

## Esnek Üretim Sistemlerinin Dinamik Çizelgelenmesi için Çoklu Etmen Yaklaşımı ve Yönlendirme Kurallarının Karşılaştırılması

Cenk ŞAHİN\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-6076-7794  
Rızvan EROL<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-6914-5062

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 19.01.2023

Kabul tarihi: 28.03.2023

Atıf şekli/ How to cite: ŞAHİN, C., EROL, R., (2023). Esnek Üretim Sistemlerinin Dinamik Çizelgelenmesi için Çoklu Etmen Yaklaşımı ve Yönlendirme Kurallarının Karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(1), 61-71.

### Öz

Üretim ortamlarında, makineler ve otomatik yönlendirmeli araçlar gibi sistem öğelerinin kontrol edilmesi zor olabilmektedir. Etmen tabanlı sistemler, üretim ortamlarında iş kesintileri, makine arızaları gibi dinamik olaylar meydana geldiğinde operasyonları yönetmek için etkili yöntemler sunmaktadır. Bu çalışmada, Çoklu Etmen Sistemi (MAS) mimarisi aracılığıyla esnek bir üretim sistemindeki AGV'lerin ve makinelerin dinamik çizelgeleme problemlerine uygulanmış ve elde edilen sonuçları literatürde yaygın olarak kullanılan yönlendirme kurallarıyla karşılaştırılmıştır. Çoklu etmen tabanlı yaklaşımlar dağıtılmış, stokastik, sürekli ve yüksek hesaplama karmaşıklığına sahiptir. Etmenler arasında yapılan müzakereler ve teklif verme sonucunda uygun çizelgeler ortaya çıkar. Literatürden alınan bir vaka çalışması etmen mimarisine uygulanmış ve çevrimiçi çizelgeleme kuralları (yönlendirme/sevk kuralları) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, MAS gerçek zamanlı olarak iyi çizelgeler üretebildiği ve makespan performans metriği açısından yaygın olarak kullanılan yönlendirme kuralları ile karşılaştırılabilir olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Etmen-tabanlı sistemler, Esnek üretim, Çizelgeleme, Simülasyon, Yönlendirme kuralları

### Comparison of Multi-Agent Approach and Dispatching Rules for Dynamic Scheduling of Flexible Manufacturing Systems

#### Abstract

In production environments, controlling system elements such as machines and automated guided vehicles can be challenging. Agent-based systems provide effective methods for managing operations when such dynamic events occur, such as job interruptions in production environments, machine breakdowns. Through a Multi-Agent System (MAS) architecture, this study attempts to solve the dynamic scheduling problem of AGVs and machines in a flexible manufacturing system, and compares it to dispatching rules commonly used in the literature. Multi-agent-based approaches are distributed,

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Cenk ŞAHİN, [cenksahin@cukurova.edu.tr](mailto:cenksahin@cukurova.edu.tr)

stochastic, continuous, and have high computational complexity. As a result of negotiations and bidding among agents, appropriate schedules emerge. A case study taken from the literature is applied to the architecture and compared to online scheduling rules (dispatching rules). Based on the results, it was found that the MAS is capable of generating good schedules in terms of makespan performance criteria in real time and is comparable to commonly used dispatching rules in terms of performance.

**Keywords:** Multi-agent system, Flexible manufacturing, Scheduling, Simulation, Dispatching rules

## 1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı ilerlemeler ve üretilen ürünlerde özelleştirilmiş özellikleri içerecek şekilde talep kalıplarındaki değişiklikler ve üretilen ürünlerin nispeten kısa yaşam döngüsü nedeniyle, imalat, giderek artan çeşitli talebi karşılamak için seri üretimden yarı özelleştirilmiş üretime bir 'paradigma kayması' geçirmektedir [1,2]. Bu nedenle hem akademi hem de endüstride, üretim sistemlerinin performansını ve değişen müşteri gereksinimlerine cevap verebilirliğini geliştirmek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Esnek Üretim Sistemleri (FMS), yirminci yüzyılın sonlarında oldukça rekabetçi bir üretim stratejisi olarak ortaya çıktı ve orta parti büyüklüklerinde ve orta çeşitlilikte iş parçaları üretmenin verimli bir yolu olarak geleneksel üretim sistemleri arasında yerini almıştır [2-4]. Son birkaç on yılda, üretim sistemlerinin üretkenliğini, kalite seviyesini ve maliyet rekabetçiliğini iyileştirmek için üretim sistemlerinin işleyişine yeni yönetim yaklaşımları önerilmiş ve bu yeni paradigmanın ortaya koyduğu zorlukların üstesinden gelmek için, üretim sistemleri için bazı temel gereksinimler tanımlanmıştır. En önemli gereksinim, üretim ortamında meydana gelen değişikliklere (talepteki dalgalanmalar, makine arızaları vb.) tepki verebilmektir. Son yıllarda, diğer yeni kavramlarla birlikte, holonik üretim sistemleri (HMS'ler) olarak adlandırılan, geleceğin üretim sistemlerinin bir sınıfını oluşturmak için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Kısaca, HMS, üretim alanına yeni ortaya çıkan yazılım yaklaşımlarını (örneğin Çoklu-Ajanlı Sistemler, doğadan ilham alan yöntemler) kullanarak sosyal organizasyon ve doğal sistemler felsefelerinin uygulanmasını içermektedir [1,5,6].

Esnek üretim sistemleri, günümüzün rekabetçi pazarlarının taleplerini karşılamak için hem üretim

esnekliği hem de yüksek üretkenlik elde etmeye çalışmaktadır [7]. Literatürde bulunan üretim esnekliği tanımları, ya doğrudan firmanın bağlamına atıfta bulunur ya da diğer disiplinlerde doğan esnekliğin genel tanımlarından türer. Genel bir bakış açısından esneklik, bir sistem ile dış ortamı arasındaki arayüzün özelliği olarak anlaşılabilir [8]. FMS, üretim esnekliğini ve verimliliğini kazanmak için bilgisayar kontrolü altında otomatik bir malzeme taşıma sistemi ile entegre edilmiş çeşitli parça tiplerinin orta büyüklükteki hacimlerini işleyebilen bir grup sayısal olarak kontrol edilen (NC) makinelerle donatılmıştır [2,9-12].

Tanımların aralığına rağmen, FMS'nin aşağıdaki üç alt sistemi içerdiği genel olarak kabul edilmektedir.

- Bir işleme sistemi: değişen kapasiteye sahip bir grup NC veya bilgisayarla sayısal olarak kontrol edilen (CNC) makineler. Bu öğeler, FMS'nin aynı anda farklı ürün türlerini işlemesini sağlar (parça esnekliği).
- Bir malzeme taşıma ve depolama sistemi: ara depolar ve robotlar, AGV'ler ve konveyörler gibi malzeme taşıma ekipmanları. Bu elemanlar, parça hareketinde esneklik sağlar.
- Bir bilgisayar kontrol sistemi: bu, tüm sistemin çalışmasını kontrol eder.

MacCarthy ve Liu'nun çalışmasında [7], FMS, geniş bir üretim sistemleri koleksiyonu için genel bir terim olarak kullanılmış ve dört sınıflandırma tanımlanmıştır. Bu sınıflandırmayı, malzeme taşıma sistemlerinin özellikleri karakterize etmektedir. Tek bir esnek makinenin (SFM), takım değiştirme kabiliyetine sahip tek bir CNC veya NC makinesinden, bir malzeme taşıma cihazından ve bir parça depolama tamponundan oluşan bilgisayar kontrollü bir üretim birimi olduğu bu FMS

türlerinde, Esnek bir üretim hücresi (FMC) bir ortak malzeme taşıma cihazını paylaşan bir grup SFM'den oluşan bir FMS türüdür. Çok makineli esnek üretim sistemi (MMFMS), iki veya daha fazla malzeme taşıma cihazı içeren veya başka bir şekilde Aynı anda iki veya daha fazla makineyi ziyaret etme ve bunlara hizmet verme yeteneğine sahip bir FMS türüdür. Çok hücreli esnek üretim sistemi (MCFMS) ise, tamamı otomatik bir malzeme taşıma sistemi ile birbirine bağlanan birkaç FMC'den ve gerekirse birkaç SFM'den oluşan bir FMS türüdür [7].

Modern üretim sistemleri tüm üretim süreci boyunca ürünleri verimli bir şekilde hareket ettirebilen bir malzeme taşıma sistemi (MHS) gerektirir. Tipik bir işin akış süresinin yalnızca %5'i işlemeye harcanır. Akış süresinin geri kalanında, iş bir depolama arabelleğindedir veya bir malzeme taşıma cihazı tarafından taşınmaktadır [13]. Malzeme taşıma, malzemelerin en ekonomik ve güvenli şekilde taşınmasıdır. Bu nedenle, MHS'nin birincil hedefi maliyetleri ve israfı azaltmak, ancak aynı zamanda üretkenliği ve hizmet kalitesini artırmaktır.

FMS'de kullanılan çeşitli malzeme taşıma ekipmanı türleri arasında, otomatik yönlendirmeli araçlar (AGV'ler), esnek imalatın malzeme taşıma desteği için verimli bir seçenek olarak kabul edilebilir ve modern üretim tesislerinin üretim hatlarında malzeme transferi için giderek daha fazla kullanılmaktadır. AGV'ler, itme arabaları, forkliftler veya konveyörler gibi sabit malzeme taşıma cihazlarına göre birçok avantaj sunabilmektedir. Alan kullanımı ile ilgili olarak, AGV'ler yalnızca belirli bir alanda geçici olarak çalışma alanı işgal eder. Ayrıca fabrika zemininde konveyörlerin yaptığı gibi fiziksel engeller oluşturmazlar ve bu nedenle koridor alanını diğer kullanıcılarla paylaşabilirler. Yayaları uyararak için ışık ve korna kullanmaları ve insan hatasını ortadan kaldırmaları nedeniyle forkliftlerden daha iyi bir güvenlik siciline sahiptirler [13-19].

Pratik imalat problemlerinin çoğu için, klasik çizelgeleme yaklaşımı, olası çizelgelerin sayısında üstel bir büyümeye yol açar. Ayrıca, saatler, hatta dakikalar süren bir karar verme süresi çok

uzundur. İyi çözümlere genellikle gerçek zamanlı olarak ihtiyaç duyulmaktadır [6]. Gerçek zamanlı çizelgeleme konusu son yıllarda birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Sayısal/niceliksel yaklaşım, simülasyon tabanlı yaklaşım, fırsatçı ve sezgisel tabanlı yaklaşım, öğrenme/örnek (sinir ağı) tabanlı yaklaşım, uzman sistem tabanlı yaklaşım, bilgi tabanlı yaklaşım ve Petri ağı tabanlı yaklaşım gibi gerçek zamanlı veya çevrimiçi çizelgeleme işlevini gerçekleştirmek için çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ancak bu yeni yaklaşımların etkinliği, hiyerarşik ve merkezi bir kontrol yapısı gerekliliği nedeniyle sınırlıdır. Başka bir deyişle, bir FMS'deki parça programları, çizelgeler ve üretim rotaları merkezi olarak bir hücre kontrol bilgisayarı tarafından atanır. Her makine, hücre denetleyicisi tarafından yapılan atamalara göre önceden atanmış görevleri gerçekleştirir. Bu yaklaşım, kaynak kesintilerini ele alma esnekliğinden yoksundur, bu nedenle bu sistemler yalnızca sistem çalışması sırasında hiçbir dalgalanma olmadığında iyi çözümler üretebilmektedir [5]. Bu nedenle, klasik çizelgeleme teorisini kullanarak optimal çözümler bulmaya çalışmak çoğu durumda gerçekçi değildir. Ancak, problem alanının karmaşıklığı, araştırmacıları merkezi optimizasyon yaklaşımları dışında bazı dağıtık yöntemlere yöneltmiştir [5,6]. Etmen (Ajan) tabanlı sistemler, bu tür dinamik sistemlerin yönetimi için etkili mekanizmalar sağlar. Ayrıca etmen teknolojisi, müzakere için ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı bilgiyi sağlar ve değişen ortama uygun dinamik bir yapıya sahiptir. Bu dinamik yapının, üretim sistemlerinin planlaması ve kontrolü problemlerinin çözümüne uygulanması ile elde edilebilecek etkili sonuçlar simülasyon yardımı ile gösterilmiştir [20-24]. Bu bağlamda, bu çalışmanın öncelikli konusu, Çoklu Etmen Tabanlı Sistem yaklaşımı kullanan bir FMS'de diğer sistem öğelerini (makinelerin kullanılabilirliği ve işlerin işlem rotaları vb.) dikkate alarak AGV'lerin çizelgeleme probleminin incelenmesidir. Bu çalışmanın özel amacı ise, MAS yaklaşımıyla gerçek zamanlı çizelgeleme için literatürden alınan bir vaka çalışması üzerinde simülasyon çalışması gerçekleştirmek ve bunu En Kısa Seyahat Mesafesi (STD), İlk Gelen İlk Hizmet Alır (FCFS) ve En Uzun Seyahat Mesafesi (LTD) gibi literatürde

sıklıkla kullanılan yönlendirme kurallarının sonuçları ile karşılaştırmaktır.

## 2. YÖNTEM

Etmen tabanlı sistemler oldukça genç bir araştırma alanıdır, bu nedenle yazılım ajanı için kesin bir tanım yoktur [25]. Etmen sistemleri, çok çeşitli karmaşık problemleri çözmek için giderek daha popüler hale gelmektedir. Etmen sistemleri teoride önemli bir temele ve aynı zamanda zorlu uygulamalar için kullanılan bir dizi uygulanmış sisteme sahiptir [26]. Çoklu etmen sistemleri (MAS), tek bir yazılım etmenin çözmesi karmaşık olan sorunlara yanıt bulmak için birlikte çalışan veya rekabet eden organize akıllı yazılım etmenlerinin bir koleksiyonudur. MAS, birbirleriyle ve çevreleriyle etkileşime giren bir dizi özerk etmeden oluşur. Buradaki özerklik terimi, etmenlerin kendi kararlarını alabilen aktif varlıklar olduğu anlamına gelir. Bu, başka birinin onlardan istediği işlemleri gerçekleştirmek için önceden belirlenmiş olduklarından, nesnelere için aynı değildir. Ancak bir etmen, hedeflerini ve önceliklerini ve bildiği bağlamı göz önünde bulundurarak talep edilen bir işlemi gerçekleştirip gerçekleştirmeyeceğine karar verebilmektedir [27].

Wooldridge ve Jennings'in [28] tanımına göre, "Etmen, bir ortamda bulunan ve tasarım hedeflerini karşılamak için bu ortamda özerk hareket etme yeteneğine sahip bir bilgisayar sistemidir". Farahvash ve Boucher'ın [29] tanımına göre, "Etmen, çevresini algılayan ve ona göre hareket eden özerk, hesaplamalı bir varlıktır". Etmenler, belirli görevleri kontrol etmek için otomatikleştirilmiş üretim ortamlarına entegre edilebilen olay güdümlü nesnelere sahiptir. Bir akıllı etmen ise, yerleşik (bir çevrede bulunan), otonom (bağımsız, dışarıdan kontrol edilmez), reaktif (çevresindeki değişikliklere tepki veren), proaktif (sürekli hedeflerin peşinden koşan), esnek (hedeflere ulaşmak için birden fazla yola sahiptir), sağlam (başarısızlıktan kurtulur, dirençli), sosyal (diğer ajanlarla etkileşime girer) özelliklere sahip bir yazılım parçasıdır [25,30]. Etmen mimarileri, gerçek dünyadaki, dinamik ve açık ortamlarda etkili davranışı destekleyen otonom bileşenlerin

altında yatan temel mekanizmalardır. Etmen mimarileri dört ana gruba ayrılabilir: mantık tabanlı, reaktif, katmanlı mimariler ve İnanç-Arzu-Niyet (BDI) [31,32].

**Mantık tabanlı etmenler:** Bu tür etmenlerde karar verme, mantıksal çıkarım yoluyla gerçekleşir. Bu etmenler, karar vermek için daha fazla muhakemenin gerekli olduğu durumlarda yararlıdır [32].

**Reaktif etmenler:** Bu tür etmenlerde, karar verme, durumdan eyleme bir tür doğrudan haritalama şeklinde uygulanır. Reaktif etmenlerin davranışları, basit bir akıl yürütme ile durumdan eyleme olarak uygulanır ve bu davranışlar birkaç düzeyde ortaya çıkabilir. Alt seviyedeki davranışlar, failin daha yüksek seviyedeki davranışlarına göre daha yüksek önceliğe sahiptir [32].

**Katmanlı etmenler:** Bu tür etmenlerde karar verme, çeşitli yazılım katmanları aracılığıyla gerçekleştirilir. Bir etmen için reaktif ve proaktif davranışlara sahip olmak için, açık bir ayrışma, etkileşimli katmanlar hiyerarşisinde bu farklı davranış türleriyle başa çıkmak için ayrı alt sistemler oluşturmayı içerir. Katmanlı mimarilerde katmanlar arasında iki tür kontrol akışı gözlenebilir: yatay ve dikey katmanlama [32].

BDI mimarileri en popüler etmen mimarileridir. BDI paradigması, planlama sorununa yönelik mevcut yapay zekâ yaklaşımlarıyla algılanan bir soruna yanıt olarak geliştirilmiştir. Planlama problemi şu şekilde ifade edilebilir: "Bir hedef verildiğinde, bu amaca ulaşacak bir dizi eylem oluşturun" [30]. Bu tür araçlarda karar verme, etmenin inançlarını, arzularını ve niyetlerini temsil eden veri yapılarının manipülasyonuna bağlıdır. Bu etmenler, insan benzeri davranışa ihtiyaç duyan sistemler için kullanışlıdır [32].

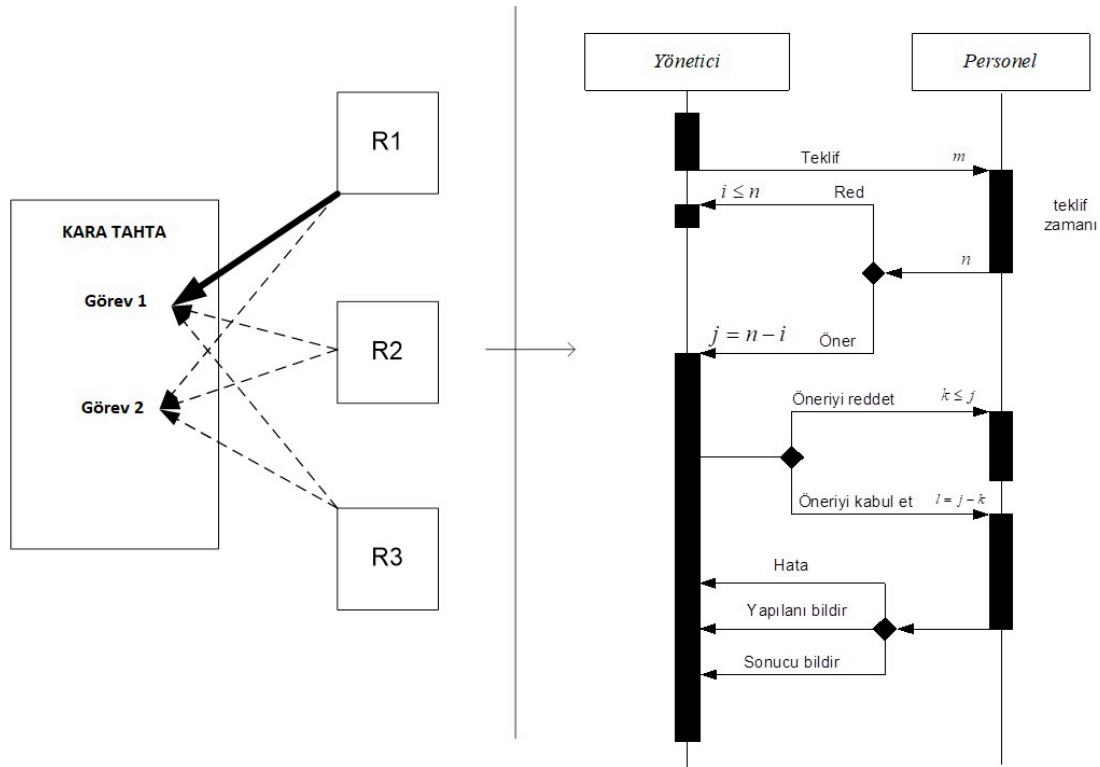
Müzakere mekanizması, merkezi olmayan bir ortamda iş birliğine dayalı karar vermeyi destekler. Mekanizma, üretim planlama, çizelgeleme ve izleme işlevselliği için geçerlidir. Mekanizma, karar verme süreçlerinde iletişim için bir protokol ve bir mesaj dili sağlar. Ajanlar arasında görev ve

kaynak tahsisi ve organizasyon yapısının belirlenmesi için önemli bir koordinasyon tekniği, Sözleşme Ağı Protokolüdür (CNP) [31]. Belki de en popüler müzakere protokolü, Sözleşme-Ağı protokolüdür. Protokol, iki rolü (yönetici ve teklif veren) içeren dört etkileşim aşamasından oluşur:

- **Duyuru aşaması:** Yönetici, kaynağı bir dizi ortak aracıya (teklif verenler) duyurur.
- **Teklif aşaması:** İstekliler tekliflerini yöneticiye gönderir.
- **Atama aşaması:** Yönetici en iyi teklifi seçer ve buna göre kaynağı atar.
- **Confirmation phase:** Seçilen teklif sahibi, kaynağı elde etme niyetini teyit eder.

Herhangi bir etmen, bu iki rolden birisini üstlenerek ve protokolü izleyerek bir etkileşim başlatabilir. Protokol birden çoğa bir protokoldür ve tek bir görevin (veya kaynağın) tek bir yükleniciye atanmasına yol açar (yani, ortaya

çıkan anlaşma, tek bir öğeyle ilgili bire bir anlaşmadır) [33]. Bir sipariş etmen ile AGV etmen arasındaki bu etkileşim protokolünün gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Saf heterarşik sistemlerde kullanılan CNP’nin orijinal versiyonu ile karşılaştırıldığında, karar tamamen sistemin yapısını oluşturan varlıklar arasında dağıtılır ve her düğüm genellikle eş zamanlı olarak hem yönetici hem de yüklenici rollerini üstlenirler. Önerilen sistemde CNP ve karatahta mekanizmaları birlikte yürütülmektedir. Tüm görevler öncelikle bir kamusal alan olan karatahta sistemine yazılır. Yetenekli ve mevcut kaynaklardan biri (teklif veren) görevlerden birini seçer ve çözümünü veya önerisini CNP mekanizmasını başlatan rasyonel yöneticiye gönderir. Şekil 1’deki örnekte karatahtada iki görev vardır. Görev 1, Kaynak 1 tarafından seçilir ve Kaynak 1’in (R1) teklifi Görev 1’e gönderilir. İlk teklifin alınmasından sonra Görev 1 etmeni, CNP’de gösterilen bir yönetici olur ve müzakere aşamasını yürütür.



Şekil 1. Modifiye edilmiş sözleşme-ağ etkileşim protokolü [34]

## **2.1. Esnek Üretim Sistemi için Önerilen Çoklu Etmen Tabanlı Sistem**

Esnek Üretim Sistemleri için önerilen mimari iki paradigmaya dayanmaktadır: çok etmenli sistemler ve holonik sistemler. Bu sistemde dört ana holon türü ve bunlar arasında üç temel holon türü vardır: sipariş holonu, ürün holonu ve kaynak holonu. Personel holonu, temel holonları tamamlayıcı bir holon görevi görür. Bu dört holon, genel holon taksonomisine karar verir. Önerilen model, PROSA referans mimarisi üzerine inşa edilmiştir. Referans mimarisinin yapısı, üç tür temel holon etrafında inşa edilmiştir: “sipariş holonları”, “ürün holonları” ve “kaynak holonları”. Esnek üretim sistemi açısından önerilen mimari, yönetici etmeni, AGV sistem holonu, sipariş sistemi holonu ve makine sistemi holonundan oluşmaktadır.

Çoklu Etmen tabanlı tasarımdaki etmen türleri, işlevlerine ve ilgili sistem hedeflerine göre belirlenir. Önerilen modelde, iki grup etmen tanımlanmaktadır: mantıksal ve fiziksel etmenler.

AGV ve Makine Etmenleri, simülasyonun başlangıcından simülasyonun sonuna kadar sistemde bulunurken, Operasyon Etmeni gibi diğer etmenler ise işin geliş saatinde başlayıp işten ayrıldıktan sonra sistemdeki işlevleri sona erer. Başlangıçta ikisi hariç tüm etmenler etmen tipi olarak tanımlanmaktadır. Personel Etmen ve Yönetici Etmen bir tür olarak tanımlanmamıştır. Bunun nedeni, önerilen etmen sisteminde yalnızca bir Yönetici ve bir Personel Temsilcisi olmasıdır. Diğer etmen türleri ise gerektiğinde birden fazla üretilebilen yani sisteme dahil edilebilen etmenlerdir. Önerilen bu mimaride yer alan etmenlerin tarafından kendi programlarını oluşturmak için kullanılan iş birliği algoritmaları hakkında ayrıntılar için Şahin'in (2010) [34] tez çalışmasına atıfta bulunuyoruz. Çoklu Etmen tabanlı sistemin performans sonuçları, literatürde yaygın olarak kullanılan STD, FCFS ve LTD yönlendirme kuralları ile karşılaştırılırken, etmenlerin işbirlikçi özellikleri kaldırılıp bunların

yerine sadece yönlendirme kuralları ile çalışması sağlanarak sonuçlar elde edilmiştir.

## **3. SONUÇLAR**

MAS sistemini, çevrimiçi çizelgelenimin ana araçları olan bazı yönlendirme kuralları ile karşılaştırılması için Bilge ve Ulusoy'un çalışmasında [35] yer alan test problemleri ve tesis yerleşim düzenleri kullanılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu test problemlerinde farklı işlem sıralarına ve işlem sürelerine sahip on farklı iş seti ve dört farklı tesis yerleşimi oluşturulmuş ve problem tanımında sunulmuştur. Problemler oluşturulurken dikkate alınan önemli bir özellik, seyahat sürelerinin ve işlem sürelerinin göreceli büyüklüğüdür. Bu özellik, oran ( $t/p$ ) olarak temsil edilir, burada  $t$  seyahat süresi matrisindeki sıfır olmayan tüm girişlerin ortalamasıdır ve  $p$ , tüm işlem sürelerinin ortalamasıdır. Problemler iki grupta toplanmıştır; biri nispeten düşük ( $t/p$ ) oranlı ve diğeri nispeten yüksek ( $t/p$ ) oranlıdır. Bu on iş setinin ve dört tesis yerleşiminin farklı kombinasyonları 82 örnek problem oluşturmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada MAS ile karşılaştırmada kullanılan AGV yönlendirme kuralları, En Kısa Seyahat Mesafesi (STD), İlk Gelen Hizmet Alır (FCFS) ve En Uzun Seyahat Mesafesidir (LTD).  $t/p$  oranı  $>0,25$  için vaka çalışmasının sonuçlarından elde edilen makespan değerleri Çizelge 1'de gösterilmektedir ve çizelgede ilk sütunda verilen örnek problemleri belirtmek için bir kod kullanılmıştır. D'yi takip eden rakam, iş setini ve tesis yerleşimini belirtmektedir. Örneğin D41 ile ifade edilen deneyde, 4 numaralı iş seti ve 1 numaralı tesis yerleşimi kullanılmıştır. Çizelge 1'den görülebileceği gibi, MAS,  $t/p$  oranı  $>0,25$  için diğer yönlendirme kurallarına göre daha kısa bir makespan değerine sahip çizelgeler üretmiştir. 40 örnekten 30'unda MAS en iyi çizelgeleri üretmiştir. Bu sonuçlara göre MAS, makespan açısından Tesis Yerleşimi 2 ve 3'te Tesis Yerleşimi 1 ve 4'e göre daha iyi performans sergilemektedir. Yönlendirme kuralları arasında STD diğer kurallara hakimdir ve 40 örnekten 31'inde en iyi çizelgeleri üretmiştir.

**Çizelge 1.** t/p oranı>0,25 için yönlendirme kuralları ile MAS sonuçlarının karşılaştırılması

Deney numarası	MAS	FCFS	STD	LTD	Deney numarası	MAS	FCFS	STD	LTD
D11	130	133	126*	144	D13	<b>109*</b>	110	110	126
D 21	<b>143*</b>	162	147	160	D23	<b>98*</b>	132	118	128
D 31	142	138*	138*	144	D33	<b>103*</b>	130	126	130
D 41	<b>198*</b>	210	220	237	D43	155	172	143*	197
D51	130	134	124*	140	D53	109	117	103*	126
D61	<b>153*</b>	166	162	166	D63	<b>128*</b>	143	143	159
D71	<b>129*</b>	147	143	155	D73	<b>93*</b>	109	109	135
D81	<b>196*</b>	251	217	246	D83	<b>172*</b>	210	182	210
D91	178	155*	163	170	D93	<b>119*</b>	122	132	130
D101	<b>188*</b>	155	163	170	D103	<b>158*</b>	180	180	183
D12	<b>98*</b>	110	104	118	D14	168	160*	164	182
D22	<b>86*</b>	118	104	114	D24	<b>169*</b>	198	172	200
D32	<b>114*</b>	116	116	116	D34	<b>167*</b>	184	182	203
D42	<b>129*</b>	155	151	179	D44	<b>242*</b>	246	247	270
D52	<b>98*</b>	104	101	118	D54	<b>168*</b>	172	168	170
D62	<b>123*</b>	135	135	133	D64	<b>189*</b>	200	190	200
D72	<b>92*</b>	107	109	135	D74	<b>156*</b>	188	173	200
D82	<b>172*</b>	204	180	204	D84	251	308	246*	313
D92	123	119*	128	119*	D94	<b>181*</b>	183	190	190
D102	<b>154*</b>	164	164	160	D104	246	230*	249	255

**Çizelge 2.** t/p oranı<0.25 için yönlendirme kuralları ile MAS sonuçlarının karşılaştırılması

Deney numarası	MAS	FCFS	STD	LTD	Deney numarası	MAS	FCFS	STD	LTD
D11	<b>135*</b>	140	140	143	D13	<b>151*</b>	174	178	156
D21	<b>157*</b>	171	171	171	D23	<b>129*</b>	149	146	144
D31	<b>154*</b>	159	159	159	D33	228	170	170	162
D41	<b>211*</b>	220	220	220	D43	111	107	113	107
D51	118	116	116	117	D53	<b>198*</b>	203	203	203
D61	<b>204*</b>	211	211	211	D63	<b>132*</b>	137	138	137
D71	<b>138*</b>	145	145	148	D73	<b>273*</b>	325	326	325
D81	<b>330*</b>	335	337	335	D83	<b>187*</b>	191	199	190
D91	<b>191*</b>	200	201	200	D93	<b>266*</b>	274	275	274
D101	<b>269*</b>	281	288	281	D103	<b>137*</b>	145	145	145
D12	<b>127*</b>	136	135	135	D14	<b>230*</b>	245	245	245
D22	<b>151*</b>	160	162	162	D24	<b>155*</b>	159	170	162
D32	<b>144*</b>	147	147	147	D34	<b>227*</b>	237	237	235
D42	<b>161*</b>	167	167	220	D44	<b>344*</b>	348	348	348
D52	<b>110*</b>	110	113	111	D54	<b>158*</b>	170	170	170
D62	<b>196*</b>	198	198	198	D64	<b>211*</b>	217	217	217
D72	<b>132*</b>	136	137	135	D74	158	156	157	152
D82	<b>319*</b>	324	327	324	D84	<b>206*</b>	211	211	211
D92	<b>187*</b>	191	196	191	D94	<b>331*</b>	350	351	339
D102	<b>266*</b>	275	281	275	D104	<b>195*</b>	205	206	205
D130	<b>134*</b>	134	134	134	D13	<b>276*</b>	287	287	287

Çizelge 2’de, t/p oranı<0,25 için vaka çalışmasının sonuçları gösterilmektedir. Çizelge 2’den de görülebileceği gibi, MAS, t/p oranı<0,25 için diğer yönlendirme kurallarından daha iyi makespan değerine sahip çizelgeler üretmiş ve daha iyi bir performans göstermiştir. 42 örnekten 38’inde MAS en iyi çizelgeleri üretmiştir. Gönderim kuralları arasında hiçbir yöntem diğer kurallara baskın değildir ve hemen hemen aynı çizelgeleri üretmişlerdir.

Literatürden alınan test problemleri statik problemlerdir ve problem setleri en fazla sekiz iş içermektedir ve sistemde her zaman iki adet AGV olduğu varsayılmıştır. MAS ve STD dağıtım kuralı arasında daha fazla analiz ve daha doğru karşılaştırma yapmak için, çizelgeleme kuralları aşağıdaki deneysel koşullar altında test edilmiştir;

- Değişken sayıda AGV
- Değişken sayıda iş (uzun süreli çalışma).
- Yeni işlerin rastgele varış zamanı.

İşlerin sisteme gelişinin, ortalama 10 zaman birimiyle üstel olarak dağıldığı varsayılmıştır. Beş farklı iş seti sisteme gelebilir olarak ayarlanmıştır. Her bir iş setinin sisteme ulaşma olasılıkları 0,20 olarak ayarlanmıştır. Bilge ve Ulusoy’un [35] çalışmasında, İş Seti 3 (Job Set 3) başlığı altında verilen her iş setinin rotaları ve işlem süreleri kullanılmıştır. Makineler arasındaki taşıma sürelerinin de önceden bilindiği varsayılmıştır ve örnek olay incelemesinde, makineler arasındaki taşıma sürelerini temsil etmek için Tesis Yerleşimi 1 ve 4 (Layout 1 ve 4) olarak anılan tesis yerleşimleri kullanılmıştır [30]. Diğer simülasyon modeli özellikleri örnek olay incelemesiyle aynıdır.

**Çizelge 4.** Deneysel tasarım sonuçları

Deneysel numarası	Tesis yerleşimi	AGV sayısı	İş sayısı	MAS (Makespan)	Deneysel numarası	Tesis yerleşimi	AGV sayısı	İş sayısı	STD (Makespan)
D1	4	2	20	354	D13	4	2	20	533
D2	4	3	20	275	D14	4	3	20	378
D3	4	4	20	302	D15	4	4	20	404
D4	1	2	20	380	D16	1	2	20	423
D5	1	3	20	314	D17	1	3	20	395
D6	1	4	20	278	D18	1	4	20	299
D7	4	2	50	1129	D19	4	2	50	1215

**Çizelge 3.** Faktörler ve seviyeleri için deneysel tasarım

Factor	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A. AGV sayısı	2	3	4
B. İş sayısı	20	50	-
C. Tesis yerleşimi	1	4	-

Çizelgeleme yaklaşımlarını değerlendirmek için tam faktör analizi kullanılmıştır. Yapılan ön simülasyon çalışmalarında, sistemde 4 AGV bulunması durumunda neredeyse üretim sisteminin tam kapasitesine ulaştığı ve sisteme daha fazla AGV eklenirse kaynak israfı olacağı tespit edilmiştir. Buna göre deneysel tasarım, üç farklı sayıda AGV (2, 3, 4), iki farklı yerleşim (Tesis Yerleşimi 1 ve 4) ve iki farklı sayıda iş (20 ve 50) içermektedir ve tüm faktör seviyesi kombinasyonlarını araştırmak için 12 deney (3x2x2) gereklidir. Ortak rasgele sayılar, her faktör kombinasyonu için çalışmalar boyunca aynı deneysel koşulu sağlamak için kullanılmıştır. Tam faktöriyel tasarımda kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 3’te, sonuçlar ise Çizelge 4’te verilmiştir.

Çizelge 4’te görüldüğü gibi, MAS tüm deneyler için STD’ye göre daha iyi çizelgeler üretmiştir. STD için hesaplanan Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değeri %21’dir. Bu sonuçlara göre dinamik bir ortamda MAS’ın ürettiği çizelgeler makespan performans değeri açısından STD’den elde edilen çizelgelere göre daha kısa olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, MAS’ın kendi aralarında ve çevreleriyle etkileşime giren bir dizi otonom etmeden oluşmasıdır; bu nedenle daha isabetli kararlar alabilmektedirler.



Çizelge 4. (Devam)

<b>D8</b>	4	3	50	941	<b>D20</b>	4	3	50	1132
<b>D9</b>	4	4	50	688	<b>D21</b>	4	4	50	756
<b>D10</b>	1	2	50	1032	<b>D22</b>	1	2	50	1215
<b>D11</b>	1	3	50	850	<b>D23</b>	1	3	50	942
<b>D12</b>	1	4	50	711	<b>D24</b>	1	4	50	853

#### 4. TARTIŞMA

Pratik imalat problemlerinin çoğu için, klasik çizelgeleme yaklaşımı, olası çizelgelerin sayısında üstel bir büyümeye yol açar. Ayrıca, saatler, hatta dakikalar süren bir karar verme süresi çok uzundur. İyi çözümlere genellikle gerçek zamanlı olarak ihtiyaç duyulur. Etmen tabanlı sistemler, bu tür dinamik sistemlerin yönetimi için etkili mekanizmalar sağlar. Ayrıca etmen teknolojisi, müzakere için ihtiyaç duyulan gerçek zamanlı bilgileri sağlar ve değişen ortama uygun dinamik bir yapıya sahiptir. Bu bağlamda, AGV'lerin çizelgelenmesi için diğer sistem öğeleri (makinelere kullanılabilirliği ve işlerin işleme yolları vb.) dikkate alınarak MAS tabanlı kontrol mekanizması önerilmiştir. Bu çalışmada, esnek üretim sistemi için MAS tabanlı çizelgeleme sistemi yaklaşımı, klasik sevk kuralları ile karşılaştırılmış ve bu durumda MAS sisteminin oldukça rekabetçi olduğu görülmüştür.

Literatürde bu alanda hala daha derinlemesine çalışılması gereken bazı boşluklar vardır. Bu boşluklar, gelecekteki araştırmalar için yön gösterici olacaktır. En umut verici olanlar şu şekilde sunulmaktadır:

- Bir üretim sisteminde meydana gelebilecek kaynak kesintileri gibi diğer beklenmeyen olay türleriyle başa çıkmak için çok etmenli sistemi tasarımlarına ihtiyaç vardır.
- Üretim sistemlerinde başka bir performans kriteri sınıfı, teslim tarihlerine dayanmaktadır. Son zamanlarda "ortalama gecikme ve maksimum gecikme" performans kriteri, tam zamanında üretim ortamını yakından yansıttığı için daha sık kullanılmaktadır. Önerilen sistem, güvenilir teslim tarihi atamak için genişletilebilir ve teslim tarihleri performans

kriterine dayalı olarak performansını test edebilir.

- Trafik kontrolü, sıkışıklık, makine arızası veya duruş süresi, hurda, yeniden çalışma, akü değiştirici için araç sevkiyatı gibi konular bu çalışmada dikkate alınmamıştır ve gerçek zamanlı kontrol sırasında dikkate alınması gereken konular olarak bırakılmıştır. Bu tür sorunlarla başa çıkmak için çok etmenli bir sistem geliştirilebilir ve performans sonuçları tartışılabilir.

#### 5. REFERANSLAR

1. Gou, L., Luh, P.B., Kyoya, Y., 1998. Holonic Manufacturing Scheduling: Architecture, Cooperation Mechanism, and Implementation. *Computers in Industry*, 37(3), 213-231.
2. Jerald, J., Asokan, P., Saravanan, R., Delphin Carolina Rani A., 2006. Simultaneous Scheduling of Parts and Automated Guided Vehicles in an FMS Environment Using Adaptive Genetic Algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(5), 584-589.
3. Wang, J., Deng, Y., 1999. Incremental Modeling and Verification of Flexible Manufacturing Systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10(6), 485-502.
4. Veeravalli, B., Rajesh, G., Viswanadham, N., 2002. Design and Analysis of Optimal Material Distribution Policies in Flexible Manufacturing Systems Using a Single AGV. *International Journal of Production Research*, 40(12), 2937-2954.
5. Lun, M., Chen, F., 2000. Holonic Concept Based Methodology for Part Routing on Flexible Manufacturing Systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16(7), 483-490.

6. Babiceanu, R.F., Chen, F.F., Sturges, R.H., 2005. Real-Time Holonic Scheduling of Material Handling Operations in A Dynamic Manufacturing Environment. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21(4-5), 328-337.
7. McCarthy, B., Liu, J., 1993. A New Classification Scheme for Flexible Manufacturing Systems. *The International Journal of Production Research*, 31(2), 299-309.
8. De Toni, A., Tonchia, S., 1998. Manufacturing Flexibility: A Literature Review. *International Journal of Production Research*, 36(6), 1587-1617.
9. Ross, E.A., Mahmoodi, F., Mosier, C.T., 1996. Tandem Configuration Automated Guided Vehicle Systems: A Comparative Study. *Decision Sciences*, 27(1), 81-102.
10. Seo, Y., Egbelu, P.J., 1999. Integrated Manufacturing Planning for an AGV-Based FMS. *International Journal of Production Economics*, 60, 473-478.
11. Farling, B., Mosier, C., Mahmoodi, F., 2001. Analysis of Automated Guided Vehicle Configurations in Flexible Manufacturing Systems. *International Journal of Production Research*, 39(18), 4239-4260.
12. Haq, A.N., Karthikeyan, T., Dinesh, M., 2003. Scheduling Decisions in FMS Using A Heuristic Approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(5), 374-379.
13. Hall, N.G., Sriskandarajah, C., Ganesharajah, T., 2001. Operational Decisions in AGV-Served Flowshop Loops: Scheduling. *Annals of Operations Research*, 107(1), 161-188.
14. Ganesharajah, T., Hall, N.G., Sriskandarajah, C., 1998. Design and Operational Issues in AGV-Served Manufacturing Systems. *Annals of Operations Research*, 76, 109-154.
15. Shen, Y.-C., Kobza, J.E., 1998. A Dispatching-Rule-Based Algorithm for Automated Guided Vehicle Systems Design. *Production Planning & Control*, 9(1), 47-59.
16. Reveliotis, S.A., 2000. Conflict Resolution in AGV Systems. *Iie Transactions*, 32(7), 647-659.
17. Qiu, L., Hsu, W.J., Huang, S.Y., Wang, H., 2002. Scheduling and Routing Algorithms for Agvs: A Survey. *International Journal of Production Research*, 40(3), 745-760.
18. Dotoli, M., Fanti, M., 2004. Coloured Timed Petri Net Model for Real-Time Control of Automated Guided Vehicle Systems. *International Journal of Production Research*, 42(9), 1787-1814.
19. Singh, N., Sarngadharan, P., Pal, P.K., 2011. AGV Scheduling for Automated Material Distribution: A Case Study. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 219-228.
20. Komma, V.R., Jain, P.K., Mehta, N.K., 2011. an Approach for Agent Modeling in Manufacturing on JADE™ Reactive Architecture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52, 1079-1090.
21. Erol, R., Şahin, C., Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., 2012. A Multi-Agent Based Approach to Dynamic Scheduling of Machines and Automated Guided Vehicles in Manufacturing Systems. *Applied Soft Computing*, 12(6), 1720-1732.
22. Sahin, C., Demirtaş, M., Erol, R., Baykasoğlu, A., Kaplanoğlu, V., 2017. A Multi-Agent Based Approach to Dynamic Scheduling with Flexible Processing Capabilities. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28, 1827-1845.
23. Ricardo Rodríguez, A.R., Benítez, I.F., González Yero, G., Núñez Alvarez, J.R., 2022. Multi-Agent System for Steel Manufacturing Process. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12(3), 2441-2453.
24. Azeroual, M., Boujoudar, Y., Aljarbouh, A., Fayaz, M., Qureshi, M.S., El Moussaoui, H., El Markhi, H., 2022. Advanced Energy Management and Frequency Control of Distributed Microgrid Using Multi-Agent Systems. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 23(5), 755-766.
25. Padgham, L., Winikoff, M., 2005. *Developing Intelligent Agent Systems: A Practical Guide*. John Wiley & Sons, England, 221.
26. Padgham, L., Lambrix, P., 2005. *Formalisations of Capabilities for BDI-Agents*.

- Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 10(3), 249-271.
27. Cil, I., Mala M., 2010. A Multi-Agent Architecture for Modelling and Simulation of Small Military Unit Combat in Asymmetric Warfare. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1331-1343.
  28. Wooldridge, M., Jennings, N.R., 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. *The Knowledge Engineering Review*, 10(2), 115-152.
  29. Farahvash, P., Boucher, T.O., 2004. A Multi-Agent Architecture for Control of AGV Systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20(6), 473-483.
  30. Evertsz, R., Fletcher, M., Jones, R., Jarvis, J., Brusey, J., Dance, S., 2003. Implementing Industrial Multi-Agent Systems Using JACK™. In *Programming Multiagent Systems, First International Workshop (ProMAS'03)*, 3067, 18-48.
  31. Bellifemine, F.L., Caire, G., Greenwood, D., 2007. *Developing Multi-Agent Systems with JADE*. John Wiley & Sons, England, 312.
  32. Komma, V.R., Jain, P.K., Mehta, N.K., 2011. An Approach for Agent Modeling in Manufacturing on JADE™ Reactive Architecture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9), 1079-1090.
  33. Bordini, R.H., Braubach, L., Dastani, M., Seghrouchni, A.E.F., Gomez-Sanz, J.J., Leite, J., O'Hare, G., Pokahr, A., Ricci, A., 2006. A Survey of Programming Languages and Platforms for Multi-Agent Systems. *Informatica*, 30(1).
  34. Şahin, C., 2010. Multi-Agent Approach for the Scheduling of Manufacturing Systems. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 116.
  35. Bilge, Ü., Ulusoy, G., 1995. A Time Window Approach to Simultaneous Scheduling of Machines and Material Handling System in an FMS. *Operations Research*, 43(6), 1058-1070.

