek için kullanılabilir. Her kaynak ürünleri hangi sırada işleyeceğine kendi karar verir.

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de OPV'ye bağlı bir iş postasının arayüz ekranı görülmektedir. İlgili holonların ve önerilen hizmetlerin (AHP, göstergeler vb.) tüm verilerine erişimi sağlamaktadır. Ekranın sağ tarafı makinenin kuyruğuyla ilgili bilgileri tutar. Sol üst taraf kaynağın (makina, iş postası vb.) durumunu gösterir. Sol alt taraf ise kaynaklar arası ürün dolaşımının bilgilerini içermektedir. Şekil 6.7'de sağ kısımda gelen iş emri gözükmekte ve işlendiği sürece ekranda kalmaktadır.




**Şekil 6.6 :** İş postası arayüzü




**Şekil 6.7 :** OPV'nin arayüzü

### 6.3.4 Test verilerinin girilmesi

Bu simülasyon platformu için girilmesi gereken bilgiler 3 dosyada toparlanmıştır. HAIMES projesi ekibi Excel'de ÜH, EH ve KH dosyalarını oluşturmuştur. Yazılım bu dosyalara bağlanıp bilgileri almaktadır. Dosyalar simülasyon için gerekli bilgileri içerir ve platformda dolaşan nesneleri yaratmaya, AHP algoritmasının hesaplarını uygulamaya yardımcı olur.

- **ÜH'nin verileri:** ÜH'yi ilgilendiren 3 ölçüt bulunmaktadır: C1 (I11, I12, I13), C2 (I21, I22) et C4 (I41). Bu ölçütleri ve göstergelerini dikkate alır. I11, I12, I13 göstergeleri için 3 ayrı alan ayrılmıştır. I21, I22, I41 için alt ürünün işlem özellikleri yeterlidir. Simülasyon için gerekli olan bilgiler şunlardır:
  - Parçanın referansı
  - Parçanın kodu
  - Parçanın adı
  - Ürün Tipi1 (I11): Akış Tipi veya Sipâriş Tipi hat
  - Ürün Tipi2 (I12): Ana ürün veya bileşen
  - Ürün Tipi3 (I13): Montaj ürünü veya yedek ürün
  - Alt ürün işlemleri:
    - Aşama no
    - Görevli iş postası
    - Hazırlık süresi
    - İşlem süresi
- **EH'nin verileri:** AHP'de EH'yi C3 (I31, I32) ilgilendirir. Kalan teslim süresi hesaplamaları simülasyonun yürütülmesi ile yapılır. Hesaplar için iki EH tarihine gereksinim vardır: Dosyanın başlangıç zamanı ve teslim zamanı. Bu kısım gerçekleşirken her dosyanın ilk aşamasını belirten bir alan yaratılmıştır. Simülasyonun başlama aşamasında, bu alanın değeri dosyadaki ilk parça ile kıyaslanır. Alandaki değer, ürünün ilk üretim aşamasının süresinden daha küçükse, parça üretimde işlenmekte demektir ve ilgili makinanın kuyruğuna gönderilir. AHP için gerekli bilgiler şunlardır:

- Dosya referansı
- İlgili parça tipi
- Parça miktarı
- Başlangıç tarihi
- Teslim tarihi
- Dosya başlangıç işlemi

- **KH'nın verileri:** AHP'de C5 (I51) KH'leri ilgilendirir. I51 kaynağın yoğunluğu her kaynak için gerçek zamanlı hesaplanır. Her KH için gerekli bilgiler tanımlayıcı bilgilerdir:
  - Kaynak kodu
  - Kaynak tarafından yapılan işlem türü
  - Kaynak adı

# 7. PEDAGOJİK FABRİKADA UYGULAMA

Çok ölçütlü isoarşik pilotaj modeli, öğrencileri eğitmek amacıyla bir laboratuarda geliştirilen ve bu nedenle pedagojik fabrika olarak adlandırılan bir fabrika modelinde uygulanmıştır. Önceki örnek bu probleme uyarlanmış ve geliştirilmiştir. Ayrıca öğrencilerin uygulama yapması amacıyla MRP ve Kanban sistemleri ile üretim ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Bu fabrika uygulaması, Fransa'da bir üniversitede lisans dersi kapsamında yapılmıştır. Ancak onlar MRP ve Kanban ile sınırlı kalmıştır. Tez kapsamında, ek olarak çok ölçütlü isoarşik pilotaj modeli, bu üretim sisteminin verilerinden yararlanılarak uygulanmıştır.

Marsilya'da bir araştırma laboratuarında gerçekleştirilen uygulamada, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille Endüstri ve Bilgisayar Mühendisliği bölümünde bulunan öğrenciler gerçek bir üretim sistemini yönetme deneyimi kazanması amacıyla, çok işlevli bir üretim platformu hazırlanmıştır.

LSIS (Bilgi ve Sistem Bilimleri Laboratuarı) adlı laboratuar, DIAM (UPRES-EA n°2210), LIM (FRE n°2246) ve Aix-en-Provence'de bulunan ENSAM (Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers) araştırma ekiplerinin birleşmesiyle 2002 yılında kurulmuştur. Araştırma faaliyetleri bilgisayar, otomatik ve üretim konularını kapsamaktadır. LSIS'de gerçek sistem modellerinin geliştirilmesi, analiz yöntemlerinin tanımlanması ve yapay sistemlerin yaratılması gibi çalışmalar yönetilmektedir. Araştırmada önder bir rolü vardır ve birçok üniversite ve üç mühendislik okulunu (ENSAM, Luminy Mühendislik Üst Okulu, Polytech'Marseille) içermektedir.

## 7.1 Pedagojik Fabrikada Üretim

Pedagojik üretim fabrikasında endüstri mühendisliği öğrencilerinden gruplar oluşturulmuş, basit îmalat parçaları üretmek hedeflenmiştir. Üretim ve montaj aşamaları tanımlanmıştır. Teknik operasyonlar zorluk içermemektedir ama üretim sisteminin işlevsel ve davranışsal önceliklerini yansıtabilmektedir. Her ne kadar

birçok ürün esnekliğini ve kesintilerle karşılaşınca olması gereken tepkiyi sağlayamasa da, tüm üretim, yönetim ve bunun için gerekli araç şekillerini uygulamayı sağlamıştır.

Bu uygulama fabrikasında, fabrika ekipmanlarının değişik yönetim şekilleri ve fabrikanın simülasyon ile çalışma yöntemine göre davranışının incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Üretimin gerçekleşmesi için, operatör olarak moda ve kıyafet meslek lisesinden bir grup öğrenci çağrılmıştır. Dolayısıyla fabrikada tüm roller öğrencilere aittir.

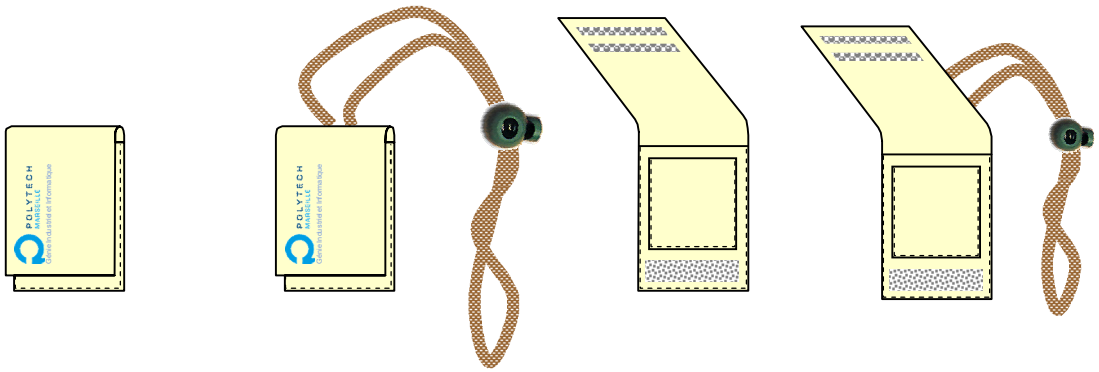
Üretilen ürünler bir dizi cep telefonu kılıfı çeşididir (Şekil 7.1). Kesilmiş kumaşların montajı ile gerçekleşen ve 4 model olarak geliştirilen bu kılıflar, değişik logolar (Polytech'Marseille – GII, LSIS, IC STAR, LEP La Calade) tarafından desteklenmiştir. Bu 4 model şunlardır:

(a) Standart model

(b) İpli model

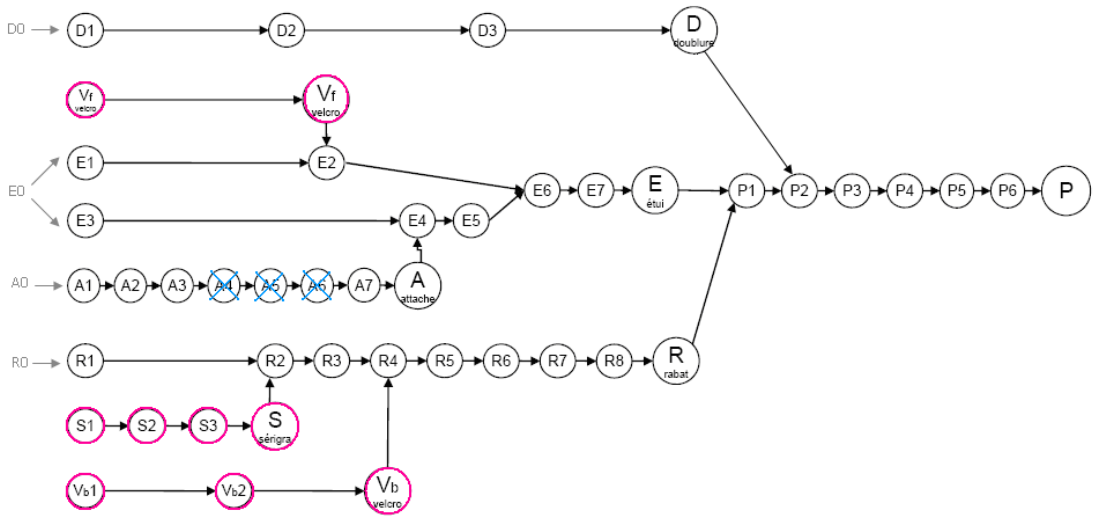
(c) İç cepli model

(d) İpli ve iç cepli model




**Şekil 7.1 :** Tasarlanan 4 tip cep kılıfı modeli

Alt ürünlerin bütün üretim ve montaj aşamaları tanımlanmıştır. Şekil 7.2'de üretim aşamaları (ürün ağacı) adım adım gösterilmiş, Çizelge 7.1'de ise her bir aşamanın ayrıntısı ve tahminî süreleri açıklanmıştır. $V_f$, $V_b$ ve S alt ürünleri dışarıdan hazır satın alınıp doğrudan üretimde kullanılmaktadır.



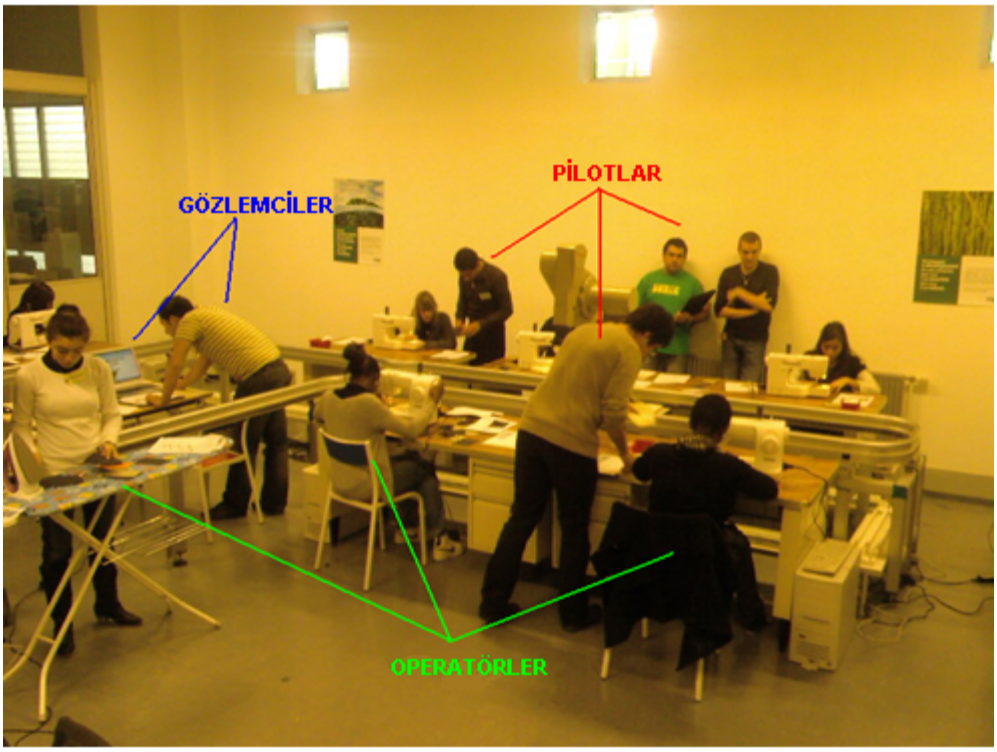

**Şekil 7.2 :** Cepsiz (a) modelinin üretim aşamaları ($V_f$, $V_b$, S hazır)

**Çizelge 7.1 :** Alt ürünler ve işlemleri

| Alt ürünler | İşlemler | Açıklama | Ortalama süre (sn) |
|---|---|---|---|
| Astar (D) | D1 | Astarı katlama | 4 |
| | D2 | Astarda oyuk açma | 22 |
| | D3 | Açık dikişleri ütüleme | 28 |
| Bağ (A) | A1 | Bağda oyuk açma | 30 |
| | A2 | Açık dikişleri ütüleme | 30 |
| | A3 | Ters çevirme | 15 |
| | A4 | Düğmeleri batırma | (iptal) |
| | A5 | Düğme 1'i dikme | (iptal) |
| | A6 | Düğme 2'yi dikme | (iptal) |
| | A7 | Üstten dikiş | 90 |
| Kapak (R) | R1 | Logoyu iğneleme | 10 |
| | R2 | Kapağa logo transferi | 60 |
| | R3 | Çıtçıtı iğneleme | 10 |
| | R4 | Çıtçıtı kapağa monte etme | 60 |
| | R5 | Oyuk açma | 120 |
| | R6 | İşaretlere çentik | 10 |
| | R7 | Ters çevirme | 30 |
| | R8 | Üstten dikiş | 130 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Kılıf (E) | E1 | Ön kılıfa çıtçıtı koyma | 20 |
| | E2 | Çıtçıtı dikme | 78 |
| | E3 | Arka kılıfa bağı koyma | 5 |
| | E4 | Bağı birleştirme (1. taraf, üst) | 27 |
| | E5 | Bağı birleştirme (2. taraf, aşağı) | 26 |
| | E6 | Kılıfın iki parçasını birleştirme | 90 |
| | E7 | İşaretleri silme Ters çevirme | 60 |
| Poşet (P) | P1 | Kılıfla kapağı birleştirme | 30 |
| | P2 | Astarla kılıfı birleştirme | 120 |
| | P3 | Astarı çıkarma Katlama ve ütüleme | 60 |
| | P4 | Astarın dibini sabitleme | 21 |
| | P5 | Astarı poşetin içine koyma | 20 |
| | P6 | Üst kılıfı tekrar dikiş | 25 |

Sistemde 8 iş postası vardır. Kaynaklar 5 dikiş makinası (MC), 1 ütü (FAR) ve 1 pres ütüdür. Bunların yanında elle yapılan (manuel) işler de bulunmaktadır. Fabrika 2 saat boyunca öğrencilerin yönetimi ve gözetimi ile çalışmıştır. İşçiler de fotoğrafta görüldüğü gibi öğrencilerdir (Şekil 7.3).




**Şekil 7.3 :** Pedagojik fabrika

Bir gün MRP, diğer gün Kanban'a göre 2 saat çalışan fabrika, sonuçta 9 cep kılıfı elde etmiştir. Ancak üretim sistemlerini yönetenlerin ve operatör olarak çalışanların öğrenci olması nedeniyle, tüm ürünler hatalı olmuş ve bu iki sistem sonuçları tam anlamıyla karşılaştırılamamıştır. Yalnızca iki sistemin uygulamadaki farklılıkları gözlemlenebilmiştir.

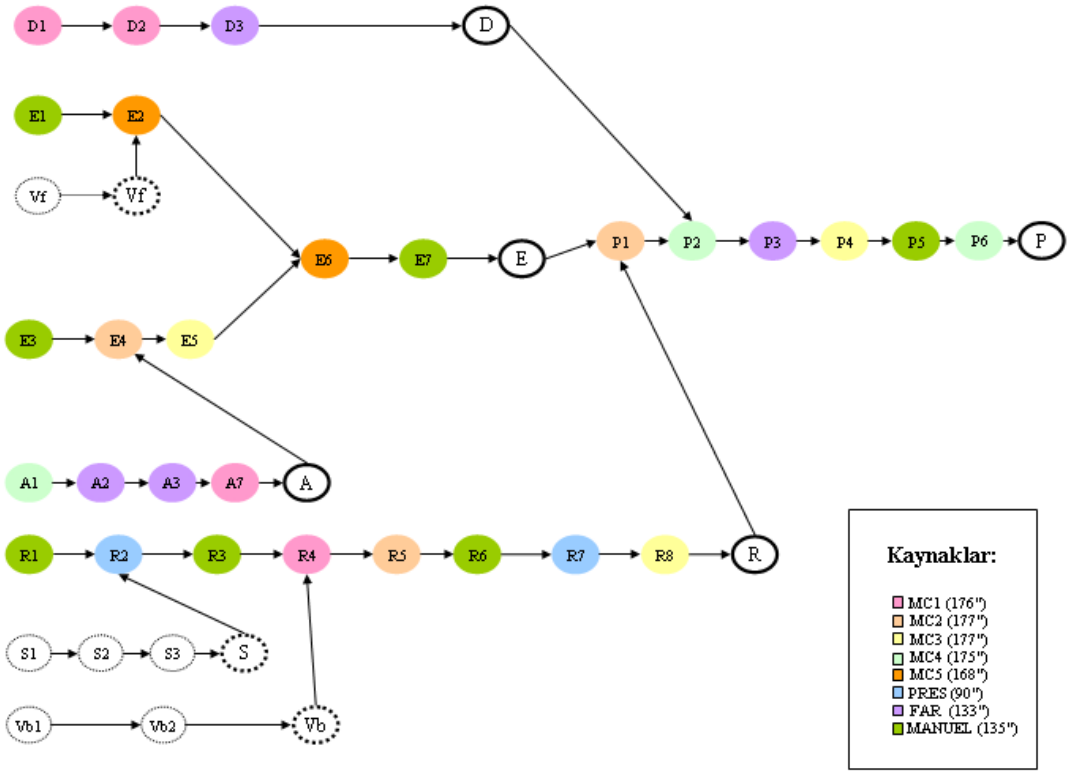
## 7.2 Üç Farklı Üretim Sisteminin Simülasyonu

Simülasyon gerçek dünyayı ve bir sistemin süreçlerini taklit etmeye yarar. Bilgisayardaki simülasyon modeli ile değişiklikler ve testler yapmak daha kolaydır. Simülasyon ile bir sistemde tıkanıklık yaratan yerleri daha iyi inceleme şansı vardır.

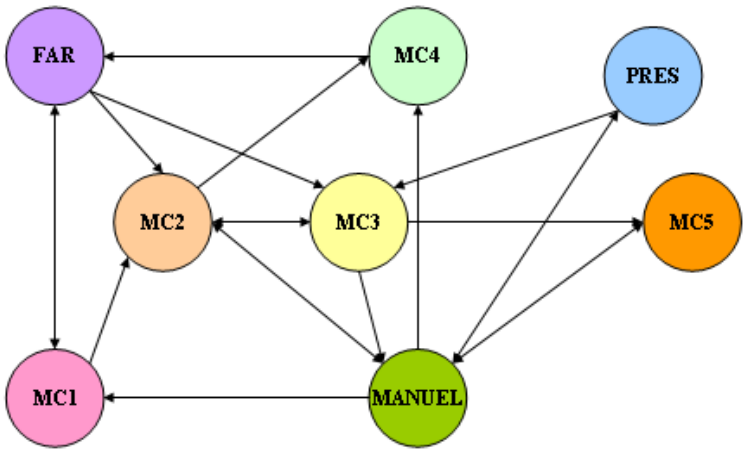
Farklı üretim yönetim şekillerini kıyaslamak ve değerlendirmek amacı ile pedagojik fabrika örneği, MRP, Kanban ve Holonik (PROSIS) yaklaşımlarına göre tasarlanmıştır. Simülasyonlar Rockwell Software ARENA v.11'de gerçekleştirilmiştir. Aynı girdiler ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Ekler kısmında, oluşturulan simülasyon modellerinin ekran görüntüleri (EK A.1, A.2, A.3) ve yazılan kodlar (EK A.4) yer almaktadır.

### 7.2.1 MRP'de simülasyon

MRP'de iş bölümü yapılırken kaynak bazında ayrım yapılır. Dikiş makinası, ütü ve manuel yapılacak işler kendi içinde gruplanır. Ardından işlem süreleri dengeli olacak şekilde dağıtılır. Her iş postası, kendi makinası üstünde uzman olup, diğer makinaların işlerini almayacaktır. Bu nedenle MRP'de süreçler ve kaynak dağılımı Şekil 7.4'teki gibi olmuştur. Şekil 7.5 kaynaklar arası transferleri göstermektedir.

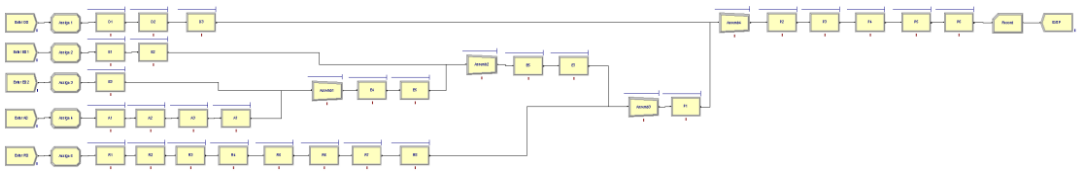



**Şekil 7.4 :** MRP'de üretim süreçleri ve kaynaklar




**Şekil 7.5 :** MRP'de kaynaklar arası transferler

Bu atamalar belirlendikten sonra modelin simülasyonu yapılmıştır (Şekil 7.6). Şekil 7.6'nın daha büyük çaplı bir şekli, Şekil A.1'de görülmektedir. Her bir işlem için işlem süresi belirlenen Çizelge 7.1'deki ortalama sürelerdir ve kaynak olarak Şekil 7.4'teki atamalar kullanılmıştır. Kaynağın yâni makinanın kuyruğuna gelen ürünler, "ilk giren ilk çıkar" (FIFO) kuralına göre işlenir.

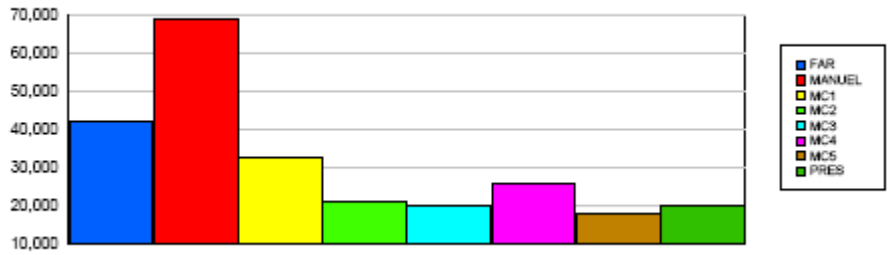


**Şekil 7.6 :** MRP'de simülasyon modeli

Arena programının kısıtlamaları nedeniyle 25 dakika çalıştırılan simülasyon programının sonucunda 4 ürün elde edilmiştir. Tüm işlemler için ayrı ayrı kuyrukta bekleme sürelerinin ortalamaları elde edilmiştir. Bu süreler toplandığında, toplam 1895,036 saniye kuyrukta bekleme süresi oluşmuştur. Kuyrukta bekleyen parça sayısı ortalama olarak 13,76 olmuştur. Toplamda kaynak kullanımı ve işlenen parça sayıları Şekil 7.7'de gösterilmiştir.

Toplam işlenen miktar

| | |
|---|---|
| FAR | 42.0000 |
| MANUEL | 69.0000 |
| MC1 | 33.0000 |
| MC2 | 21.0000 |
| MC3 | 20.0000 |
| MC4 | 26.0000 |
| MC5 | 18.0000 |
| PRES | 20.0000 |

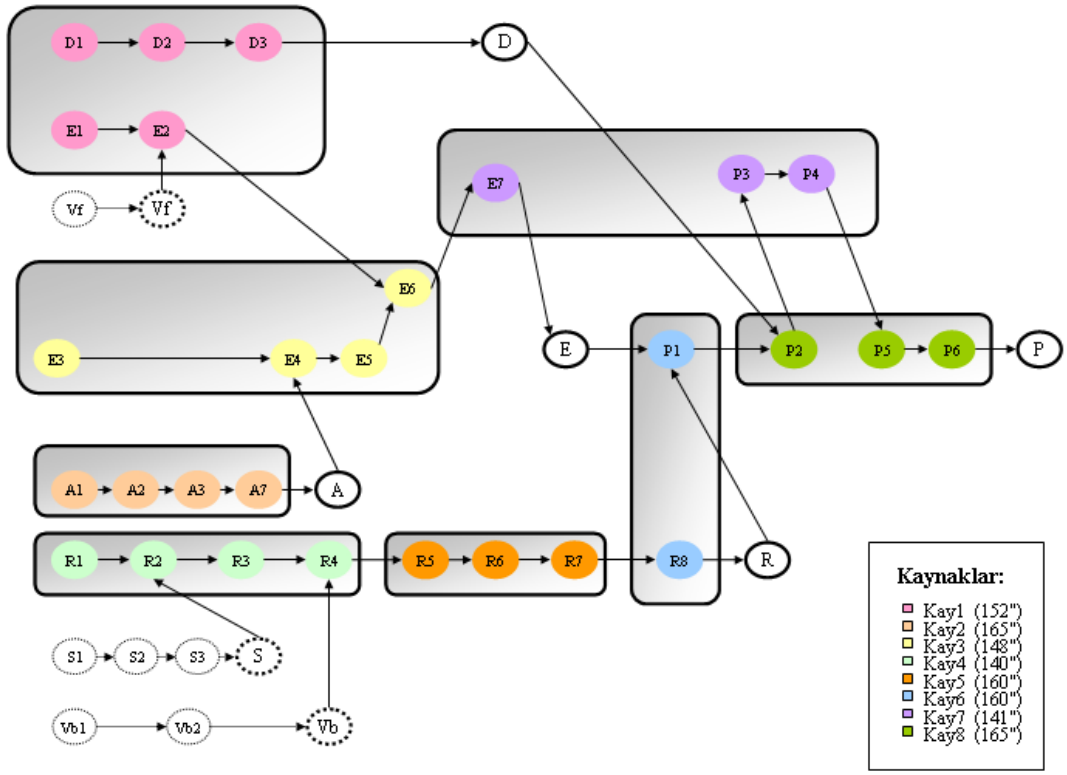



**Şekil 7.7 :** MRP simülasyonunda kaynak kullanımı

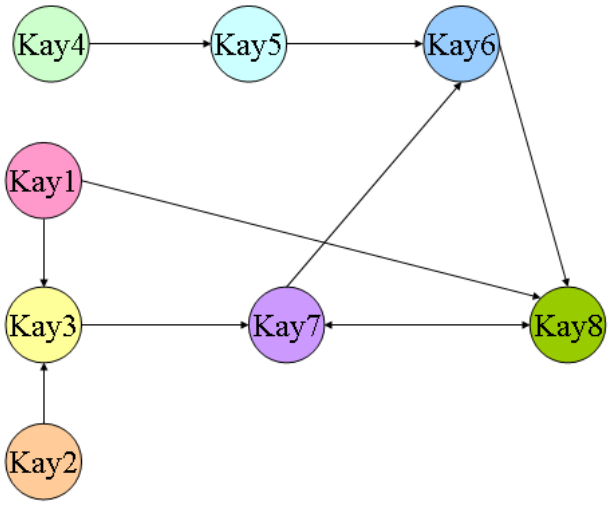
Ayrıca bir parçanın başlangıçtan çıkışa kadar üretim sistemi içinde geçen süresi, diğer bir deyişle çevrim süresi ortalama 905,36 saniye, en az 467,38 saniye ve en fazla 1130,99 saniye olmuştur.

### 7.2.2 Kanban'da simülasyon

Kanban'da iş postalarında birçok makine bulunabilir. Önemli olan her iş postasına birbiriyle dengeli iş yüklemektir. Bu nedenle Kanban'da süreçler ve kaynak dağılımı Şekil 7.8'deki gibi olmuştur. Şekil 7.9, kaynaklar arası transferleri göstermektedir. Bu kaynaklar arasında dolaşacak olan Kanban'ların döngü sayısı, transfer sayısına eşit ve 9 tanedir.



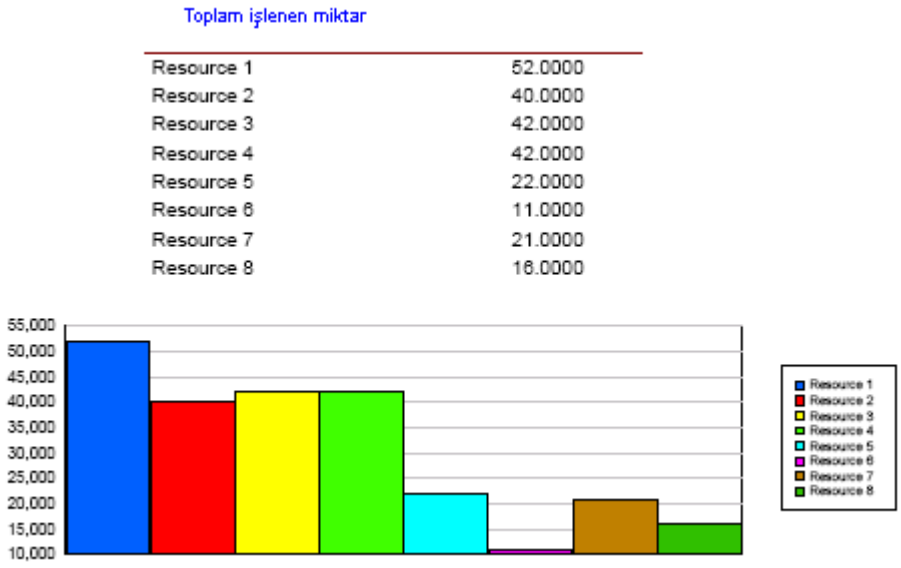

**Şekil 7.8 :** Kanban'da üretim süreçleri ve kaynaklar




**Şekil 7.9 :** Kanban'da kaynaklar arası transferler (9 kanban döngüsü)

Kaynak atamaları dikkate alınarak MRP'ye benzer simülasyon modeli oluşturulmuştur. Şekil 7.6'daki model görünüş olarak geçerlidir ancak bu kez kaynak atamaları Şekil 7.8'deki gibi olmuştur. Kaynağın yâni makinanın kuyruğuna gelen ürünler "ilk giren ilk çıkar" (FIFO) kuralına göre işlenir.

Buna göre yine 25 dakika çalıştırılan simülasyon programının sonucunda 4 ürün elde edilmiştir. Tüm işlemler için toplam 1999,383 saniye kuyrukta bekleme süresi oluşmuştur. Kuyrukta bekleyen parça sayısı ortalama olarak 13,9 olmuştur. Toplamda kaynak kullanımı ve işlenen parça sayıları Şekil 7.10'da gösterilmiştir.




**Şekil 7.10 :** Kanban simülasyonunda kaynak kullanımı

Ayrıca bir parçanın çevrim süresi ortalama 765,99 saniye, en az 586,46 saniye ve en fazla 938,79 saniye olmuştur.

### 7.2.3 PROSIS'te simülasyon

PROSIS'in Java'da yapılmış OPV ve HAIMES yazılımı ile yeterli sonuçlar elde edilemediği için, bu sistem mantığı simülasyon ile ARENA'da gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle işlemlerin hangi makinalarda yapılacağına karar verilmiştir. Toplamda 8 kaynağa 28 işlem yerleştirilmiş, burada 5 tane dikiş makinası olduğu için, dikiş makinasında yapılacak işlemler süreler eşit olacak şekilde dağıtılmıştır (Çizelge 7.2).

**Çizelge 7.2 :** İşlemlerin makinalara dağıtımı

| | MC1 | MC2 | MC3 | MC4 | MC5 | PRES | FAR | MANUEL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D1 | R5 | R8 | A1 | E2 | R2 | D3 | R1 |
| | D2 | P1 | P4 | P2 | E6 | R7 | A2 | R3 |
| | A7 | E4 | E5 | P6 | | | A3 | R6 |
| | R4 | | | | | | P3 | E1 |
| | | | | | | | | E3 |
| | | | | | | | | E7 |
| | | | | | | | | P5 |
| Toplam süre (sn) | 176 | 177 | 177 | 175 | 168 | 90 | 133 | 135 |

Üretim aşamalarının bulunduğu Şekil 7.2'deki adımlar simülasyon modeline girilmiştir. İşlem süreleri olarak pedagojik fabrika uygulamasından elde edilen veriler kullanılmıştır. Önceden, kaynağın kuyruğuna gelen ürünler arasından FIFO (ilk giren ilk çıkar) sırası ile işlenme kuralı, PROSIS yaklaşımında çok ölçütlü yapı ile uygulanıyordu. Bir üretim sisteminde kaynak kuyruğunda bekleyen ürünlere, birçok ölçütü (örnekte 5 ölçüt) dikkate alan AHP yöntemi sonucu öncelik atanıp iş sıralama yapılıyordu. Dolayısıyla kaynağın kuyruğunda biriken ürünlerden iş sırası çıkarabilmek için, AHP hesaplarının bulunduğu Excel dosyasına bağlanıldı. Buna göre, PROSIS simülasyonunun adımları şu şekilde özetlenebilir:

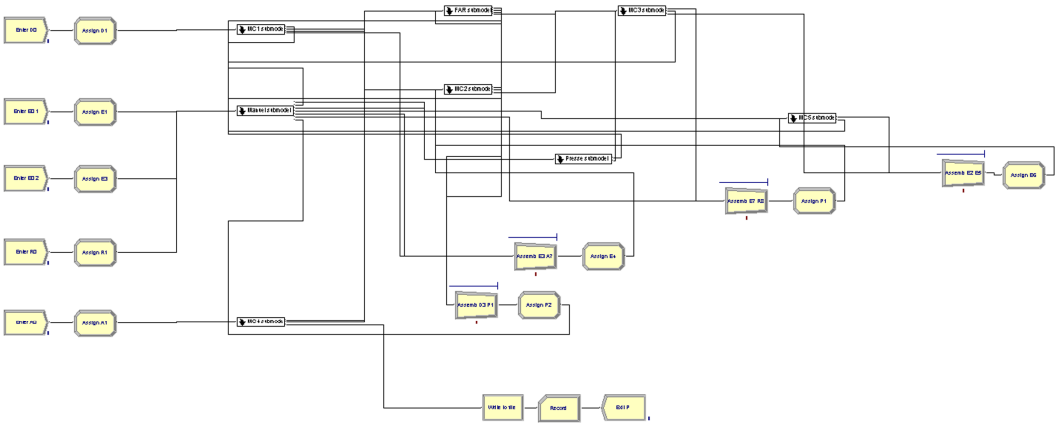
1. ARENA modeli başlatılır.
2. Her ürün, kaynak kuyruğuna gelmeden AHP Excel dosyasına bağlanır.
3. Ürün öncelikleri olan Excel'den alınan değerler, simülasyonda nitelik (*attribute*) olarak ürüne atanır.
4. Kaynak, kuyruğunda bulunan ürünleri niteliklerine göre büyükten küçüğe sıralar ve bu sıraya göre işler (ARENA'da kuyruktakileri işleme sırası olarak *highest attribute value* seçeneği seçilmiştir).
5. Her bir kaynak için 2'den başlanır.

Bu simülasyonda kullanılan değişkenler şunlardır: EntityType (ürün tipi), EntityPriority (ürün önceliği), parti numarası, teslim tarihi, kaynak WIP'ine geliş zamanı, alt üründe üretim aşaması numarası, toplam aşama sayısı ve aşama süresi. Ayrıca bir makinada sırayla birçok ürün işleneceği için makinada işlenme süresi ürün tipine bağlı olarak tanımlanmıştır.

Kaynak kuyruğuna gelen ürünler AHP modelinde seçenekler olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan gösterge değerlerinin ikili karşılaştırılması gerektiği için birkaç varsayım yapılmıştır:

- Bulunduğu aşamaya bakarken, kendi alt ürünü içindeki numara dikkate alındı.
- Tek bir parti başlangıcı dikkate alınmadı, farklı partiler başlatılabilir. Dolayısıyla bir makinada farklı partinin ürünleri bekleyebilir.
- Her ürün için hesaplanan gösterge değerleri ikili karşılaştırılır iken, Saaty'nin 1-9 ölçeğine uyarlandı.
- AHP Excel sayfasında tablo boyutları (2 seçenek için) sabit olduğu ve kaynağın kuyruğuna gelen ürün sayısı değişebildiği için, ikili karşılaştırmalar tüm değerleri 1 kabul edilen standart bir seçenek ile karşılaştırıldı (Sonuçta elde edilen öncelik değeri o ürüne atanır ve ondan sonra makina kuyruğuna gidip değerlendirilir. Bu durumda kuyrukta bekleyen ürün sayısı değişebilecektir).

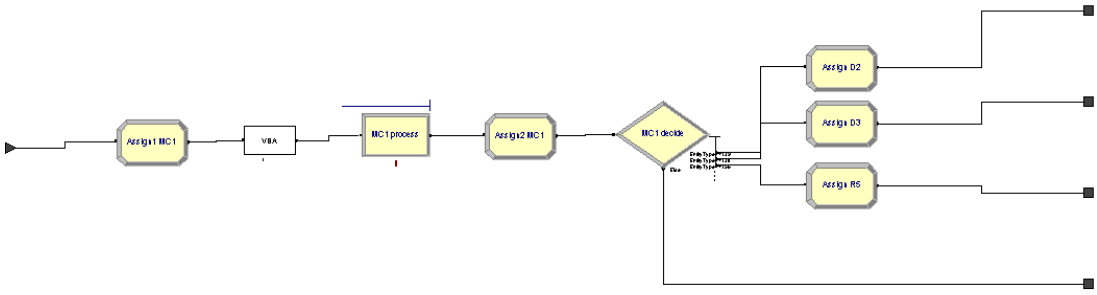
Bu değerler belirlendikten sonra modelin simülasyonu yapılmıştır (Şekil 7.11). Şekil 7.11'in daha büyük çaplı bir şekli, Şekil A.2'de görülmektedir. Her bir işlemin kaynağı olarak Çizelge 7.2'deki atamalar kullanılmıştır.



**Şekil 7.11 :** PROSIS simülasyon modeli

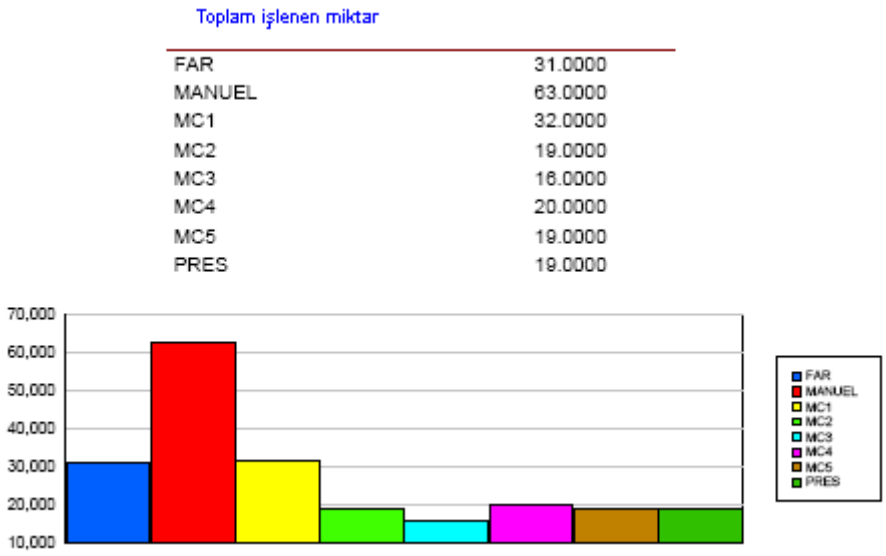
Bu simülasyon modelinde 8 kaynak için alt model kurulmuştur. Örnek olarak MC1'in modeli gösterilmiştir (Şekil 7.12). Şekil 7.12'nin daha büyük çaplı bir şekli, Şekil A.3'de görülmektedir. Ilk olarak WIP'e geliş zamanı belirlenir ve ürün, VBA kodlarının içine gönderilir. Burada AHP yöntemi ile hesap yapan Excel dosyasından öncelik değerini alır. Sonra MC1 işlemine gönderilir. İşlem süresi ne kadarsa o kadar sürede işlenir ve çıktığını belirten değişkenlere atama yapılır. MC1'e gelmesi olası 4

işlem olduğu için 4'e ayrılma sözkonusudur. İşlemlerin devamı için bir sonraki işlem değişkenleri ürünlere atanır ve bir sonraki kaynağına gönderilir. Burada son olası işlem montaj işlemine gönderildiği için, dışarıya montaj işlemine gönderilir ve montaj sonrası atamaları gerçekleştirilir.




**Şekil 7.12 :** PROSIS simülasyonunda MC1 alt modeli

Diğer sistemler gibi 25 dakika çalıştırılan simülasyon programı sonucunda 5 ürün elde edilmiştir. Tüm işlemler için toplam 797,5405 saniye kuyrukta bekleme süresi oluşmuştur. Kuyrukta bekleyen parça sayısı ortalama olarak 13,54 olmuştur. Toplamda kaynak kullanımı ve işlenen parça sayıları Şekil 7.13'te gösterilmiştir.




**Şekil 7.13 :** PROSIS simülasyonunda kaynak kullanımı

Ayrıca bir parçanın çevrim süresi ortalama 651,1 saniye, en az 320,23 saniye ve en fazla 1201,73 saniye olmuştur.

### 7.3 Üç Üretim Sisteminin Performans Karşılaştırması

Yukarıda simülasyon uygulaması ve sonuçları verilen üç farklı sistemin tüm sonuçlarını toparlamak ve kıyaslamak için Çizelge 7.3 oluşturulmuştur.

**Çizelge 7.3 :** Üç sistemin simülasyon sonuçları

| | Kuyrukta bekleme süresi | Kuyrukta bekleyen parça sayısı | Toplam işlenen parça sayısı | Parçanın ortalama çevrim süresi |
|---|---|---|---|---|
| MRP | 1895,0363 | 13,76668044 | 249 | 905,36 |
| Kanban | 1999,3829 | 13,90280 | 246 | 765,99 |
| PROSIS | 797,5405 | 13,5426 | 219 | 651,1 |

Bu ortalama değerlere göre, bekleme süreleri ve çevrim süresi açısından en üstün olan sistem PROSIS olmuştur. Kuyrukta bekleme süresi için PROSIS, MRP'den yaklaşık olarak %58, Kanban'dan %60 daha iyi sonuç vermiştir. Kuyrukta bekleyen parça sayısı açısından PROSIS, MRP'den yaklaşık %6, Kanban'dan %2,6 daha iyi sonuç vermiştir. Parçanın ortalama çevrim süresi için PROSIS'te, MRP'den yaklaşık %28, Kanban'dan %15 daha iyi sonuç elde edilmiştir. Ancak toplam işlenen parça sayısında PROSIS sonuncu olmuş ve MRP öne geçmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak, toplam üretim süresi ve birim kuyrukta bekleme süresi hesaplanmış ve bitmiş ürün sayısı da göz önünde bulundurulmuştur.

Tüm bu simülasyon sonuçlarından anlaşıldığı üzere, üretim sisteminde PROSIS yaklaşımının, klasik yöntemlere göre daha başarılı olduğunu kabul edebiliriz.

# 8. AHP'YE MONTAJ SENKRONİZASYONU ÖLÇÜTÜNÜN EKLENMESİ

Senkronizasyon, yunanca *sýn* « birlikte » ve *chrónos* « zaman » eklerinden oluşan, birçok operasyonu ortak ve aynı zamanda düzenleme eylemidir. Eşzamanlılık anlamında düşünülebilir.

PROSIS'in çok ölçütlü modeline montaj senkronizasyonu sağlamak adına yeni bir ölçüt eklenmiştir.

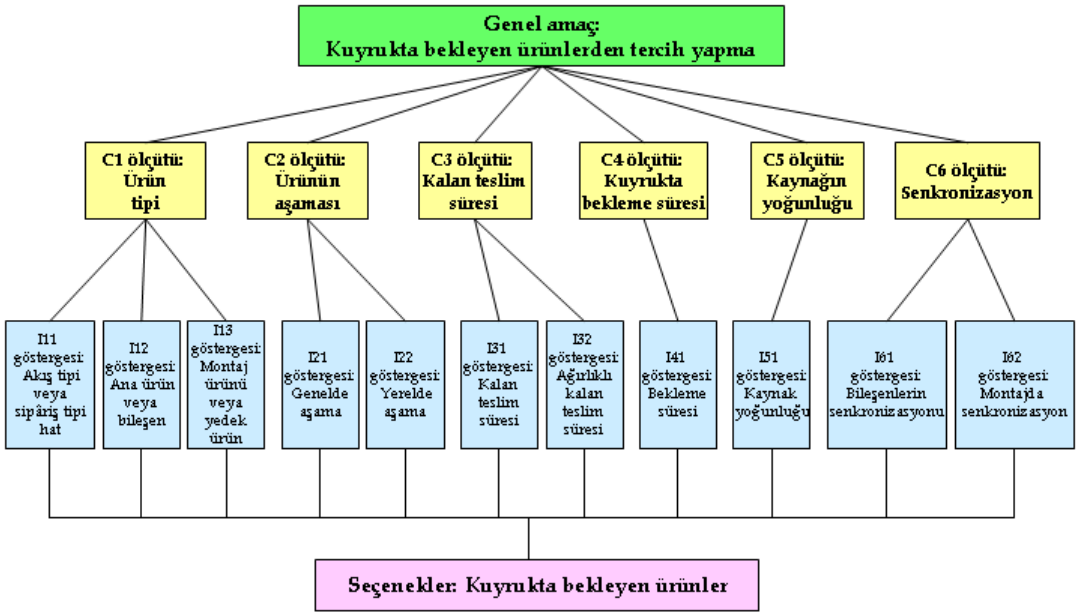
## 8.1 Montajda Senkronizasyon

Değişken pazar ortamı, pazar odaklı üretim için talep artışına yol açmıştır. 1970'lerden bu yana, müşterilerin talepleri daha tahmin edilemez duruma gelmiştir. Daha kısa ürün yaşam döngüleri, artan ürün çeşitliliği ve dolayısıyla daha küçük partiler, bu gelişimin sonuçlarıdır. Montaj üretim zincirinin son aşaması olduğu için bu taleplerden doğrudan etkilenmektedir (Spath ve Baumeister, 2001). Artan taleplere yanıt verebilmek için montajda iyileştirmeler yapılmalıdır.

Üretim sisteminde montaj aşamasında birleşen birçok parça bulunmaktadır ve montajı gerçekleştirebilmek için her montaj bileşeninin varolması gerekmektedir. Dolayısıyla montajın başlayabilmesi için, varolan bileşenler, eksik olan bileşeni beklemelidir ve üretim bu şekilde ilerler. Gerçekte, montaj için gerekli bileşenlerin bâzılarının üretilmesi işe yaramamakta ve bütünlük sağlanamamaktadır. Bu nedenle ürünlerin eşzamanlı teslim edilebilmesi ve montajın teslim tarihlerini dikkate almasına çalışılmıştır.

Bileşenlerin bekleme sürelerinin azaltılması, verimlilik açısından çok önemlidir. Montajda bekleyerek yitirilen zamanın azaltılması sâyesinde, teslimlerin gecikmesi düşer, müşteri hoşnutluğu artar ve dolaylı olarak mâliyetlerde düşüş sağlanır. Gerekli bileşenler olabildiğince aynı anda montaj aşamasında bulunmalıdır. Bu nedenle senkronizasyon (eşzamanlılık) sağlanmalıdır.

Bu amaca hizmet etmek üzere, PROSIS'in çok ölçütlü ağaç yapısına $C_6$ senkronizasyon ölçütü eklenmiştir (Şekil 8.1). Bileşenlerin senkronizasyonu için $I_{61}$ ve montajda senkronizasyon için $I_{62}$ göstergeleri oluşturulmuştur.




**Şekil 8.1 :** Senkronizasyon ölçütü eklenmiş AHP modeli

Montajın ve ilgili göstergelerin hesaplarının düzgün ilerlemesi, ürünün işlemleri hakkında bâzı bilgiler gerektirir. Her işlem için montaj veya standart bir üretim aşaması olduğunu belirtmek gerekir. Montaj aşamaları için ise gerekli bileşenlerin adları ve miktarları belirtilmelidir.

Bu ölçüt, montaj bilgilerinin EH'ye bağlanması ile uygulanabilir. Bir montaj faaliyeti, ilgili üretim aşamaları bilgisine göre $x.k_j$ $ÜH_j[i]$'yi $ÜH[i-1]$'e aşağıdaki formüle göre dönüştürür (ürün ağacında i. sırada j. ara ürün bileşen olarak adlandırılır) (8.1):

j Є [1, x], x montajdaki bileşen tiplerinin numarası, $k_j$ ise montaj katsayısı olmak üzere;

$$UH[i-1] = \sum k_j UH_j[i] \qquad \textbf{(8.1)}$$

x $EH_j[i]$, $x.k_j$ $ÜH_j[i]$'ye bağlıdır ve montaj sırasında, varolan miktarlar ile $ÜH[i-1]$ bileşeninin montajı sonrası güncellenmiş miktarını araştırır.

$I_{61}$, bileşenlerin senkronizasyonu olarak adlandırılan bu gösterge, montajlanacak bileşenleri öne çıkarmayı hedefler. Çünkü onlar başka bileşenlere bağlıdır. Montajlanacak bir bileşen ise, kalan teslim süresine bakılır. Ya doğrusal olarak teslim süresine kalan zamanı üzerinden ya da gecikmeli ise, gecikme değeri ne olursa

olsun, en büyük değerle önceliklendirilir. Dolayısıyla görevlerin akış yönüne (bir sonraki KH) bakılır.

$I_{61}$ enküçüklenecek bir göstergedir. Değişkenler ve hesaplama algoritması aşağıda belirtildiği gibidir.

KTS = Kalan Teslim Süresi (ilgili EH'den elde edilir),

İS = İşlem Süresi (ÜH'den elde edilir),

KİS = Kalan İşlemlerin Süresi (ürünün üretim aşamalarından elde edilir (ÜH)),

PTT = Plânlanan Teslim Tarihi

(8.2) denklemine göre KTS hesaplanır.

$$KTS = (PTT - Şuanki_tarih) - KİS \quad \textbf{(8.2)}$$

Algoritma $I_{61}$:

*IF (montaj bileşeni)*

*IF(KTS >0)*

*IF(KTS/İS <=1)*

*IF(KTS/İS <0,1) KTS/İS = 1/9*

*IF(0,1<= KTS/İS <0,2) KTS/İS = 1/8*

*IF(0,2<= KTS/İS <0,3) KTS/İS = 1/7*

*IF(0,3<= KTS/İS <0,4) KTS/İS = 1/6*

*IF(0,4<= KTS/İS <0,5) KTS/İS = 1/5*

*IF(0,5<= KTS/İS <0,6) KTS/İS = 1/4*

*IF(0,6<= KTS/İS <0,7) KTS/İS = 1/3*

*IF(0,7<= KTS/İS <0,8) KTS/İS = 1/2*

*IF(0,8<= KTS/İS <0,9) KTS/İS = 1*

*IF(0,9<= KTS/İS <=1) KTS/İS = 1*

*IF(1< KTS/İS <9)*

*IF(1< KTS/İS <2) KTS/İS =2*

*IF(2<= KTS/İS <3) KTS/İS =3*

*IF(3<= KTS/İS <4) KTS/İS =4*

*IF(4<= KTS/İS <5) KTS/İS =5*

*IF(5<= KTS/İS <6) KTS/İS =6*

*IF(6<= KTS/İS <7) KTS/İS =7*

*IF(7<= KTS/İS <8) KTS/İS =8*

*IF(8<= KTS/İS <9) KTS/İS =9*

*I61 = min(KTS/İS, 9)*

*ELSE (KTS<=0)*

*I61 = 1/9*

*ELSE (montaj bileşeni değil)*

*I61 = 9*

$I_{62}$, montajda senkronizasyon olarak adlandırılan bu gösterge, görevlerin akış yönünün tersine (bir önceki KH) bakar. Burada montaj bileşeni varolan veya işlenmekte olan bileşen bittiği zaman varolacak ürünler önceliklendirilir. Hesaplamalar için gerekli olan bilgi geçerli kaynağın (EH) WIP'inden ve önceki kaynakların WIP'lerinden elde edilir (ürünün üretim aşamalarından (ÜH) bulunur). Bu gösterge enbüyüklenir. Hesaplama algoritması aşağıda belirtildiği gibidir.

Algoritma $I_{62}$:

*IF(tüm montaj bileşenleri var)*

*I62 = 9*

*IF(eksik bileşen var ama işlenmekte)*

*I62 = 3*

*IF(tek bir bileşen eksik)*

*I62 = 1*

*ELSE*

*I62 = 1/9*

## 8.2 Pedagojik Fabrikada Yeni Modelin Uygulanması

Modellemedeki değişiklikler ve yeni değişkenler eklendiği zaman, montaj aşamaları ve montaj için gerekli bileşenleri tanımlanmıştır. AHP modelinde yeni ölçütün diğer ölçütlere (Çizelge 8.1) ve göstergelerinin bu ölçüte göre (Çizelge 8.2) ikili karşılaştırma matrisleri, deneyimler sonucu oluşturulmuştur. Ölçütler arası yeni öncelik matrisinin tutarlı olduğu hesaplanmıştır (CR=0,04<0,1).

**Çizelge 8.1 :** Ölçütler arası yeni öncelik matrisi

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$C_1$** | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1/5 |
| **$C_2$** | 3 | 1 | 1 | 9 | 3 | 1 |
| **$C_3$** | 3 | 1 | 1 | 9 | 3 | 1 |
| **$C_4$** | 1/3 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1/9 |
| **$C_5$** | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 1/7 |
| **$C_6$** | 5 | 1 | 1 | 9 | 7 | 1 |

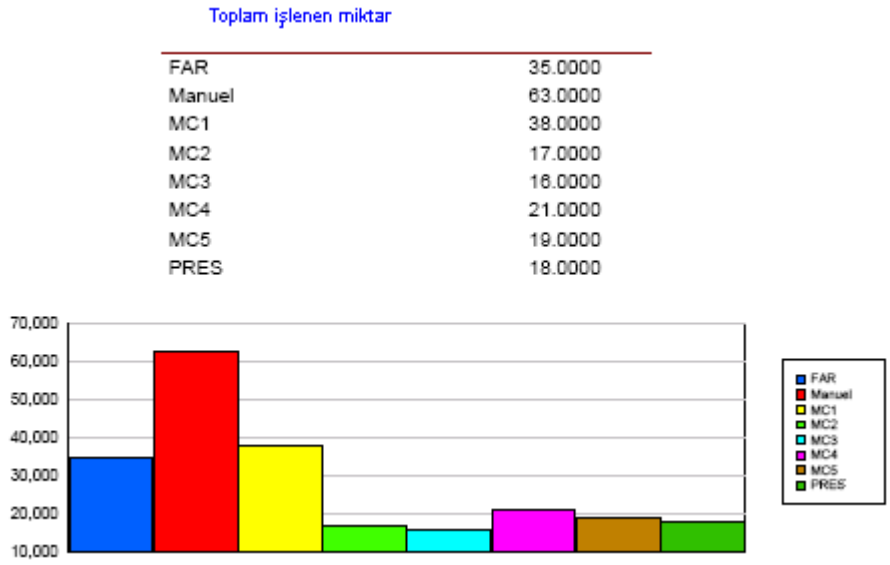
**Çizelge 8.2 :** $C_6$ ölçütü için göstergeler arası yeni öncelik matrisi

| | $I_{61}$ | $I_{62}$ |
|---|---|---|
| **$I_{61}$** | 1 | 1 |
| **$I_{62}$** | 1 | 1 |

Bu yeni çok ölçütlü modeli HAIMES yazılımında uygulamak şu an için mümkün olmadığından ARENA'da uygulanmıştır. Önceki PROSIS simülasyon modeline bâzı değişkenler eklenmiştir. Montaj bileşeni olduğunu belirten değişken ve montaj bileşeninin varolup olmadığını belirten değişken atamaları yapılmıştır. VBA kodlarında ise yeni ölçütün gösterge değerlerinin hesabı için formüller yer almıştır.

## 8.3 Elde Edilen Sonuçlar

Diğer sistemler gibi 25 dakika çalıştırılan simülasyon programı sonucunda 5 ürün elde edilmiştir. Tüm işlemler için toplam 866,0369 saniye kuyrukta bekleme süresi oluşmuştur. Kuyrukta bekleyen parça sayısı ortalama olarak 13,43 olmuştur. Toplamda kaynak kullanımı ve işlenen parça sayıları Şekil 8.2'de gösterilmiştir.




**Şekil 8.2 :** Yeni PROSIS simülasyonunda kaynak kullanımı

Ayrıca bir parçanın çevrim süresi ortalama 714,9 saniye, en az 332,32 saniye ve en fazla 1237,61 saniye olmuştur.

Önceki üç sistem ile yeni ölçütlü sistemi kıyaslamak için önceki sonuçlara ekleme yapılmıştır (Çizelge 8.3).

**Çizelge 8.3 :** Dört sistemin simülasyon sonuçları

| | Kuyrukta bekleme süresi | Kuyrukta bekleyen parça sayısı | Toplam işlenen parça sayısı | Parçanın ortalama çevrim süresi |
|---|---|---|---|---|
| MRP | 1895,0363 | 13,76668044 | 249 | 905,36 |
| Kanban | 1999,3829 | 13,90280 | 246 | 765,99 |
| PROSIS | 797,5405 | 13,5426 | 219 | 651,1 |
| PROSIS ($C_6$ ile) | 866,0369 | 13,4316 | 227 | 714,9 |

Bu ortalama sonuçlara göre, kuyrukta bekleme süresi senkronizasyon (eşzamanlılık) ölçütü olmayan PROSIS modeline göre yaklaşık %8 yüksek çıkmıştır ancak kuyrukta bekleyen parça sayısı yaklaşık %0,8 azalmıştır. Bunun yanısıra toplam işlenen parça sayısı yaklaşık %3,6 artmış ama parçanın çevrim süresi yaklaşık %9,8 artmıştır.

Dolayısıyla işlenen parça sayısı açısından yeni sistem daha iyidir ancak harcanan süre bakımından yavaşlama olmuştur. Bunun nedeni olarak, montaj için gereken parçaların birbirini beklemesi gösterilebilir.

Yine bu karşılaştırmada, toplam üretim süresi ve birim kuyrukta bekleme süresi hesaplanmış ve bitmiş ürün sayısı da göz önünde bulundurulmuştur.

Tüm bu sonuçlara göre, diğer sistemlerle karşılaştırdığımız zaman, klasik yöntemler olan MRP ve Kanban'a göre yeni PROSIS modelinin daha başarılı olduğunu kabul edebiliriz.

# 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel kuruluşlar, bugünkü pazar koşullarında rekabete karşı ayakta durabilmek için yenilikçi, esnek ve hızlı olmalıdır. Bu nedenle, üretim sistemleri verimli ve etkin çalışmalıdır. Bu amaca hizmet etmek için, çeşitli üretim sistemleri ve üretim yönetim şekilleri geliştirilmiştir. Geçmişte çoğunlukla insan gücüne dayanan üretim sistemleri, günümüzde teknolojinin getirileri ile, bilgisayarlar ve programlar aracılığıyla üretim plânlama ve kontrol işlemlerini gerçekleştirmeye başlamıştır. Bu şekilde, pazarın değişken talep yapısına daha kolay uyarlanıp, yeniden stok plânlama ve çizelgeleme yapabilmektedir.

Endüstride ortaya çıkan bu değişimlere yanıt verebilmek amacıyla, 1960'lı yılların sonunda MRP geliştirilmiş ve bilgisayar tabanlı üretim plânlama ve kontrol sistemi olarak îmalat süreçlerini yönetmiştir. Önceki taleplerden veya kesinleşmiş müşteri sipârişlerinden yola çıkarak tahminler yaparak üretim çizelgesi, üretim emirleri ve satınalma sipârişleri hazırlayan MRP, 1970'li yıllarda başarıyla kullanılmıştır. Ancak 1980'lerin sonuna doğru talep yapısında ve tüketici tercihlerinde değişkenlik başladığı için, esneklik önem kazanmış ve stoğa göre üretimin yerini sipârişe göre üretim almıştır.

Bu dönemde Toyota'da geliştirilen JIT, israfları engelleme ve sürekli iyileşme felsefelerine dayandırılmıştır. JIT sisteminin amacı, müşteri talep ettiği andan itibaren, istenen ürünü, istenen zamanda, istenen miktarda elde etmektir. Bu nedenle, hem ekonomik açıdan, hem de verimlilik ve düşük stoklar açısından MRP'ye kıyasla daha başarılı olmuştur. JIT aracı olan Kanban yöntemi ise JIT felsefesini etiketler sâyesinde uygulamıştır. Bu tez kapsamında, birbirine benzemeyen MRP ve Kanban sistemleri ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Günümüzde bilgisayarların yaşamımızın her aşamasına girmesi sonucu, üretim yönetimi de bu yönde geliştirilmiştir. Bilgisayar programları ile, üretim sisteminde emirleri ve görev atamalarını yeniden düzeltme şansı doğmuştur. Hiyerarşik ve merkezî yönetim yapılanması, iletişim teknolojilerinin de gelişmesiyle, heterarşik ve merkezî olmayan yapılara yönelmiştir. Şirketin karar düzeyleri arasında etkileşim ve karar alma yetkisinin paylaşılması ile, özellikle çelişkili durumlarda daha etkin kararlar alınabilmektedir. Bunun nedeni, kararların kontrolünün kolaylaşması, kararı uygulama süresinin kısalması ve hızlı iletişim kurulması, konunun uzmanı kişilerin katılımı ile en doğru kararın verilmesi, karar alma sürecinde esneklik sağlanması ve yöneticiye bağımlı olunmamasıdır. Üretim yönetiminin yataylaşması, heterarşik ve akıllı îmalat sistemleri, çok ajanlı sistemler ve son zamanlarda geliştirilen holonik îmalat sistemleri ile gerçekleştirilmiştir.

Üretim yönetimi için geliştirilen programların, üretim sistemini izleyebilmesi için ürün esas alınmıştır. Ancak salt ürünü izleyerek tüm üretim sisteminin yönetimi ve kontrolü yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, üretim sisteminin iş emirlerinin ve kaynakların da etkisi dikkate alınarak yönetilmesi ve tüm bu elemanların modellenmesi üzerinde çalışılmıştır. Bunun için, çok ajanlı sistemler ve holonik sistemler uygulanmıştır. Holonik îmalat sisteminde, üretim elemanlarını, özerk ve işbirliği yapabilen holonlar ifâde etmiş ve üretim sisteminin bilgisayar ile yönetilmesi geliştirilmiştir.

Holon kavramı, bir bütün içinde bir parçayı ve aynı zamanda kendisi de bir bütünü ifâde edebildiği için kullanışlıdır ve hem fiziksel hem de bilişsel kısımlardan oluşmaktadır. Holonlar aralarında işbirliği içinde iletişim kurup, ortak bir amaç için hareket edebilmektedir. Bilişsel kısmında bulunan bir yapay zekâya karar alma yetkisi atandığı zaman, heterarşinin özel hâli olan isoarşi elde edilmiştir. İsoarşi, hiç bir hiyerarşik yapının olmayışı ve karar düzeylerinin tümüyle eşit karar verme yetkisinin bulunması olarak tanımlanmıştır.

Literatürde, heterarşi, ajan ve holonik kavramlarının kullanılarak geliştirildiği birçok üretim sistemi bulunmaktadır. Bunlardan en iyi bilineni holonik sistem olan PROSA'dır ve 1998 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem ile üretim sistemi, ürün, kaynak ve emir holonları ile oluşturulmuş ve karar mekanizmaları ile aralarındaki etkileşimler tanımlanmıştır. Bu ve diğer yöntemler, üretimde ve tedârik zincirinde uygulanmıştır ancak yetersiz kaldığı durumlar olmuştur. Bu nedenle, isoarşi kavramının eklendiği ve PROSA'nın eksikliklerini tamamlayan PROSIS yöntemi geliştirilmiş ve otomatikleştirilmesi istenen sistemlerde test edilmiştir.

PROSIS yöntemi, çeşitli yazılım ve infotronik teknolojiler (RFID gibi) ile holonların oto-organizasyonunu sağlamayı başarmıştır. Ayrıca karar mekanizmalarını iyileştirmek ve birçok ölçüte göre değerlendirildiğinde daha doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla, çok ölçütlü karar verme eklenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında sözedilen ve savunulan yeni PROSIS yöntemi, otomatikleştirilmesi hedeflenen üretim sistemlerinde uygulanmıştır ancak otomatik taşıma, stoklama, tedârik zinciri, lojistik ve diğer uygulama alanlarında da başarılı olmuştur. Üretimde hızlı, esnek ve kaliteli ürün anlayışına uygun geliştirilecek yeni yaklaşımlara örnek olabilecek bu yöntem, hiyerarşi kavramı yerine isoarşi, önceden plânlama yerine anlık ve çok ölçütü dikkate alarak karar verme kavramlarını savunmaktadır.

Eski merkezî yapılara göre daha başarılı olduğu düşünülen ve tezde kanıtlanmaya çalışılan çok ölçütlü, holonik ve isoarşik PROSIS yöntemi, şu aşamada kuramsal yapı oluşturma ve gelişme aşamasındadır ancak gelecekte gerçek yaşamda üretim sistemlerinde uygulanması için çalışılmaktadır. Uygulanması için Java tabanlı yazılımının (HAIMES) tamamlanması ve doğru sonuç üretmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, yeni yöntemin geliştirilmesi için montaj aşamasında gerekli olan parçaların eşzamanlı olarak montaj aşamasına ulaşmasını sağlamak adına, yeni bir senkronizasyon ölçütü eklenmiştir. Ancak bu yöntemin çok ölçütlü modelini başka eklemeler yaparak da geliştirmek olanaklıdır. Örneğin teslimlerin zamanında gerçekleşmesi için teslim gecikmelerini dikkate alan ve en çok gecikeni önceliklendiren ölçüt ve göstergeler eklenebilir.

Çok ölçütlü karar verme modelinde kullanılan AHP yönteminin daha gelişmişi ve ölçütler arasında bağımlılık olan ANP yöntemi kullanılabilir. Ayrıca AHP'de ölçütler ve göstergeler arası deneyimlere dayanarak öncelik ataması yapıldığı ve yanlış sonuç verebileceği hesaba katılmalıdır. Bu problemi çözmek için sezgisel yöntemler önerilebilir. Örneğin genetik algoritmalar ile en iyi sonucu verene kadar öncelik atamaları düzeltilebilir. Böyle bir uygulama Fransa'da bir lisans tezi kapsamında ele alınmıştır ve daha da geliştirilebilir.

Bu yeni yöntem, teknolojik açıdan yazılım ve simülasyon programlarının iyileştirilmesi ile de geliştirilebilir. Yazılımındaki eksiklikler tamamlandığında gerçek bir otomatikleşmiş bir üretim hattı oluşturulabilecektir. Oluşturulacak sisteme RFID katılımı da araştırılmaktadır.

Geliştirilmesi hedeflenen bu yöntemin üretim sistemlerinde gelecekteki uygulanış şekli şöyledir: Bir atölyede her bir parça otomatik taşıma sisteminde dolaşır ve RFID ile izlenir, işçilerin önüne gelebilmesi için onların önünde duran bir ekranda gözüken yazılıma otomatik olarak kaydedilir ve parçaların, kaynakların ve iş emirlerinin verileri ve birçok ölçüt dikkate alınarak iş sıralama gerçekleşir, işçiler yazılımda belirlenen iş sırasına göre önlerine gelen parçaları işleyip bitmiş ürüne doğru işi sürdürür ve otomatik taşıma sistemine parçayı bırakır. Dolayısıyla önceden belirlenen bir üretim plânı ve iş sıralama bulunmamaktadır ve kararı hiyerarşinin tepesinde bulunan insanlar belirlememektedir. Bu şekilde hataların ve öznelliğin en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Geleceğin üretim sistemlerinin, PROSIS örneğinde olduğu gibi otomatikleşmiş ve bilgisayarlar ile karar alıp işleyen bir mekanizma şeklinde olacağını varsaymak olanaklıdır.

## KAYNAKLAR


**Aktürk, M. S., Türkcan, A.,** 2000. Cellular manufacturing system design using a holonic approach. *International Journal of Production Research,* **38** (10), 2327–2347.

**Albert Deloin,** 1999. *La méthode Kanban*. www.albert-deloin.fr (Erişim tarihi: 12.04.2010)

**Arai, T., Aiyama, Y., Sugi, M., Ota, J.,** 2001. Holonic assembly system with Plug and Produce. *Computers in Industry,* **46** (3), 289-299.

**Archimède, B.,** 1991. *Conception d'une architecture réactive distribuée et hiérarchisée pour le pilotage des systèmes de production*. Doktora tezi, Université de Bordeaux 1, Ocak.

**Augusto, V.,** 2008. *Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de Petri.* Doktora tezi, Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne, Fransa.

**Avenier, M.J.,** 1984. *Pilotage de l'entreprise et environnement complexe, une aide à la conception d'un pilotage plus effectif*. Doktora tezi, Université d'Aix-Marseille III, Temmuz.

**Babiceanu, R.F., Chen, F.F., Sturges, R.H.,** 2004. Framework for control of automated material-handling systems using holonic manufacturing approach. *International Journal of Production Research,* **42** (17), 3551-3564.

**Baïna, S.,** 2006. *Interopérabilité dirigée par les modèles: une approche orientée produit pour l'interopérabilité des systèmes d'entreprise*. Doktora tezi, Université Henry Poincaré, Nancy.

**Bajic, E., Sallez, Y.,** 2007. Proposition de projet transversal exploratoire du GDR MACS: Système Contrôlé par le Produit. *Dans: Journées prospectives STP, CNRS*, Lyon, 11&12 Haziran.

**Baker, H.,** 1998. DFMS: a new control structure for FMS. *Computers in Industry,* **10** (2), 1-9.

**Bal, M., Hashemipour, M.,** 2009. Virtual factory approach for implementation of holonic control in industrial applications: A case study in die-casting industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* **25**, 570–581.

**Bal, M., Hashemipour, M., Manesh H.F.,** 2006. Agent-based holonic virtual worlds for design and operations of agile manufacturing systems. *Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, Mayıs 29-31, 403-415.

**Balasubramanian, S., Brennan, R.W., Norrie, D.H.,** 2001. An architecture for metamorphic control of holonic manufacturing systems. *Computers in Industry,* **46**, 13-31.

**Banâtre, J.P., Banâtre, M.,** 1991. *Les systèmes distribués – expérience du projet Gothic*. InterEditions, Paris.

**Berry, W.L., Rao, V.,** 1975. Critical Ratio Scheduling: An Experimental Analysis. *Management Science,* **22** (2), 192-201.

**Biemans, F.P., Vissers, C.A**., 1991. A system theoretic view of computer integrated manufacturing. *International Journal of Production Research,* **29** (5), 947-966.

**Binder, Z.,** 1977. *Sur l'organisation et la conduite de systèmes complexes*. Doktora tezi, INPG, Grenoble.

**Blacklock, D.H., Cotonnec, G., Lamouri, S.,** 1999. Synchronisation des composants par l'approche CDF. *Encyclopédie Techniques de L'ingénieur*. AG 5 160. Traité l'entreprise industrielle. ISSN 1282-9072.

**Blanc, P.,** 2006. *Pilotage par approche holonique d'un système de production de vitres de sécurité feuilletées*. Doktora tezi, IRCCyN, Université de Nantes, Aralık.

**Blanc, P., Demongodin, I., Castagna, P.,** 2006. A holonic approach for manufacturing control: An industrial application. *Information Control Problems in Manufacturing - INCOM 2006.*

**Blanc, P., Demongodin, I., Castagna, P.,** 2008. A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **21**, 315–330.

**Bongaerts, L., Wyns, J., Detand, J., Van Brussel, H., Valckenaers, P.,** 1996. Identification of manufacturing holons. *Proceedings of the European Workshop for Agent-Oriented Systems in Manufacturing*, Berlin, 57-73.

**Bongaerts L., Monostori, L., McFarlane, D., Kadar, B.,** 2000. Hierarchy in distributed shop floor control. *Computers In Industry,* **43**, 123-137.

**Borangiu, T., Raileanu, S., Ivanescu, N., Anton, S., Anton, F.D., Dogar, A.M.,** 2007. RVHOLON – A holonic control platform for networked robots. *CeEx2007*, 146-1-6, Brasov, Roumanie, 24-26 Ekim.

**Borangiu, T., Gilbert, P., Ivanescu, N.A., Rosu, A.,** 2009. An implementing framework for holonic manufacturing control with multiple robot-vision stations. *EAAI,* **22**, 505-521.

**Bourey, J.P.,** 1988. *Structuration de la partie procédurale du système de commande des cellules de production flexibles dans l'industrie manufacturière*. Doktora tezi, Université des Sciences et Techniques de Lille.

**Bourrières, J.P., Baptiste, Baptiste, P., Bernard, A., Lopez, P., Morel, G., Pierreval, H., Portmann, M.C.,** 2007. *Comité d'Experts Productique: prospective de recherche, CNRS*, 15 Ocak.

**Bousbia, S.B.H.,** 2006. *Proposition d'une architecture logique d'un système de pilotage hétérarchique évolutif par apprentissage*. Doktora tezi, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, Fransa.

**Broissin, N.,** 1999. *Contribution à l'amélioration de la réactivité des Systèmes de Production Automatisés et Flexibles grâce à un pilotage basé sur une Génération de Tâches Décentralisée*. Doktora tezi, Université d'Aix-Marseille III.

**Brusey, J., McFarlane, D.,** 2005. Designing communication protocols for holonic control devices using elementary nets. *Lecture Notes in Artificial Intelligence 3593,* 76-86.

**Bussman, S.,** 1998. An Agent-Oriented Architecture for Holonic Manufacturing Control. Daimler-Benz AG Research and Technology, *First Open Workshop IMS Europe,* Lausanne, İsviçre.

**Bussmann, S.,** 1998. Autonome und Kooperative Produktionssysteme. *Informationstechnik und Technische Informatik,* **4**, 34 –39, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München.

**Bussmann, S., McFarlane, D.,** 2000. Developments in Holonic Production Planning and Control. *Production Planning and Control,* **11** (6), 522-536.

**Bussmann, S., Müller, J.,** 1993. A Communication Architecture for Cooperating Agents. C*omputers and Artificial Intelligence,* **12** (1), 37-53.

**Cardin, O.,** 2007. *Apport de la simulation en ligne dans l'aide à la décision pour le pilotage des systèmes de production – application à un système flexible de production*. Doktora tezi, IRCCyN, Université de Nantes, Ekim.

**Cardin, O., Castagna, P.,** 2009. Using online simulation in Holonic Manufacturing Systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22** (7), 1025-1033.

**Cardin, O., Castagna, P.,** 2009. Using online simulation in Holonic manufacturing systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 1025–1033.

**Cardon, A.,** 2004. *Modéliser et concevoir une machine pensante*. Vuibert, Paris.

**Charpentier, P., Chaxel, F., Thomas, A., Muhl, E.,** 2001. Sur quelques approches de pilotage distribué et leur formalisation. *JESA,* **35** (7-8), 885-904.

**Chaxel, F., Bajic, E., Richard, J.,** 1999. Automotive Vehicules Data Management Based on the Product Holon Paradigm. *IEEE Systems Man & Cybernetics,* Tokyo, Japon, 12-15 Ekim.

**Cheng, F.T., Chang, C.F., Wu, S.L.,** 2004. Development of holonic manufacturing execution systems. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **15** (2), 253-267.

**Cheng, F.T., Yang, H.C., Lin, J.Y.,** 2004. Development of Holonic Information Coordination Systems with Failure-Recovery Considerations. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering,* **1** (1), 58-72.

**Cheng, F.T., Lin, C.T.,** 2004. A holonic information exchange system for e-Manufacturing. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference),* **3**, 2377-2382, Busan, Korea, 2-6 Kasım.

**Cheng, T.C.E., Podolsky, S.,** 1996. *Just-in-Time Manufacturing – An introduction*, First Edition. Chapman & Hall, Londra, UK.

**Cheng, F.T., Chang, C.F., Wu, S.L.,** 2004. Development of holonic manufacturing execution systems. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **15**, 253-267.

**Cheung, E.H.M., Yeung, R.W.H., Ng, A.H.C., Fung, R.S.T.,** 2000. HSCF: A holonic shop floor control framework for flexible manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **13** (2), 121-138.

**Chirn, J.L., McFarlane, D.C.,** 2000. Application of the holonic component-based approach to the control of a robot assembly cell. *Proceedings of the IEEE Conference on Robotics and Automation,* San Francisco.

**Chirn, J.L., McFarlane, D.C.,** 2000. A Holonic Component-Based Approach to Reconfigurable Manufacturing Control Architecture. *To Appear in Proceedings of HolonMas00,* London, September.

**Christensen, J.H.,** 1994. Holonic Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Directions. *Proceedings of First European Conference on Holonic Manufacturing Systems*, European HMS Consortium. Hanover.

**Christensen, J.H.,** 2003. HMS/FB architecture and its implementation. *Agent-based manufacturing: Advances in the holonic approach.* p.53–87, Springer-Verlag (S. M. DEEN Ed.), Berlin.

**Cossentino, M., Gaud, N., Galland, S., Hilaire, V., Koukam, A.,** 2007. A Holonic Metamodel for Agent- Oriented Analysis and Design. *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing (HoloMAS07), Lecture Notes in Computer Science 4659*, 237-264.

**Cossentino, M., Galland, S., Gaud, N., Hilaire, V., Koukam, A.,** 2008. How to control emergence of behaviours in a holarchy. *Proceedings of Self-Adaptation for Robustness and Cooperation in Holonic Multi-Agent Systems (SARC2008) Workshop at the IEEE Second International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO 2008)*, Isola di San Servolo (Venice), Italy, 20-24 Ekim.

**Covanich, W., McFarlane D.,** 2009. Assessing ease of reconfiguration of conventional and Holonic manufacturing systems: Approach and case study. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 1015–1024.

**Deen, S.M.,** 2003. *Agent-Based Manufacturing – Advances in the Holonic Approach*, Springer-Verlag, ISBN 3-540-44069-0.

**Dobre, D., Bajic, E.,** 2008. Active product modeling for chemical security management based on smart object concept. *In: Actes de la 7ème Conférence Internationale de MOdélisation and SIMulation - MOSIM'08,* Paris – Fransa.

**Dobrzańska, A., Krenczyk, D.,** 2008. Production flow synchronisation versus buffer capacities in assembly systems. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering,* **29** (1).

**Dobrzańska, A., Krenczyk, D.,** 2005. The method of the production flow synchronisation using the meta-rule conception. *Journal of Materials Processing Technology,* **164–165**, 1301–1308.

**Dominici, G.,** 2008. Holonic Production System to Obtain Flexibility for Customer Satisfaction. *J. Serv. Sci. & Management,* **1**, 251-254.

**Drogoul, A., Vanbergue, D., Meurisse, T.,** 2003. Multi-agent Based Simulation: Where Are the Agents?. *(3rd International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation (MABS'02)) LNAI 2581,* 43-49, Springer-Verlag.

**Ducatel, K., Bogdanowicz, M., Scapolo, F., Leijten, J., Burgelman, J.C.,** 2001. Scenarios For Ambient Intelligence In 2010 - Final Report. *IPTS-Seville, European Communities*, ISBN 92-894-0735-2.

**Erikson D.M.,** 1997. A Principal Exposition of Jean-Louis Le Moigne's Systemic Theory. *Cybernetics & Human Knowing,* **4** (2).

**Espinasse, B., Picolet, G., Chouraqui, E.,** 1997. Negotiation support systems: A multi-criteria and multi-agent approach. *European Journal of Operational Research*, **103** (2), 389-409.

**Ferber, J.,** 1995. *Les systèmes multi-agents – vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris, ISBN 2-7296-0572-X.

**FIPA,** 2002. *FIPA Contract Net Interaction Protocol Specification*. Foundation for Intelligent Physical Agents, http://www.fipa.org/specs/fipa0029/index.html

**FIPA,** 2003. Foundation for Intelligent Physical Agents web site, http://www.fipa.org/

**Fischer, K.,** 1999. Agent-Based Design of Holonic Manufacturing Systems. *Journal of Robotics and Autonomous Systems,* **27** (1-2), 3-13.

**Fujita, N.,** 2001. Holonic controller and assembly task planning. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*, 67-72.

**Gaither, N.,** 1992. *Production and Operations Management*, Fifth Edition. The Dryden Press, Fort Worth, Texas, USA.

**Gerber C., Siekmann, J., Vierke, G.,** 1999. *Holonic Multi-Agent Systems*. Tech. Rep. No. RR-99-03, Research Center for Artificial Intelligence (DFKI GmbH), Saarbrücken.

**Giebels, M.M.T., Kals, H.J.J., Zijm, W.H.M.,** 2001. Buildings holarchies for concurrent manufacturing planning and control in EtoPlan. *Computers in Industry,* **46**, 301-314.

**Giret, A., Botti, V.,** 2004. Holons and Agents. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **15**, 645–659.

**Giret, A., Botti, V.,** 2009. Engineering Holonic Manufacturing Systems. *Computers in Industry,* **60**, 428-440.

**Giret, A., Botti, V.,** 2009. Engineering Holonic Manufacturing Systems. *Computers in Industry,* **60**, 428–440.

**Golden, B.L., Wasil, E.A., Harker, P.T. (editors),** 1989. *The Analytic Hierarchy Process - Applications and Studies.* Springer-Verlag, Berlin.

**Gou, L., Luh, P.B., Kyoya, Y.,** 1998. Holonic manufacturing scheduling: architecture, cooperation mechanism, and implementation. *Computers ln Industry,* **37** (3), 213-231.

**Gouyon, D.,** 2004. *Contrôle par le produit des systèmes d'exécution de la production: apport des techniques de synthèse*. Doktora tezi, Université Henry Poincaré, Nancy, Aralık.

**Gouyon, D., David, M.,** 2008. Implantation d'un contrôle par le produit à l'aide de réseaux de capteurs sans fil – validation par émulation d'un environnement de production. *Dans: Actes de la 7ème Conférence Internationale de MOdélisation and SIMulation - MOSIM'08,* Paris, Fransa.

**Gouyon, D., David, M.,** 2009. Vers l'implantation d'un système contrôlé par le produit à l'aide de réseaux de capteurs sans fil. *Journal Européen des Systèmes Automatisés,* **43** (4-5), 537-560.

**Gozzi, A., Paolucci, M., Boccalatte, A.,** 2002. A Multi-Agent Approach to Support Dynamic Scheduling Decisions. *Proceedings of the 7th International Symposium on Computers and Communications (ISCC'02)*, p. 983-988.

**Grimm, V., Railsback, S.,** 2005. *Individual-based Modeling and Ecology*, Princeton University Pres.

**Haouzi, H.E.,** 2008. *Approche méthodologique pour l'intégration des systèmes contrôlés par le produit dans un environnement de juste-à-temps: Application à l'entreprise TRANE*. Doktora tezi, Université Henri Poincaré, Nancy I, Fransa.

**Hasegawa, T., Gou, L., Tamura, S., Luh, P.B., Oblak, J.M.,** 1994. Holonic Planning and Scheduling Architecture for Manufacturing. *Proceedings of Int. Conf. on Cooperating Knowledge-Based Systems*, Haziran.

**Hirano, H.,** 2009. *Flow Manufacturing - Multi-Process Operations and Kanban*. JIT Implementation Manual, The Complete Guide to Just-in-time Manufacturing, Second Edition, Volume 3. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

**Hirano, H.,** 2009. *The Just-in-Time Production System*. JIT Implementation Manual, The Complete Guide to Just-in-time Manufacturing, Second Edition, Volume 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

**Hopfield, J.J., Tank, D.W.,** 1985. Neural Computation of Decisions in Optimization Problems. *Biological Cybernetics,* **52**, 141-152.

**Hribernik, K.A., Rabe, L., Thoben, K.D., Schumacher, J.,** 2006. The product avatar as a product-instancecentric information management concept. *International Journal of Product Lifecycle Management,* **1** (4), 367 – 379.

**Hsieh, F.S.,** 2008. Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net. *Automatica,* **44** (4), 959-970.

**Hsieh, F.S.,** 2004. Model and control holonic manufacturing systems based on fusion of contract nets and Petri nets. *Automatica,* **40**, 51 – 57.

**Hsieh, F.S.,** 2008. Holarchy formation and optimization in holonic manufacturing systems with contract net. *Automatica,* **44**, 959 – 970.

**Hsieh, F.S.,** 2008. Robustness analysis of holonic assembly/disassembly processes with Petri nets. *Automatica,* **44**, 2538–2548.

**Hsieh, F.S.,** 2009. Collaborative reconfiguration mechanism for holonic manufacturing systems. *Automatica,* **45**, 2563-2569.

**Hsieh, F.S.,** 2009. Dynamic composition of holonic processes to satisfy timing constraints with minimal costs. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 1117–1126.

**Huang, X.M., Wang, Y.C., Tan, D.L., Zhao, M.Y.,** 2004. Study on integration and modeling of simulation platform of reconfigurable assembly line. *Proceedings of the Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA'04),* **3**, 2768-2772, 15-19 june, Hangzhou, Çin.

**Huang, X.M., Wang, Y.C., Tan, D.L., Zhao, M.Y., Meng, F.,** 2004. Theoretical analyze and implementation method of reconfigurable assembly line based on agent and holon. *Proceedings of the Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA'04),* **3**, 2830- 2833, 15-19 june, Hangzhou, Çin.

**Huang, G.Q., Zhang, Y.F., Jiang, P.Y.,** 2007. RFID-based wireless manufacturing for walking-worker assembly islands with fixed-position layouts. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* **23** (4), 469-477.

**Hutchins, D.,** 1990. *Just in Time*. Gower Technical Press, Aldershot, Hants, İngiltere.

**Iwamura, K., Okubo, N., Tanimizu, Y., Sugimura, N.,** 2006. Real-time scheduling for holonic manufacturing systems based on estimation of future status. *International Journal of Production Research,* **44** (18), 3657–3675.

**Iwamura, K., Seki, Y., Tanimizu, Y., Sugimura, N.,** 2006. A study on a real-time scheduling of holonic manufacturing system – coordination among holons based on multi-objective optimization problem. *Mechatronics for Safety, Security and Dependability in a New Era*, p.195-200.

**Jorion, P.,** 1989. *Principe des systèmes intelligents.* Masson, Paris.

**Kallel, G.,** 1985. *Proposition d'une conduite décentralisée coordonnée (CODECO) pour un atelier de fabrication*. Doktora tezi, INPG, Grenoble, Haziran.

**Kanchanasevee, P., Biswas, G., Kawamura, K., Tamura, S.,** 1997. Contract-Net Based Scheduling for Holonic Manufacturing Systems. *Proceedings of SPIE, "Architectures, Networks, and Intelligent Systems for Manufacturing Integration", Pittsburgh, Pennsylvania, 15-16 October 1997*, p.108-115.

**Klein, T.,** 2008. *Le kanban actif pour assurer l'interopérabilité décisionnelle centralisé/distribué: Application à un industriel de l'ameublement*. Doktora tezi, Université Henri Poincaré, Fransa.

**Koestler, A.,** 1967. *The ghost in the machine*. Hutchinson Editions, Londra.

**Koestler, A.,** 1978. *Janus*. Hutchinson Editions, Londra.

**Kramer, J., Scheutz, M.,** 2007. Development Environments for Autonomous Mobile Robots: A Survey. *Autonomous Robots,* **22** (2), 101-132.

**Kumar, C.S., Panneerselvam, R.,** 2007. Literature review of JIT- KANBAN system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies,* **32**, 393-408.

**Kusumi, N., Hirasawa, K., Ohbayashi, M.,** 1998. Holonic decentralized control system under consideration of whole and part for large-scale complicated system. *Research Reports on Information Science and Electrical Engineering of Kyushu University,* **3** (1), 87-94.

**Kwon, O., Im, G.P., Lee, K.C.,** 2007. MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties. *Expert Systems with Applications,* **33**, 690–705.

**Lamouri, S., Thomas, A.,** 1999. Juste à temps et qualité totale : concepts et outils. *Encyclopédie Techniques de L'ingénieur*. AG 5 190. Traité l'entreprise industrielle. ISSN 1282-9072.

**Leitão, P., Colombo, A.W., Restivo, F.,** 2003. An Approach to the Formal Specification of Holonic Control Systems. *Proceedings of HoloMAS 2003*, 59-70.

**Leitão, P., Restivo, F.,** 2006. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. *Computers in Industry,* **57**, 121-130.

**Leitão, P., Restivo, F.,** 2006. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. *Computers in Industry,* **57**, 121–130.

**Leitão, P.,** 2009. Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 979–991.

**LeMoigne, J.L.,** 1977. *La Théorie du Système Général, théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France.

**Li, K., Sivakumar, A.I., Ganesan, V.K.,** 2008. Complexities and algorithms for synchronized scheduling of parallel machine assembly and air transportation in consumer electronics supply chain. *European Journal of Operational Research,* **187**, 442–455.

**Li, X., Wang, Q.,** 2007. Coordination mechanisms of supply chain systems. *European Journal of Operational Research,* **179** (1), 1-16.

**Liu, Q., Liu, D., Huang, D.,** 2008. Methods to Support Holon Aggregation in Holonic Manufacturing System. *International Symposium on Computational Intelligence and Design.*

**Liu, J., Jin, X.L., Tsui, K.C.,** 2004. *Autonomy Oriented Computing (AOC): From Problem Solving to Complex Systems Modeling.* Kluwer Academic Publishers / Springer.

**Liu, J., Jin, X.L., Tsui, K.C.,** 2005. Autonomy Oriented Computing (AOC): Formulating computational systems with autonomous components. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, **35** (6), 879–902.

**Marik, V., McFarlane, D.,** 2005. Industrial adoption of agent-based Technologies. *IEEE Intelligent Systems,* **20** (1), 27-35.

**Markus, A., Yaneza, T., Monostori, L.,** 1996. A market approach to holonic manufacturing. *Annals of the CIRP,* **45** (1), 433-436.

**Mathews, J.,** 1995. Organizational foundations of intelligent manufacturing systems - the holonic viewpoint. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **8** (4), 237-243.

**Maturana, F., Norrie, D.H.,** 1996. Multi-agent mediator architecture for distributed manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **7**, 257-270.

**Maturana, F., Norrie, D.H.,** 1997. Distributed decision-making using the contract net within a mediator architecture. *Decision Support System,* **20**, 53-64.

**Maturana F., Shen, W., Norrie, D.H.,** 1999. MetaMorph: An adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing. *International Journal of Production Research,* **37** (10).

**McCulloch, W.S.,** 1945. A Heterarchy of values Determined by the Topology of Nervous Nets. *Bull. math. biophys.,* **7**, 89-93.

**McFarlane, D.C.,** 1995. Holonic Manufacturing Systems in Continuous Processing: Concepts and Control Requirements. *Proceedings of the Advanced Summer Institute (ASI) 95 of the N.O.E. on Intelligent Control of Integrated Mfg. Systems*, Lisbonne, Portugal, 25-28 Haziran.

**McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y., Ashton, K.,** 2002. The intelligent product in manufacturing control and management. *Proceedings of the 15th Triennial IFAC World Congress*, Barcelona, İspanya.

**McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C.Y., Ashton, K.,** 2003. Auto ID systems and intelligent manufacturing control. *Engineering Application of Artificial Intelligence,* **16** (4), 365-376.

**McFarlane, D.C., Marik, V., Valckenaers, P.,** 2005. Intelligent control in the manufacturing supply chain. *IEEE Intelligent Systems,* **20** (1), 24-26.

**McFarlane, D.C., Kulkarni, A.G., Ralph, D.,** 2007. Value of RFID in remanufacturing. *Journal of Service Operations and Informatics,* **2** (3), 225-252.

**McFarlane, D., Bussmann, K.,** 2003. Holonic Manufacturing Control: Rationales, Developpements and Open Issues. *Agent-based manufacturing: Advances in the holonic approach*, 303–326, (S. M. DEEN Ed.) Springer-Verlag, Berlin.

**McFarlane, D.C., Shaw, A.,** 2006. The challenge of unified RFID. *Sensor Review,* **26** (2).

**Mekaouche, L.,** 2007. *Pilotage holonique auto-organisé de réseaux logistiques: validation par modélisation et simulation distribuée*. Doktora tezi, Université Paul Cézanne d'Aix-Marseille.

**Melnik, S.A., Carter, P.L.,** 1987. Production Activity Control. *The Business ONE Irwin/APICS Series in Production Management*, Richard D. Irwin, Inc.

**Mercé, C.,** 1987. *Cohérence des décisions en planification hiérarchisée*. Doktora tezi, Université Paul Sabatier, Toulouse.

**Mes, M., Van Der Heijden, M., Van Hillegersberg, J.,** 2008. Design choices for agent-based control of AGVs in the dough making process. *Decision Support Systems,* **44** (4), 983-999.

**Mesarović, M.D., Macko, D., Takahara, J.,** 1970. *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*. Academic Press, New York (édition française Economica, 1980).

**Metaxiotis, K.S., Ergazakis, K., Psarras, J.E.,** 2001. An elaborate analysis of production systems in industry: what a consultant should know. *Industrial Management & Data Systems,* **101** (4), 185-193.

**Mintzberg, H.,** 1982. *Structure et dynamique des organisations*. Editions d'Organisation, Paris.

**Mitler, M., Purm, M., Gihr, O.,** 1995. Set management: Minimizing synchronization delays of prefabricated parts before assembly. *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, Almanya.

**Morel, G., Panetto, H., Zaremba, M., Mayer, F.,** 2003. Manufacturing enterprise control and management system engineering: rationales and open issues. *IFAC Annual Reviews in Control,* **27** (2), 199-209.

**Morel, G., Valckenaers, P., Faure, J.M., Pereira, C., Dietrich, C., 2007**. Manufacturing plan control challenges and issues. *Control Engineering Practice,* **15** (11), 1321-1331.

**Morel, G., Iung, B.,** 1997. Balancing between Integration and Distribution Paradigms: the Modelling Process of the European CMMS-IAMS Projects. *Research Report ESPRIT, Project 21.859, EI-IC Vol. 1: Enterprise Engineering and Integration: Building International Consensus, In: Proceedings of the ICEIMT'97*, p.339-347, Springer.

**Moriwaki, T., Sugimura, N., Martawirya, Y.Y., Wirjomartono, S.H.,** 1992. Production Scheduling in Autonomous Distributed Manufacturing System. *Quality Assurance Through Integration of Manufacturing Processes and Systems*, PED-v56 (New York, ASME).

**Müller, J., Pischel, M.,** 1993. The Agent Architecture InteRRaP: Concept and Application. Tech. Rep. No. RR-93-26, *Research Center for Artificial Intelligence* (DFKI GmbH), Saarbrücken.

**Ng, A.H.C., Yeung, R.W.H., Cheung, E.H.M.,** 1996. HSCS - The design of a holonic shopfloor control system. P*roceedings of IEEE Conference on*

*Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA '96),* **1**, 179-185, 18-21 Kasım, Kauai, HI, USA.

**Ounnar, F.,** 1999. *Prise en compte des aspects décision dans la modélisation par réseaux de Petri des systèmes flexibles de production*. Doktora tezi, Institut National Polytechnique de Grenoble, 9 Aralık.

**Ounnar, F., Pujo, P., Mekaouche, L., Giambiasi, N.,** 2007. Customer-supplier relation-ship management in an intelligent supply chain network. *Production Planning & Control,* **18** (5), 377-387.

**Ounnar, F., Pujo, P., Mekaouche, L., Giambiasi, N.,** 2009. Integration of a flat holonic form in an HLA environment. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **20**, 91–111.

**Ören, T.,** 2001. Advances in Computer and Information Sciences: From Abacus to Holonic Agents. *Turk J. Elec. Engin.*, **9** (1), TÜBİTAK.

**Panescu, D., Sutu, M., Pascal, C.,** 2009. On the Design and Implementation of Holonic Manufacturing Systems. *World Congress on Computer Science and Information Engineering.*

**Panetto, H., Baïna, S., Morel, G.,** 2007. Mapping the IEC 62264 models onto the Zachman framework for analysing products information traceability: a case study. *Journal of Intelligent Manufacturing,* **18** (6), 679-698.

**Pannequin, R., Thomas, A.,** 2006. Cooperation between business and holonic manufacturing decision systems. *Proceedings of the 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'2006)*, Mayıs, St Etienne, 423-428.

**Pannequin, R.,** 2007. *Proposition d'un environnement de modélisation et de test d'architectures de pilotage par le produit de systèmes de production*. Doktora tezi, Université Henri Poincaré, Fransa.

**Parunak, H.V.D., Savit, R., Riolo, R. L.,** 1998. Agent-Based Modeling vs. Equation-Based Modeling: a Case Study and Users'Guide. *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation*, SpringerVerlag (J. S. SICHMAN, R. CONTE AND N. GILBERT Eds)

**Pétin, J.F.,** 2007. *Méthodes et modèles pour un processus sûr d'automatisation*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Centre de recherche en automatique de Nancy - CRAN - CNRS: UMR7039 - Université Henri Poincaré - Nancy I - Institut National Polytechnique de Lorraine – INPL.

**Pétin, J.F., Gouyon, D., Morel, G.,** 2007. Supervisory synthesis for product-driven automation and its application to a flexible assembly cell. *Control Engineering Practice,* **15** (5), 595-614.

**Pétin, J.F., Gouyon, D., Morel, G.,** 2007. Supervisory synthesis for product-driven automation and its application to a flexible assembly cell. *Control Engineering Practice,* **15**, 595–614.

**Poli, R.,** 2007. *An Analysis of Publications on Particle Swarm Optimisation Applications*. University of Essex, Technical Report CSM-469, Mayıs.

**Productivity Press Development Team,** 2002. *Pull Production for the Shopfloor*. Productivity Press, NY, USA.

**Pujo, P.,** 2009. *Habilitation à diriger des recherches de l'isoarchie pour le pilotage des systèmes de production.* Synthèse scientifique. Université Paul Cezanne Aix-Marseille III, Fransa.

**Pujo, P., Pedetti, M., Ounnar, F.,** 2004. Pilotage proactif des lignes de production kanban par modélisation DEVS et simulation temps réel. *in: Actes de MOSIM'04*, Nantes, France, 1-3 Eylül.

**Pujo, P., Brun-Picard, D.,** 2002. Pilotage sans plan prévisionnel ni ordonnancement préalable. *dans: Collection IC2 - Productique: Méthodes du pilotage des systèmes de production*, Hermès Science Europe Ltd (P. PUJO, J.P. KIEFFER, Eds.).

**Pujo, P., Ounnar, F., Blanc, P.,** 2009. Pilotage des systèmes manufacturiers via une analyse multicritère intégrant Produit, Ressource et Ordre. Application au pilotage en flux tiré d'un Job Shop. *Journal Européen des Systèmes Automatisés,* **43** (4-5), 435-462.

**Pujo, P., Broissin, N., Ounnar, F.,** 2009. PROSIS: An isoarchic structure for HMS control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 1034–1045.

**Pujo, P., Ounnar, F.,** 2008. Pull System Control For Job Shop Via A Holonic, Isoarchic & Multicriteria Approach. *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, 6-11 Temmuz, Seoul, Kore.

**Pujo, P., Pedetti, M., Giambiasi, N.,** 2006. Formal DEVS modelling and simulation of a flow-shop relocation method without interrupting the production. *Simulation Modelling Practice and Theory,* **14**, 817–842.

**Rekik, Y., Sahin, E., Dallery, Y.,** 2008. Analysis of the impact of the RFID technology on reducing product misplacement errors at retail stores. *International Journal of Production Economics,* **112** (1), 264-278.

**Saad, A., Kawamura, K., Biswas, G.,** 1995. Evaluation of Contract Net-Based Heterarchical Scheduling for Flexible Manufacturing Systems. *Proceedings of the 1995 International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'95), Workshop on Intelligent Manufacturing*, Montreal, Quebec, Canada, 20-25 Ağustos.

**Saaty, T.L.,** 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill Book Company, NY, USA.

**Saaty, T.L.,** 1982. *Decision Making for Leaders*. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont, California, USA.

**Saaty, T.L.,** 2000. *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process.* Vol. 6, RWS Publications, Pittsburgh.

**Schillo, M., Fischer, K.,** 2003. Holonic Multiagent Systems. *Zeitschrift fur Künstliche Intelligenz,* **17** (4), 54–55.

**Schweitzer, F.,** 1997. Active Brownian Particles: Artificial Agents in Physics. *Stochastic Dynamics,* **484**, 358-371, Berlin, Springer.

**Shen, W., Norrie, D.H.,** 1999. Agent-based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. *Knoledge and Information System,* **1** (2), 129-156.

**Smith, R.G.,** 1980. The contract net protocol: high level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transactions on Computers,* **29**, 1104-1113.

**Soroor, J., Tarokh, M.J., Shemshadi, A.,** 2008. Initiating a state of the art system for real-time supply chain coordination. *European Journal of Operational Research*, DOI :10.1016/j.ejor.2008.03.008.

**Sousa, P., Ramos, C.,** 1999. A distributed architecture and negotiation protocol for scheduling in manufacturing systems. *Computers in Industry, Special issue on Life Cycle Approaches to Production Systems: Management, Control and Supervision,* **38** (2), p.103-113.

**Spath, D., Baumeister, M.,** 2001. Synchronisation of material flow and assembly in hybrid and modular systems. *Assembly Automation,* **21** (2), 152-157.

**Sperandio, S.,** 2005. *Usage de la modélisation multi-vue d'entreprise pour la conduite des systèmes de production*. Doktora tezi, Université Bordeaux 1, Ecole doctorale des sciences physiques et de l'ingénieur, Fransa.

**Suda, H.,** 1989. Future Factory System Formulated in Japan - Part 1. *Techno Japan,* **22** (10), 15-25.

**Suda, H.,** 1990. Future Factory System Formulated in Japan - Part 2. *Techno Japan,* **23** (3), 51-61.

**Sugiyama, S.,** 2001. Holonic management method. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,* **5**, 2817-2822.

**Sünder, C., Zoitl, A., Christensen, J.H., Vyatkin, V., Brennan, R.., Valentini, A., Ferrarini, L., Strasser, T., Martinez-Lastra, J.L., Auinger, F.,** 2006. Usability and Interoperability of IEC 61499 based distributed automation systems. *Proceedings of the IEEE Int. Conference on Industrial Informatics (INDIN'06).*

**Tamani, K., Boukezzoula, R., Habchi, G.,** 2009. Intelligent distributed and supervised flow control methodology for production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 1104–1116.

**Tamura, S., Seki, T., Hasegawa, T., Tanaka, T.,** 2003. Toward the Practical Uses of Holonic Manufacturing Systems. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E86-A, **11**, 2722-2730.

**Tanimizu, Y., Miyamae, T., Sakaguchi, T., Iwamura, K., Sugimura, N.,** 2007. Multi-objective Reactive Scheduling Based on Genetic Algorithm. *Proceedings of the 11th International Conference on Precision Engineering (ICPE)*, August 16–18, Tokyo, Japonya, 65-70.

**Tanyaş, M., Baskak, M.,** 2006. *Üretim Plânlama ve Kontrol (Production Planning and Control)*, Second Edition. Irfan Publications, Istanbul.

**Terzi, S., Panetto, H., Morel, G., Garetti, M.,** 2007. A holonic metamodel for product traceability in Product Lifecycle Management. *International Journal of Product Lifecycle Management,* **2** (3), 253 – 289.

**Tranvouez, E.,** 2001. *IAD et ordonnancement: une approche coopérative du réordonnancement par systèmes multi-agents*. Université de Droit d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III.

**Trentesaux, D.,** 2002. *Pilotage hétérarchique des systèmes de production*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis.

**Trentesaux, D.,** 2007. Les systèmes de pilotage hétérarchiques. *JESA,* **41** (9-10), 1165-1202.

**Trentesaux, D.,** 2009. Distributed control of production systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* **22**, 971–978.

**Tuzkaya, U.R., Önüt, S.,** 2009. A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network. *Computers & Industrial Engineering,* **56**, 708–723.

**Uhrmacher, A. M.,** 1997. Concepts of object- and agent-oriented simulation. *Trans. Soc. Comput. Simul. Int.,* **14** (2), 59-67.

**Ulieru, M.,** 1997. Soft computing issues in the intelligent control of holonic manufacturing systems. *Proceedings of the 1997 IEEE Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Proceeding Society*, NAFIPS'97, Syracuse NY, USA, 323-328.

**Üstündağ, A., Korkmaz, E.,** 2009. Radyo Frekanslı Tanıma Teknolojisinin (RFID) Endüstriyel Kontrol Sistemlerine Entegrasyonu (Integration of RFID to industrial control systems). *ITU RFID Research and Test Center*, Turkey.

**Van Bertalanffy, L.,** 1969. *General System Theory*. New-York (traduction française, Dunod, 1973).

**Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., Peeters, P.,** 1998. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. *Computers in Industry,* **37**, 255–274.

**Van Leeuwen, E.H., Norrie, D.,** 1997. Intelligent Manufacturing: Holons and Holarchies. *Manufacturing Eng.,* **76** (2), 86-88.

**Voss, C.A.,** 1987. *International trends in manufacturing technology, Just-in-Time Manufacture*. IFS Publications, Springer-Verlag, UK.

**Wang, L.,** 2001. Integrated design-to-control approach for holonic manufacturing systems. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing,* **17**, 159.

**Wang, F., Hou, Z.G., Xu, D., Tan, M.,** 2005. An agent-based holonic architecture for reconfigurable manufacturing systems. *(Advances in natural computation (Changsha, 27-29 August)) Lecture Notes in Computer Science*, **3612** (PART III), p.622-627.

**Wang, L.,** 2001. Integrated design-to-control approach for holonic manufacturing systems. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing,* **17**, 159-167.

**Wild, R.,** 1971. *Mass Production Management*. John Wiley and Sons, Bradford, UK.

**Wong, C.Y., McFarlane, D., Zaharudin, A.A.,** 2002. The intelligent product driven supply chain. *Proceedings of the IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, Hammamet, Tunus.

**Wong, C.Y., McFarlane, D.C.,** 2007. Radio Frequency Identification data capture and its impact on shelf replenishment. *International Journal of Logistics,* **10** (1), 71-93.

**Wong, T.N., Leung, C.W., Mak, K.L., Fung, R.Y.K.,** 2006. Dynamic shopfloor scheduling in multi-agent manufacturing systems. *Expert Systems with Applications,* **31** (3), 486-494.

**Wyns, J., Van Ginderachter, T., Valckenaers, P., Van Brussel, H.,** 1997. Integration of resource allocation and process control in holonic manufacturing systems. *Proceedings of the 29th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, 57-62.

**Yang, Y., Zhao, F., Yao, Y., Zhu, A.,** 2006. A PSO and simulated annealing hybrid algorithm to task allocation problem for holonic manufacturing system. *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA'06)*, **3**, 2830- 2833, 21-23 Haziran, Dalian, Çin.

**Yao, Y., Li, Y., Zhao, F., Yang, Y.,** 2006. A scheduling holon model with time Petri net and its solution with a novel PSO-GA algorithm. *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA'06)*, **3**, 2830- 2833, 21-23 Haziran, Dalian, Çin.

**Zhang, J., Gao, L., Chan, F.T.S., Li, P.,** 2003. A holonic architecture of the concurrent integrated process planning system. *Journal of Materials Processing Technology,* **139** (1-3), 267-272.

**Zhang, X., Balasubramanian, S., Robert W. Brennan, R.W., Norrie, D.H.,** 2000. Design and implementation of a real-time holonic control system for manufacturing. *Information Sciences,* **127**, 23-44.

**Zhao, F., Zhang, Q., Wang, L.,** 2007. A hybrid algorithm based on PSO and GA to Dynamic Virtual Holon Mechanism and Negotiation Model. *Proceedings of ISKE 2007.*

**Zhao, F., Hong, Y., Yu, Yang, Y., Zhang, Q., Yi, H.,** 2007. A hybrid algorithm based on particle swarm optimization and simulated annealing to holon task allocation for holonic manufacturing system. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.,* **32**, 1021-1032.

**Zhao, F., Zhang, Q., Yang, Y.,** 2006. Petri net modeling method to scheduling problem of holonic manufacturing system (HMS) and its solution with a hybrid PSO algorithm. *Lecture Notes in Control and Information Sciences,* **344**, 361-372.

**Zhao, F., Zhang, Q., Wang, L.,** 2008. Task Allocation and Evaluation Model for Holonic Manufacturing System Based on Multi-agent System. *Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation,* 25 – 27 Haziran, Chongqing, Çin.

http://en.wikipedia.org/wiki/Material_Requirements_Planning (Erişim tarihi: 12.04.2010)

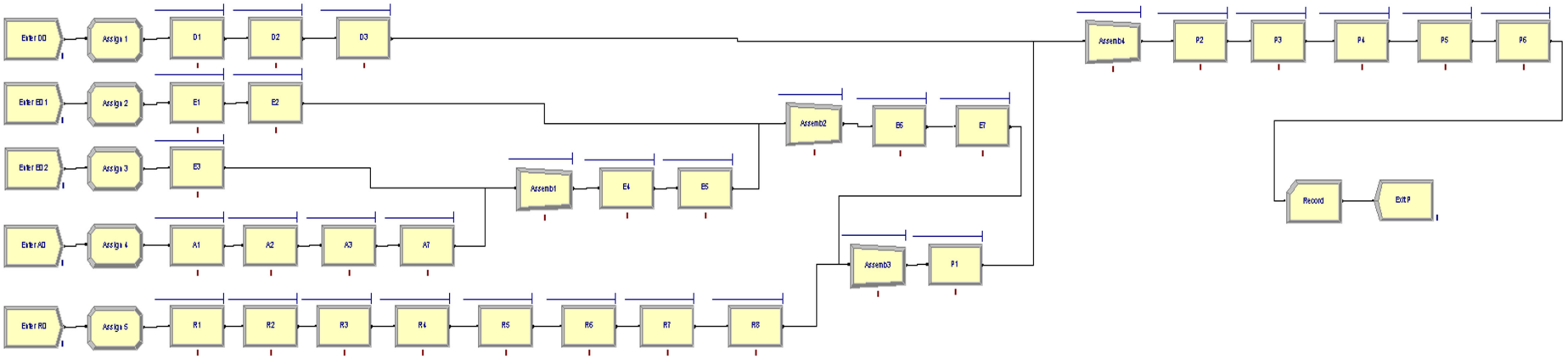
http://fr.wikipedia.org/wiki/Prise_de_d%C3%A9cision (Erişim tarihi: 12.04.2010)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Rfid (Erişim tarihi: 12.04.2010)

**EKLER**

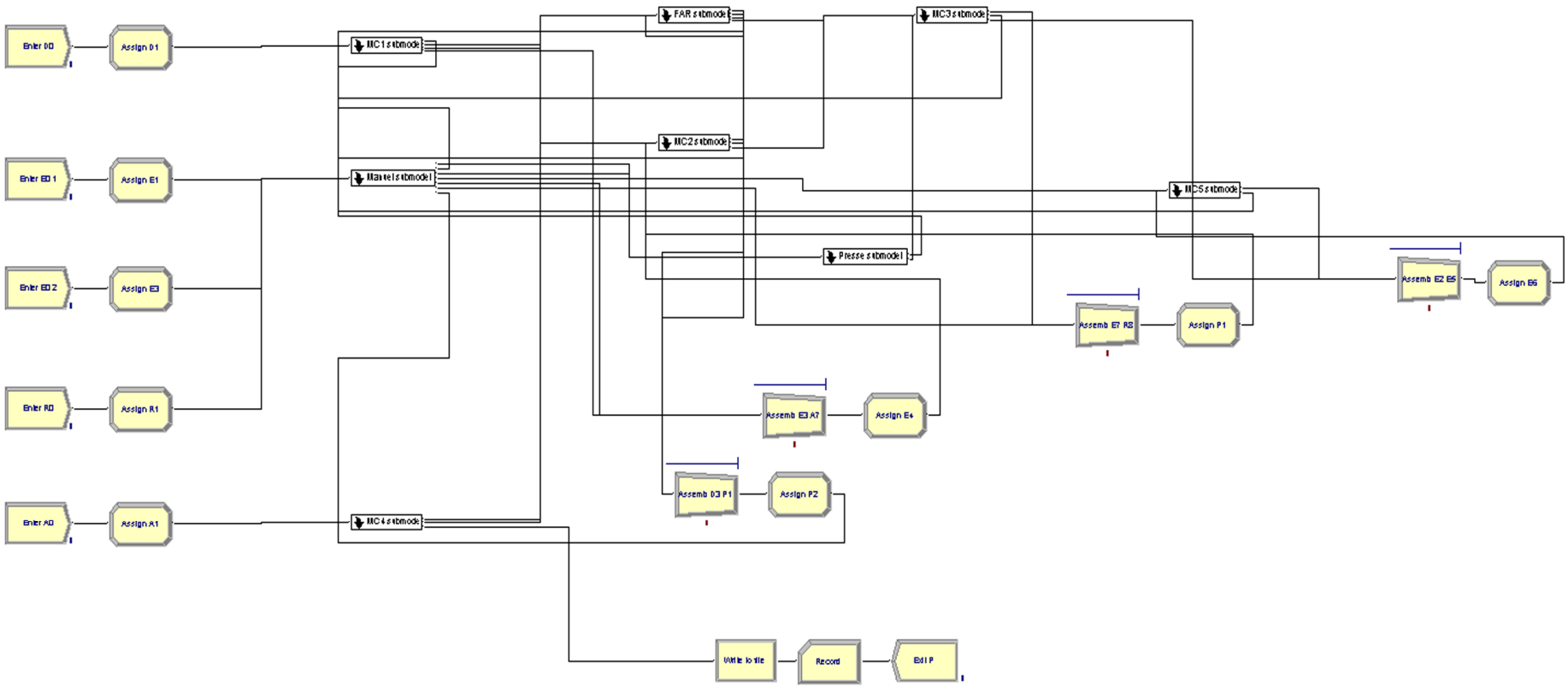
**EK A.1 :** MRP ve Kanban simülasyon modeli (ana model görüntüsü)
**EK A.2 :** PROSIS simülasyon modeli (ana model görüntüsü)
**EK A.3 :** PROSIS simülasyon modeli (MC1 alt model görüntüsü)
**EK A.4 :** Arena Simülasyonun VBA kodları (MC1)

**EK A.1**



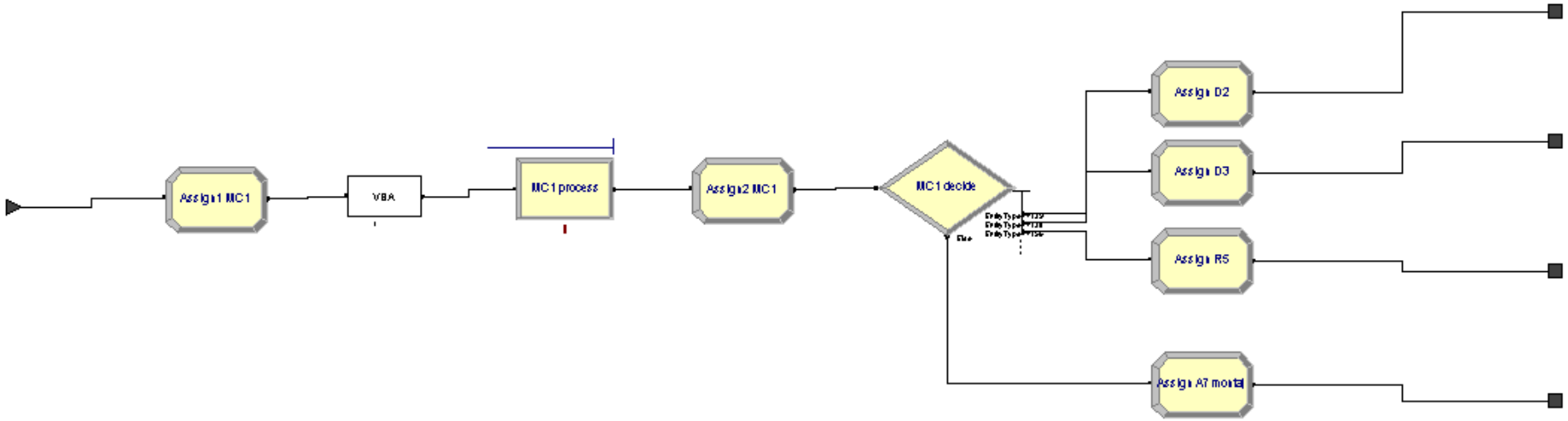

**Şekil A.1 :** MRP ve Kanban simülasyon modeli

**EK A.2**




**Şekil A.2 :** PROSIS simülasyon modeli (ana model)

**EK A.3**




**Şekil A.3 :** PROSIS simülasyon modeli (MC1 alt modeli)

**EK A.4**

```
Function Min(ParamArray avValues() As Variant) As Variant
   Dim vThisItem As Variant, vThisElement As Variant
   On Error Resume Next
   For Each vThisItem In avValues
      If IsArray(vThisItem) Then
         For Each vThisElement In vThisItem
            Min = Min(vThisElement, Min)
         Next
      Else
         If vThisItem < Min Then
            If Not IsEmpty(vThisItem) Then
               Min = vThisItem
            End If
         ElseIf IsEmpty(Min) Then
            Min = vThisItem
         End If
      End If
   Next
   On Error GoTo 0
End Function

'MC1
Private Sub VBA_Block_1_Fire()
   Dim MyExcel As Object
   Dim Kod As SIMAN
   Set MyExcel = CreateObject("Excel.application")
   Set Kod = ThisDocument.Model.SIMAN
   MyExcel.Workbooks.Open ("C:\Documents and Settings\Ceyda
Olcan\Desktop\deneme\version 7 hepsi\HOLONIK\ahp.xls")
   MyExcel.Visible = False
   Dim I(8) As Single
   Dim k As Integer

Select Case (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("EntityType")))
   Case 139
         I(1) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaNo")) / Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi"))
         Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("CikanMC1")))
         Case 139
            Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("PartiMC1")))
            Case Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("PartiNo"))
               I(2) = 7
            Case Else
               I(2) = 5
            End Select
```

```
        Case Else
           I(2) = 3
        End Select
        I(3) = (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("TeslimTarihi")) - TNOW) - 54
        Select Case I(3)
        Case 0
           I(3) = 1
        End Select
        I(4) = I(3) / (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi")) -
Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity, Kod.SymbolNumber("AsamaNo")))
        I(5) = TNOW - Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("WIPeGelisZamani"))
        Select Case I(5)
        Case 0
           I(5) = 1
        End Select
        I(6) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaSuresi"))
        I(7) = 9
        I(8) = 1 / 9

    Case 138
        I(1) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaNo")) / Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi"))
        Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("CikanMC1")))
        Case 138
           Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("PartiMC1")))
           Case Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("PartiNo"))
              I(2) = 7
           Case Else
              I(2) = 5
           End Select
        Case Else
           I(2) = 3
        End Select
        I(3) = (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("TeslimTarihi")) - TNOW) - 50
        Select Case I(3)
        Case 0
           I(3) = 1
        End Select
        I(4) = I(3) / (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi")) -
Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity, Kod.SymbolNumber("AsamaNo")))
        I(5) = TNOW - Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("WIPeGelisZamani"))
```

```
        Select Case I(5)
        Case 0
           I(5) = 1
        End Select
        I(6) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaSuresi"))
        I(7) = 9
        I(8) = 1 / 9

    Case 146
        I(1) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaNo")) / Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi"))
        Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("CikanMC1")))
        Case 146
           Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("PartiMC1")))
           Case Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("PartiNo"))
              I(2) = 7
           Case Else
              I(2) = 5
           End Select
        Case Else
           I(2) = 3
        End Select
        I(3) = (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("TeslimTarihi")) - TNOW) - 90
        Select Case I(3)
        Case 0
           I(3) = 1
        End Select
        I(4) = I(3) / 1
        I(5) = TNOW - Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("WIPeGelisZamani"))
        Select Case I(5)
        Case 0
           I(5) = 1
        End Select
        I(6) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaSuresi"))
        Select Case (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("MontajBileseni")))
        Case 1
           Select Case I(3)
           Case Is > 0
              I(7) = Min(I(3) / Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaSuresi")), 9)
           Case Else
              I(7) = 1 / 9
           End Select
```

```
            Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("Montaj1")))
            Case 1
               I(8) = 9
            Case Else
               I(8) = 3
            End Select
         Case Else
               I(7) = 9
               I(8) = 1 / 9
         End Select

   Case 156
         I(1) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaNo")) / Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi"))
         Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("CikanMC1")))
         Case 156
            Select Case (Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("PartiMC1")))
            Case Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("PartiNo"))
               I(2) = 7
            Case Else
               I(2) = 5
            End Select
         Case Else
            I(2) = 3
         End Select
         I(3) = (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("TeslimTarihi")) - TNOW) - 350
         Select Case I(3)
         Case 0
            I(3) = 1
         End Select
         I(4) = I(3) / (Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("ToplamAsamaSayisi")) -
Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity, Kod.SymbolNumber("AsamaNo")))
         I(5) = TNOW - Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("WIPeGelisZamani"))
         Select Case I(5)
         Case 0
            I(5) = 1
         End Select
         I(6) = Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity,
Kod.SymbolNumber("AsamaSuresi"))
         I(7) = 9
         I(8) = 1 / 9
   End Select
   Dim Cell(8) As Double
   Dim t As Integer
   Cell(1) = Abs(Round(I(1) / 1, 2))
```

```
   Cell(2) = Abs(Round(I(2) / 1, 2))
   Cell(3) = Abs(Round(1 / I(3), 2))
   Cell(4) = Abs(Round(1 / I(4), 2))
   Cell(5) = Abs(Round(I(5) / 1, 2))
   Cell(6) = Abs(Round(1 / I(6), 2))
   Cell(7) = Abs(Round(1 / I(7), 2))
   Cell(8) = Abs(Round(I(8) / 1, 2))
   For t = 0 To 8
      Select Case Cell(t)
      Case Is > 9
         Cell(t) = 9
      Case Is < 1 / 9
         Cell(t) = 1 / 9
      Case Is = 0
         Cell(t) = 1 / 9
      End Select
   Next t
   MyExcel.Cells(55, 4).value = Cell(1)
   MyExcel.Cells(63, 4).value = Cell(2)
   MyExcel.Cells(71, 4).value = Cell(3)
   MyExcel.Cells(79, 4).value = Cell(4)
   MyExcel.Cells(87, 4).value = Cell(5)
   MyExcel.Cells(95, 4).value = Cell(6)
   MyExcel.Cells(103, 4).value = Cell(7)
   MyExcel.Cells(111, 4).value = Cell(8)
   Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("Variable")) = MyExcel.Cells(41,
34).value
   Kod.EntityAttribute(Kod.ActiveEntity, Kod.SymbolNumber("EntityPriority")) =
Kod.VariableArrayValue(Kod.SymbolNumber("Variable"))
   MyExcel.Workbooks(1).Save
   MyExcel.Workbooks(1).Close (True)
   MyExcel.Application.Quit
   Set MyExcel = Nothing
   Set Kod = Nothing
   For k = 0 To 8
      I(k) = 0
   Next k
End Sub
```

## ÖZGEÇMİŞ

Ceyda Olcan, 1985 yılında İstanbul'da doğmuştur. 2003 yılında Sainte-Pulchérie Fransız Lisesi'ni ve 2007 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Matematik Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimine başlayan Ceyda Olcan, halen bu bölümde öğrencidir. Erasmus kapsamında Ecole Centrale Marseille'de tez çalışmasına başlamış ve bu konuda "Flow Synchronization in AHP PROSIS Control" isimli bir bildiriyi Yves Dubromelle, Fouzia Ounnar ve Patrick Pujo ile birlikte Şubat 2010'da yazmıştır.