

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MODERN ÜRETİM SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİNDE
CANLI HÜCRESİ TABANLI YAKLAŞIMLAR
VE BİR SENARYO UYGULAMASI**

Harun PİRİM

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ali Kemal ŞEHİRLİOĞLU

2006

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Modern Üretim Sistemlerinin Modellenmesinde Canlı Hücreli Tabanlı Yaklaşımlar ve Bir Senaryo Uygulaması” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

Tarih

.../.../.....

Harun PİRİM

İmza

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV TUTANAĞI

Öğrencinin

Adı ve Soyadı : Harun Pirim
Anabilim Dalı :Ekonometri
Programı :Tezli Yüksek Lisans
Tez/Proje Konusu : Modern Üretim Sistemlerinin Modellenmesinde Canlı Hücreli Tabanlı Yaklaşımlar ve Bir Senaryo Uygulaması
Sınav Tarihi ve Saati :

Yukarıda kimlik bilgileri belirtilen öğrenci Sosyal Bilimler Enstitüsü'nün tarih ve Sayılı toplantısında oluşturulan jürimiz tarafından Lisansüstü Yönetmeliğinin 18.maddesi gereğince yüksek lisans tez/proje sınavına alınmıştır.

Adayın kişisel çalışmaya dayanan tezini/projesini dakikalık süre içinde savunmasından sonra jüri üyelerince gerek tez/proje konusu gerekse tezin/projenin dayanağı olan Anabilim dallarından sorulan sorulara verdiği cevaplar değerlendirilerek tezin,

| | | | |
|----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| BAŞARILI | <input type="radio"/> | OY BİRLİĞİ ile | <input type="radio"/> |
| DÜZELTME | <input type="radio"/> | OY ÇOKLUĞU | <input type="radio"/> |
| RED edilmesine | <input type="radio"/> | ile karar verilmiştir. | |

Jüri teşkil edilmediği için sınav yapılamamıştır. ***
Öğrenci sınava gelmemiştir. **

* Bu halde adaya 3 ay süre verilir.
** Bu halde adayın kaydı silinir.
*** Bu halde sınav için yeni bir tarih belirlenir.

| | |
|---|-----------------------|
| Tez/Proje, burs, ödül veya teşvik programlarına (Tüba, Fullbright vb.) aday olabilir. | Evet |
| Tez/Proje, mevcut hali ile basılabilir. | <input type="radio"/> |
| Tez/Proje, gözden geçirildikten sonra basılabilir. | <input type="radio"/> |
| Tezin/Projenin, basımı gerekliliği yoktur. | <input type="radio"/> |

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

| | | | | |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------|
| | <input type="checkbox"/> Başarılı | <input type="checkbox"/> Düzeltme | <input type="checkbox"/> Red | |
| | <input type="checkbox"/> Başarılı | <input type="checkbox"/> Düzeltme | <input type="checkbox"/> Red | |
| | <input type="checkbox"/> Başarılı | <input type="checkbox"/> Düzeltme | <input type="checkbox"/> Red | |

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ TEZ VERİ FORMU

Tez/Proje No: Konu Kodu: Üniv. Kodu

- Not: Bu bölüm merkezimiz tarafından doldurulacaktır.

Tez/Proje Yazarının
Soyadı: Pirim

Adı: Harun

Tezin/Projenin Türkçe Adı: Modern Üretim Sistemlerinin Modellenmesinde Canlı Hücreli Tabanlı Yaklaşımlar ve Bir Senaryo Uygulaması

Tezin/Projenin Yabancı Dildeki Adı: Biological Cell Based Approaches in Modelling Modern Production Systems and Playing out a Scenario

Tezin/Projenin Yapıldığı
Üniversitesi: Dokuz Eylül

Enstitü: Sosyal Bilimler

Yıl: 2006

Diğer Kuruluşlar:

Tezin/Projenin Türü:

Yüksek Lisans :

Dili: Türkçe

Tezsiz Yüksek Lisans :

Doktora :

Sayfa Sayısı:78

Referans Sayısı:

Tez/Proje Danışmanlarının

Ünvanı: Yrd. Doç.

Adı: Ali Kemal

Soyadı: Şehirlioğlu

Ünvanı:

Adı:

Soyadı:

Türkçe Anahtar Kelimeler:

- 1- Modern Üretim Sistemleri
- 2- Canlı Hücrede Üretim
- 3- Fraktal İmalat
- 4- Holonik İmalat
- 5- Tabiattaki İlhamlar

İngilizce Anahtar Kelimeler

- 1- Modern Production Systems
- 2- Production in a Biological Cell
- 3- Fractal Manufacturing
- 4- Holonic Manufacturing
- 5- Inspirations in Nature

Tarih:

İmza:

Tezimin Erişim Sayfasında Yayınlanmasını İstiyorum

Evet

Hayır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Modern Üretim Sistemlerinin Modellenmesinde Canlı Hücresi Tabanlı
Yaklaşımlar ve Bir Senaryo Uygulaması

Harun PİRİM

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimleri Enstitüsü
Ekonometri Anabilim Dalı

20. yüzyılın sonlarından itibaren, yeni üretim paradigmaları geliştirilmeye başlamıştır. Belirli bir bilgisayar mimarisi gerektiren bu yaklaşımlar daha çok teori aşamasında olsa da bazıları(holonik, fraktal) başarılı bir şekilde uygulamaya koyulabilmektedir. IMS(intelligent manufacturing systems) çatısı altında geliştirilen bu yeni üretim yaklaşımlarının ortak özelliği sistemin her biriminin bağımsız, koordineli ve kooperatif çalışmalarıdır.

Holonik yaklaşım, imalat işletmeleri farklı seviyede otomasyonlu donanım içerdiğini kabul eder. Hiyerarşik emir yapısına bağlı değildir. Bir holon bilgi işleme ve fiziki işleme kısımlarından oluşur. Bir holon daha küçük holonlar içerebilir ya da büyük bir holonun parçası olabilir. Her üretim birimi(makine) holon olabilir ve farklı holonlar birlikte planlama, çizelgeleme, üretim gibi işler yapabilirler.

Fraktal imalat sistemi, özünde dinamik hedef koordinasyonu ve üretim aşamasındaki yerleşim ve fonksiyonel olarak yapılan işlemlerin benzerliğinden türetilen yeni bir imalat kavramıdır. Temel fraktal birim 5 fonksiyonel modülden oluşur. Fraktal kelimesi en üst seviyede bütün bir imalat atölyesini ifade edebileceği gibi en alt seviyede fiziksel bir makineyi de ifade edebilir.

Bu yaklaşımların dışında canlı hücreesindeki protein sentezi, arrayol reaksiyonları incelenerek hücrede üretim kavramlarıyla özdeşleşen, bazı noktalarda ise

Üretim anlamında olabildiğince radikal davranışlar sergileyen mekanizmaları keşfedilmiştir. Canlı hücresinin bilgisayar bilimlerinde yaygın kullanımı bilinmektedir. Üretim bilimleri de hücre içindeki işleyişten dersler çıkarmaktadır. Bu alışmalar da henüz teori aşamasındadır.

Bu tez çalışmasında yukarıda kısaca bahsedilen üretim paradigmaları incelenmiştir. Karşılaştırmaları yapılmıştır. Biyolojik retim konusu üzerinde daha detaylı durulmuştur. Biyolojik kavramlar ve imalat arasındaki benzerlikler gösterilmiştir. Geleceğin retim/imalat sistemlerinin nasıl olabileceğine dair öngörülerde bulunulmuştur. Bir retim senaryosu geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 1)Modern retim Sistemleri, 2)Holonik İmalat, 3)Fraktal İmalat, 4) Canlı Hcresinde retim, 5)Tabiattaki İlhamlar

ABSTRACT
Master Thesis

**Biological Cell Based Approaches in Modelling Modern Production Systems
and Playing out a Scenario**

Harun PİRİM

**Dokuz Eylul University
Institute Of Social Sciences
Department of Econometry**

By the end of 20th Century, new manufacturing paradigms have evolved. These paradigms requiring computer architecture at a consistent level still in the state of theoretical development have been practiced to a little extent. Common features of these new manufacturing paradigms in the frame of IMS are system units' being autonomous, coordinated and cooperative.

Holonic paradigm proposes manufacturing organizations having equipment with automation at different levels. It doesn't use hierarchical command structure. A holon consists of both an information processing part and physical processing part. It may comprise smaller holons while constituting bigger ones. Any production unit can be a holon. Holons may work collectively for scheduling, planning etc.

Fractal manufacturing system is also a new manufacturing concept holding dynamic goal orientation and self similarity. Basic fractal consists of five functional modules. Fractal can be a manufacturing floor at the highest level or a machine at the lowest level.

Protein synthesis in a biological cell, a pathway reaction have many things in common with manufacturing systems. Further, cell has radically different methods in producing a good. It's known that biological cell is used in computer science prevalently. Manufacturing science also has benchmarks with cell. Studies at this scope is teorical yet.

In master thesis, manufacturing paradigms stated above have been analyzed. Comparison between them has been made with a detailed focus on biological manufacturing. Similarities have been shown. Prediction about the future of manufacturing has been made. A production scenario has been played out.

Key Words: 1) Modern Production Systems, 2)Holonc Manufacturing, 3)Fractal Manufacturing, 4) Production in a Biological Cell, 5)Inspirations in Nature

MODERN ÜRETİM SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİNDE CANLI HÜCRESİ TABANLI YAKLAŞIMLAR VE BİR SENARYO UYGULAMASI

| | |
|---|------|
| YEMİN METNİ | II |
| TUTANAK | III |
| Y.Ö.K. DOKÜMANTASYON MERKEZİ TEZ VERİ FORMU | IV |
| ÖZET | V |
| ABSTRACT | VII |
| İÇİNDEKİLER | IX |
| KISALTMALAR | XI |
| TABLO LİSTESİ | XII |
| ŞEKİL LİSTESİ | XIII |
| GİRİŞ | XIV |

BİRİNCİ BÖLÜM ÜRETİM VE ÜRETİMİN TARİHSEL GELİŞİMİ

| | |
|---|----|
| 1.1. Geleneksel Üretimden Modern Üretime Geçiş Süreci | 3 |
| 1.2. Modern Üretim ve Kavramlar | 6 |
| 1.2.1. Dağıtılmış(distributed) Sistem | 6 |
| 1.2.2. Ajan(agent) | 6 |
| 1.2.3. Referans Mimari(Architecture) | 6 |
| 1.2.4. Sanal İşletme(Virtual Enterprise) | 7 |
| 1.2.5. Sistem Mimarisi | 7 |
| 1.2.6. İmalat Sistemleri için Mevcut Kontrol Mimarileri | 8 |
| 1.2.6.1. Merkezi Kontrol Mimarisi | 9 |
| 1.2.6.2. Hiyerarşik Kontrol Mimarisi | 9 |
| 1.2.6.3. Heterarşik Kontrol Mimarisi | 9 |
| 1.2.7. Genetik Üretim Sistemi | 10 |
| 1.2.8. Sanal İmalat Sistemi | 10 |
| 1.2.9. Rasgele İmalat Sistemleri | 10 |
| 1.2.10. Sorumluluğa Dayalı İmalat | 11 |
| 1.2.11. Hızlı CIM | 11 |
| 1.2.12. Dağıtılmış İmalat Sistemleri | 11 |
| 1.2.13. Son Dönem İmalat Kontrol Paradigmaları | 12 |

İKİNCİ BÖLÜM HOLONİK İMALAT SİSTEMLERİ

| | |
|----------------------|----|
| 2.1. Holonik Kontrol | 20 |
|----------------------|----|

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM FRAKTAL İMALAT SİSTEMLERİ

| | |
|---------------------------------|----|
| 3.1. FrMS'nin Temel Bileşenleri | 28 |
|---------------------------------|----|

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM BİONİK YA DA BİYOLOJİK İMALAT SİSTEMLERİ

| | |
|---|----|
| 4.1. Canlı Hücre | 35 |
| 4.1.1. Hücrenin Yapısı | 36 |
| 4.1.2. Hücre Enerji Akışı | 39 |
| 4.1.3. Hücre Çevresi ve Etkileşim | 40 |
| 4.1.4. Hücre Çoğalması | 40 |
| 4.1.5. Genetik Şifre ve Protein Sentezi | 41 |
| 4.1.6. Hücrenin Simülasyonu | 41 |
| 4.2. BMS | 44 |
| 4.2.1. İmalatta Kendini Organize Etme | 49 |

BEŞİNCİ BÖLÜM BİR SENARYO UYGULAMASI

| | |
|--------------|----|
| 5.1. Senaryo | 51 |
|--------------|----|

| | |
|-------|----|
| SONUÇ | 54 |
|-------|----|

| | |
|-----------|----|
| KAYNAKLAR | 60 |
|-----------|----|

KISALTMALAR

- AGV:** Otomatik yönelimli araç
- BMS:** Biyolojik imalat sistemleri
- CAD:** Bilgisayar destekli tasarım
- CAM:** Bilgisayar destekli imalat
- CIM:** Bilgisayarla bütünleşik imalat
- CNC:** Bilgisayar sayısal kontrol
- EDI:** Elektronik veri değişimi
- ERP:** Kurumsal kaynak planlama
- FMS:** Esnek imalat sistemleri
- FrMS:** Fraktal imalat sistemleri
- HMS:** Holonik imalat sistemleri
- IMS:** Zeki imalat sistemleri
- JIT:** Tam Zamanında
- ME:** Üye işletme
- NC:** Sayısal Kontrol
- VE:** Sanal işletme

TABLO LİSTESİ

| | | |
|----------|--------------------------------|--------|
| Tablo 1: | Üretimin Tarihsel Gelişimi | Sf. 2 |
| Tablo 2: | HMS Projesine Katılan Kurumlar | Sf. 19 |
| Tablo 3: | Karar Kalemleri | Sf. 36 |
| Tablo 4: | Düzenleyici Mekanizmalar | Sf. 55 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|--------|
| Şekil 1: Müşterilerin Sunuculardan Yardım Talep Etmesi | Sf. 7 |
| Şekil 2: Peer-to-Peer Mimariye Dayalı Dağıtılmış Uygulama | Sf. 8 |
| Şekil 3: Mevcut Kontrol Mimarilerinin Sınıflandırılması | Sf. 8 |
| Şekil 4: Holon, Holarşi Gösterimi | Sf. 16 |
| Şekil 5: Holonik Tasarım ve İşlem Ortamı | Sf. 20 |
| Şekil 6: Holonlar | Sf. 22 |
| Şekil 7: Bir Holonun Genel Yapısı | Sf. 23 |
| Şekil 8: HMS için Referans Mimari | Sf. 26 |
| Şekil 9: İki-seviye Süreç Planlaması | Sf. 27 |
| Şekil 10: Tabakalar Arasındaki Benzerlik | Sf. 29 |
| Şekil 11: Fraktallarda Tekrar Yapılandırma ile Organizasyon Değişimi | Sf. 30 |
| Şekil 12: Fraktal'daki Modüller Arasındaki İlişkiler | Sf. 31 |
| Şekil 13: Ajanların Fraktal-içi ve Fraktallar arası Aktiviteleri | Sf. 32 |
| Şekil 14: Canlı Hücredeki Yapılarla İmalat Hücreindeki Bilgi ve Malzeme Akışı | Sf. 39 |
| Şekil 15: Modelon Yapısı(Kwangyeol Ryu) | Sf. 45 |
| Şekil 16: BMS Kavramları | Sf. 45 |
| Şekil 17: Biyolojik Sistem ile İmalat Arasındaki Yapısal Benzerlikler | Sf. 46 |
| Şekil 18: İmalatta Kendini-Organize Etme Kavramı | Sf. 49 |
| Şekil 19: Makine-AGV Etkileşimi | Sf. 50 |
| Şekil 20: Bilgi Akışı ve Fiziksel Akış | Sf. 52 |
| Şekil 21: Çevresel Faktörler | Sf. 55 |
| Şekil 22: Hücrede Farklı Seviyelerdeki Ortak Yapılar | Sf. 57 |

GİRİŞ

Üretim, insanoğlu yeryüzünde var olduğundan beri hatta hayat var olduğundan beri devam ede gelen bir faaliyettir. İnsanın huzur ve refah arayışı, onu giyiminde, barınmasında, kullandığı vasıtalarda, yediği yemekte çeşitliliğe ve kaliteli mallara sahip olmak istemesine sebep olmuştur. Hazır hammaddelerin çağlara isim (taş devri, demir devri, silikon devri gibi) olarak verilmesi de üretimin insan ve yaşadığı yüzyıl için ne kadar büyük önem arz ettiğini göstermektedir.

Ortaçağdan günümüze uzanan tarih aralığını incelediğimizde; sanayi devrimine kadar olan usta-çırak ilişkisiyle uzun sürede üretilen, isteğe dayalı ürünler, devrimle birlikte yerini standart ve çok miktarda olan kitlesel üretim ürünlerine bırakmıştır. Rutherford ve Ahlgren'e göre "Endüstri Devrimi" ifadesi birbirinin ardı sıra gelen olayları tanımlamamakta, toplumun yerleşiminde köklü bir değişimi ifade etmektedir. Bu değişim, kırsal el sanatları ekonomisinden şehirli üretim ekonomisine geçiş olup, bu süreç içinde, makineler, el işlerinin yerini alır. Kömür, makineleri çalıştırabilmek için insan ve hayvan gücünün önüne geçer merkezi fabrika sistemi, dağınık, ev merkezli üretimin yerine alır.

Kitlesel üretim(mass production) farklı ihtiyaç ve zevkleri olan insanları tatmin etmekten uzak kalmıştır. Üreticinin sabit maliyetlerinde ciddi bir düşüşe sebep olup, büyük karlar getirirken insanların ihtiyaçlarını ve zevklerini göz ardı etmiştir. Bu anlamda 20. yüzyılın sonlarına doğru çeşitliliği çok, parti miktarı küçük olan üretim sistemleri geliştirilmiştir. Bilgisayarla bütünleşik imalat, esnek imalat sistemleri, yalın üretim, çevik üretim kavramları ortaya atılıp irdelenmiştir. Bu kavramların bir çoğu ya kurulum maliyeti yüksek olduğu için işletmelerde yaygınlaşmamıştır ya da uzun dönemdeki faydaları anlayamadığı için kısa dönemde seri üretimle kar maksimizasyonu tercih edilmiştir. 21. yüzyılın başlarında ise maliyetlerin giderek düşmesi, küresel rekabetin artışı ve kaliteli ürünlerin artışı, üreticileri kısa sürede müşteri isteklerine uygun, sağlam ürün üretebilecekleri sistem arayışına itmiştir. Bu anlamda literatür incelendiğinde holonik, fraktal ve biyonik ya da biyolojik üretim başlıklarıyla karşılaşılmaktadır. Tezin konusunu şekillendiren ana başlıklar da

bunlardır. Tezde bu üç yaklaşımın teorik alt yapıları verilmekle birlikte biyolojik üretim kısmı literatürde ifade edilenle kalınmayıp, üzerine farklı teorik yapılandırmalar da gerçekleştirilmiştir. Tezin bölümleri buradan sonra şöyle devam etmektedir. Üretim ve üretimin tarihsel gelişimi, holonik imalat sistemleri, fraktal imalat sistemleri, biyonik/biyolojik imalat sistemleri, üretim senaryosu, sonuç.

BİRİNCİ BÖLÜM

ÜRETİM VE ÜRETİMİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Üretim(production) kelimesi fiziksel ve fiziksel olmayan çıktıları elde etme sürecidir. İmalat(manufacturing) kelimesi ise daha çok fiziksel çıktı(ürün) elde etme süreçleri için kullanılmaktadır. İmalat, Latince manus(el) ve factus(yapımı) kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Sözlüklerde de “Ürün ya da parçaların el, makine ile genellikle iş bölümü yaparak büyük ölçekli yapılmalarıdır” şeklinde tanımlanır.

İmalat birkaç bin yıldır yapıla gelmektedir. Hatta imalatı insana özgü bir faaliyet olarak düşünmezsek, milyarlarca yıl önce canlılıkla birlikte imalat başlamıştır. Günümüzde de canlı hücresi örnek alınarak imalat sistemi modelleri geliştirilmektedir.

Canlılığı bir tarafa bıraktığımızda, taş, seramik ve metal parçaların milattan önce işlendiğini öğreniriz. Romalılar, cam eşya üreten fabrikalara sahipti. Madencilik, metalürji, tekstilcilik iş bölümü yapılarak gerçekleştirilmiştir(Schey, 2000). Yine de imalat ilk yıllarda usta ve çırakları tarafından bireysel olarak yapılıyordu. Bu ustaların takip eden nesillere aktardıkları maharetleri sayesinde birçok süreç ve ürün çeşitliliği ortaya çıkmıştır. Üretim miktarı mevcut güç kaynağı kıtlığı yüzünden sınırlı kalmıştır. Su gücü, kas gücüne ancak ortaçağlarda destek olabilmıştır. Bu destek de suyun buhara dönüşebildiği ölçüde olmuştur. Nihayetinde de endüstriyel yerleşimler kısıtlı bir alanda olabilmiş ve üretim miktarı çok olamamıştır. 18. yüzyılın sonlarında buhar makinesinin geliştirilmesiyle, güç miktarı ve kaynakları birçok yerde bulunur hale gelmiştir. Zirai üretim ve ürünler mekanik olarak elde edilmeye başlamıştır. Neticede toplum da değişmeye başlamıştır ki bu dönem endüstri devrimi olarak nitelendirilmiştir. Bu dönemde birçok makine ortak bir mile bağlı kayışlarla sürülüyordu ve mekanizasyon sınırlı idi.

19. yüzyılın ortalarına doğru, işçinin yerine getirdiği fonksiyonlar, basit ve tekrarlı işlerde makine tarafından yapılmaya, 20. yüzyıl başlarında ise elektrik gücü

makinelere kullanılmaya başladı. Makineler artık tek başlarına çalıştırılabiliyordu ve kontrollerinin elektrik devrelerle olabilmesi onlara bir gelişmişlik katıyordu. 20. yüzyılın 2. yarısından başlayarak daha da ileri gelişmeler kaydedilmiştir. Bilgisayarların transistörlerle gelişen yüksek işlem hızları, düşük maliyette ve çok çeşitlilikte aygıtların fabrikasyonuna olanak sağlamıştır. 1970'lerin başlarında da, mikroçiplerin yaygınlaşmasıyla işlemler, planlama, kontrol ve yönetim gerçek zamanlı ve yüksek hızda, düşük maliyetle yapılmaya başlamıştır. Birçok uzmana göre 2. endüstriyel devrimin başındayız. Bu devrimin özelliği, fiziksel iş gücünün yanında zihinsel iş gücünün de makinelerce yapılabileceği öngörüsüdür. Tehlikeli, fiziksel olarak talepkar ve sıkıcı işler bilgisayar kontrollü makine ya da robotlarla yapılmaya başlamıştır. Gelişmelerle birlikte ürün kalite ve çeşitliliği de artmaktadır.

Tablo 1-Üretimin Tarihsel Gelişimi

| İmalatın Tarihsel Gelişimi | |
|-----------------------------------|--|
| 4000 M.Ö. | Taş ve kile biçim verme, bükme, dövme, aşındırma, toprak işleme, tahta ve doğal fiber kullanımı, takoz ve manuel kontrol |
| 2500 M.Ö. | Bronz işleme, kesme, levha şekil verme, yapıştırma, pirinçle lehimleme, delme, doğrama, cam boncuklar, çömlekçi tekerleği, tekerlek ve sicim delme |
| 1000 M.Ö. | Demiri sıcak dövme, cam presleme, cam takma, makara, manivela |
| 0 | Vida basma, pirinç basma, çelik dövme, krank kullanımı |
| 1000 | Taş eşyalar, porselen, protein yapışkanlar, su tekerleği kullanımı |
| 1400 | Kum, demir dökme, kum kağıt, saat yapımı, mineli çini, kristal cam, rotları birleştirme |
| 1600 | Kalıcı döküm, tekerlek bağlama |
| 1800 | Kalıp, çelik yuvarlama, kurşun ekstrüzyonu, vida kesme, buhar makinesi ve delme presi |
| 1875 | Bessemer çeliği, evrensel mil |
| 1900 | Alüminyum, bakır ekstrüzyonu, elektrik direnç kaynağı, elektrik motoru, otomatik çivi makinesi |
| 1920 | Kalıp döküm, sert otomasyon, üretim hattı |

| | |
|-----------|--|
| 1950 | Seramik döküm, nümerik kontrol |
| 1960 | CNC, CAD, grup teknolojisi, robot |
| 1970 | CAD/CAM programlanabilir kontrol edici |
| 1980 | CIM, esnek imalat, AGV, yapay zeka |
| 1990 | Yalın, çevik üretim |
| 1994-2006 | IMS, FrMS, HMS, BMS |

1.1. Geleneksel Üretimden Modern Üretime Geçiş Süreci

Geleneksel üretim, miktar olarak fazla üretilip stok yapmaya dayanmaktadır. Arızalara, süreçlerdeki ve taleplerdeki değişimlere hassasiyeti azdır. Bu yüzden imalatın çevik ve yalın olması fikri ortaya çıkmıştır. Çevik imalat; küçük ölçekte, modüler üretim tesislerinde, değişken arızalara maruz ortamlarda problemlerle başa çıkabilecek çevik işlemler üzerine odaklanan imalat paradigmasıdır.

Küresel rekabet beraberinde kısa ve belirsiz yaşam döngüsüne sahip ürün artışını, yeniliğe açık süreç teknolojilerini getirmiştir. Aynı zamanda, kendi istekleri doğrultusunda düşük maliyet ve zamanında teslim bekleyen müşteriler ortaya çıkmıştır. Kitlesele üretim(mass production) bu talepleri çeşitli olması yönüyle karşılayamamıştır.

Kitlesele üretim, tam zamanında üretim(TZÜ), yalın üretim stratejilerinin yaptığı gelişmelere rağmen temel olarak büyük ölçek ve hiyerarşik bütünlük arz eden bir sistemdir. Kitlesele üretim, üretici maliyetlerini düşürmüştür. Fakat müşterilerin tam zamanında istedikleri ürünü elde etme arzularını karşılayamamıştır.

Çevik imalat daha küçük ölçekte, modüler üretim tesisleri ve işletmeler arasındaki işbirliği gelecek nesil için temel rekabet yapısı olacağını önermektedir. Sharp(1999)'a göre, çevik imalat uygulayanlar şu özellikleri bünyelerinde bulundurmaktadırlar:

- öz rekabet,
- sanal şirket,
- hızlı prototipleme,
- eş zamanlı mühendislik,
- çok yetenekli ve esnek insanlar,
- sürekli gelişme, takım çalışması,
- değişim ve risk yönetimi,
- bilişim teknolojisi,
- güçlendirme

Gunasekaren(1999)'da yoğun bir literatür taraması ardından çevik imalat sistemleri tasarımı için 4 boyut içeren bir çerçeve önermiştir. Bu boyutlar; stratejiler, teknoloji, insanlar ve sistemlerdir. Sanal işletme kavramının bu konuda anahtar bir rol oynadığından bahsederken internet, multimedya, elektronik veri değişimi(EDI), elektronik ticaretin sanal işletmenin alanına iliştilmesi gerekliliğini öne sürmüştür. Pratikte birçok şirket sanal işletmeyi, rekabet avantajı elde etmek için kullanmaktadır.

Sanal işletmenin boyutları Fitzpatrick ve Burke(2001)'e göre; temel yapıları(infrastructure) paylaşmak, Ar-Ge, kaynaklar, tamamlayıcı öz rekabetler ile kavramdan uygulamaya süresini bilgi paylaşımıyla azaltmak, üretim yeteneğini arttırmak, pazarlara giriş kazanmak ya da müşteri sadakatı elde etmek, ürünleri satmaktan çözümleri satmaya göç etmektir.

Sarkis(2001) çevikliği, tahmin edilemeyen ve sürekli olan değişim ortamına ayak uydurma olarak tanımlamıştır. Quinn(1997) daha teknik bir ifade ile çevikliği bir ürün montajından farklı bir ürünün montajına hızlı bir geçişi başarma olarak tanımlamıştır. Çeviklik hiyerarşik yönetim kontrolünü azaltarak, işçileri takımlar haline getirerek ve karar vermeleri konusunda güçlendirerek kazanılır. Çevikliğe ulaşmak için bilişim gereksinimleri; EDI, iç ağlar(intranetler), dış ağlar(extranetler) ve ERP'dir.

Shad Dowlatshahi(2005)'nin yaptığı çalışmadan elde ettiği neticeye göre sanal işletme ve bilişim teknolojileri işletme performansı üzerinde ayrı ayrı oldukları zamankinden çok daha fazla etkili olmaktadır. Çevik üretimi gerçekleştirme yolunda parametrelerin oluşturacağı sinerji ve etkileşim tek bir parametrenin yapacağı etkiden çok daha fazla olacaktır. Dolayısıyla çevik imalatı başarmak çoklu disiplinli bir gayret gerektirmektedir.

Çevik, yalın ve tam zamanında üretim uygulamalarını geliştirerek Japonlar ürün küçültme, az hacme fazla donanım yerleştirme ve birim zaman başına düşen üretim miktarı artışını, teslimat sürelerini azaltarak gerçekleştirme alışkanlıklarına yeni bir teknoloji geliştirerek devam etmektedirler. Bu teknolojiyle düşük hacim, ileri teknoloji mikroçipler, küçük ve düşük maliyetli çevik fabrikalarda üretilebilecektir.

Yüksek hacimli imalat fabrikaları-mega fabrikalar-ki bunlar milyonlarca çip üretmek zorundadırlar ki 1-1.5 milyar £ inşaat maliyetini karşılayabilsinler. Günümüzün kısa ürün yaşam döngüleri ve fonksiyonel ürün talebi bu mega fabrikaların tercih edilmesini anlamsız hale getirmektedir. Elektroniğin kullanımı her sektöre yayıldıkça düşük hacim, ileri teknoloji çiplere ve mikro teknolojilere otomotiv ve uzay endüstrisinde de ihtiyaç duyulmaktadır.

HALCA(Highly Agile Line Concept Advancement) isimli bir proje bünyesinde Toshiba, Toyota, DNS'in de dahil olduğu 14 şirket mini fabrika metodolojilerini ilerletmek için bir araya gelmişlerdir.

Bir bilgisayar için merkezi işlemci birimi(CPU) üretecek mega fabrikalar yaklaşık 3 milyar \$'a mal olacaktır. Bu fiyatı Intel İrlanda'daki fabrikası için vermiştir(Burnett, Jemi, UK). Aynı işi görecek HALCA mini fabrikası 100-150 milyon \$ civarında tutacaktır. Bu fabrikada aynı üretim süreçleri olacak, aynı ürün üretilebilecektir. Sadece üretim hacmi daha az olacaktır. HALCA mini fabrikalarında üretilen çipler hakkındaki kanaat, normal bir fabrikada üretilenler kadar iyi olduğudur. Mini fabrikada çevrim süresi daha düşüktür. Enerji tasarrufu %60 civarındadır.

1.2. Modern Üretim ve Kavramlar

20. yüzyılın sonlarına doğru bilgisayarların üretim sahasına dahil edilmesinin yaygınlaşmasıyla, bilgisayar yazılımlarında ve sistemlerinde kullanılan birçok kavram üretimin de bir parçası haline gelmiştir. Yaygın olan kavramların ifade edilmesi, yeni imalat paradigmalarını anlayabilmek açısından önem arz etmektedir.

1.2.1. Dağıtılmış(distributed) Sistem

Ağ bağlantılı bilgisayarlarda yerleştirilen bileşenlerin sadece mesaj iletim aracılığıyla iletişim ve koordinasyon sağladıkları sistemdir. İnternet örnek olarak verilebilir.

1.2.2. Ajan(agent)

Ajan teknolojisi bilgi filtreleme, toplama, tedarik zinciri yönetimi, imalat mimari sistem ve tasarımı gibi birçok uygulamada kullanılmıştır. Ajanların özellikleri uygulamasına göre değişmekle birlikte ortaklık da göstermektedir. Bu özellikler:

- Bağımsızlık: kendini kontrol etme, kendi için hareket etme, hedefine ulaşma.
- Mobilite: mobil ajan kullanmak network yükünü azaltır, network gizliliğini kaldırır, protokolleri içine alır, asenkronize ve bağımsız çalışır, dinamik olarak uyum sağlar, heterojendir, sağlam ve hataya toleranslıdır.
- Zeka: öğrenme ve problem çözme yeteneği.
- Kooperatiflik: yardım alma ve yardım etme.
- Uyumluluk: farklı alanlarda efektif kullanılabilme.
- Güvenilirlik: verilen işi devam ettirebilme, bilinmeyen durumlarla başa çıkabilme

1.2.3. Referans Mimari(Architecture)

Referans mimari bir metod ve tarz olarak düşünülebilir. Genellikle özel bir problem için nasıl uygulanabileceği metodolojisi ile ya da bir sistemin uygun bir mimarisinin nasıl tasarlanacağıyla birlikte değerlendirilir.

1.2.4. Sanal İşletme(Virtual Enterprise)

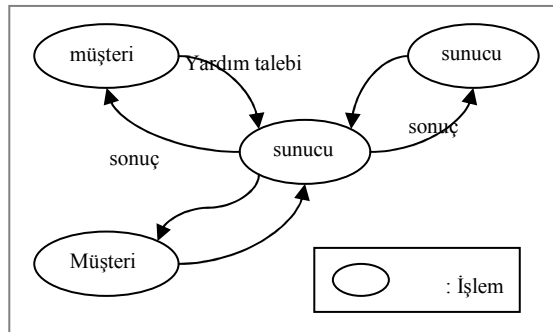
İşletmelerin geçici bir koalisyonudur ki maliyetlerini ve yeteneklerini bireysel olarak başaramayacakları iş fırsatlarını yakalayabilmek için bir araya gelmişlerdir. Sanal işletmelerdeki(VE) üye işletmeler(ME) eş varlıklardır. ME'ler ürün tasarımı ve/veya imalatını bağımsız olarak gerçekleştirebilirler. İletişim kurup birlikte iş de yapabilirler.

1.2.5. Sistem Mimarisi

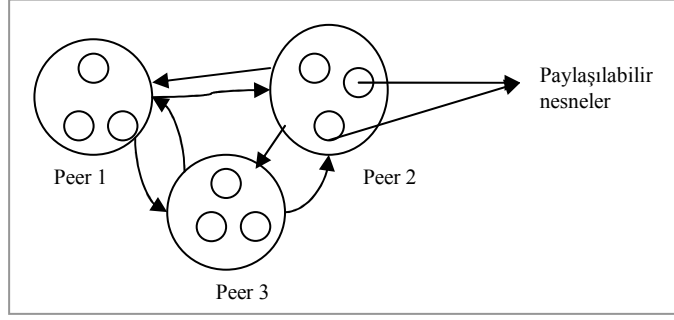
Ayrı ayrı tanımlanan bileşenlerden oluşan yapıdır. Amaç, bu yapının mevcut ve gelecekteki talepleri karşılamaıdır. En önemli unsurları sistemi güvenilir, yönetilebilir, uyum sağlayabilir ve verimli yapmaktır. Bir binanın mimari tasarımı da benzer yönlerde sahiptir. Sadece dış görünümü değil genel yapısı ve modern, klasik gibi mimar sitili de tasarım için referans çerçeve sağlar. Dağıtılmış sistemlerin mimari modeli de

- Bilgisayar ağındaki bileşenlerin yerleştirilmesini ki böylece iş yükü ve veri dağıtımını için faydalı kalıplar aranmasını,
- Bileşenler arasındaki fonksiyonel roller gibi ilişkileri göz önünde bulundurur.

İki ana mimari model şekli müşteri-sunucu ve peer-to-peer'dir. Aşağıdaki şekilde öz bir gösterim verilmiştir.



Şekil 1: Müşterilerin Sunuculardan Yardım Talep Etmesi



Şekil 2: Peer-to-Peer Mimariye Dayalı Dağıtılmış Uygulama

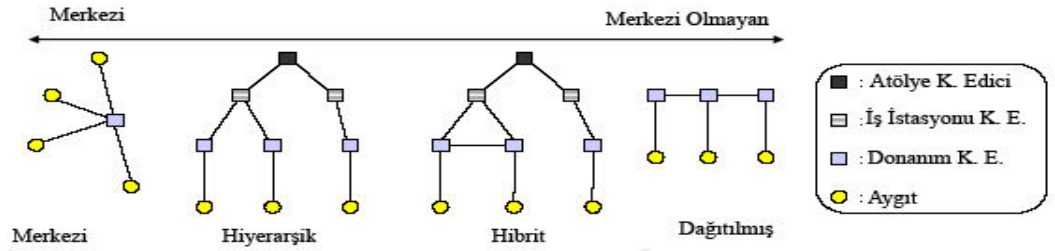
1.2.6. İmalat Sistemleri için Mevcut Kontrol Mimarileri

Mevcut kontrol mimarileri merkezi, hiyerarşik, heterarşik olarak sınıflandırılır.

Kontrol mimarisinin fonksiyonu

1. Karar verme sorumluluklarının özel kontrol bileşenlerine yerleştirilmesi: parça çizelgeleme, rotalama, imalat tesisi içerisinde kaynak yerleşimi,
2. Kontrol bileşenleri arasındaki ilişkileri belirlemek,
3. Farklı kararları uygulamaları koordine etme mekanizmasının kurulmasıdır.

Şimdiye kadar geliştirilen kontrol mekanizmaları aşağıdaki şekilde gibi gösterilebilir.



Şekil 3: Mevcut Kontrol Mimarilerinin Sınıflandırılması

1.2.6.1. Merkezi Kontrol Mimarisi

Merkezi kontrol sistemi, özellikle imalat sistemlerindeki donanımları kontrol etmek için geliştirilmiş olup, küresel bilgiyi merkezi bir veritabanından yönetmenin getirdiği kolaylıklara sahiptir ve az miktarda kontrol ediciye gereksinim duyulur.

Bütün sistemin durumu hakkında merkezi veritabanından bilgi alınabileceği için küresel optimizasyon yapılabilir. Bunların yanı sıra tepki verme süresi yavaştır ve sistem büyüdükçe kararsız bir yapıya dönüşür. Sistem güvenilirliği zayıftır. Çünkü merkezi kontrol edicinin bozulması bütün bir sistemin çöküşünü hazırlar(Mekhos'un işi gibi). Modüler olabilmesi için, kontrol yazılımında düzenleme yapmak olanaksızdır.

1.2.6.2. Hiyerarşik Kontrol Mimarisi

Kompleks sistemlerin yapısındaki doğal hiyerarşi bu tür kontrol yapılarının çıkış noktasıdır. Hiyerarşik kontrol yapıları yukarıdan aşağıya doğru emir gönderir, aşağıdan yukarıya geri bildirim ve bilgi alır. Emirlerin alta doğru bölüştürülmesi, hem teknolojik hem de mantıksal etkenler göz önünde bulundurularak yapılır. Modüler olduğu için bu tarz kontrol yazılımındaki düzenlemeler kolayca yapılabilir. Her seviye kontrol edicinin boyut, fonksiyonellik, karmaşıklık gibi özellikleri kısıtlanabileceği için tepki hızı yüksektir. Olumsuz yönleri olarak da küresel optimizasyonun güçlüğü, bir seviyedeki değişimin hiyerarşideki diğer seviyeleri de olumsuz etkileyebilmesini söyleyebiliriz.

1.2.6.3 Heterarşik Kontrol Mimarisi

Çok sayıda araştırmacı hiyerarşik kontrolün olumsuzluklarından bahsetmiş ve buna karşılık heterarşik kontrolü önermiştir. Bu kontrol yapısının ana özelliği, her bir donanım kontrol edicisinin iletişim ile iş yapmaları ve sistem hedeflerini gerçekleştirirken efendi-köle ilişkisinin olmamasıdır. Heterarşik kontrol sistemi ajan denilen bağımsız varlıklardan oluşur. Bu ajanlar genellikle kaynakları ya da işleri temsil eder. İşler kaynaklara dinamik market mekanizmasını takip ederek yerleştirilir. Bu da basit ve hata toleranslı sistemin gelişmesine zemin hazırlar ve sonuç olarak da düzensizliklerle baş edilebilir. Bir kaynak işe yarayamaz hale geldiğinde pazarda yer alamaz. Kaynak yeni işlemler yapabilecekse ilgili ajan iş taleplerine karşılık verir. Heterarşik kontrol sistemlerinde yer alan bütün alt sistemler, kaynaklara erişim

konusunda eşit hakka sahip olup, birbirlerine erişimleri serbesttir ve bağımsız iş yaparlar. Aynı zamanda tüm sistemin protokol kurallarına bağlıdırlar.

1.2.7. Genetik Üretim Sistemi

Genetik Üretim Sistemi, Genlerde bulunan DNA'nın işleyişini taklit eder. Genetik üretim sistemlerinin ilk kavramları Ueda tarafından tanımlanmıştır. Ürün çeşitliliği ve dinamik imalat ortamına uyumluluk üzerine vurgu vardır. Canlı bir varlık hammaddeye bilgi ekleyerek yaratılmaz ve bütün gerekli bilgiler en başta DNA'da mevcuttur. Malzeme ve enerji eklemek suretiyle bu bilgi kendini büyüyen bir varlık içinde açığa çıkarır. İmalatta, ürün tasarımı ürünü tamamlamak için gereken bütün DNA bilgisini göstermelidir. Genetik üretim sistemleri geliştirilerek canlı üretim sistemlerine geçilmiştir.

1.2.8. Sanal İmalat Sistemi

Sanal İmalat Sistemi, imalat aktivitelerinin bütünü modelleme ve simülasyonunu gerçekleştirmeyi hedefler. Eş zamanlı mühendislik geleneksel imalat sistemlerinin kısıtlarının üstesinden gelmek için bir yaklaşımdır. Sanal imalat, ürün, imalat süreçleri ve sistemlerini net biçimde modellemek ister. Simülasyon neticesinde de gerçek imalat sistemleri iyileştirilir, kontrol edilir ve tahmin edilir.

1.2.9. Rasgele İmalat Sistemleri

Rasgele imalat sistemleri, bilişim ağıyla bağlı dört çeşit unsurdan meydana gelir:

1. Makine yöneticisi her bir makineye atanır, süreçleri birleştirir.
2. İş yöneticisi bir siparişi ele almak için makine gruplarını düzenler.
3. İş patronu müşteriden sipariş alır, ilgili kişileri çağırır değerlendirme yapar, en iyi plana sahip olan iş yöneticisini seçer.
4. İlgili bölüm iş patronu ile makine yöneticilerin iletişim kurma yoludur.

1.2.10. Sorumluluğa Dayalı İmalat

Sorumluluğa Dayalı İmalat Heterarşik kontrolün bir türevi olup, aktif ve pasif olmak üzere iki çeşit kaynak ajanına sahiptir. Aktif kaynaklar(AGV ya da akıllı paletler) özel parçaların üretiminden sorumludur. Pasif kaynaklar ise(iş istasyonları gibi) üretim işlemlerini gerçekleştirir. Aktif kaynaklar işlemleri taşır ve pasif kaynaklarla haberleşir.

1.2.11. Hızlı CIM

Hızlı CIM, Atölye zemini kontrol kodunun hızlı üretilmesi için faydacı bir yaklaşımdır ve yeni teorik bir paradigmaya dayanmaz. Veriye dayalı atölye zemini kontrol sistemleri inşa etmeyi hedefler, CIM kontrol edicileri için yeni bir gelişme metodolojisi takip eder.

1.2.12. Dağıtılmış İmalat Sistemleri

Günümüzün küresel ve yüksek rekabet ortamında kurumlar pazarların anlık fırsatlarını yakalamak durumundadırlar ve çabuk, düzgün olarak müşteri taleplerini karşılamalıdırlar. Bu sistemler, aşağıda ifade edilen sorunlara uygun çözümler önerir:

1. Ürün çeşitliliğini arttırmaya bağlı risk ve maliyetlerin yükselmesi.
2. Teknolojik karışıklığın artması ile, kurumu temel olmayan sahalarda bilgi sahibi olamaya iter. Bu durum pazara ulaşma süresini arttırır.
3. Kurumun hem fırsatlarını hem de risklerini arttıran, pazarın küreselleşmesi.

Dağıtılmış imalat sistemlerinin temel özellikleri; bağımsızlık, dağıtım, merkezilikten uzaklaşma, dinamizm, esneklik, uyumluluk, yalınlıktır.

Dağıtılmış imalat sistemleri uzun süredir benimsenmektedir. Bununla birlikte organizasyonel yapıları son birkaç yıl içinde şekillenmiştir. Holonik, fraktal ve biyolojik paradigmlar, içlerinde kavramsal altyapıları en çok geliştirilenlerdir. Bu paradigmlar, imalat sistemlerinin hiyerarşik yapıya gereksinim duyacağını, bunun

yanında özel varlıklara yüksek bağımsızlık verileceğini öngörmüştür. Hiyerarşi, varlıklar arası karmaşa sorununun çözülmesi için ve bütün sistem bağıllığını ve varlıkların özel ve bağımsız davranışlarından çıkan nesnelliği elde etmek için gereklidir.

1.2.13. Son Dönem İmalat Kontrol Paradigmaları

Yoshikawa(1993), zeki imalat sistemleri(IMS) projesini geliştirdiğinde, geleceğin fabrikası konusunda birkaç tane araştırma paradigması vardı. Bütün Yeni paradigmalardan tamamı, ilk fikirlerin test edildiği uygulama alanları ve temel araştırma aşamalarıdır. Çalışmalar henüz bu aşamada olduğu için, farklı yaklaşımlar arasında kapsamlı bir kıyaslama yapılamamaktadır. Dolayısıyla burada anlatılanlar, yeni kavramlara giriş niteliğinde olacaktır. Holonik ve fraktal imalattan bahsettikten sonra biyolojik üretim üzerinde daha fazla durulacaktır.

Paradigmalar çıkış kaynaklarına bakarak ayırt edilebilir. Fraktal fabrikalar, matematik kaynaklı ike, canlı ve genetik üretim sistemleri doğa kaynaklıdır. Holonik imalat ise kompleks, uyum sağlayan sistemlerin gelişmesi üzerine ortaya atılan bir sosyal bilim felsefesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımlara genel bakış Van Brussel(1994) ve Tharumarajah(1996) tarafından yapılmıştır. Bütün yeni paradigmalardan aynı probleme çözüm aramaktadırlar. Problem ise imalat sistemlerinin etkin biçimde ayakta kalması ve hızla değişen ortama uyum sağlamasıdır.

Büyüyen küresel pazarda yoğunlaşmış rekabetle yüzleşmek için üretim yapan kuruluşlar bilgisayarla bütünleşik imalat(CIM) uygulamaktadırlar. İmalat kurumları, üretim sistemlerini CIM'i başarmak için yeniden yapılandırmaktadır. CIM'in temel hedefleri rekabetle yüzleşmek haricinde, imalat maliyetlerini düşürmek, değişen müşteri taleplerine hızlı cevap verebilmek, ürünün toplam üretim süresini(lead time) kısaltmak ve ürünlerin kalitesini arttırmaktır.

Talep dalgalanmalarının çok olduğu küresel pazarlarda, imalat kurumları rekabet avantajı sağlayabilmek için imalat süreçlerini bütün yönleri ile değiştirmelidir. Bu

imalat süreçlerini; sipariş verme, ürün tasarımı, süreç planlama, üretim, satış vs. olarak sıralayabiliriz.

Genellikle merkezi bir veritabanı, bütün bir sistemin küresel bir görüntüsünü sağlar. Kontrol ediciler çizelgeler oluşturur ve onları uygulamaya koyar. Hiyerarşik kontrolün anlaşılması kolaydır. Bununla birlikte zayıf bir noktası vardır ki herhangi bir seviyedeki küçük bir değişim, hiyerarşideki diğer seviyeleri de olumsuz şekilde etkileyebilir. CIM sistemlerinin hiyerarşik kontrolü, değişken olmayan ortamlarda daha sağlıklıdır. Atölyenin yeniden düzenlenmesini sağlayacak esneklikte bir mimarisi yoktur. Bu yüzden geleceğin imalat sistemi esnek, ayarlanabilir, dinamik ortama kolayca uyum sağlar bir şekilde olmalıdır. Daha da ötesi, zeki, bağımsız ve birbirinden bağımsız fonksiyon modüllerinden oluşan dağıtılmış bir sistem olmalıdır.

Küresel pazar ve artan müşteri oryantasyonu imalat disiplini yeni paradigma arayışlarına itmiştir. Eş zamanlı mühendislik, yalın üretim, çevik üretim ve sanal işletmeler bunlardandır. Diğer taraftan pazar, teknoloji ve toplumun artan baskısı imalatın esnek ve uyum sağlayan olmasını gerektirmektedir.

1980'lerin başlarında bilgisayarla bütünleşik imalat(CIM) ve esnek imalat sistemleri(FMS) ütopya olarak düşünülüyordu. CIM ve FMS'li sistemler, 'geleceğin fabrikaları' idi. Bu ütopyayla tetiklenen çoğu ülke, CIM'nin gelişmesine ve FMS kurulmasına girişmiştir. CIM'e olan güven iyice yerleşmişken, FMS'ye olan güven ise yeni gelişmekteydi.

Bilgisayarların aynı anda birçok yerde kullanılması, CIM'in hedeflerini doğrulamıştır. İnternet ve dünya çapında dağıtılmış(distributed) imalat, CIM'i kaçınılmaz kılmıştır. Bununla birlikte, aynı şeyi FMS için söyleyemeyiz. FMS şimdiye kadar uygulamalarından görüldüğü kadarıyla çok pahalıya mal olmaktadır. Çünkü bütün donanımın bilgisayar kontrollü olması ve her bir donanımın diğeriyle serbestçe iletişim kurmaya uygun olması gerekmektedir. Bu anlamda FMS, henüz vaad ettiği neticeleri doğuramamıştır. Bunun sebebi ilk olarak çoğu FMS hiyerarşik bir şekilde geliştirilmiş ve çalıştırılmıştır. Halbuki sistem dinamiklerinin tasarım aşaması boyunca tahmin edilmesi ya da bu dinamikler hesap yapabilmek için çok

karışıktır. İkinci olarak, FMS'lerin otomasyonlu varlık(entity) olarak düşünülmesinin ve sistemlerin teknolojik yönüne vurgu yapılmasının yeterli olacağı düşüncesiydi.

FMS hakkındaki ütopya yargılarının azalmasını takip ederek ve küresel pazar dinamiklerindeki tepkide ve daha fazla ürün çeşitliliği gereksinimlerine doğru bir trend ile dünyanın dört bir yanındaki şirketler arttırılmış, üretkenlik ve esneklik sağlayacak yeni üretim paradigmaları aramaya başlamışlardır. Bu süreç ile şirketler, CIM'i cevap olarak benimsemişlerdir. Bununla birlikte Warnecke(1953)'nin dediği gibi sık sık organizasyonel yapı ve süreçlerin CIM'in uygulanmasıyla otomatik olarak geliştirilebileceğini düşünerek hata etmişlerdir. Bu hata sebebi ile CIM uygulama süreci boyunca problemler açığa çıkar. Gün geçtikçe daha fazla şirket yalın imalat kurumlarına dönüşmeye çalışmalarına rağmen, otonom ve merkezi olmayan imalat organizasyonları için teorik bir çerçeve kurma konusunda çok az çalışılmıştır. Bu kritik boşluğu doldurmak amacı ile, 1993-1994 aralığında imalatta uluslararası birlikte araştırmayı içine alan zeki imalat sistemleri(IMS) çalışmasına girişilmiştir. IMS 21. yüzyıl imalat teknolojilerinin standartlaştırılması ve sistematikleştirilmesini hedeflemektedir.

Sürekli değişimin eşiğinde olan üretim alanları gerek organizasyon gerekse kontrol anlamında uyum sağlayıcı(self-adapting), bağımsız iş yapabilen(autonomous), kendini organize edebilen(self-organizing) yazılım ve donanım yapılarına sahip olmalıdırlar. Böyle bir yapı üretim paradigmalarında ciddi değişim anlamına gelir. Şimdiye kadar, yukarıda bahsedilen ihtiyaçları karşılayabilmek için bir kaç üretim kontrol yaklaşımı ortaya atılmıştır. Bunlar:

1. Holonik Üretim Sistemleri(HMS)
2. Fraktal Üretim Sistemleri(FrMS)
3. Biyolojik Üretim Sistemleri(BMS)

Tharumarajah, bunların karşılaştırılmasını tasarım ve operasyonel özellikler bağlamında yapmıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

HOLONİK İMALAT SİSTEMLERİ

“Okuyucuya hatırlatmak isterim ki en aşikar görünen incelemeye en çok değer olan olabilir. Alışkanlık perdesinde saklanmış olan gerçeklerin güzel manzarası, gündelik sıradan görüntülerin taze bir bakış açısıyla irdelenmesi sayesinde açığa çıkabilir.”

L.L.Whyte

Holonik imalat sistemi(HMS), IMS çalışmalarının bir bölümü olarak geliştirilip test edilen bir paradigmadır.

Holon kelimesi Yunanca bütün(holos) ve parça(on) isim ve takılarından oluşur. Holonların birleşmesiyle holarşi yapısı oluşur (Şekil 4). Holarşi, holonlardan oluşan ve bütün sistemin hedef ve amaçlarını gerçekleştirmek için birlikte hareket eden sistemdir. Holarşi, holonların kooperasyonu için temel kuralları belirler. Bu yüzden holonların özgürlükleri kısıtlanır. Holarşi, holonların organize edildiği ve birbirleriyle iş yaptıkları mimaridir. Holarşide holonlar dinamik olarak birleştirilmişlerdir ki kendileri verilmiş hedeflere, çevrelere uyum sağlayabilsinler. Holarşi kaçınılmaz olarak statik hiyerarşilerin olmadığı yalın bir organizasyondur. HMS sabit bir şekilde organize edilmiş değildir. Fakat kendini dinamik olarak hedefleri doğrultusunda ve çevre, kendi içindeki değişikliklere karşı düzenler. Geçici hiyerarşiler şeklinde de organize edebilir. Böyle olduğu zaman holonlar kendilerini düzenleyen parçalar olurlar ki

- Parçalarına karşı bağımsız bütünlerdir
- Üst seviye hedeflere karşı bağımlı kısımlardır
- Yerel çevreleriyle koordine içindedirler

elde edilir. Bu metodun iki avantajı vardır. Birincisi, Bios'un işi kesintiye uğradığında en fazla 9 montaj yapması gerekecektir.

Mekanik parçacıklar yerine aminoasitleri, protein moleküllerini, organelleri koyduğumuzda iki metod kullanıldığında ortaya çıkan zaman ölçekleri arasındaki oran astronomik olur. Bazı hesaplamalara göre dünyanın bütün ömrü, bir amibi üretmek için bile yeterli olmazdı(Koestler, 1970). İkinci avantaj ise hasara dayanıklılık, elde etme kolaylığı, düzenleme, tamir kolaylığıdır.

Parça, kendi başına varlığı olmayan, bütünü oluşturan kısım olarak algılanır. Bütün ise tamamlanmış kütle olarak düşünülür. Fakat çevremizde ne canlıların ne de sosyal organizasyonların alanlarında mutlak anlamda parça ya da bütüne rastlayamayız. Çevremizdeki yapıların bazı özellikleri onları 'parça' olarak nitelendirmemize sebep olurken, bazı özellikleri de 'bütün' olarak nitelendirmemize sebep olmaktadır. Hücreler, dokular, organlar, aileler, klanlar, kabileler kendi içlerinde bütün iken daha büyük birimin parçasıdırlar. İki terimli parça-bütün paradigması bilinçsizce düşüncelerimizi kuşatmıştır. Bu ilişkiyi kırabilirsek zihinsel bakışımız büyük ölçüde değişecektir.

Biyolojik birey özelliğinde olan organizma; moleküller, hücreler, organlar ve organ sistemlerinin güzelce bütünleştirilmiş hiyerarşisinden oluşurlar.

Çok hızlı mantar gibi ortaya çıkan kasabalar, sıkıntı veren garipliklere sahiptirler. Çünkü organik gelişimin hiyerarşik yapısından mahrumdurlar. Sanki Bios değil Mekhos tarafından yapılmışlardır.

Simon, bu hikayenin sonunda şunu ifade eder: Dengeli ara formlar olduğu zaman kompleks sistemler basit sistemlerden çok daha hızlı gelişecektir. Koestler'in yaptığı ikinci gözlem ise canlı ve sosyal organizasyonların dengedeki ara formlarını ve hiyerarşilerini analiz ederken parça ya da alt bütün olarak sınıflandırma yapabilse de mutlak manada parçalar ya da bütünler olmayışıyla ilgilidir. Bu durum Koestler'ı holon kelimesiyle gerçek hayat sistemlerinin hibrit doğasını tanımlamaya itmiştir.

Holonlar aynı zamanda alt parçalarına karşı duyarlı bütünlerdir. Tersinden bakıldığı zaman da üstlerine bağımlı parçalardır. HMS kavramı, kompleks dinamik sistemlerin talep ortamlarında nasıl ortaya çıkıp hayatta kaldığı üzerine görüşlerde kökleşmiştir. Modern imalat sistemleri; makine bozulmaları, ani sipariş durumu ve benzeri belirsizlik ve dinamik değişim problemleriyle başa çıkmak durumundadır. HMS; esnek, merkezi olmayan imalat ortamı sağlayarak değişimlere dinamik olarak ayak uydurur. HMS, mevcut kaynakları üretim hedefi doğrultusunda kullanmak için güçlü bir koordinasyon ve işbirliği mekanizması ister. HMS; genellikle kooperatif, çoklu ajan sistemi olarak modellenir.

HMS ile ilgili olarak Van Brussel PROSA mimarisini geliştirmiştir. PROSA mimarisine göre HMS üç unsurdan oluşur. Bunlar:

1. Kaynak holonları,
2. Ürün holonları,
3. Sipariş holonlarıdır

Kaynak holonu, kaynağı kontrol etmek için üretim kaynağı ve ilgili bileşenlerden oluşur. Ürün holonu ürünleri üretmek için üretim süreç bilgisini içerir. Sipariş holonu, siparişi gösterir.

HMS eş zamanlı, asenkronize olayları içine alan birçok özellik gösterir.

Merkezi kontrol; farklı bilgi, deneyim, karar verme ile başa çıkmayı güçleştirmektedir. Bir organizasyondaki varlıklar arasındaki etkili ve verimli işbirliği çok önemli bir hale gelmektedir. Yeni paradigmada teknolojiler tek başına süper bir sistem performansı için yeterli olamamaktadır. Tamamen faydalarını anlayabilmek için organizasyonel bağlılıklarıyla bütünleşmeleri gerekmektedir. Buradan yola çıkarak daha fazla araştırmacı imalat kontrol sistemlerinde gelişme sağlayabilmek için sosyo-tekniik metotlar kullanmaktadırlar. HMS de yeni bir paradigma olarak imalat aktivitelerini organize etmek, çevik, ölçeklenebilir, sağlam, hata tolerans gereksinimlerini karşılamak için geleneksel ve katı sistemlerin karşılaştıkları çoğu zorluğun üstesinden gelir.

HMS projesi, uluslararası endüstrilerce yürütülen, sistemleştirme, standartlaştırma, rekabet öncesi gelişme, HMS mimari ve teknolojilerinin açık, dağıtılmış, zeki, otonom ve küresel ortaklıkla işbirliğinde bulunan sistemlerini içine alan bir projedir. Bu projeye katılan ülkeler, şirketler ve üniversitelerden bazıları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2-HMS Projesine Katılan Kurumlar

| | |
|--------------------|--|
| Kanada | DuPont Canada |
| Avrupa Birliği(EU) | AEG Schneider Otomasyon, Bachmann, BT System, Mercedes Benz AG, Hannover Üniversitesi, Leuven Üniversitesi |
| Japonya | Hitachi Ltd., Toshiba Corporation, Kaio Üniversitesi, Kobe Üniversitesi, Tokyo Üniversitesi |
| Amerika | Rockwell International, Connecticut Üniversitesi |

Tasarlanan holonik imalat sistemini fiziksel imalat ortamıyla birleştirmeden önce sanal simülasyon ortamı sistem tasarımına yardımcı olmak ve işlevsel performansı arttırmak anlamında etkin bir araç olabilir.

Büyük hacimli, az çeşitli imalat sistemleri, maliyeti azaltmak, performansı arttırmak hedefleriyle tasarlanmışlardır.

İmalatla uğraşanlar arasında artan bir kanaat vardır ki imalat sistem tasarımına bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç vardır ki müşteriler tarafından talep edilen esneklik ve zamanında cevap verme gerçekleştirilebilsin.

Yine açıkça gözükmemektedir ki bu yüzyılın imalat sistemleri yeni ürün tanıtımı, müşteri gereksinimlerinde düzenlemeler, imalat süreçlerinde iyileştirmeler ya da yeniliklerin oluşması imalat ortamının bütüncül kısmıdır.

Holonik imalat sistemi, zeki imalat ajanlarından oluşan dağıtılmış bir sistem olarak düşünülebilir. Bu ajanlar(holonlar) imalat çıktılarını elde etmek için

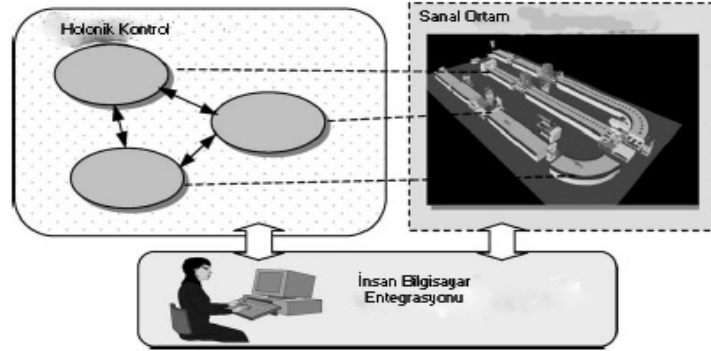
bağımsız ya da birlikte hareket edebilirler. Kontrol sistemleri genellikle alt sistemleri kolayca yer değiştirecek, modifiye edilecek ya da tekrar kullanılacak şekilde yapılandırılmazlar. Holonik kontrol bu sorunun da üstesinden gelmektedir.

Statik, merkezi, sıralı, kapalı üretim sistemi modelleri rekabet güdümlü dünyada dinamik, dağıtılmış, paralel, açık, birleştirici stratejiler ile yer değiştirmektedir.

Holonik ve çoklu ajan sistemleri arasındaki ortak payda karşılıklı etkileşim dinamiklerinde odaklanır. Bununla birlikte çoklu ajan sistemlerinde etkileşimler kooperatif güçler tarafından sürüklenir diye bir ön şart yoktur. Holonik sistemde ise holarşi bağının olması bir ön şarttır. Bu takım ruhuyla holarşi tanımlanır. Çoklu ajan sisteminde kooperatif kurallardan çok rekabet kuralları vardır.

2.1. Holonik Kontrol

Holonik kontrol genellikle hiyerarşik ve heterarşik kontrolün en iyi özelliklerini birleştiren bir kavram olarak aşağıdaki gibi tanımlanır(Şekil 5).



Şekil 5: Holonik Tasarım ve İşlem Ortamı

Holonik kontrol, geleneksel kontrolden şu bakımlardan farklılık gösterir:

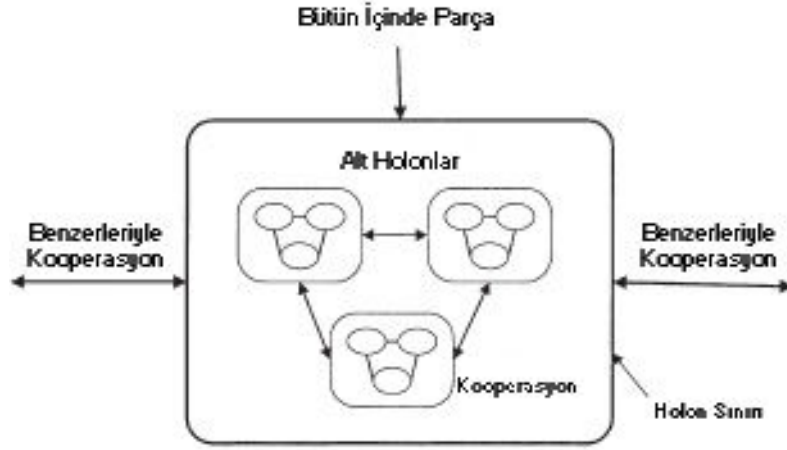
1. Holonlar çoklu hiyerarşilere ait olabilirler.
2. Holonlar geçici hiyerarşiler oluşturabilirler.
3. İşlerinin yapılması için hiyerarşideki her bir holonun düzgünce iş yapmasına bağımlı değildirler.

Bu özellikler, imalat mühendisliğinin eş zamanlılığını anlamak için ve imalat işletmelerindeki artan dinamik problemlerin çözümü için çok uygundur.

Holonik kontrol sisteminde, her otonom varlık özel holon olarak modellenir. Her holon bağımsız iş yapar ve bu holonlar dinamik olarak koordinasyon ve işbirliğinde bulunurlar ki neticede sistem hedefine ulaşabilsin.

Her bir holon bağımsızdır(Şekil 6) ve yerel bilgisinden sorumludur. Kendisiyle ilgili bir şey değiştiği zaman komşu holonları bilgilendirme sorumluluğu da vardır. Karar verme diğer holonlarla işbirliğinde bulunarak özel otonom holonlar tarafından bağımsızca yapılır.

Holonik yaklaşım, imalat işletmelerinin farklı seviyede otomasyonlu donanım içerdiğini kabul eder ve hiyerarşik emir yapısına bağlı değildir. Kendini-organize etme(self-organization) prensibini benimser ve bir müşteri-sunucusu(client-server) mimari yapısına sahip olup, işletme süreçlerine dayalı kurum görüntüsü vermektedir. Ayrıca, organizasyon ve süreçlerle ilgili değişimlere etkin uyum gösteren sağlam bir yaklaşımdır.



Şekil 6: Holonlar

Holonun kendisi fonksiyonel bir birim olup, bütün sistemin genel amacını yerine getiren bazı fonksiyonları yerine getirme yeteneğine sahiptir. Bu yetenek, aşağıdaki şekil 7’de fonksiyon kabuğu ile gösterilmiştir. Holon, belirli fonksiyonların gerçekleştirilmesi bağlamında, fiziksel işleme kısmına da sahip olabilir. Bununla birlikte HMS bilgisayarla bütünleşik ortamlarda düşünüldüğü için, her holon bilgi işleme kısmına sahip olmalıdır. Bu nedenle, veri depolama fonksiyonu holonun özünü oluşturur.

‘Fonksiyon kabuğu’ ve ‘veri depolama’ bileşenleri HMS’ye özgü değildir. Bu özellikler geleneksel hiyerarşik yapılı FMS dahil çoğu bilgisayarla, bütünleşik sistemlerde de bulunur. Bununla birlikte holonik paradigmayı kendine özgü yapan her holonun bağımsızlık ve işbirliği özelliklerini taşıma beklentisidir. Bu yüzden holon, dönüştürme, taşıma, veri, fiziki nesne depolama ve doğrulama için imalat sisteminin bağımsız ve destekleyici olan yapı taşı olarak tanımlanabilir. Bir holon, bilgi işleme ve fiziki işleme kısımlarından oluşur. Bir holon, daha küçük holonlar içerebilir ya da büyük bir holonun parçası olabilir (Şekil 6). Her üretim birimi(makine) holon olabilir ve farklı holonlar birlikte iş yapabilirler. İşin kapsamı; planlamadan çizelgelemeye, fiziki imalata, ürün üretimine kadar değişkenlik gösterebilir. Böyle dağınık ve merkezi olmayan karar verme mimarileri geliştirirken, bağımsızlık ve işbirliği yetenekleri göz önünde bulundurulacak en önemli özelliklerdir. Bu yeteneklerin anlamları aşağıdaki gibidir:



Şekil 7: Bir Holonun Genel Yapısı

Bağımsızlık: Bir varlığın kendi plan ve stratejilerini oluşturup kontrol etme yeteneğidir. Holon kendini düzenler, organize edemez. Çevredeki değişikliklere reaksiyon gösterir ve bu değişiklikler sisteme geri bildirilir. Bu yönü ile Holon, kendisinin farkında olmalıdır ki bütün sistemin amacına hizmet edebilsin. Bu yüzden holonun iç koordinasyonu gerçekleştirmesi beklenir (Şekil 7). Holonun bağımsızlığı mutlak değildir. Bütün sistemin hedef ve amaçlarına bağlıdır. Bu anlamda bağımsızlığı görecelidir(Mathew, 1995).

İşbirliği: Holonlar fiziksel ve bilgi alışverişi için 'peer to peer' davranışı sergilerler. Her bir holon diğer holonlarla etkileşimlerde bulunarak rolünü ve pozisyonunu belirler ve işbirlikleri dinamik iletişimlidir (üst, aynı seviye, ast).

Holon makine aygıtı, robot, planlama birimi ya da bilgi işleme merkezi olabilir. Sipariş holonu, ürün holonu, kaynak holonunun yanına staff holonu da eklenebilir. PROSA mimarisi bu şekilde oluşturulmuştur. Staff holonları bu 3 temel holona bilgiyle yardımcı olur. Deen(1993)'e göre HMS, zeki bağımsız sistemdir ki çoğunlukla insan olmayan esnek imalat ortamlarında iş yapar. Bütün bunlardan anlaşılabilir, gelecekteki fabrikaların insansız olma öngörüsü vardır. Neticede bu fabrikalar, bilgisayar destekli zeki teknolojilerin özellikle detaylı çizelgeleme seviyesindeki zeki uygulamalarıyla kuşatılacaktır. Koestler, dengeli ara formlar var ise karmaşık sistemlerin basit sistemlerden daha hızlı gelişeceğini ifade etmiştir. Bu

anlamda da bağımsızlık ve kooperasyon gereklidir. Bağımsızlık ve işbirliği, kendisini tetikleyen(otokatalitik) elementlerin kendine özgü özellikleridir. Fakat bu özelliklerin olması otokatalizi garanti etmemektedir. Örneğin modern imalat sistemi 3 varlıktan oluşur:

1. Donanım
2. Yazılım
3. İnsan(humanware)

Bunlar varlıklar bağımsızlık ve işbirliği özelliklerini gösterebilirler. İnsanın mimarisi kendisini tetikleyen olabilir ve bu özellik doğrultusunda geliştirilen yazılımlar da vardır. Bununla birlikte donanım bu özelliği geliştirilebilir mi? Belki de yakın bir gelecekte robotlar başka robotları tasarlayıp inşa edebileceklerdir.

Holonik paradigması, zeki imalat sistemi takımlarınca çeşitli imalat sistemleri ortamlarında test edilmiştir. Örnek olarak Belçika Leuven Katolik Üniversitesi'nde esnek montaj sistemi hiyerarşik, heterarşik ve holonik modlarda çalıştırılmıştır. Holonik mod, esneklik, değişime uyum sağlama ve dayanıklılık anlamında çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Benzer şekilde NC kontrol edici holonik kavramlara göre tasarlandığında NC holonu kesintilere karşı daha etkili ve esnek olmuştur. Daha ilginç olanı NC holonu kendini gösteren ve entegre eden davranış sergilemiştir (Kruth vd., 1997)

Holon kavramı ilk olarak canlı ve sosyal sistemleri analiz etmek için kullanılmıştır. Genel sistem teorisi(Skyttner, 1996), fabrika içinde fabrika(Shinner, 1985), yalın organizasyon teorisi(Womack, 1990) gibi organizasyon teorilerinden farklı seviyelerdeki davranışsal farklılıkları analiz etmek için faydalanılabilir. Böylece holonik organizasyonlar daha iyi anlaşılabilir.

Holon kavramı ilk olarak sosyal bilimlerdeki Koestler adındaki bir araştırmacı tarafından tanıtılmış olmakla birlikte daha sonra mühendislik ve imalat sahalarındaki araştırmacılar tarafından kullanılmıştır.

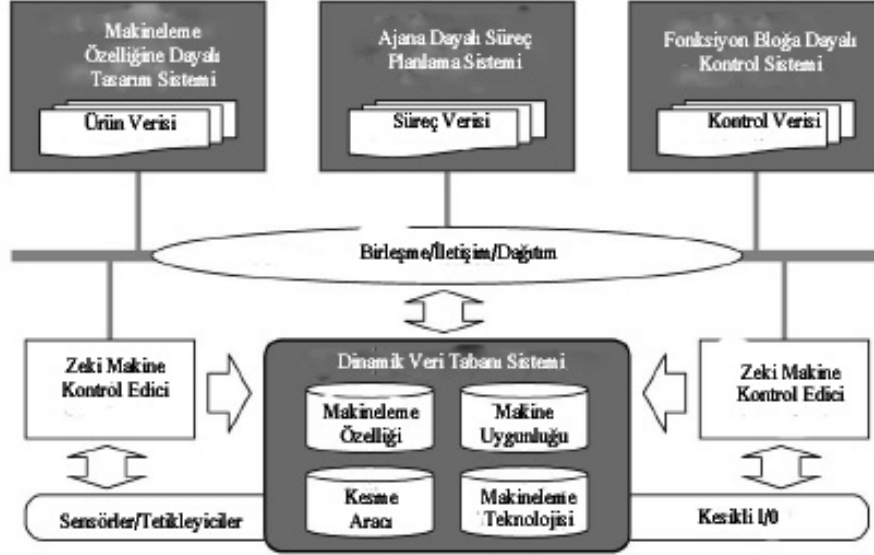
HMS, hem hiyerarşik kontrol optimizasyonunun performans dengesini hem de heterarşik kontrolün uyum sağlamasını ve esnekliğini sağlayabilir.

Hiyerarşik kontrol sistemi katıdır ve değişimlere, karışıklıklara yalın bir şekilde karşılık veremez. Bu yüzden de esnek ve uyum sağlayan kontrolü başaramaz. Heterarşik kontrol sisteminde bu durum söz konusu değildir. Modüller mevcut alternatifleri konuşup paylaşabilirler. Bu serbest etkileşim sayesinde bu sistemler değişim ve karmaşalara karşı yalın bir şekilde karşılık verebilirler. Bununla birlikte heterarşik kontrol sistemleri sistem performansını garanti edemezler, önceden tanımlanmış planlara göre hareket edemezler ve global optimizasyonu başaramazlar. Bazı şartlar altında dengeden uzak ve karmaşık durumlara gelebilirler. Bu yüzden heterarşik kontrolün gerçek dünya imalatına uygulanması oldukça zordur. HMS ise hiyerarşik ve heterarşik kontrolün avantajlarını birleştirir. HMS esneklik ve uyum sağlamayı dengeli bir şekilde gerçekleştirebilir.

Günümüzdeki tasarım ve imalat sistemlerinin dönemi geçiyor ve yavaş yavaş yok oluyor çünkü geleneksel tasarım ve imalat teknolojileri esneklikte başarısızdır. Bunun da nedeni katı sistem mimarisidir. Günümüzdeki bilgisayar destekli tasarım ve imalat teknolojileri 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Bütün başarılarına rağmen, gelecek potansiyelini sınırlamışlardır. İleri gelişmeler, imalat kısıtlarını tasarım aşamasında değerlendiren bir paradigmayla gerçekleştirebilecektir. Son 10 yıl içinde küçük parti miktarında çok çeşitli ürünlere doğru değişen pazar ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda, gelecek nesil sistemleri bilgi ve malzeme işleme potansiyeli olan dağıtılmış kaynakların bütünleştirilmiş ağı olacaktır. Bu imalat sistemleri çevik, esnek ve hata toleranslı olacaktır. Holonik imalat sistemlerinin kendi planını gerçekleştirme ve kontrol etme bağımsızlığı vardır. Ayrıca diğer holonlarla sistem hedeflerine ulaşmak için karşılıklı iş birliğinde bulunabilirler. Holarşi bütün imalat faaliyetlerini bütünleştirir. Bunlar sipariş alma, tasarım, üretim, pazarlama vs. olabilir.

Herhangi bir birim (makine, konveyör, iş parçası, sipariş) holon olabilir. Holonun her zaman bilgi işleme kısmı vardır. Fiziksel işlem kısmı tercihe bağlıdır.

Çizelgeleyici holonu bu duruma örnektir. Şekil 8 gelecek nesil HMS için açık, genel sistem mimarisini gösterir.



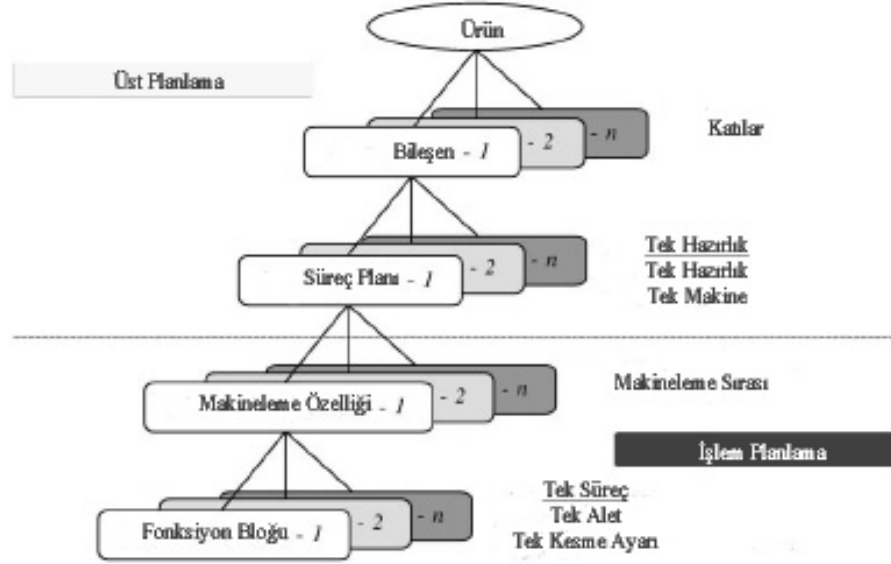
Şekil 8: HMS için Referans Mimari

Hedeflenen mimari 3 önemli modülden(Tasarım, planlama, kontrol) ve paylaşılan dinamik bir veri tabanından oluşur. Her bir modül holon olarak düşünülebilir. Bu modüllerin fonksyonelliği holon içi arayüzlerle iletişim ve kooperasyon aracılığıyla ve fiziksel olan holonlarla olan etkileşimle(zeki makine kontrol edicileri, sensörler vs.) kazanılır.

Mekanik bir ürünün tasarımından imalatına kadar birçok basamak takip edilir. Geometri tasarımı, süreç planlama, araç seçimi, işlem optimizasyonu, NC kod üretimi, sağlamlaştırma tasarımı ve hazırlanması gibi. HMS yoluyla bütün basamaklar koordineli ve esnek olarak kontrol edilebilir.

Mevcut imalat teknolojileri hala birçok hazırlık işi gerektirmektedir. Sağlamlaştırma hazırlığı, kesme aygıtı hazırlığı, NC veri hazırlığı sağlam bir şekilde gerçekleştirilmelidir ki insan müdahalesi olmaksızın makine işleme başlayabilsin.

HMS'deki ajana dayalı süreç planlama yüksek seviye süpervize planlama ve düşük seviye işlem planlama olarak gruplandırılabilir. Şekil 9, bu 2 seviye süreç planlama hiyerarşisini gösterir.



Şekil 9: İki-seviye Süreç Planlaması

İmalat kaynaklarının verimli kullanılması ve esnekliğin artması için dağıtılmış bilgi işleme sistemine geçiş şarttır. Böylece varlıklar sistem hedefleri doğrultusunda birlikte iş yaparlar. Dağıtılmış bilgi işleme; dağıtılmış paralel hesaplama, asenkronize süreç koordinasyonu ve standart iletişim protokolü gerektirir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

FRAKTAL İMALAT SİSTEMLERİ

“Doğa fraktal yapılarla doludur. İmalat dünyası ise hemen hemen öklit yapısındadır. Teknoloji birçok boyut karşısında iterasyon yapmaksızın gelişti. Kör fizik kanunları ve organik gelişimin milyarlarca yılının verdiği dersler, fraktalların önemini açığa vurmaktadır.”

Michael Frame, 2006

Fraktal imalat sistemi, Warnecke tarafından ortaya atılan ve küçük bölümlerden oluşan bir (fractal) fabrikadan türetilen yeni bir imalat kavramıdır. Fraktal kelimesi en üst seviyede bütün bir imalat atölyesini ifade edebileceği gibi en alt seviyede fiziksel bir makineyi de ifade edebilir.

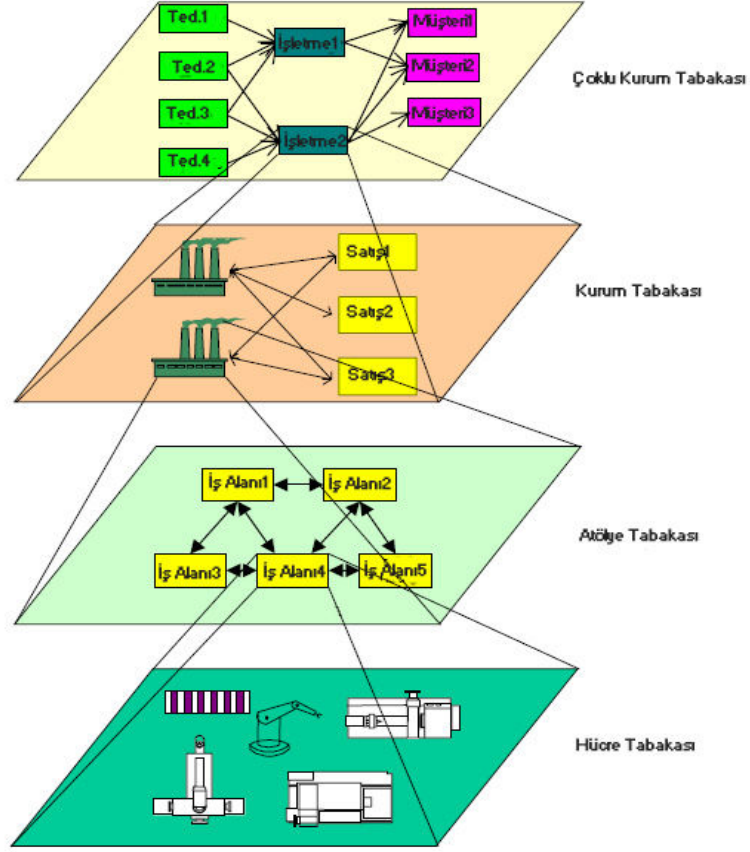
3.1. FrMS'nin Temel Bileşenleri

Hızla değişen üretim ortamlarına ve pazara cevap vermek için imalat sistemleri esnek, uyumlu ve tekrar kullanılabilir olmalı. Fraktal imalat sistemi(FrMS) bu özellikleri karşılayacak yeni bir üretim paradigması olarak karşımıza çıkmaktadır. FrMS birçok temel bileşenden oluşur. Bu bileşenler 5 fonksiyonel modülden oluşur. Yani temel fraktal birim 5 fonksiyonel modülden oluşur:

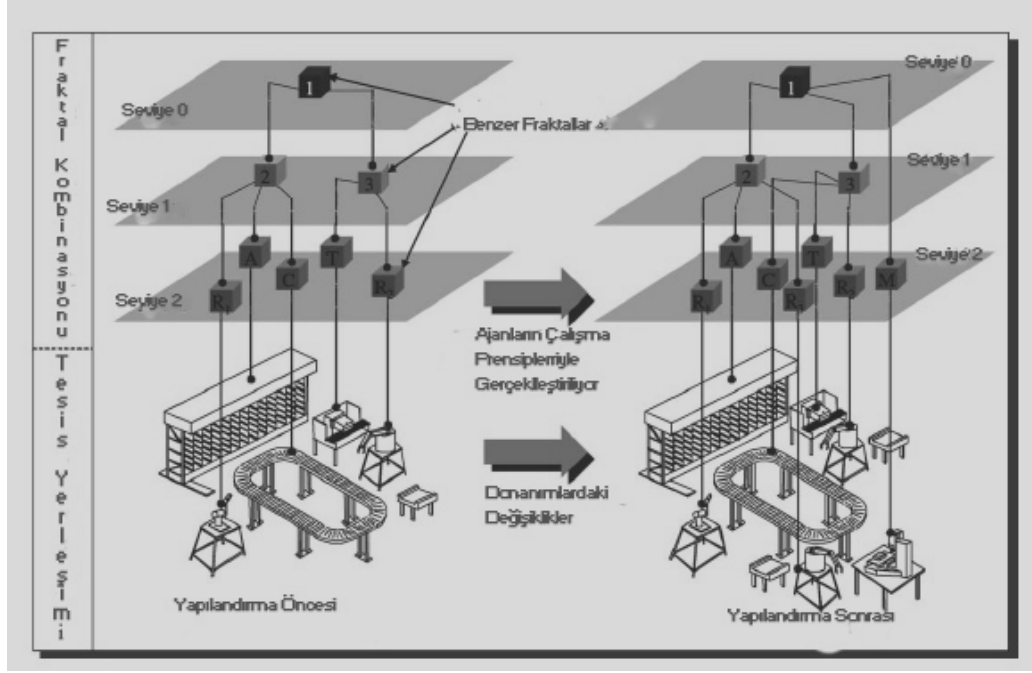
1. Gözlemci
2. Analizci
3. Organize edici
4. Çözücü
5. Rapor edici

Bu modüllerin her biri ajan teknolojisini kullanarak kendi işlerini yaparken bağımsız bir şekilde diğeriyle iş birliği yapar ve konuşur. Netice veren mimari ise yüksek derecede benzerliktir. Benzerlik, fraktalların ana özelliklerinden birisidir. FrMS'deki benzerliği anlamak için Şekil 10'daki tabakaları incelemek yeterli olacaktır. Kurumlar arasındaki işlemler, kurum içindedir benzerdir. Kurum içindeki işlemler de

iş alanı içindeki işlerle benzerdir. İş alanındaki işler de hücre içindeki işlerle benzerdir.



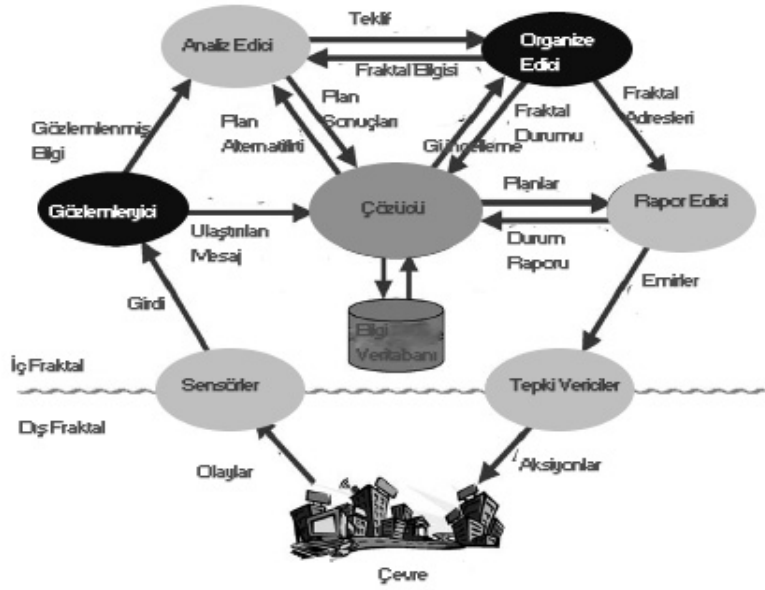
Her bir temel fraktal, atölye seviyesindeki hedefi başarmaya çalışırken özel seviye hedefine hizmet eder ve bağımsız hareket eder. Şekil 11’de FrMS’nin genel yapısı gösterilmiştir. Her seviyedeki kontrol edici, fonksiyonel modüllerden oluşan benzer fonksiyonel yapıya sahiptir. Bu modüller de ajan gruplarından oluşur. Sistemin ilk hazırlığından sonra sistem yapılandırması, makine bozulması gibi beklenmeyen bir olay karşısında tekrar organize edilebilir. Sistem aynı zamanda üretilecek ürün parçaları değiştiğinde de tekrar düzenlenecektir. Bu durumlarda FrMS’deki fraktallar dinamik ve bağımsız olarak yapılarını değiştirirler. Bunu fraktalların uygun çalışma mekanizmaları için ajanların aksiyonlarıyla yaparlar.



Şekil 11: Fraktallarda Tekrar Yapılandırma ile Organizasyon Değişimi

Yukarıdaki iki farklı tesis yerleşimini ve değişen fraktal kompozisyonları gösterilmektedir. M makinesi ve R3 robotu sisteme eklendiğinde fraktallar iç yapılandırmalarını yeniden organize ederler.

Fraktalı oluşturan 5 fonksiyonel modül şekil 12’de ilişkileriyle beraber gösterilmiştir. Her modülün fonksiyonu uygulama alanına göre tanımlanabilir. Hedef alan belirlendiğinde her modülün ana fonksiyonu sistem içinde belirli olacaktır. Örneğin, bir çözücünün fonksiyonu tedarik zinciri yönetimi için tanımlanabilir ya da imalat sistemini kontrol etmek için tanımlanabilir. Bununla birlikte bir imalat sistemindeki çözücünün ana fonksiyonu bu sistemdeki diğer çözücülerle hiyerarşi seviye ayrımı gözetmeksizin benzerdir.



Şekil 12: Fraktal'daki Modüller Arasındaki İlişkiler

Makine, robot gibi bir donanıma direk bağlanmış olan fraktal, donanımın duyu sinyallerini alır ve mesaj ya da emir gönderir.

Gözlemcinin fonksiyonu birinin durumunu görüntülemektir. Böylece diğer fraktallardan bilgi ve mesaj alabilir. İlgili fraktallara karma(composite) bilgi iletebilir.

Analizcinin fonksiyonu konum bilgisiyle birlikte alternatif iş profillerini analiz etmektir. Böylece dağıtma kurallarını değerlendirebilir. Gerçek zamanda analiz edilmiş iş profillerini simüle edebilir. Analizci son olarak sonuçları çözücüye raporlar. Böylece çözücü karar vermek için onları kullanabilir. Çözücü, fraktalda en önemli rolü oynar. İş profillerini oluşturur, karar verme ve hedef şekillendirme süreçlerini oluşturur. Hedef biçimlendirme süreçleri boyunca çözücü çeşitli nümerik optimizasyon kullanabilir ya da sezgisel tekniklerle fraktalın hedefini en iyi hale getirir. Gerekirse çözücü, fraktallar arasında konuşma, kooperasyon ve koordinasyon gerçekleştirir.

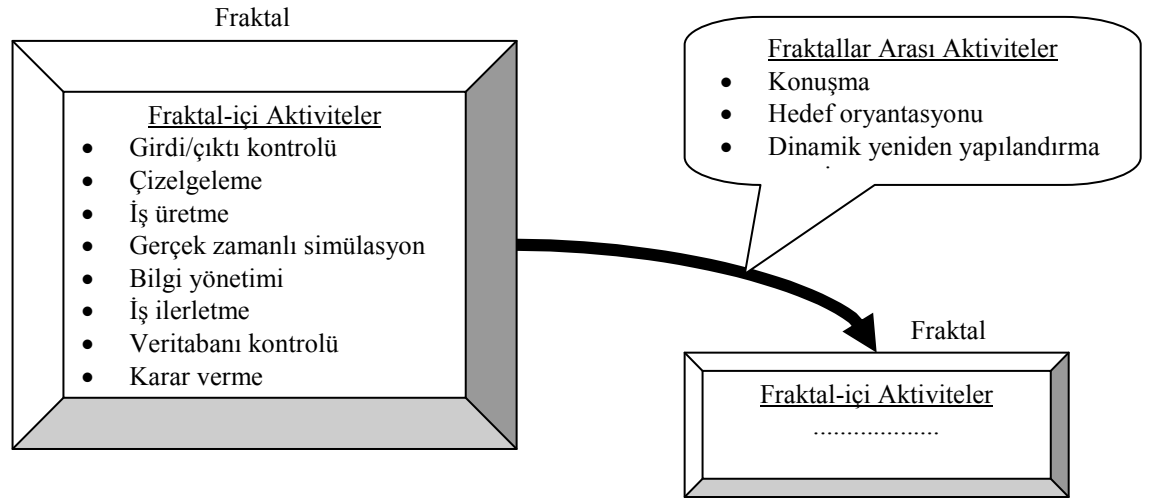
Organize edicilerin fonksiyonu fraktal durumunu ve adresini yönetmektir. Özellikle de dinamik, yeniden inşa süreçleri için yönetimi gerçekleştirir. Organize edici,

sayısal optimizasyon tekniklerini fraktalları yeniden düzenlerken optimal düzenlemeyi bulmak için kullanabilir. Fraktal durumu, bir çok alternatif arasından en iyi iş profilini seçmek için kullanır. Fraktal adresi, fraktalın ağ üzerindeki fiziksel adresini bulmak için kullanılır(makine ismi gibi).

Rapor edicinin fonksiyonu bir fraktaldaki bütün süreç sonuçlarını diğer fraktallara rapor etmektir.

FrMS'de ajanlar insan müdahalesi olmaksızın bütün süreçleri ve işleri yerine getirirler. Bazı aktiviteler fraktal içinde yapılır. Bazıları da diğer fraktalar içinde bulunan ajanlarla birlikte yapılır. Ajan aktiviteleri 2'ye ayrılır(şekil 13):

1. fraktal içi aktiviteler
2. fraktallar arası aktiviteler



Şekil 13: Ajanların Fraktal-İçi ve Fraktallar arası Aktiviteleri

Fraktal imalat sistemlerini diğer imalat sistemlerinden ayıran özellikler:

1. Benzerlik
2. Kendini organize etme
3. Hedef oryantasyonu

Eğer iki fraktal aynı girdilerden aynı çıktıları üretiyorsa iç yapıları farklı olsa bile benzer olarak adlandırılırlar. Bu anlamda herhangi bir seviyede tasarlanan fraktal FrMS'deki diğer seviyelere de uygulanabilir.

FrMS otonomdur, esnektir ve yüksek derecede benzerliğe sahiptir. Fraktal denilen çoklu ajanların bağımsız çalışmaları kavramına dayanır. FrMS'nin özellikle dağıtılmış ve dinamik ortamlarda benzerlik, kendini organize etme, hedef oryantasyonu gibi kendine özgü avantaj sağlayan özellikleri vardır.

Endüstri çağı üret-sat mantığıyla, hedeflerine varyasyonu sabit bir şekilde ortadan kaldırarak başladı. Bugünün hisset-karşılık ver(S-R) mantığı ise aksine aşırı varyasyonla çalışır ve değişken ortamlarda iş yapmayı öğrenir. Özellikle S-R mantığı, tedarik zinciri boyunca karşılaşılan değişimlerle başa çıkarak dış şartlara uyum sağlamalıdır. Bu durum aşağıdaki akışla sağlanabilir:

- Değişen fırsatları hisset,
 - İstek farklılıkları
 - Ürün farklılıkları
 - Karşılık verme(response) süreç farklılıkları
 - Kaynak farklılıkları ve bilgi farklılıkları
 - Etkin ulaştırma ve geri bildirim
 - İşin büyümesi ve hayatta kalma

Yukarıdaki her bir basamak bir önceki basamakla etki-tepki ilişkisi içindedir.

Doğrusal modeller dünyanın sadece bir kesitinin resmini çekebilmektedir. Günümüzün gittikçe artan taleple çekilen ekosisteminin iş süreçlerinde önemli değişikliklere neden olması sürpriz değildir. Böyle bir ekosistemde statik modeller ve gösterimler, onları el yordamıyla elde edebilmek için gereken gayret yüzünden artık kullanılmamaktadır. Gerçek dünyanın doğrusal olmayan model gösterimlerini kullanarak ki bunlar dış değişimlerle birlikte değişme yeteneğine sahiptirler uyum sürecinin çoğu elektronik olarak desteklenebilir. Küçükten büyüğe, basitten

karmaşığa deterministik olmayan davranışları da destekleyecek, boyutlandırabilecek sağlam, temel bir modele ihtiyaç vardır.

Fraktal yaklaşımlar, başarılı olarak iş faaliyetlerine uygulanmaktadır. Örnek olarak Skoda fraktal üretim hatlarını uygulayarak önceki yıl karını %53 oranında arttırmıştır(Jordan vd., Wiley, NY, 2000). Fraktal tabanlı mimari, dağıtılmış, düzenlenebilir kendini ifade eden yapıların kendilerini faydalı sistemlere monte edebilmeleri için yapısal ve analitik destek sağlar.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BİONİK YA DA BİYOLOJİK İMALAT SİSTEMLERİ

“Doğada mümkün olan en kısa yollar tercih edilmiştir.”

Joannes Kepler

“Çevresel politika geliştirenler artan atık ve kirlilik sorununa dikkat çekseler de çevreye olan zararın en fazlası, malzemeler müşteriye ulaşmadan önce yapılmaktadır. Dört temel malzeme endüstrisi, kağıt, plastik, kimyasallar, metaller imalattan %71 oranında zehirli gaz emisyonuna sebep olmaktadır. Beş malzeme; kağıt, çelik, alüminyum, plastik ve konteynür camı Amerika imalat enerji kullanımının %31’ini oluşturmaktadır.”

John E. Young & Aaron Sachs

“Demir çağı ve endüstriyel devrime denk olacak bir değişimin karşısındayız. Yeni malzeme dönemine doğru sığıyoruz. Gelecek yüzyıl içinde biomimetik yaşam şeklimizi önemli ölçüde değiştirecektir.”

Mehmet Sarıkaya

4.1. Canlı Hücresi

Canlı hücresi, bütün canlı sistemlerinin oluşturulduğu en temel yapıtaşlarıdır. Hücre teorisine göre:

- Canlılar hücrelerden oluşur
- Organizmaların içindeki kimyasal tepkimeler hücrelerde gerçekleşir
- Hücreler diğer hücrelerden oluşur
- Hücreler içlerinde ait oldukları organizmanın bilgisini taşırlar ve bu bilgiyi gelecek nesle aktarırlar

Bakteri gibi küçük organizmalar bütün hayat fonksiyonlarını gerçekleştiren tek bir hücreden oluşabilir. Daha büyük organizmalar ise birlikte iş yapan ve özel görevleri yerine getiren hücre gruplarından oluşur. Basit bir örnek olarak kas dokusu hücreleri ile sinir hücrelerini verebiliriz. İlk grup hareket işlevinde özelleşirken, diğer grup iletim işinde özelleşir. Hücreler arasında çeşitlilik söz konusudur. Bu çeşitlilik farklılaşmayla gelen bir özelliktir. İnsan bedeninde yaklaşık olarak 200 çeşit hücre

bulunmaktadır. Bu anlamda hücrelerin geneline bakıldığında ilk göze çarpan özellik çeşitliliktir. İkinci bir özellik de benzerliktir. En küçük bir bakteriden en büyük bir file kadar oluştukları hücreler benzer ve az sayıda molekül ve atomların biraraya gelmelerinden oluşmuşlardır. Bu hücrelerin yapıları ve organizasyonları dikkat çekici seviyede benzerdir. Yapılan çalışmalar da bu ortak özellikler üzerine yoğunlaşarak gerçekleştirilmektedir.

4.1.1. Hücrenin Yapısı

Hücreler, genellikle hayvan ve bitki hücresi olarak sınıflandırılır. Bakteri hücreleri de ayrı bir kategori olarak incelenebilmektedir. Bakteri hücresi yapısal olarak en basitidir. Bitki ve hayvan hücreleri daha karmaşık olmakla beraber yapısal olarak benzerdirler. Bunların temel bileşenleri şöyledir:

Çekirdek: hücrenin kontrol merkezidir. Hem hücredeki kimyasal reaksiyonları hem de onun üremesini kontrol eder. Genetik bilginin saklandığı yerdir. Bu bilgiye DNA(deoksiribo nükleik asit) da denilebilir. Çekirdekçik organeli de çekirdeğin içindedir. Çekirdekçik içinde RNA(ribonükleik asit)'lar bulunur. Bir hücre aktif protein sentezi yaptığı zaman çekirdekçik genişler.

Nükleer delikler çekirdeğe takılan ana giriş kapılarıdır. Bu delikler yoluyla sitoplazma ile çekirdek arasında taşıma sağlanır. Taşınan maddenin geçişi sırasında turnike özelliği gösterirler. Çekirdekte 3-4 bin kadar delik vardır. Hücre bölünmesi sırasında nükleer zarftan ayrılırlar. Bölünme bitince tekrar zarfa takılırlar. Bu delikler anlaşılacağı gibi tak-çalıştır(plug&play) özelliğindedir. Çekirdeğin karar mercii oluşuyla üretimdeki karar kalemlerini şöyle eşleştirebiliriz:

Tablo 3-Karar Kalemleri

| | |
|---------------------------------|---|
| Ürünler konusunda karar | Protein, enzim, lipid |
| Fabrika tasarımı hakkında karar | ER yapımı ve ribozomların tutunması |
| Makinelerin kurulması kararı | Ribozomların oluşturulması |
| Üretime başlama kararı | RNAların oluşturulması, protein sentezi |

Çekirdek, şekil 14’de N harfi ile gösterilmiştir. R harfi de ribozomları göstermektedir ki bunlar üretim hattındaki makineleri temsil etmektedir. Hücreler arasındaki koordinasyon da çekirdek ile sağlanır.

Çekirdekçik: transkripsiyonun(RNA sentezi) gerçekleştirildiği yerdir.

Hücredeki ya da hücreler arasındaki karar mekanizmaları birçok oyuncuyu içine almaktadır. Aminoasit, enzim, protein gibi maddeler karar vermede rol oynarlar. Yine de çekirdek her şeyin başlangıç noktasıdır. Çekirdeğin ana görevleri:

- Kromozomlarda genleri depolamak
- Hücre bölünmesi için genleri kromozomların içinde organize etmek
- Nükleer delikler aracılığıyla düzenleyici faktörleri ve gen ürünlerini taşımak
- Proteinler için kod mesajı sağlamak(mRNA)
- Çekirdekçikte ribozom üretmek
- Anahtar genleri çoğaltmak için DNA açılımını organize etmek

DNA, RNA moleküllerini üretmek için kullanılır. RNA da üretim işlemlerini gerçekleştirir. RNAlar; tRNA, mRNA, rRNA olmak üzere 3 çeşittir. Bu moleküller DNA’dan çekirdeğin içinde oluşturulur ve daha sonra sitoplazmaya bırakılır. Oluşturma sürecinde her molekül tipine özgü olacak enzimler ve sigma faktörü gibi faktörler kullanılır. RNA polimeraz enziminin DNA’ya tutunma eğilimi vardır. DNA’nın kodsuz bir kısmını araştırır ve sigma faktörünün yardımıyla kodsuz kısma yapışır. RNA oluşturma bu noktada başlar. Oluşturulan tRNA, mRNA doğrudan sitoplazmaya verilir. rRNA ise çekirdekçikte ribozom yapıları oluşturuluncaya kadar işlenmeye devam eder. Daha sonra rRNA da sitoplazmaya verilir. Protein sentezi sürecinde(translasyon) ribozom parçaları birleşir. Ribozomların çoğu ER’ye yapışır. Protein sentezi üç basamaklıdır. İlk olarak ribozomun küçük parçası(30S) mRNA üzerindeki başlangıç koduna(AUG) tutunur. Bu koda karşılık olarak metionin taşıyan tRNA küçük ribozoma yapışır ve metionini ribozoma verir. Ribozomun büyük parçasının küçüğe yapışmasıyla tam bir ribozom(70S) oluşur. Diğer kod okunur ve karşılık gelen tRNA ribozoma yapışır. Metionin ve diğer aminoasit polipeptid

oluşturmak üzere birbirlerine bağlanırlar. Daha sonra ilk tRNA yerini 2.sine bırakmak üzere ribozomu terk eder. Süreç bu şekilde devam eder.

Hücre zarı: maddelerin hücre içine alınmasında ve hücreden çıkarılmasında düzenleyici görevi vardır. Hücreyi çevresinden izole ederek bir bütünlük şekli verir.

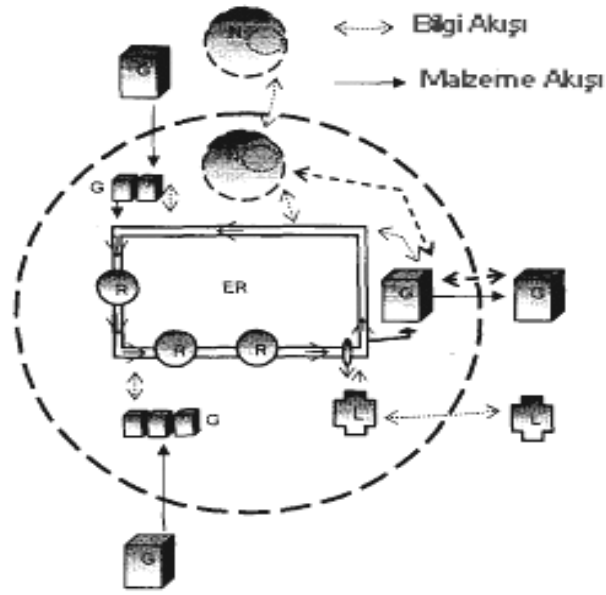
Sitoplazma: içinde birçok organelin bulunduğu hücresel faaliyetlerin gerçekleştiği ortamdır.

Endoplazmik retikulum(ER): hücrenin farklı bölümlerinde yapılan maddeler hücrenin öteki bölümlerine ER içinden iletilir. Ayrıca çok geniş yüzey alanı ve zarındaki enzim sistemleri sayesinde hücrenin metabolik fonksiyonlarına katkı sağlar. Dış yüzündeki bölümlerinde tutulu ribozomlar bulunur. ER, 14. şekildeki üretim hattını oluşturur.

Golgi: ER ile birlikte görev yapar. ER'den taşınan maddeler golgide işleme tabi tutulurlar. Şekil 14'de G harfi ile gösterilmiştir. Malzeme, ara ürün ve nihai ürün stoğu olarak işlev görmektedir.

Lizozomlar: Golgide yapılırlar. Hücrede istenmeyen maddeleri, bozulan yapıları, bakteri gibi yabancı cisimleri sindirerek hücreden uzaklaştırırlar. Lizozom, Şekil 14'de L ile gösterilmiştir. Hatalı parçaları hücreden uzaklaştırmaktadır.

Mitokondri: hücrenin enerji jeneratörüdür. Besin maddeleri ve oksijenden önemli miktarda enerji üretir. Hücrede çok fazla enerjiye ihtiyaç olursa mitokondri kendinden başka bir mitokondri üretim işine başlayabilir.



Şekil 14-Canlı Hücredeki Yapılarla İmalat Hücreindeki Bilgi ve Malzeme Akışı

4.1.2. Hücredeki Enerji Akışı

Canlı hüresinde canlı ve dinamik etkileşimde çok çeşitli organik moleküller bulunmaktadır. Bu moleküllerin çoğu protein molekülleridir. Enzimler özel protein çeşitleridir ki hücre içinde meydana gelen metabolik reaksiyonları düzenlerler. Enzimler olmadığı zaman hücredeki metabolik süreçler hücrenin canlı kalabilmesi için gereken hızda gerçekleşemeyeceği için hücre ölür.

Bir organizmada enerji, ATP(adenozin triposfat) molekülü şeklinde sağlanır. Glikoz ve diğer karbonhidratlar da enerjiyi depo şeklinde sağlarlar. ATP gibi doğrudan biyokimyasal süreçlerde kullanılamazlar. Bu moleküller, depolanabilirler. Hücreden hücreye, organizmadan organizmaya aktarılabılırler. Karbonhidratlar fotosentez neticesinde üretilirler. Özetlemek gerekirse, hücrede kimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi için ATP bulundurması gerekmektedir. ATP bulundurabilmek için de hücrenin karbonhidratları içine alması gerekmektedir. Ayrıca hücrede molekülleri ATP'ye dönüştürmek için yeterli miktarda enzim de bulunmalıdır.

Hücrenin DNA kromozomlarındaki genler, bu enzimlerin sentezini kontrol eder. Genlerde herhangi bir zamanda ihtiyaç duyulabilecek bütün enzimlerin bilgileri

vardır. Bununla birlikte sadece ihtiyaç olunan enzimler sentezlenir. Bu şekilde hücre çevresindeki değişikliklere kolaylıkla uyum sağlayabilir. Şartlar değiştiğinde genler enzim üretimini düzenleyecektir. Bu durum dolaylı olarak hücrenin ürettiği ürünlerin miktarını ve çeşidini etkileyecektir.

4.1.3. Hücre Çevresi ve Etkileşim

Bütün organizmalar değişik işlevleri olan organlardan oluşurlar. Bu organlar da özel hücre dokularından oluşur. Organların tek başına birim olarak iş görebilmesi için dokuyu oluşturan hücrelerin birbiriyle etkin bir iletişimi olması gerekmektedir. Bu anlamda hücreler kimyasal mesajlar gönderirler. Hücreler bu sinyallerin hem alıcısı hem de vericisi olabilmektedir. Örnek olarak insan hücreleri büyür ve etkileşim içine girinceye kadar birbirlerine doğru hareket ederler. Aynı zamanda her bir hücre birbiriyle etkileşim içinde oluncaya kadar çoğalırlar. Nihayi noktada sinyaller eşliğinde çoğalma durur. Bu sinyallerin yani iletişimin olmadığı durumlar da vardır. Kanser hücreleri bu duruma örnektir. Bu hücreler ortamdaki tüm besinler bitinceye kadar çoğalmaya devam ederler. Hücreler etkileşime geçtiğinde aralarında çeşitli bağlantılar oluşur. Bu bağlantılar dokuyu oluşturan hücreleri bir arada tutmakla beraber besinleri ve diğer maddeleri, elektrik sinyallerini verip almada da görevlidirler. Bütün hücreler kendi ortamlarında hareket halindedir. Ayrıca hücre içindeki yapılar ve besinler de hareket halindedir. Aktin ve miyozin proteinleri harekette görevlidir. Bu proteinler kas proteinleri olarak da bilinmektedir ki bütün hücre çeşitlerinde bulunabilirler.

4.1.4. Hücre Çoğalması

Hücre çevresinden aldığı malzemeleri enerjiye ya da ihtiyacı olan maddelere çevirerek çoğalır. İstenilen boyuta ulaştığında iki yavru hücreye bölünür. Bundan sonra da büyüme döngüsü devam eder.

Yavru hücreler ana hücre bileşenlerin yarısını içinde bulunduracaklardır. En önemlisi de DNA veritabanı ana hücrenininkinin aynısı olacaktır. DNA kopyalanması

ökaryotlarda karmaşık bir süreçtir. Çünkü kromozom şeklindeki proteinlere bağlıdır. Mitoz her yavru hücrenin kendi kromozom setine sahip olduğu detaylı bir süreçtir. Hücre içeriğinin geriye kalan kısmı ki bunlar ekseriyetle sitoplazma içindedir iki yavru hücreye eşit olarak paylaşılır.

4.1.5. Genetik Şifre ve Protein Sentezi

DNA molekülü kendiliğinden kopyalanmaz. DNA polimeraz enzimine ihtiyacı vardır. Daha da önemlisi canlı hücrelerinde bulunan proteinler DNA'daki bilgiler ile sentezlenirler. Proteinler 20 çeşit aminoasit dizilimiyle şifrelenirler. Aynı zamanda DNA 4 farklı nükleotide parçalanabilir. Bu moleküller protein üretiminin başlaması için kod olurlar. 4 nükleotit ve 20 aminoasit vardır. Aminoasidi oluşturmak için 3 nükleotid gerekmektedir. Matematiksel olarak $4^3=64$ nükleotid birleşimi vardır. Nükleotid sıraları şeklinde DNA'da depolanan bilgi aminoasitlere ya da proteinlere nasıl dönüştürülebilmektedir? Bu 2 adımlı bir süreçtir:

1. Transkripsiyon: özel bir RNA türü olan mRNA, DNA molekülüyle aynı hizaya gelir ve üçlü nükleoitleri kopyalar. Bu süreç RNA polimeraz adı verilen enzimle kontrol edilir.
2. Translasyon: tRNA bu sıraları bir sıra aminoasit-proteine tercüme eder.

64 muhtemel birleşimden 61 tanesi aminoasit sıralarına tercüme edilirken kalan 3 tanesi protein sentezini durdurmak için sinyal görevi yapar.

DNA'daki nükleotid sayısı ya da sırasındaki değişimler, translasyondan sonra karşılık gelen aminoasitlerdeki değişimlerle sonuçlanabilir. Bu bir mutasyondur.

4.1.6. Hücrenin Simülasyonu

Şimdiye kadar hücre simülasyonu hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Hücre simülasyonu halen de devam etmekte olan bir proje olarak değerlendirilebilir. Bu simülasyon, canlı hücrenin yaşantısı boyunca meydana gelen olayların yazılım

modelidir. Hücrenin içinde ve bağlantılı olduğu dış çevresinde davranışını etkileyen binlerce karmaşık işlemler yapılmaktadır. Bir model geliştirebilmek için bu işlemleri basitleştirmek ve çeşitli varsayımlarda bulunmak gerekmektedir. Bir üretim senaryosundan önce canlı hücresi hakkında çalışmaya katkıda bulunacak bilgiler verilecektir.

Hücre simülasyonu, hücredeki değişen ortamlara karşı davranışlarını gözlemlemek, belirli bir hücrenin canlılık faaliyetlerini sürdürebilmesi için gereken en alt düzey şartları çalışmak, hücresel süreçler hakkındaki bilgimizi zenginleştirmek gibi amaçlar için yapılmaktadır. Birçok uygulama genom mühendisliğinde bulunur ve genetik bilginin simülasyonu en az sayıda geni bulmak için yapılır. Herhangi bir canlı hücresi hakkındaki bilinen bütün bilgi kullanılarak, hücrenin davranışını modelleyecek bir simülasyon inşa edilebilir. Simülasyon sonuçlarına göre hücreyi etkileyen diğer faktörler hakkında tahminlerde bulunulabilir. Örneğin, bazı genlerin fonksiyonları halen bilinmemektedir. Hücre hakkındaki bilgilere dayanarak yapılan simülasyon gerçek hücrenin davranışıyla karşılaştırıldığında bilinmeyen genler hakkında görüşler elde edilebilir. Model daha sonra iyileştirilebilir. Böylece hücrenin davranışı daha iyi tahmin edilebilir. Hücre simülasyonunun başka uygulamaları hücrenin metabolik süreçlerinin modelini elde etmek için yapılmıştır. Böylece hücrenin büyümesi incelenebilmiştir. Hücrenin metabolik gereksinimlerinin çoğu halen bilinmemektedir. Bir simülasyon hücrenin gen dizilimini modelleyebilir. Metabolik süreçler için gereken bileşenleri de modelleyebilir. Neticede hücrenin hayatta kalacağı ve büyüebileceği ortamın kimyasal tanımını verebilir. Hücrenin üç boyutlu mimarisini modelleyen grafik uygulamalar da mevcuttur. Bu uygulamalar biyoloji de kullanılmaktadır.

Hücre davranışını modelleyebilmek için birçok varsayımda bulunmak gerekecektir. Bunun için canlı hücrenin hangi yönlerinin simülasyona uygun ve modellenebileceğini belirlemek gerekecektir. Modellenen bileşenler şu şekilde olabilir:

- Hücrenin tipi: hücresel bileşenlerin nasıl organize edildiğini belirler

- Hücre çevresi: hücrenin hayatı için gereken besinler buradadır
- Genetik bilgi: hücrelerin tanımlayıcı özelliklerinden birisidir
- Hücre süreçleri: hücrenin yaptıkları

Yarı bağımsız olmasının yanı sıra canlı hücresi herhangi bir kontrol sisteminin ihtiyaç duyabileceği birçok fonksiyon önerebilir. Hücreler arzu edilen birçok özellik sergilemektedir. Ölçeklenebilirlik, güvenilirlik, yalınlık, modülerlik, güvenlik, heterojenlik, tekrar düzenlenebilirlik gibi özellikler sayılabilir. İnsanların yaptıkları işlerin optimal olması konusu tartışma götürürken, doğadaki işleyişin kusursuzluğu tartışmasızdır. Hücrenin yapısı dikkatle incelenecek olursa üretim ortamları en uygun hale yaklaşacaktır ve geleceğin bağımsız şirketleri için model teşkil edecektir.

Hücreler belirli fonksiyonel bir alanda uzmanlaşmışlardır. Enzim üretimi, gıda depolama, taşıma, deri tuğlaları olma gibi. İnsan vücudunda yaklaşık 200 farklı hücre vardır. İnsan hücrelerinde aynı genetik şifre olmakla birlikte bütün hücrelerde bu kodlar aktif halde değildir. Yani işlevsel bir halde değildir.

Hücrelerin yapısal ve işlevsel çeşitliliği farklı üretim ortamlarına uygun çözümler bulabilmek için seçenekler sunar. İmalatta kullanılan hücreler, makine ve işçilerin istenilen ürünü üretebilmek için bir araya geldikleri ortamlardır.

Bütün üretim ortamlarının gözlemlenmesi ve bütün hücre çeşitlerinin detaylı analiz edilmesi şimdiye kadar yapılmamıştır. Böyle bir çalışma bu tezin kapsamının dışındadır. Daha sonraki çalışmalarda gerçekleştirilebilir. Ayrıca hücre biyolojisi de hücrenin davranışları hakkında detaylı bilgi verememektedir. Bu kısıtları düşündüğümüzde gelecekte biyologlar ve mühendislerin birlikte iş yapacağı öngörüsünde bulunabiliriz. Böylece üretim sistemleri ve yapılan modellemeler daha gerçekçi ve optimuma en yakın olacaktır.

4.2. BMS

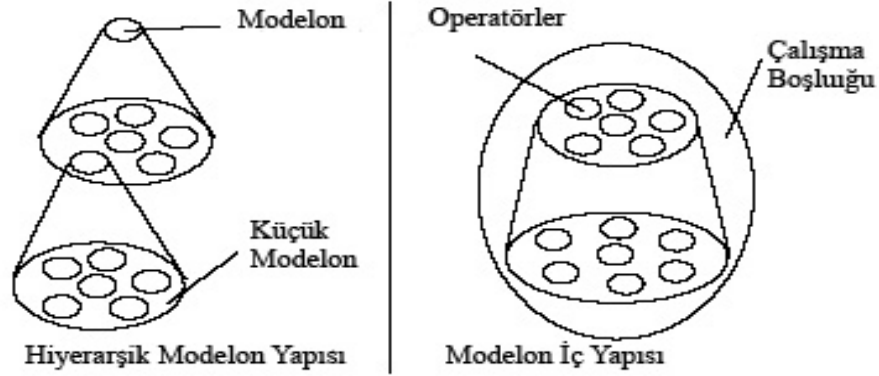
BMS, Okino ve Ueda tarafından ortaya atılmıştır. Canlılardan ilham alınan bireysel büyüme, organizasyon, uyum sağlama, gelişmelere dayanarak imalat ortamlarındaki önceden belirlenemeyen değişimlerle başa çıkabilmek için düşünülmüştür. Bir canlı sistem bağımsız ve kendiliğinden gibi gözükten davranışlar sergiler. Hiyerarşik düzenlenmiş ilişkiler içinde sosyal uyum içindedirler. Daha da ötesi tutarlılık ve hedefe uyum sağlama genetik kalıtımla kavramsal olarak desteklenmektedir. Bu kalıtımda varlığın genetik kodu vardır. BMS, IMS/NGMS gibi projelerin içinde yer almıştır.

BMS'nin temel birimi, canlı sistemin diğer kısımlarını da içine alan hücre ya da modelon olarak adlandırılır. Modelon daha alt seviye modelonlardan (buna alt modelonların hiyerarşisi de denir), operatörlerden(enzimatik işlemler) ve ortak hafıza ya da ortamdanda(modelonlar arasında alışverişi olan bilgileri depolamak için alan) oluşur(şekil 15).

Hücreler temelde benzerdir. Farklılaşmaları iki tür biyolojik bilgiyle gösterilen fonksyonları ile olur.

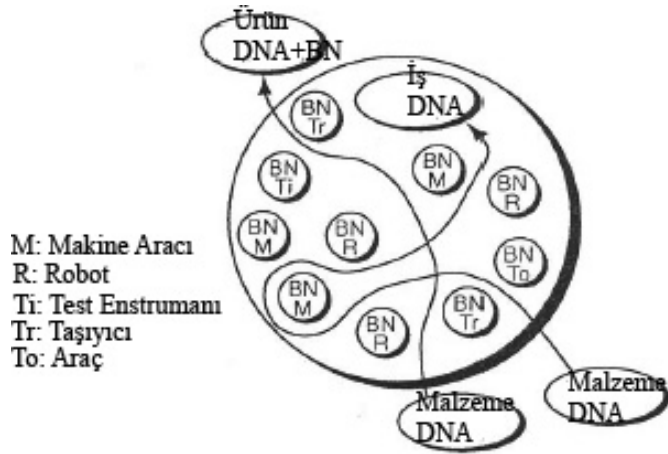
1. Nesiller boyunca gelişen genetik bilgi(DNA tipi)
2. Tek bir organizma tarafından yaşam boyunca öğrenilen bilgi(BN tipi)

Özel varlıklar tarafından yönetilen biyolojik bilgilerin birleştirilmesi canlı sistemleri karmaşık hale getirir de otonom ve uyumluluğa katkı sağlar.



Şekil 15: Modelon Yapısı(Kwangyeol Ryu)

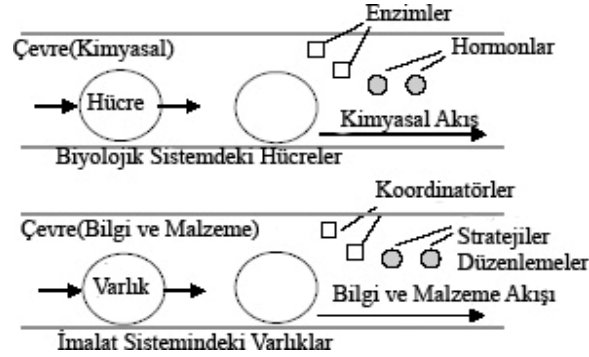
BMS'yi teşkil eden donanım(iş malzemeleri, makine araçları, AGVler, robotlar) şekil 16'de gösterildiği üzere otonom organizma olarak değerlendirilir. Zemin seviyesinde ürünler kendi DNA tipi bilgilerine sahip ham malzemelerden geliştirilir. İmalat donanımı ise ürünü BN tipi bilgi kullanarak ortaya çıkarır. Hem DNA hem de BN tipi bilgiyle işlenen ham madde nihai ürün olarak yetişir.



Şekil 16: BMS Kavramları

Canlı sistemlerin özellikleri, imalat sistemi işlemlerine benzerlik göstermektedir. Şekil 17'de yapısal benzerlikleri gösterilmiştir. Varlıklar gerekli verileri imalat ortamından alır, karşılık olarak işlem gerçekleştirir. İşlem çıktıları ortama geri akar. Biyolojik sistemlerdeki enzimlere benzer şekilde koordine ediciler, birkaç dağıtılmış imalat varlığının uyumunu korumak için işleri yapabilir. Aynı zamanda biyolojik

sistemde hücrenin işlerini düzenleyen ve ilerleten hormonlara benzer olarak, stratejiler ve düzenlemeler imalat varlıklarının işlemlerini çevreye karşı etkiler.



Şekil 17: Biyolojik Sistem ile İmalat Arasındaki Yapısal Benzerlikler

BMS'deki etkileşimler makine yetenekleriyle ürün gereksinimlerini eşleştirerek yerel olarak gerçekleştirilir. Üretim varlıklarının yerel olarak etkileşebilmeleri için varlıklar arasındaki mesafenin fonksyonu olarak kuvveti sağlayan potansiyel alanlar kullanılır. Potansiyel alan, çekme ve itme alanlarını içerir. Makine kendi yetenekleri doğrultusunda bir parça almak için çekim alanı oluşturur. Diğer taraftan, parçaları taşıyan bir AGV çekim alanını hissedebilir ve alanın kaynağına doğru hareket eder. Makineye geldikten sonra AGV parçayı ürünün gereksinimine göre makineye bırakır. Makine ve ürün arasındaki eşleşme karmaşık davranışların işlemlerini karmaşık küresel kontrole gerek kalmadan tesis edebilir.

Mühendisler aniden ortaya çıkan durumlara uyum sağlayan imalat sistemlerinin tasarımı için biyolojik sistemlerin işleyişini araştırmaktadırlar. Karmaşık kontrol stratejilerini öğrenmek için mühendisler sinir ağlarına ilgi göstermişlerdir. Hayvan davranış bilimcileri, psikologlar, oyun teorikileri, economiciler, matematikçiler varlıklar arasındaki rekabet ve birlikte iş yapma stratejilerinin genetik açıklanması için bir araya gelmişlerdir. Yapay yaşam topluluğu ortaya çıkmıştır. Artan bilgi işlem gücü de bu topluluğa destek vermiştir. Böylece problem modellemede ajana dayalı yaklaşımlar daha iyi anlaşılmıştır. Bu modeller de arı ve karınca kolonilerinin görünen davranışlarından öğrenilmiştir. Mühendisler bu paradigmaları kullanarak, üretim sistemlerini nasıl uyumlu ve kendini organize eden özellikte yapabileceklerine

ilişkin canlı sistemlerden dersler çıkarmışlardır. İmalat tesisleri ve biyolojik varlıklar hızla değişen ortamlarda çalışırlar, yaşarlar.

Tabiatta çevresine uyumlu karmaşık şekillerin bulunduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bu şekillerin gelişim mekanizması iyice anlaşılmış değildir. Tam geometrik ölçülere yakın şekiller üretilebilir fakat bir organizmada açık biçimde kodlanmış matematiksel ifadelerle ya da teknik çizimlere rastlanmamıştır. DNA’da kodlu olarak bulunan genler replikatördür. Bireyin kromozom kodlarının kopyaları vücudundaki her bir hücrede bulunmaktadır. Protein üretimi için gerekli bilgiler DNA’da depolanmaktadır. Bu yüzden karmaşık bir tarife gibidir. Hangi proteinin ne zaman üretileceğinin detayı çevresel faktörlere bağlıdır. Bu faktörler hücrenin kimyasal çevresinde mevcuttur.

Mühendislik çizimleri DNA replikatörleriyle bire bir benzer değildir. Ayrıca mühendislik ürünleri kendini tekrar üretmez. Mühendislik ürünlerinin replikatörleri ürünün şekil, renk, yüzey özellikleri, üretim süreçleri gibi özellikleri olabilir. Mühendislik çizimi bir nesnenin tam ebatlarını ve görünümünü tanımlamaz. Bir parçanın planının parçaya dönüşmesinde üretim periyodu gerekmektedir. Bu süreç embriyonik gelişmeye benzemektedir.

BMS projesinde imalat sistemi dış etkilere tepki veren ve üreten bir organizma olarak düşünülür. İmalat sistemi, sistemi tanımlayan ‘genetik bilgi’ye sahiptir. Projenin 2 temel teması vardır. Kendini organize etme, üretim ağının gelişen simülasyonu(ESProN).

Bir ürünün bütünüyle yaşam döngüsü, Pazar araştırmasından tasarım, planlama, üretim, tedarik zinciri, ortadan kalkması karmaşık sistemleri içine alır.

Organizmalar ve toplumlar çok sayıda hiyerarşiden oluşurlar. Yarı bağımsız alt bütünlere sahiptir. Alt bütünlere de daha düşük seviyede düzene dallanarak alt bölümlere ayrılırlar.

Protein üreten ribozomlar, karmaşıklıkta kimyasal fabrikaya rakiptirler. Mitekondrileri güç fabrikalarıdır ki bir yiyecekte 50 farklı adım içeren kimyasal reaksiyon zinciriyle enerji çıkarır. Tek bir hücrede 5000 tane bulunabilir. Sentrozomlar incecik aygıtlarıyla hücrenin ikiye bölünme kareografisini organize eder ve DNA kalıtım spiralleri kromozomların iç bölgesinde kümelenir.

Organizma basit fizikokimyasal süreçlerin bütünleşmesiyle oluşan bir mozaik değildir. Hücre altı seviyesinden, yukarı seviyelere doğru her bir üyenin entegrasyona katkı sağladığı, kendini düzenleyen aletlerle donatılmış, kendini yöneten bir hiyerarşidir.

BMS kendini organize etmek, öğrenmek ve gelişmek gibi biyolojik olarak esinlenen fikirleri kullanarak günümüz imalatındaki karışıklık ve belirsizlikle başa çıkmayı hedeflemektedir.

İmalat ortamındaki karışıklık artmaktadır. Karışıklıklara örnek olarak üretim talebindeki dalgalanmalar ve üretim sashasındaki makine bozulmaları gibi beklenmedik olaylar verilebilir. Çoğu geleneksel imalat yöntemleri rijit sistem yapılandırması sebebiyle dinamik imalat değişmelerine uyum sağlayamamaktadır. Bu imalat karmaşasını kontrol etmek için holonik, fraktal ve ajana dayalı imalat sistemi kavramları yanında BMS de gelecek nesil imalat kavramı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karmaşık olan küresel sistem hedeflerini gerçekleştirmek zordur. Kendini organize etme metodu, hedefleri gerçekleştirmek için yalnızca her unsurun yerel bilgisini kullanmaktadır. Global hedefleri başarmak için küresel sistem bilgisi gerekmektedir.

Canlı organizmalar kendilerini çevresel değişikliklere adapte edebilmektedirler. Kendini tanıma, büyüme ve iyileştirme, gelişme gibi fonksyonları gerçekleştirerek hayatlarını sürdürürler. Biyolojik organizmaların bu göze çarpan özelliklerini yapay sentez problemlerine uyarlamak için yeni sentez yöntembilimi uygulanmıştır. Gelişimsel hesaplama, yapay sinir ağları, güçlü öğrenme, kendini organize etme

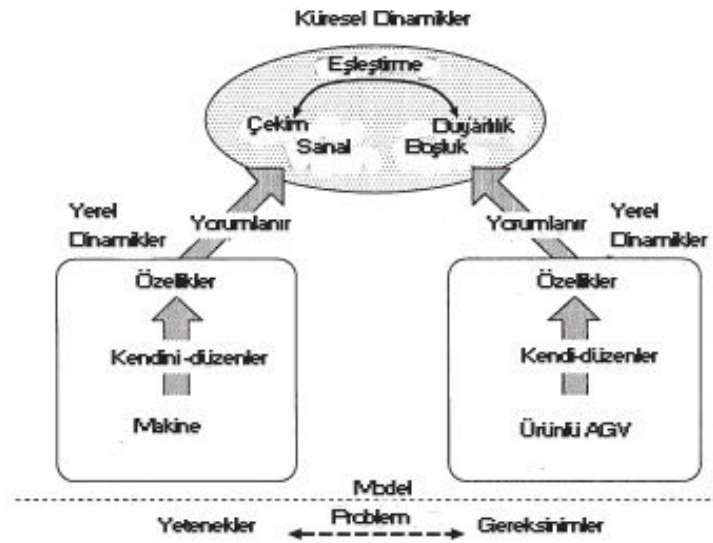
yöntembilimleri, BMS’de ani sentez metodolojilerini, üretimdeki önceden kestirilemeyen belirsizliklerle başa çıkmak için kullanılan yeni bir üretim kavramıdır.

BMS çerçevesinde ‘durum çalışmaları’ yapılmıştır. Bunlardan bazıları; atölye çizelgeleme problemlerine genetik algoritma uygulaması(Gohtoh, 1996), dinamik çizelgeleme için ani modelleme(Vaario, 1998), kişisel organizasyonu kullanarak tesis yerleşim planlama(Ueda, 2002) çalışmalarıdır.

4.2.1. İmalatta Kendini Organize Etme

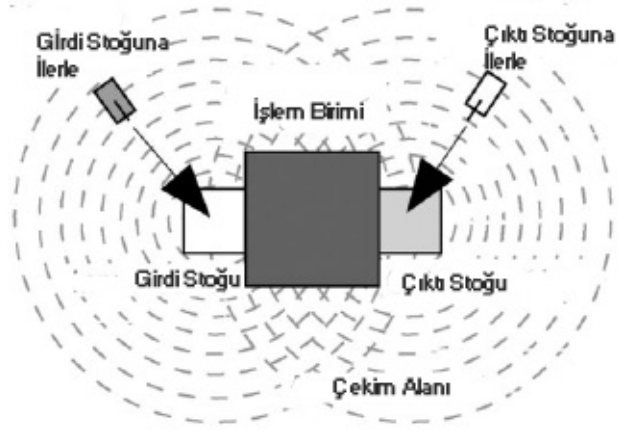
Kendini organize etme imalatı şu anlama gelir:

Bütün üretim, yerel üretim gereksinimleriyle üretim yeteneklerinin küresel kontrol olmaksızın eşleşmesiyle ilerler(Şekil 18).



Şekil 18: İmalatta Kendini-Organize Etme Kavramı

Üretim alanında makine ile gereksinimler nasıl eşleşebilir? Potansiyel alanlar, kuvveti kullanılan unsurlar arasındaki uzaklığın bir fonksyonu olarak tanımlar. Örneğin makineler ürünü elde etmek için çekim alanı üretirler. Diğer taraftan ürünleri taşıyan AGV’ler çekim alanlarını algılar ve makinelere doğru hareket eder. Üretim böyle etkileşimlerle ilerler(Şekil 19).



Şekil 19: Makine-AGV Etkileşimi

Böyle bir kendini organize etme karmaşık sistemin küresel hedefini başarmak için yeterli değildir. Çünkü yerel bilgi kullanılmaktadır. Global bilgiye ihtiyaç vardır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

BİR SENARYO UYGULAMASI

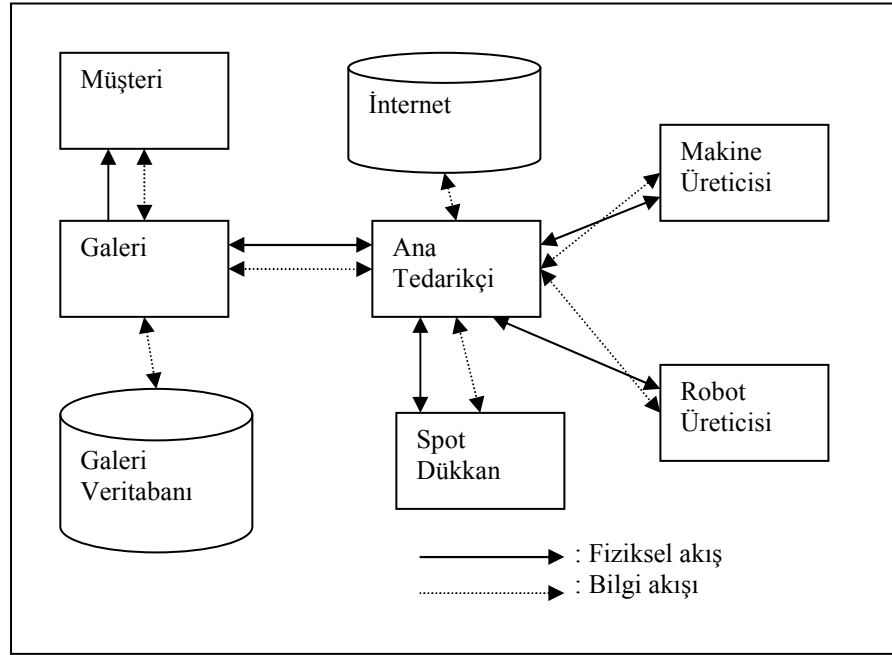
5.1. Senaryo

Yıl 2030, Manisa’da bir yerel araba galerisi sahibi müşterilerinin arzuları doğrultusunda 100 adet araba satın almak istiyor. Arabaların, bulunduğu bölgenin özel coğrafik yapısına uygun özelliklere sahip olmasını da arzu ediyor(bu yıllarda müşteri isteklerinin çok detaylı olacağını göz önünde bulunduruyoruz). Müşteriler özel üretim arabalarının teslimini ortalama 1 hafta içinde istemektedir(Toyota 2004 yılında araç parçaları tedarikçilerinden parçaları, daha önceki ulaştırma sürelerinin yarısı kadar sürede tedarik etmelerini istemiştir).

Yerel araç parçalarının tedarikçisi, galeriden siparişi alır ve istenilen çevre şartlarına uygun olarak gereksinimlerini düzenler. Galerinin bulunduğu, arabaların kullanılacağı coğrafyanın özelliklerini inceleyerek özel bir tasarım geliştirir. Her bir araba için standart 5 tane solar yakıt hücresi bir araya getirilir. İstenilen arabalar için tasarlanan motorların güç gereksinimlerine göre 5 tane yakıt hücresi gerekmektedir. Yakıt hücreleri, spot dükkanlardan temin edilebilmektedir. Genel kokpit göstergeler yoluyla, yakıt hücreleri tarafından güç verilecek olan istenilen güç ve tork aralığındaki elektrik motor İzmir’deki satıcıdan alınır, kamyonla taşınarak getirilir. Tekerlekler, akslar, frenler vs. yerel olarak temin edilir. Arabanın üst çerçevesi(kaporta), gövde, kokpit üretmek için gereken hızlı üretim makineleri, bu makineler üzerine uzmanlaşmış firmadan kiralanır. Makinelere biri sinterlenmiş metalden araba iskeleti üretir. Bu metal, toz enjektörü ile tabakalar halinde depolanır, arabanın boyutlarının bulunduğu CAD dosyasını okuyan bilgisayarla kontrol gerçekleştirilir. Diğer bir makine ise benzer bir şekilde kaporta ve kokpit üretir. Bilgisayardaki CAD boyut dosyalarına göre, tabakalar halinde direk depolanmış karbon plastik kullanır. Tedarikçi firmanın mühendisi, motor kontrolü ve sürücü elektroniklerini genel çiplerin üzerine programlar. Mühendis bu işi web sitesinde elektronik iş yapan, yazılım konularında uzmanlaşmış bir firmadan motor kontrolüyle ilgili program indirerek yapar. Mühendis, yazılım parametrelerini yerel

şartlara göre ayarlar. Yapılacak diğer bir iş de yine web sitesinden montaj robotlarına montaj programı yüklemek olacaktır. Bu robotlar da İzmir’de bir firmadan kiralanmıştır. İstenilen zamanda arabalar galeriye ulaştırılır. Kiralanan makineler ve robotlar geri gönderilir(şekil 20).

Aradan birkaç yıl geçtikten sonra arabalara ihtiyaç kalmadığı zaman, araba parçalarına ayrıştırılacaktır. Çip, akslar, tekerlekler, frenler, yakıt hücreleri yerel tedarikçilere geri satılacaktır. Tedarikçiler bu parçaların kontrolünü yapıp parçaları diğer donanımlarının yanına koyacaklardır. Tampon gibi mekanik olarak yıpranmış kısımlar metal ya da karbon plastik granüllere dönüştürülerek yerel hammadde pazarında makinelerde kullanılmak üzere satılır.



Şekil 20: Bilgi Akışı ve Fiziksel Akış

Bu senaryoda araba müşteri istekleri doğrultusunda üretilmektedir. Yerel şartlar bilindiği ve üretim bu şartlar dikkate alınarak gerçekleştirildiği için envanter ve taşıma maliyetleri en aza indirgenir. Araba yerel olarak satın alınmış genel parçalardan ve hammaddelerden üretilmiştir. İmalat için gereken araçlar tam zamanında yapılandırılmaları yapılmış olarak getirilirler, ihtiyaç kalmadığında da geri gönderilirler. Bütün parçalar etkin ve kapalı döngünün içindedirler.

Bu senaryonun gerçekleşmesi için mühendlik malzemelerinin renk, elastiklik ve yapısal özelliklerinin hızlı imalat teknolojileriyle uyum içinde ve geri dönüşebilir olması gerekmektedir. Bu anlamda gelecekteki üretim teknolojileri malzeme mühendisliğinin gelişimine bağımlıdır.

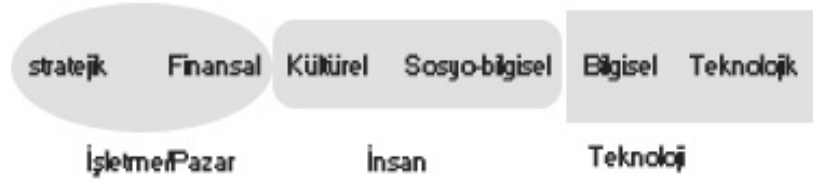
Canlı hücrelerinden esinlenen bu üretim şekli, karo desenli bezler gibi seri üretim ürünleri için uygun değildir. Çok çeşitlilik arz eden, talep değişkenliği olan, parti miktarı küçük olan ürünler için uygundur.

SONUÇ

BMS, FrMS, HMS tasarım ve operasyonel yönleri itibariyle karşılaştırılabilir. Fraktalların özellikleri; kendini organize etme, dinamik olma ve benzerlik olarak sıralanabilir. Kendini organize etme her bir fraktalın başka bir fraktala bağlı olmaksızın organizasyon ve işi gerçekleştirme kararı alabilmesidir. Dinamiklik, değişen çevre şartlarına uyum sağlama anlamındadır. Benzerlikte fraktalların hedeflerinin benzer oluşuyla alakalıdır. Fraktal fabrikanın birçok unsuru pratik hayatta göze çarpmaktadır. Hücresel imalat yapıları ve işlerin gruplanması örnek olarak verilebilir.

Holonların iki ana özelliği bağımsız oluşu ve kooperatif hareket edışıdir. Bir açıdan holonlar BMS'deki modelonlara benzemektedir. Farklı olarak, holonlar ve holarşi kümeleri bütün parça ilişkisi gösterirken, BMS katmanlı gösterime sahiptir. BMS gerçek olan canlı hücrelerinden esinlendiği için pratiğe koyulabilme olasılığı daha yüksektir. FrMS ve HMS ise öngördükleri üretim sistemi için temel kavramlar tanımlar. Bu yüzden tasarım ve işlevsel özelliklerinin daha iyi tanımlanması gerekebilir. Her üç kavramda temeline kendini-organize etmeyi alır. Holonlar, bir sistemin fonksiyonel ayrışımından teşkil edilirler. Yapılacak işler seviyesinde oluşturulabilirler. Bu anlamda kendilerini yönetebilirken kendilerini tasarlama ve organize etmekten yoksundurlar. BMS de benzer şekilde işler modelonlara paylaştırılır. Diğer taraftan fraktallar dinamik çevre değişimine ayak uydurabilirler yani kendilerini yeniden düzenleyebilirler. Fraktallar daha fazla otonom gözükse de Sihn(1995) tarafından altı seviye olarak ifade edilen çevresel faktörlerin(Şekil 21) teknoloji kutbunda bağımsızlıkları azalır. Fraktal fabrikadaki teknoloji, yerleşimdeki esnekliği elde etme ya da JIT, kanban gibi araçların uygulanmasına yöneliktir. BMS ve HMS'deki teknoloji vurgusu ise bağımsızlık gösteren alet ve donanım yapma üzerinedir. Otomasyonu daha çok işin içine katarken, tasarım sürecinde iş ve insan yönü ihmal edilir.

Bu üretim sistemlerinin tasarım açısından karşılaştırması şöyledir: Her üçü de mimari yönden tekrarlı parça-bütün ilişkisi sergilerler. Bağımsız, kooperatif ve zeki davranış sergileyen varlıklardır.



Şekil 21-Çevresel Faktörler

Modelon birçok işlemi gerçekleştirebilir. Bu işlemler DNA bilgisini kullanarak hücre bölünmeleri yoluyla tanımlanabilir. Holonlar ilk önce holarşi sonra holonlar ya da tam tersi şekilde tasarlanabilir. Fraktal tasarımı ise 6 seviye çevre faktörleri göz önünde bulundurularak tasarlanır. BMS'deki gibi aşağıdan yukarıya doğru tanımlanırlar.

BMS'deki bağımsız özelliklerin tasarımı çevre değişikliklerine olan tepkilerinden kaynaklanır. Holarşideki bağımsızlık dış çevreyle etkileşimde ortaya çıkar. Geçmiş deneyimi kullanarak kuralları yenilenebilir. Fraktallardaki bağımsızlıkta benzer hedeflere sahip fraktalların irtibat kurmalarıyla gerçekleşir. HMS, FrMS'ye göre daha tekniktir. Bu sistemlerin düzenleyici mekanizmaları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4- Düzenleyici Mekanizmalar

| Kavram | Düzenleme Şekli | | Mekanizma Şekli | | | Mekanizma Tanımı | |
|--------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| | Kısa Dönem | Uzun Dönem | Küresel | Hiyerarşik | Yerel | Önceden Tanımlı | Uyum Sağlama |
| BMS | Enzimlerle, MSS | Hormonlarla | MSS | Enzim, Hormon | Enzimler | Enzim, Hormon, MSS | ? |
| FrMS | Fraktal seferleri, JIT, Kanban | Çevrenin canlılık ölçüleri | Yok | Hedef Kordinasyonu | Hedef, JIT, Kanban | JIT, Kanban | Hedefler Üzerine |
| HMS | Koordinatörler | Yok | Yok | Plan Kordinasyonu | CN | CN | Koordinasyonla Öğrenme |

MSS: Merkezi sinir sistemi CN: Contract-net

Bu şekilde düzenleyici mekanizmalar yoluyla işlemler düzenli ve uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Üretim miktarındaki değişimler kısa dönem düzenlemeye

konu olurken, envanter politikaları ve müşteri memnuniyeti gibi kavramlar uzun dönem düzenlemelere dahildir.

Sonuç olarak üç üretim yaklaşımı da dağıtılmış, uyum sağlayan ve bağımsız özelliklerini taşımaktadır. Katı olmayan, esnek üretim sistemleri oluşturmayı hedeflemektedirler.

BMS kavramsal olarak canlı hücreden daha net terimler devşirebilir. Fraktal fabrika üretim sistemi geliştirirken çevresel faktörleri daha fazla dikkate alır. Diğer sistemler ise daha çok zeki teknolojik yapılar üzerine odaklanır. Fraktalların bağımsızlığı daha fazladır. Diğerleri ise daha çok işlemleri gerçekleştirme seviyesinde bağımsızdırlar. Fraktalların tasarımı tepeden aşağı iken diğerleri genellikle aşağıdan yukarı doğrudur. Düzenleme mekanizmaları kısa dönemde daha etkin olmakla birlikte BMS merkezi sinir sistemi gibi küresel bir düzenleme anlayışıyla tasarlanabilir. Uygulamaları ise rapor olarak literatürde bulunmamaktadır.

Üretim senaryosunu oluşturduğumuz hücresel esinleniş şöyledir: Canlı hücresi çok çeşitli araçlar(ribozom-makine, DNA-bilgi deposu) ve ürünler(protein(ürün), aminoasit(araürün)) yapmak ve üretmek için çok az temel bileşen yani malzeme çeşidi kullanır. Üretim teknolojileri geliştikte imalat endüstrilerinde de çeşitli temel malzemeler kullanılacaktır. DNA, proteinler, yağ asitleri ve glikozdan oluşan çıktılar, canlı hücrelerinde o kadar evrenseldir ki bitki, bakteri, hayvanlar arasında birbirlerine rahatça aktarılıp yapı taşı olabilirler. Buradan gelecekte etkin bir işletmede ürün çeşitliliği oluşturulurken buzdolabının temel bir bileşeni televizyonda da kullanılabilir öngörüsünde bulunulabilir.

Merkezi metabolizmada yaklaşık 30 alt seviye ara ürün(intermediates) tanımlanabilir. Bunlar yukarıda bahsedilen temel ara ürünlerin yapımında kullanılır. Ürün çeşitliliğinin alt yapısını oluşturan temel farklı yapı taşları aşağıda gösterildiği gibidir:



Şekil 22: Hücrede Farklı Seviyelerdeki Ortak Yapılar

Farklı ürünleri oluşturan yapıtaşlarının aynı olması yanında, canlı hücresinde makinelerle(ribozom) ürünlerin yapıtaşları da aynıdır. Diğer bir ifadeyle hücre gerçekleştirdiği üretim sonrasında makinesini parçalarına ayrıştırıp bu parçalardan ürün ya da farklı bir makine yapabilmektedir. Merkezi metabolizma çevrimine de gönderebilmektedir. Şu an imalat endüstrilerinde kullanılan makinelerin sadece 20 modülden yapıldığını düşünelim(Demeester, 2004). Makinelerin üretimi çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilirdi. Makine çeşitliliği az sayıda modüler parçadan elde edilirdi. Canlı hücresi bu şekilde modüler yapılar kullanması sayesinde etkin olabilmekte ve çevre değişimine hemen uyum sağlayabilmektedir. Hücre makinelerini ve ürünlerini az miktarda ve geri dönüşümü olabilen bileşenler kullanarak inşa ettiği için çok çeşitli ürünleri istenilen zamanda istenilen miktarda üretebilmektedir. Gelecekte malzeme ve üretim teknolojilerinin ilerlemesiyle ulaşılabilecek bu özellikleri az da olsa bazı endüstrilerde görebilmekteyiz. Fransız-Alman işletmesi SEW küçük ve orta boyutta motorlar üretmektedir. Bir hatta yaklaşık 50 milyon müşteri tanımlı farklı motorlar bulunabilmektedir. Gereksinim olan parçaları birkaç modülde gruplayarak yaklaşık bin parça ile 50 milyon motor oluşturulabilmektedir.

Hücre arayollarının kapasitesi ürün talebi artışıyla düzenlenebilir. Arayol kapasitesi yetersiz kalıyorsa yeni enzimler devreye sokulabilir. Talep azaldığında da bu enzimler aminoasitlere ayrıştırılır. Bu aminoasitler de tekrar protein üretimi için kullanılır. Böylece israf önlenmiş olur. Hücrede her zaman yapım ve yıkım faaliyetleri devam etmektedir. Sürekli yenilenme olduğu için makine bakımı gibi işler olmamaktadır. Montaj ve çözüme çok hızlı ve problemsiz gerçekleştirildiği için makine yenilenmesi izlenimi verilmektedir. Yine bazı endüstrilerde makineyi

onarmaktansa yenilemek düşüncesini görebilmekteyiz. Singapur'daki Intel ve AMD'ye yarı iletken montajı ve kontrolü sağlayan üretici, süreçlerindeki bir makine bozulduğu zaman tedarikçisinden bire bir değiştirilmesini istemektedir. Makine maliyetinin işlerin durma maliyetinden düşük oluşu bu durumu uygun kılmaktadır. Düşünülebilir ki makine maliyetleri düştükçe kapasite eksiklik maliyeti arttıkça makinelerin değiştirilmesi fikri yaygınlaşacaktır. Değişim durumunda arızalı makineler yine tamir edilir. Fakat, üretim sahasında değil, tedarikçi tarafında yapılır. Canlı hücresinde yenileme faaliyeti çok daha gelişmiştir. Hücre makinenin bozulmasını da beklemez, bozulabilme ihtimali ortaya çıkmadan önce değiştirir(Demeester, 2004). Farklı bir yönü de makinenin tamamen geri dönüşüme uğramasıdır. Bu dönüşüm sonrasında aynı makine de oluşturulabilir. Farklı bir makine de yapılabilir.

İstenildiği gibi programlanabilen hızlı makineler, plastikte 3 boyutlu şekil işledikleri gibi yüksek sertlikte sinter metalleri de işleyebilirlerse makineler belli bir ürüne odaklanmışlıktan kurtulur ve genel bir hale gelebilir. Daha da ötesi kendilerini oluşturan parçaları da üretebilirler. Yüksek derecede parça ortaklığı ve ürün modülerliği imalat sistemlerinde kapalı döngüler oluşturabilir. Örnek olarak, plastik dönüştürücüler plastik atıkları petrol türevlerine dönüştürürler. Yani çok düşük seviyede hammaddeye dönüştürürler. Hücrede ise ürünler ortak kullanılan ara ürünlere dönüştürülür.

Canlı hücresinde gerçekleştirilen üretime bir başka benzeşimde metal endüstrisinde vardır. Geri dönüştürülen alüminyumun kullanılması, ham madde olarak kullanılmasından daha az maliyetlidir. Çünkü işlenmesi için %90 daha az enerji gereksinimi vardır. Ayrıca ham alüminyuma göre üretimi çeşitli bölgelerde gerçekleştirilmektedir. Üretilen yerlerin ölçeği de daha küçüktür. Amerika'da 50 alüminyum dönüştürücü varken, 3 rafineri boksiti ham alüminyuma dönüştürmektedir. Norveç'deki Hydro Norsk kamu şirketi yeni bir alüminyum dönüştürme süreci kullanmaktadır(Demeester, 2004). Bu şirket, Avrupa'nın çeşitli yerlerinde ve Amerika'da küçük alüminyum yeniden işleme fabrikaları kurmuştur.

Glikoz yıkımında belirli reaksiyonlar sonrasında asetil koenzim A oluşur. bu molekül 3 karbonludur ve glikoz protein yağ asitlerinin ortak bir bileşenidir. Bunların yıkımında bu molekül kendisini gösterir.

Canlı hücrenin davranışları ve organellerinin görevleri ve birbirleriyle olan etkileşimleri sistem biyolojisi gibi disiplinlerin daha da gelişmesiyle daha fazla netlik kazanacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda üretim sistemlerinin kontrolü ve organizasyonu için esnek bilgisayar mimarileri geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] “Small is Beautiful”, IEE Review, March 2005
- [2] Al-Araidah Omar M., “Simultaneous Facility Layout and Materials Handling System Design”, Thesis for Doctor of Philosophy, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 2005
- [3] Arai E., Shirase K., Wakamatsu H., et. al, “Role of Production Simulation for Human Oriented Production Systems”, Proceedings of 14th International Conference on Production Research, pp.758-761, 1997
- [4] BENYUS Janine M., **Biomimicry**, Perennial, New York, 2002
- [5] Bley H., Wuttke C.C., “Multiple Use of Simulation Models for Production Systems”, Proceedings of the 32nd CIRP International Sem. on Manufacturing Syst., 1999
- [6] Bozinovski Stevo M., Bozinovska Liljana A., “Manufacturing Science and Protein Biosynthesis”, Proceedings of World Multiconference on Systemics, Cybernetics, 2001
- [7] Bozinovski Stevo, “Motivation and Emotion in Anticipatory Behavior of Consequence Driven Systems” Proceedings of Workshop of Adaptive Behaviour in Anticipatory Learning Systems (ABiALS), 2002
- [8] Brooks Rodney, “The Cell Hijackers”, Technology Review; 107, 5; Academic Research Library pg. 31, Jun 2004
- [9] Brussel H. Van, Bongaerts L., Wvns J., et al., “A Conceptual Framework for Holonic Manufacturing: Identification of Manufacturing Holons”, Journal of Manufacturing Systems; 18, 1; ABI/INFORM Global pg. 35, 1999
- [10] Brussel H. Van, Wyns Jo, Valckenaers Paul, vd., “Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA”, Computers in Industry, Vol. 37, No. 3, sf. 255-276, 1998
- [11] Car Z., Hatono I., Ueda K., “Reconfiguration of Manufacturing Systems Based on Virtual BMS”, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33, No 1, 2004
- [12] Chan Kevin, King Calvin, Wright Paul, “COMPASS: Computer oriented materials, processes, and apparatus selection system”, Journal of Manufacturing Systems; 17, 4; ABI/INFORM Global, 1998
- [13] Chao Lawrence P., “Design Process Error-Proofing”, a Dissertation for Doctor of Philosophy, Mechanical Engineering, Stanford University, 2004
- [14] Chuah Keng Hoo, “Optimization and Simulation of Just-in-Time Supply Pickup and Delivery Systems”, A Dissertation for Doctor of Philosophy, College of Engineering at the University of Kentucky, 2004
- [15] Cicirello A. Vincent, Smith F. Stephen, “Insect Societies and Manufacturing”, Erişim: 17-05-2006,
<http://www.agent.ai/doc/upload/200302/smit01.pdf>

- [16] Czarnecki Hank, Loyd Nicholas, "Simulation of Lean Assembly Line for High Volume Manufacturing", working paper, Center for Automation and Robotics, 2005
- [17] Dardanis Demotrios, "The Cell Simulation", Master of Computer Science, Concordia University, Canada, 2002
- [18] Dekkers R., Sauer A. Schuh, et al., "Collaborations as Complex Systems", Proceedings of CAMSim, 2004
- [19] Demeester Lieven, Eichler Knut, Loch Christoph H., "Organic Production Systems", working paper, 2004
- [20] Donald Deidra L., Andreou Nick, Abell Jeffrey, et. al., "The New Design: The Changing Role of Industrial Engineers in The Design Process Through the Use of Simulation", Proceedings of the Winter Simulation Conference, 1999
- [21] Fuji N., Hatono I., Ueda K., "Reinforcement Learning Approach to Self-Organization in a Biological Manufacturing System Framework", ProQuest Science Journals, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers;, 218, B6, 2004
- [22] Fujii N., Kobayashi M., Makita T., vd., "Integration of Facility Planning and Layout Planning Using Self-Organization in Semiconductor Manufacturing" CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 34, No 4, 2005
- [23] Herrmann J.W., Ram E. Lin, B., Sarin S., "Adaptable Simulation Models for Manufacturing", Proceedings of the 10th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, 2000
- [24] Holonic Manufacturing Systems, Erişim: 07-05-2006, <http://www.mech.kuleuven.be/goa/hms-int/hms93.html>
- [25] Kahraman Cengiz, Beskese Ahmet, Irani Zahir, "Quantification of Flexibility in Advanced Manufacturing Systems Using Fuzzy Concept", international journal of production economics, 89, 45-46, 2004
- [26] Katz Z., Rand J. Enslin, "A Biologically Inspired Approach for Intelligent Decisions by Equipment in a Dynamic Manufacturing Environment", CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33, No 1, 2004
- [27] KOESTLER Arthur, **The Ghost in the Machine**, Pan Books Ltd., London, 1970
- [28] Leitao Paulo, Restivo Francisco, "A Framework for Distributed Manufacturing Applications", Erişim: 17-05-2006, <http://www.ipb.pt/~pleitao/papers/asi2000.pdf>
- [29] Mansour M. Ahmad, "A Generalizid simulation Model for Flexible Manufacturing Systems", Dissertation for Doctor of Philosopy, University of Missouri, Kansas, 2005

- [30] Melcher Arlyn J., Khouja Moutaz, Booth David E., “Toward a Production Classification System”, *Business Process Management Journal*; 8, 1; ABI/INFORM Global pg. 53, 2002
- [31] Mill F., Sherlock A., “Biological Analogies in Manufacturing”, *Computers in Industry* 43, 153-160, 2000
- [32] NGMS-IMS Project Interim Report, April 2000
- [33] Patricia Ryaby Backer (2005), *The Cause of the Industrial Revolution*, Erişim: 18.02.2006, www.engr.sjsu.edu/pabacker/causeIR.htm,
- [34] Pierreval H., Caux C., Paris J.L., et. al., “Evolutionary Approaches to the Design and Organization of Manufacturing Systems”, *Computers & Industrial Engineering* 44, 339–364, 2003
- [35] Primio Franco di, “Minimum Forms of Control in Prokaryotes and their Computational Meaning”, *The 5th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, 2001
- [36] Ramanathan Jay, “Fractal architecture for the Adaptive Complex Enterprise”, *Communications of the ACM*, Vol. 48, No. 5, May 2005
- [37] Roberts Joshua Mark, “Production Scheduling in a Lean Manufacturing Environment”, A Thesis for Master of Engineering, University of Louisville, 2005
- [38] Ryu Kwangyeol, “Fractal-based Reference Model for Self-reconfigurable Manufacturing Systems”, Department of Industrial Engineering, Pohang University of Science & Technology, August 2003
- [39] Schey John A., **Introduction to Manufacturing Processes**, McGrawhill, 3. baskı, 2000
- [40] Schlick Christopher, Reuth Ralph, Luczak Holger, “A Comparative Simulation Study of Work Processes in Autonomous Production Cells”, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 12 (1), 31–54, John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [41] Sisfontes-Monge Marco, “Inventory Simulation and Optimization Using System Dynamics, Structural Modelling Equations and Genetic Algorithms in the Drivetrain Division of an Automotive Manufacturer”, Adissertation for Doctor of Industrial Technology, University of Northern Iowa, 2005
- [42] Surya Goutham R., “Pull And Lean Manufacturing Systems Validation Using Simulation Modeling”, Thesis for Master of Science, Department of Mechanical & Industrial Engineering, University of Texas at El Paso, December 2004
- [43] Şimşek Burak, Albayrak Şahin, “Living Factory: Back to Koestler in Holonic Manufacturing”, *IEEE*, 2003
- [44] Takahashi K., Ishikawa N., Sadamoto Y., et al., “E-Cell 2: Multi-platform E-Cell Simulation System”, Vol. 19 no. 13, pages 1727–1729, 2003

- [45] Takahashi Kouichi, Yugi Katsuyuki, Hashimoto Kenta et. al., “Computational Challenges in Cell Simulation”, IEEE Intelligent Systems, 2002
- [46] Tharumarajah A., Wells A. J., Nemes L., “Comparison of Bionic, Fractal and Holonic Manufacturing System Concepts”, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1996
- [47] Tomita M., Hashimoto K., Takahashi K., et. al., “E-Cell: Software Environment for Whole Cell Simulation”, Bioinformatics, Vol.15, No.1, 1999
- [48] Tomita Masaru, “Whole-cell simulation: A Grand Challenge of the 21st Century”, Trends in Biotechnology Vol.19, No.6, June 2001
- [49] Ueda K., Fujii N., Kobayashi M., vd., “A Self-Organization Approach to Facility Layout Planning in Semiconductor Manufacturing”, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol. 33, No 6, 2004
- [50] Ulieru Mihaela, Brannen Robert W., Walker Scott S., “The Holonic Enterprise: A Model for Internet-enabled Global Manufacturing Supply Chain and Workflow Management”, ABI/INFORM Global, Integrated Manufacturing Systems, 2002
- [51] Ushio Toshimitsu, Motonaka Nobuyoshi, “Controlling Chaos in a Manufacturing System with Two Machines and Two Parts-Types Based on the Hogg-Hubermann Strategy”, IEEE, 1997
- [52] Vaario J., Ueda K., “An Emergent Modelling Method for Dynamic Scheduling”, Journal of Intelligent Manufacturing, No 9, Sayfa 129-140, 1998
- [53] Voss Chris, Blackmon Kate, “Differences in manufacturing strategy decisions between Japanese and Western manufacturing plants: the role of strategic time orientation”, Journal of Operations Management 16, 1998
- [54] Wiendahl H.P. , Lutz S., “Production in Networks”, Institute of Production Systems and Logistics (IFA), University of Hanover, Hanover, Germany, 2002
- [55] Wilson James M., “A comparison of the 'American System of Manufactures' circa 1850 with Just in Time methods”, Journal of Operations Management 16, 77-90, 1998
- [56] Zhang Mike Tao, Wang Yanfeng, “Doing by virtual experimenting”, Industrial Engineer, 37, 3; ABI/INFORM Global pg. 31, Mar 2005
- [57] Zhong Yongmin, Yuan Xiaobu, “3D Visualization of Discrete Event Simulation and its Applications in Virtual Manufacturing”, Erişim: 11:15 19-02-2006, [http://www.ijcc.org/on-line2\(pdf\)/pdf/ijcc4-3.pdf](http://www.ijcc.org/on-line2(pdf)/pdf/ijcc4-3.pdf)