

**Dinamik Atölye Çizelgeleme Problemleri İçin
Teslim Zamanı Belirleme ve Yeni Sevk Etme
Kuralları**

Aydın TEYMOURIFAR

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Ocak 2014

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Aydın TEYMOURIFAR'ın “Dinamik Atölye Çizelgeleme Problemleri İçin Teslim Zamanı Belirleme ve Yeni Sevk Etme Kuralları ” başlıklı Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 14.01.2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Yard. Doç Dr. GÜRKAN ÖZTÜRK
Üye :	Yard. Doç. Dr. TUĞBA SARAÇ
Üye :	Yard. Doç. Dr. HALUK YAPICIOĞLU

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİNAMİK ATÖLYE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN TESLİM ZAMANI BELİRLEME VE YENİ SEVK ETME KURALLARI

Aydın TEYMOURIFAR

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Gürkan ÖZTÜRK

2014, 73 Sayfa

Bu çalışmada dinamik atölye çizelgeleme problemleri için, regresyon ve sinir ağları temelli yeni teslim zamanı atama modelleri önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin literatürde mevcut olan diğer yöntemler ile karşılaştırılmasında kullanılmak üzere, dinamik atölye çizelgeleme problemi için tanımlanmış olan bir test ortamı dikkate alınarak, MATLAB programı ile çeşitli benzetim modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen benzetim modelleri analitik sonuçlar ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda, önerilen yöntemlerin diğer yöntemler karşısında rekabet gücünün yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca ele alınan problem türü için hem işlerin hem de operasyonların özelliklerini göz önünde bulunduran iki yeni sevk etme kuralı tanımlanmıştır. Sevk etme kuralları için gerçekleştirilen denemeler sonrasında, yüksek rekabet gücüne sahip bu sevk etme kurallarından birinin her zaman diğer sevk etme kurallarına göre en iyi sonucu verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik atölye çizelgeleme ortamı, sevk etme kuralları, teslim zamanı atama modelleri, yapay sinir ağları

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DUE DATE ASSIGNMENT AND NEW DISPATCHING RULES FOR DYNAMIC JOB SHOP SCHEDULING

Aydın TEYMOURIFAR

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Industrial Engineering Program**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gürkan ÖZTÜRK

2014, 73 Pages

In this thesis, regression and neural network based due date assignment models have been proposed for dynamic job shop scheduling problem. Proposed methods have been compared with other methods available in the literature for dynamic shop scheduling problems in a test environment and for this, various of MATLAB simulation models have been developed. Simulation models have been verified by comparing with analytical results for this environment. The models give competitive results comparing other models. In addition, two new dispatching rules have been proposed for the test environment those consider both jobs and operations features. One of these competitive dispatching rules gives the best results comparing other dispatching rules that exist in the literature.

Keywords : Dynamic job shop scheduling, dispatching rules, due date assignment models, artificial neural networks

TEŞEKKÜR

Öğrencisi olduğum günden beri desteğini esirgemeyen, her açıdan kendime örnek almaya çalıştığım değerli hocam sayın Gürkan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim-öğretim hayatım boyunca üzerimde emeği olan hocalarıma, destekleri ile yanımda olan arkadaşlarıma ve beni yetiştirip bu günlere ulaşmamı sağlayan aileme teşekkür ederim.

Aydın TEYMOURIFAR

OCAK 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ	7
2.1. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterim Şekli	7
2.2. Çizelgeleme Problemlerindeki Bazı Kavramlar	8
2.3. Çizelgeleme Problemlerinde Bazı Özel Örnekler.....	10
3. DİNAMİK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ ve UYGULANAN YÖNTEMLER	22
3.1. Dinamik Atölye Tipi Çizelgelemede Teslim Zamanı Atama Modelleri	22
3.1.1. Dışsal teslim zamanı belirleme.....	22
3.1.2. İçsel teslim zamanı belirleme	23
3.2. Dinamik Atölye Tipi Çizelgelemede Sevk Etme Kuralları ve Kural Temelli Çizelgeleme	25
3.3. Dinamik Atölye Tipi Çizelgeleme Ortamı İçin Bazı Özel Örnekler	27
3.3.1. Paralel makineli modeller.....	27
3.3.2. Chang'ın modeli	29
3.3.3. Cheng ve Jiang'ın modeli.....	30
3.3.4. Diğer ortamlar ve kullanılan yöntemler	30
3.3.5. Dinamik ortamlardaki parametreler için küçük bir problem.....	31
3.3.6. Dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamlarında makinelerin önündeki işlemlerden kural temelli seçim yapmak için bir örnek.....	36

4. DİNAMİK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME İÇİN TESLİM ZAMANI BELİRLEME YÖNTEMLERİ VE SEVK ETME KURALLARI	40
4.1. Ele Alınan Deney Ortamının Özellikleri	40
4.2. Literatürde Bu Ortam İçin Ele Alınan Sevk Etme Kuralları ve Teslim Zamani Atama Modelleri	41
4.2.1. Bu ortamda daha önce denemiş olan sevk etme kuralları	41
4.2.2. Bu ortamda daha önce denemiş olan teslim zamanı atama modelleri	41
4.2.3. Daha önceki çalışmalardaki kullanılan performans ölçütleri	41
4.2.4. Daha önceki çalışmalardaki gözlemler	43
4.3. Regresyon Temelli Teslim Zamanı Belirleme	45
4.3.1. REG-1	45
4.3.2. REG-2	45
4.3.3. Regresyon analizinin değerlendirilmesi	45
4.4. Sınır Ağı Temelli Teslim Zamanı Belirleme	50
4.4.1. YSA-1	53
4.4.2. YSA-2	53
4.5. Sevk Etme Kuralları	53
4.6. Performans Ölçütleri	54
5. UYGULAMA ve SAYISAL SONUÇLAR	55
5.1. Dinamik Atölye Tipi Ortamın Benzetimi	55
5.2. Ön Benzetim	57
5.3. Performans Ölçütleri ve Teslim Zamanı Atama Modellerinin Performansı	58
5.4. Bu ortam için yeni sevk etme kuralları ve daha önce uygulanan kurallarla karşılaştırma	64
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1 İşlerin rotası.....	14
2.2. SPT kuralına göre çizelgelemenin gantt şeması.....	16
2.3. EDD kuralına göre çizelgelemenin gantt şeması	18
3.1. Sinir ağının girdi ve çıktıları	32
3.2. Çizelgelemenin gantt şeması.....	36
3.3. Atölyedeki bir makinenin önünde bekleyen işlemler.....	37
4.1. Geri yayımlı bir ağın şekli	52
4.2. Kullanılan yapay sinir ağının genel yapısı	53
5.1. % 90 ve MAL ölçütüne göre sonuçların grafiği.....	59
5.2. % 80 ve MAL ölçütüne göre sonuçların grafiği.....	60
5.3. % 90 ve MSL ölçütüne göre sonuçların grafiği	62
5.4. %80 ve MSL ölçütüne göre sonuçların grafiği	63
5.5. % 90 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların grafiği	64
5.6. % 80 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği	65
5.7. % 90 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği.....	66
5.8. % 80 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği.....	67

TABLolar DİZİNİ

2.1 Atölyedeki işlerin işlem süreleri ve rotaları	13
2.2 İşlerin teslim zamanları	13
2.3. İşlemlerin birinci gösterim şekli	15
2.4. İşlemlerin ikinci gösterim şekli	15
2.5 SPT kuralına göre çizelgelemenin sonucu	16
2.6 EDD kuralına göre çizelgelemenin sonucu	17
3.1. Örnek problemlerde kullanılan parametreler	29
3.2. Örnek dinamik problemde işlerin özelliği	33
3.3. Problemdaki işlerin özelliği	34
3.4. FIFO kuralına göre çizelgenen işlemlerin durumu	35
3.5. Birinci makineye atanan işlemler	35
3.6. İkinci makineye atanan işlemler	35
3.7. Üçüncü makineye atanan işlemler	36
3.8. Makinenin önünde bekleyen işlemlerin özelliği	37
4.1. FIFO için etkin özellikler	47
4.2. SPT için etkin özellikler	48
4.3. SRPT için etkin özellikler	49
4.4. Regresyon modellerinin MSE değeri	50
5.1. Analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlar	57
5.2. Cheng' in benzetim yoluyla elde ettiği sonuçlar	57
5.3. Bu çalışmadaki benzetimden elde edilmiş olan sonuçlar	57
5.4. % 90 ve MAL ölçütüne göre sonuçlar	59
5.5. % 80 ve MAL ölçütüne göre sonuçlar	60
5.6. % 90 ve MSL ölçütüne göre sonuçlar	61
5.7. % 80 ve MSL ölçütüne göre sonuçlar	62
5.8. % 90 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonucu	64
5.9. % 80 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonucu	65
5.10. % 90 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonucu	65
5.11. % 80 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonucu	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- d_j : Teslim zamanı (due date)
- C_{\max} : Toplam üretim zamanı (makespan)
- L_j : İşlerin sapması (lateness)
- P_{ij} : İşlem süresi (processing time)
- R_j : İşin kalan zamanı (remaining time)
- r_j : Serbest kalma zamanı (release data)
- T_j : İşlerin gecikmesi (tardiness)
- w_j : İş ağırlığı (works weight)
- CON : Sabit (constant)
- CP : Kısıt programlama (constraint programming)
- CPM : Kritik yol yöntemi (critical path method)
- CR : Kritik oran (critical ratio)
- DATÇ : Dinamik atölye tipi çizelgeleme (dynamic job shop scheduling)
- FIFO : İlk giren ilk çıkar (first in first out)
- FJSP : Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi (flexible job shop problem)
- JIT : Tam zamanında (just in time)
- LB : Alt sınır (lower bound)
- LIFO : Son giren ilk çıkar (last in first out)
- LPT : En uzun işlem süresi (longest processing time)
- LWKR: En düşük kalan toplam işlem süresi (least work remaining)
- MFJS : Çok işlemci esnek atölye tipi çizelgeleme (multi processor flexible job shop scheduling)
- MWKR: En çok kalan toplam işlem süresi (most work remaining)
- NOP : İşlem sayısı (number of operation)
- PERT : Proje değerlendirme teknikleri (program or project evaluation and review technique)
- PM : Paralel makine (parallel machine)
- RAN : Rassal (random)

- REG : Regresyon (regresyon)
- SLK : Boş zaman (slack time)
- SPT : En kısa işlem süresi (shortest processing time)
- T- FJSP: Tam esnek atölye tipi çizelgeleme problemi (total flexible job shop scheduling problem)
- TSP : Gezgin satıcı problemi (travelling salesman problem)
- TWK : Toplam iş içeriği (total work)
- UB : Üst sınır (upper bound)
- YSA : Yapay sinir ağı (artificial neural network)
- ZI : Sıfır envanter (zero inventory)
- α : Makinenin durumunu
- β : İşlemin detayı ve kısıtlar
- γ : Amaç fonksiyonunu göstergesidir

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, üretim ve servis sistemlerinde kullanılan bir karar verme sürecidir [1]. Çizelgeleme sürecinin amacı, belli bir zaman aralığı için, kaynakları en iyi şekilde görevlere atamaktır [1]. Söz konusu kaynak ve görevler farklı ortamlara göre çeşitli şekillerde düşünülebilir. Makineler, uçak pistleri ve bilgisayar işlemcileri farklı ortamlar için farklı kaynaklar olarak görülebilir. Benzer şekilde; işler, kalkışlar ve hesaplamalar da yine farklı ortamlardaki görevlere örnek olarak gösterilebilir. Dolayısıyla çizelgeleme, karar vermenin önemli bir parçası olarak farklı şekillerde planlamacıların karşısına çıkabilir [1]. Hem kavramsal hem de matematiksel olarak farklı türleri olan çizelgeleme problemlerinin, uygulama ve teorik açıdan önemli bir yere sahip olan bir türü de atölye tipi çizelgeleme problemidir. Bu problemin de diğer çizelgeleme problemleri gibi standart bir gösterim şekli vardır. Problemin genel yapısında m sayıda makine ve her birisinin belli bir rotası, işlem sayısı ve serbestlik zamanı olan n sayıda iş bulunur. Ayrıca her iş rotasındaki sıraya göre makineler üzerinde işlem görür. Gemi, uçak ve makine elemanları üretiminde çeşitli uygulamaları olan atölye tipi çizelgeleme probleminin farklı türleri bulunmaktadır. Bir çizelgeleme probleminde işler farklı zamanlarda veya başlangıç anında atölyeye işlenmek üzere gelebilir. Buna göre, birinci durumda dinamik ve ikincisinde ise statik atölye tipi çizelgeleme gerçekleşmiş olur. Gerçek hayattaki problemlerin çoğu dinamik yapıya sahiptir ve bu yüzden uygulamalarda daha fazla öne çıkmaktadır. Dinamik problemler, optimizasyon ve kural temelli yöntemler olmak üzere iki açıdan ele alınabilir. Dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamı için en uygun yöntemler arasında benzetim ve kural temelli sevk etme yöntemleri gelmektedir. Atölyede makinelerin önünde bekleyen işler arasından seçim yapmak için uygun sevk etme kuralları kullanmak gerekir. Her makine, boş olduğu zaman önündeki kuyruktan iş seçmek üzere, sevk etme kuralına göre belirlenmiş iş öncelik bilgilerini kullanır [2]. Seçilen kuralın uygulanması farklı şekillerde olabilir. Örneğin, bazı atölyelerde tüm makineler için belirli bir kural kullanılırken, bazı durumlarda atölye ortamı ve sırada bekleyen işlerin özelliğine göre farklı kuralların uygulanması, her makine için özel bir kuralın kullanılması mümkün olabilir [3]. Literatürdeki bazı çalışmalar, hiçbir kuralın tüm amaçlar için

en iyi performans değerlerini vermediğini ve bu yüzden farklı amaçlara uygun kuralların belirlenmesinin önemli olduğunu vurgulamaktadır [2]. Sevk etme kuralları; işlem süresi temelli, teslim zamanı temelli, maliyet temelli vb. olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bir atölyede kullanılan sevk etme kuralı, işlerin akış ve teslim zamanlarını dolayısıyla tüm üretim sürecini etkiler [3]. Bu nedenle üretim ve çizelgeleme süreçlerini etkin kontrol etmek için doğru kuralı seçmek önemlidir.

Bir üretim ortamında işlerin teslim zamanını dikkatli bir şekilde belirlemek, hem akademik hem de pratik çalışmalarda gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır [4]. Her üretim sisteminde karar verme süreci hiyerarşik olarak stratejik, taktik ve kontrol olmak üzere üç seviyeden oluşur [5]. Kontrol seviyesinde işlerin akışı ve çizelgelerin sürekli olarak güncellenmesi gerekir [5]. Çizelgeleme süreci kontrol aşamasının önemli bir bölümünü kapsamaktadır ve bu yüzden çizelgeleme problemleri ve onlara bağlı kavramlar her zaman literatürde ve pratikte önemlerini devam ettirmektedir. Gerçek hayattaki problemlerin çoğu dinamik yapıya sahip olduklarından, sürekli güncellenen ortamdan dolayı, kontrol seviyesindeki karmaşıklık daha da artmaktadır. Söz konusu dinamizm, farklı nedenlerden kaynaklanabilir. Örneğin sürekli ve farklı zamanlarda serbest kalıp, üretim ortamına giren ve dolayısıyla kuyrukların şeklini değiştiren işler veya bozulan makineler bilgilerin güncellenmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi önemli ve halen araştırmaya açık olan bir problemdir. Dinamik atölye tipi çizelgeleme gerçek hayattaki ortamların birçoğunu temsil etmektedir. Ayrıca dinamik atölye tipi çizelgeleme akademik bakımdan da büyük bir değere sahiptir. Bunun nedenlerinin biri bu ortamın aslında kuyruk teorisi gibi birçok teorik konunun uygulama alanı olmasıdır. Bazı çalışmalarda, her atölyenin aslında bir kuyruk olduğu üzerin vurgu yapılmaktadır [5]. Tüm bunlar, üretim ortamlarındaki karmaşıklığı ve dolayısıyla kontrol seviyesinde gerekli olan değişen ortamlara karşı uygun tepkiler göstermenin ne kadar gerekli olduğunu göstermektedir. Kontrol aşamalarının biri, serbest kalan işler ile ilgili geçmiş verilere dayalı olarak bazı bilgilerin tahmin edilmesidir. Bu aşamada yapılması gereken en önemli işlemlerin başında teslim zamanlarının yüksek doğrulukta belirlenmesi gelmektedir. Esnek imalat sistemleri (FMS),

bilgisayar destekli imalat (CAM) vb. şekilde üretim sistemlerinin gelişmesi ve envanter kontrol sistemlerinde JIT gibi kavramların ortaya çıkmasıyla beraber, teslim zamanı atama konusunda bir çok çalışma yapılmıştır. Teslim zamanları doğru şekilde tahmin edilirse bir çok pozitif sonuç ortaya çıkar ve istenmeyen durumlar önlenebilir. Teslim zamanlarının doğru bir şekilde belirlenmesi, bitmiş ürün stokunu ve geciken işlerin sayısını azaltır ve dolayısıyla hem maliyeti düşürür hem de daha fazla müşteri memnuniyeti sağlar [6]. JIT görüşüne göre hem gecikmeler hem de erkenlikler istenmeyen durumlardır [3]. Literatürde bu durumlara kaçırılmış teslim zamanları denir [3]. İşlerin belirlenen teslim zamanından önce bitmesi, stok maliyetinin ve büro işlerinin artmasına; sonra bitmesi ise müşteri memnuniyetsizliği ile bazı durumlarda cezalara sebep olur [4]. Tam zamanında teslim müşteri memnuniyetinin yanı sıra rekabet avantajı da sağlar [7] [3].

FMS sistemini kullanan sanayide yapılan bir araştırma, doğru teslim zamanı belirlemenin birçok işletmede en önemli konulardan birisi olduğunu göstermiştir [4].

Her atölyede çizelgeleme ile ilgili üç temel aşama gerçekleşir [9]:

1. Siparişlerin gelmesi
2. Siparişlerin serbest bırakılması
3. Atölyede çizelgeleme işlemi

Teslim zamanları, birinci veya üçüncü aşamada olmak üzere iki şekilde belirlenebilir. Birincisinde teslim zamanı müşteri veya pazarlama veya her ikisi tarafından belirlenir. Bu durumda teslim zamanı dışsal olarak belirlenmiş olur. Eğer teslim zamanları planlama bölümü tarafından ve atölyenin durumu ve işlerin özellikleri göz önüne alınarak belirlenirse içsel teslim zamanı belirleme gerçekleşmiş olur [4].

Dışsal teslim zamanı belirlemek için bir kaç yöntem vardır [4]. Örneğin:

1. Rassal (RAN) : İşlerin akış bolluğu rassal olarak belirlenir.
2. Sabit (CON) : Tüm işlere aynı akış bolluğu verilir.

İçsel teslim zamanı belirlemek için de aşağıdaki yöntemleri sayabiliriz :
[4]

1. Eşit bolluk (SLK) : İşlerin hepsine eşit akış bollukları atanır.
2. Toplam iş içeriği (TWK) : Teslim zamanları, toplam iş içeriği üzerinden hesaplanır.
3. İşlem sayısı (NOP) : İşlerin operasyon sayısı üzerinden teslim zamanı belirlenir.

Yukarıdaki içsel teslim zamanı belirleme yöntemleri aslında regresyon temelli modellerdir. Regresyon temelli yöntemler dışında, yapay sinir ağları da bu konuda kullanılan yöntemlerdendir. Yapay sinir ağları hem atölye tipi çizelgeleme hem de diğer çizelgeleme problemlerinde bitiş zamanlarının tahmini için kullanılan bir yöntemdir [5]. Regresyon temelli yöntemlerde bağımsız ve bağımlı değişkenlere karşın, yapay sinir ağlarında girdiler ve çıktı veya çıktılar vardır. Bu yöntemlerde bağımsız değişkenler ve girdiler, işlerin veya atölye ortamının özellikleri veya her iki çeşitten özellikler olabilir. Genellikle bu özelliklerden etkin olanlarının belirlenip kullanılması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilir. Farklı ortamlarda farklı sevk etme kurallarına göre hangi özelliklerin etkin olduğunu araştıran çalışmalara, önemine rağmen, literatürde nadir rastlanmaktadır. Bu çalışmada hem yapay sinir ağı temelli hem de regresyon temelli modellerde literatürdeki çalışmaların çoğundan daha fazla özellik ele alınmış ve etkileri araştırılmıştır. Literatürdeki bazı çalışmalarda etkin çizelgeleme ve dikkatli teslim zamanı atamak için üç önemli faktör olan sevk etme kuralı, teslim zamanı atama modeli ve performans ölçütünün beraber göz önüne alınması üzerinde vurgu yapılmıştır. Örneğin Cheng ve Jiang kendi çalışmalarında bu üç faktörün yanı sıra atölye kullanım oranının da etkili olduğunu göstermişlerdir [4]. Bu yüzden bazı çalışmalar, yalnız sevk etme kuralı [3] veya yalnız teslim zamanı atama modeli önermek yerine hem yeni sevk etme kuralı hem de teslim zamanı atama modeli önererek, hangi kuralın hangi teslim zamanı atama modeli ile daha iyi çalıştığını tartışmışlardır [10]. Bu konudaki çalışmalar her ne kadar eskiden başlamış olsa da, üretimde yeni kavramların ortaya çıkmasıyla beraber, daha dikkatli ve daha etkin çalışmaların yerinin boş olduğu hissedilmektedir.

Bu çalışmada literatürde mevcut olan bir dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamı için hem atölye ortamının hem de işlerin özelliğini kullanan iki yapay sinir ağı modeli önerilmiştir. Sinir ağlarının yapısı ve kullanılan algoritmalar genellikle probleme özgüdür [11] [12] [13], ancak buna rağmen bu konular ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada önerilen sinir ağında, kullanılan öğrenme algoritması daha önce bu konuda kullanılmamış bir algoritmadır ve yaygın şekilde kullanılan diğer algoritmalara [11] göre daha yavaş çalışmasına rağmen daha iyi sonuçlar vermektedir. Sinir ağları için girdi olarak yirmi özelliikle kullanılmaktadır. Bu sayıda özellikle çalışan teslim zamanı atama modelleri ile ilgili çalışma sayısı sınırlıdır. Ayrıca, benzerleri daha önce kullanılmış olan ama bu çalışmada daha fazla özellik ile hesaplanan iki farklı regresyon modeli geliştirilmiştir. Bunlardan birinde yirmi özelliğin sadece doğrusal etkileri kullanılmış, diğerinde ise etkili olan özelliklerin hem doğrusal etkileri hem de ikili etkileşimleri dikkate alınmıştır. Bu modellerde kullanılan özelliklerin etkileri tartışılmıştır ve hangilerinin farklı durumlarda etkin olduğu istatistiksel olarak gösterilmiştir. Çalışmada dinamik atölye tipi çizelgeleme probleminin önemi açıklanmıştır. Bu ortamın gerçek hayattaki üretim ve bilgisayar bilimlerindeki uygulamalarına değinerek önemine vurgu yapılmıştır. Bu önemden dolayı herhangi bir dinamik ortamda iyi kontrol yapmanın ne kadar gerekli olduğu belirtilmiştir. Kontrol için gerekli olan ortama uygun sevk etme kurallarına, teslim zamanı atama modellerine ve amaca uygun performans ölçütü seçmenin önemine değinilmiştir. Daha önceki çalışmalara göre hangi etkenlerin etkili olduğunun belirtildikten sonra bu etkenleri göz önüne alarak hangi konuların neden daha fazla çalışılması gerektiği tartışılmıştır. İkinci bölümde çizelgeleme problemlerinin gösterim şekli ve genel kavramlar açıklanmış ve farklı performans ölçütlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde de çizelgeleme problemlerinde yaygın kullanılan sevk etme kuralları ve teslim zamanı atama modelleri üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi için basit bir örnek verilmiş ve ele alınan dinamik ortam kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca bu ortamda hangi etkenlerin etkin olduğu, uygulanan sevk etme kuralları, teslim zamanı atama modelleri ve performans ölçütlerinden bahsedilmiştir. Bu ve benzeri ortamlarda neden yeni sevk etme kuralları ve teslim

zamani atama modellerinin gerekli olduğu tartişıldıktan sonra bu çalışmada önerilen yeni sevk etme kuralları ve teslim zamani atama modelleri açıklanmıştır. Söz konusu kurallar ve modellerin performansları literatürde iyi bilinen ve hem gecikme hem de erkenlik gibi sapmaları gösteren iki ölçüt üzerinden sayısal olarak kıyaslanıp, sonuçları tartişılmıştır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde ise dinamik ortamlardaki kontrol performansını etkileyen etkenler üzerinde durulup onların nasıl kontrol edileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca önerilmiş olan ve iyi performans gösteren kurallar ve modellerin neden daha etkin olduklarına açıklık getirilmiştir.

2. ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Sıralama ve çizelgeleme üretim ve hizmet sektöründe önemli olan karar verme süreçleridir. Sıralama işlemlerin sırasını ve çizelgeleme kaynakların üzerinde gerçekleşen işlemlerin başlangıç ve bitiş zamanların belirlenmesidir. 60'lı yıllarda dinamik ve tam sayılı programlama bu konuda sıkça uygulanmaktaydı. 1972 yılında Karp'ın karmaşıklık konusundaki makalesi bilgisayarları ciddi bir şekilde bu konuya dâhil etti. 80'li yıllarda ama rassal süreçler daha çok odak noktasıydı [1]. Çizelgeleme problemleri son yıllarda da araştırmacıların odak noktasında olmuştur ve bu konunun önemliliği hem teorik ve hem pratik açıdan devam etmektedir. Bu problemler dolaylı veya dolaysız olarak çoğu yerde farklı şekillerde araştırmacıların önüne çıkmaktadır. Örneğin bilgisayar bilimlerinde, etkin işlemci kullanmak da bir çizelgeleme problemidir. Orada da yine FIFO ve SPT gibi sevk etme kurallarına benzer kurallar mevcuttur. Bu problemler matematiksel olarak üretimdeki çizelgeleme problemlerinin benzeri ve bazen aynısıdır. Dolayısıyla çizelgeleme problemlerini araştırmak için önce temel kavramlara belli ve ortak bir terminoloji ile giriş yapmak gerekir. Örneğin çizelgeleme problemlerinin gösteriminde kullanılan simgeler ve kavramlar sık sık karşımıza çıkmaktadır. Bunun için sonraki bölümlerde çizelgeleme problemlerine özet bir şekilde göz atılacaktır. Çizelgeleme problemlerini dinamik ve durağan olan iki genel kategoriye ayırmak mümkündür. Bu yüzden ilk başta durağan olan çizelgeleme ve sonra dinamik çizelgeleme ve özellikle dinamik atölye tipi çizelgeleme incelenecektir.

2.1. Çizelgeleme Problemlerinin Gösterim Şekli

Literatürde çizelgeleme problemlerinin gösterimi için yaygın şekilde kullanılan simgeler mevcuttur. Bu simgelere tüm kitaplar ve makalelerde rastlanabilir. Bu bölümde bazı simgeler ve onlarla ilgili kısa açıklamalar verilmiştir.

Simgeler

- İşlem süresi, (P_{ij}) j' inci işin i' inci makinede işlem görme süresi.
- İşlerin serbest kalma zamanı (r_j)
- Teslim zamanı (d_j)

- Bazı ürünlerin belli bir zamanda üretilmesi gerekir, bu zamana son teslim tarihi denilir.
- İş ağırlıkları (w_j) : Her bir işin önemini belli eder. Bu değer her işin depoda kalma maliyeti veya katkı değeri üzerinden hesaplanabilir.

Genelde çizelgeleme problemleri 3 gösterge ile temsil edilir: $\alpha|\beta|\gamma$ [1].

- α makinenin durumunu gösterir.
- β işlemin detayını ve kısıtları gösterir. β 'nın birkaç göstergesi olabilir veya hiç göstergesi olmayabilir.
- γ amaç fonksiyonunun göstergesidir ve genelde yalnız bir göstergesi olur.

2.2. Çizelgeleme Problemlerindeki Bazı Kavramlar

Çizelgeleme problemlerinin tüm çeşitlerinde önemli olan bazı temel kavramlar vardır. Bu kavramlar hem modellerdeki etkilerinden hem de gösterim şekillerinden dolayı önemlidirler. Aşağıda bu kavramların bazıları ile ilgili kısa açıklamalar verilmiştir.

Serbest kalma zamanı (r_j)

- Bu simgenin β bölümünde olması j ' inci işin bu zamandan önce hazır olmadığını anlamına gelir. Yani başlangıçta işlerin hepsi hazır değildir. Serbest kalma zamanının aksine teslim zamanının hiçbir simgesi yoktur ve yalnız amaç fonksiyonunun üzerinden ve üçüncü bölümde belirlenir [1].

Öncelik kısıtı

- Öncelik kısıtlı modellerde tek makine veya paralel makineler olabilir.
- Bir ya da birkaç işin başlanması için daha önceden bazı işlerin gerçekleşmesi gerekir. Bu tarz modellerin birkaç şekli olabilir [1]:
 1. Her işin en fazla bir tane öncül ve en fazla bir tane ardıl işi olabilir. Bu kısıtlara zincir kısıtı denir.
 2. Eğer β bölümünde prec yazılmazsa, hiçbir işin öncül işinin olmaması anlamındadır.

Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonunun γ ile gösterilir ve farklı durumları olabilir. Genelde amaç toplam zamanı en az yapmaktır. j ' inci işin i ' inci makine üzerindeki işlem süresi (işlemin bittiği zaman) C_{ij} dir. j ' inci işin sistemdeki bitiş zamanı C_j ile gösterilir. Bazen amaç fonksiyonu beklenen zaman ve bitiş zamanının arasındaki farkı en az yapmaya çalışır [1].

L_j : j 'inci işin sapması (lateness)

d_j : j 'inci işin teslim zamanı (due date)

T_j : j 'inci işin gecikmesi (tardiness)

$$L_j = C_j - d_j$$

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0)$$

Bazı problemler için birim cezası adında bir belirteç tanımlanır:

$$U_j = f(x) = \begin{cases} 1, & C_j > d_j \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

İşlerin teslim zamanı ile ilgili değerlendirmelerde 3 parametre vardır:

1. L_j
2. T_j
3. U_j

Toplam üretim zamanı (C_{max})

Toplam üretim zamanını en küçük yapmak toplam zamanın en az olması anlamındadır [1]. Toplam üretim zamanı en son biten işin bitiş zamanıdır.

En çok sapma (L_{max})

Bu amaç fonksiyonu en çok gecikmenin en az yapmak içindir [1].

$$L_{max} = \min\{\max(L_1, L_2, \dots, L_n)\}$$

Toplam akış zamanı ($\sum C_j$)

Elde bulundurma zamanı, dolayısıyla elde bulundurma maliyetini azaltmak için toplam akış zamanını azaltmalıyız. Bu amaç fonksiyonu her siparişin bittikten sonra müşteriye teslim edilen durumlarda kullanışlıdır [1].

Ağırlıklı toplam akış zamanı ($\sum W_j C_j$)

Bu fonksiyon toplam akış zamanının göz önüne alan fonksiyonun genel halidir. Elde bulundurma maliyeti çok olan ürünlerin depolarda beklemesi daha çok maliyetlidir, bu yüzden onların daha erken bitirilip teslim edilmesi daha iyi sonuçlar verir [1].

Ağırlıklı toplam gecikme ($\sum W_j T_j$)

Bu amaç fonksiyonu toplam gecikmeleri göz önüne alan amacın genel halidir ve literatürde bu konu üzerinde çok geniş araştırma yapılmıştır [1].

Ağırlıklı toplam geciken işlerin sayısı ($\sum W_j U_j$)

Bu ölçüm yalnız akademik çalışmalarda değil ayrıca gerçek dünyada olan problemlerde de yararlıdır [1]. Bazen amaç fonksiyonu yukarıdakiler kadar basit değil. Örneğin bazı problemlerde ürünlerin erken hazırlanmalarına ceza uygulanır. Bu cezayı şöyle gösterebiliriz [1]:

$$E_j = \max(d_j - C_j, 0)$$

Eğer hem gecikme ve hem erkenlik göz önüne alınırsa amaç fonksiyonun bu şekilde olur:

$$\sum_{j=1}^n E_j + \sum_{j=1}^n T_j$$

Veya daha da genel hâli ile:

$$\sum w'_j E_j + \sum w''_j T_j$$

2.3. Çizelgeleme Problemlerinde Bazı Özel Örnekler

Literatürde çizelgeleme problemleri için bazı özel örnekler vardır. Bu örneklerin diğer problemlerin temelini oluşturmaktır [1]. Bu bölümde bu örneklerin bazısı gösterilip ve ilgili açıklaması özet şekilde verilmiştir.

$FF_c/r_j/W_j T_j$ (Esnek akış tipi atölye çizelgeleme)

İşlerin başlangıcı için kısıtlar vardır. İşlerin amaç fonksiyonuna göre teslim zamanları vardır. Her işin belli bir ağırlığı ya değeri vardır [1].

$$1/r_j, prmp/\sum w_j T_j$$

Tek makineli ortamdır. İşlerin başlangıç zamanı bakımından kısıtlar vardır. Amaç fonksiyonuna göre işlerin teslim zamanı kısıtları ve işlerin farklı ağırlıkları vardır [1].

$$1/S_{jk}/C_{max}$$

Sistem'de yalnız bir makina vardır. Her işin belli bir hazırlık süresi vardır ki bu süre önceki işe bağlıdır. Amaç fonksiyonu toplam üretim zamanının en az olmasıdır [1].

$$P_{\infty}/prec/C_{max}$$

Literatürde proje adıyla tanınan problemde, sonsuz sayıda makine n sayıda hazırlık süresi olan işi paralel şekilde yapmaktadır. Amaç fonksiyonu toplam işlemler süresinin en az olmasıdır. Bu model üretimde proje planlama problemlerinde sık sık planlamacıların karşısına çıkar. Bu problemin çözümü için CPM (critical path method) ve PERT (program project evaluation and review technique) yöntemleri kullanılır [1].

$$J_m//C_{max}$$

En basit atölye tipi çizelgelemede m makine vardır. Amaç fonksiyonu işlemlerinin toplam süresinin en az olmasıdır. Her iş her makinede en fazla bir kere işlem görür. Bu problem için çok sayıda çözüm önerilmiştir. Birçok problem bu göstergelerle gösterilemez. Örneğin paralel ve farklı makinelerde eğer işlem süreleri makineye bağlı olursa model bu göstergelerle gösterilemez. Yeni çalışmalarda bir problem için iki paralel amaç fonksiyonu kullanılır. Çizelgeleme problemlerinin en kolayıdır. Bazı tek dar boğazlı karmaşık problemler bu modele dönebilir [1].

Bazı kavramlar ise makinelerin durumu yani α simgesi ile gösterilen durumlardır.

Tek makine durumu

En kolay durum ki diğer durumların özel hali olarak tanımlanır. Tek kasalı bir makine, bu durum için bir örnek olabilir [1].

Paralel makineler (P_m)

Birkaç makine paralel olarak çalışırlar. j ' inci iş bu makinelerin herhangi birisi ile yapılabilir. Eğer bir işin bir makinede işlem görmesi gerekiyorsa, M_j göstergesi β bölümüne eklenir [1].

Farklı hızlarla paralel makineler (Q_m)

i ' inci makinenin hızı v_i şeklinde gösterilir. j ' inci işin i ' inci makinedeki işlem süresi $P_{ij}=P_j/v_i$ dir. Bu durumda her makinenin hızı işlerden bağımsızdır [1].

Farklı olan paralel makineler (R_m)

Bu problemin önceki problemden farkı işlem hızlarının bağımsız olmamasıdır. Yani eğer işlem hızları bağımsız olursa bu problem önceki probleme döner. i ' inci iş j ' inci makinede v_{ij} hızıyla işlem görür. İşlem süresi : $P_{ij} = P_j/v_{ij}$. Bazı işler bazı makinelerde daha hızlı işlem görebilir [1].

Akış tipi modeli (F_m)

m sayıda seri makine vardır. İşlerin her birisi bu makinelerin hepsinde belli bir sırayla işlem görmek zorundadır. Her iş bir makinede işlem gördükten sonra diğer makineye geçmek zorundadır. Bu modelde öncelik kuralı genelde FIFO dur. Eğer FIFO geçerli olursa modele permütasyon akış tipi ismi verilir. Bu durumda β bölümünde, pmu simgesi eklenir [1].

Esnek akış tipi (FF_c)

Bu model akış tipi modelin genel halidir. Yani en az bir aşamada, en az iki makine paralel çalışır [1]. FF_c modelinde işlerin tamamlanması için c sayıda seri aşama vardır. Her aşamada birkaç paralel çalışan, özdeş makine vardır. Her aşamada işlerin her birisi sırayla makinelerin birinde işlem görüp diğer makineye

geçer. Aşamaların öncelik kuralı FIFO veya başka bir kural olabilir. Bu modelin başka isimleri de vardır:

1. Bileşik akış tipi atölye çizelgeleme
2. Çok işlemci akış tipi atölye çizelgeleme
3. Melez akış tipi atölye çizelgeleme

Atölye tipi çizelgeleme (J_m)

m sayıda makineye sahip olan atölye tipi çizelgelemede her işin kendine özgü rota ve işlem süresi vardır. Bir iş bir makineye bir veya birkaç defa gelebilir. Eğer bir iş bir makinede birkaç defa işlem görürse β bölümünde recrc yazılır [1].

Atölye tipi çizelgeleme probleminde de diğer çizelgeleme problemleri gibi hem optimizasyon temelli yöntemlerle hem de SPT (en kısa işlem süresi) ve FIFO (ilk giren ilk işlem görür) ve EDD (en erken teslim tarihi) gibi kurallarla çizelgeleme yapılabilir.

Atölye tipi çizelgelemede kural temelli yöntem için bir örnek

Aşağıdaki tablo 'da 3*3 boyutunda bir atölye tipi çizelgeleme probleminin özellikleri vardır:

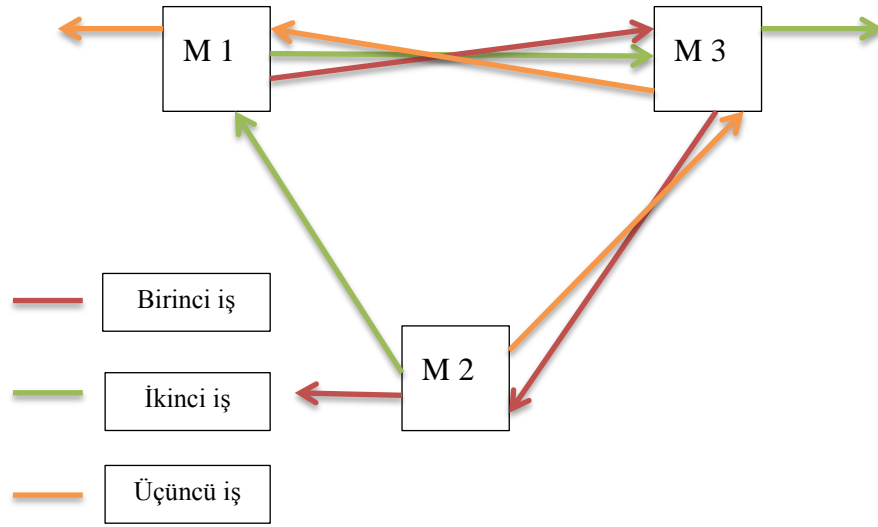
Tablo 2.1 Atölyedeki işlerin işlem süreleri ve rotaları

Birinci iş	M 1 (1)	M 3 (2)	M 2 (3)
İkinci iş	M 2 (2)	M 1 (3)	M 3 (1)
Üçüncü iş	M 2 (3)	M 3 (2)	M 1 (1)

Tablo 2.2 İşlerin teslim zamanları

	Teslim zamanı
Birinci iş	4
İkinci iş	6
Üçüncü iş	5

Bu atölyede 3 makine ve 3 iş ve işin 3 işlemi vardır. İşlerin rotası bellidir. Örneğin ikinci iş ilk başta 6 birim zaman kadar ikinci makinede ve bu işlem bittiğinden sonra 12 birim zaman kadar birinci makine ve bu işlem de bittiğinde üçüncü makine üzerinde 4 birim zaman işlem görmelidir. Bu problemde işlemlerin bölünmesine izin verilmemektedir yani örneğin ikinci işin ikinci işlemi birinci makinede işleme başladığı zaman 12 birim zamanlık işlem bitmeden önce makineden ayrılamaz ve ayrıca birinci makine bu işlemi yaparken başka işlem yapamaz. İşlemler farklı şekillerde gösterilebilir [4]. Bazı çalışmalarda işlemleri bağlı olduğu iş ve bu işteki sırasıyla ve bazı çalışmalarda ise işlemler genel indeksleri ile gösterilir. Örneğin aşağıdaki tabloda bu örnek için iki farklı gösterim şekli verilmiştir.



Şekil 2.1 İşlerin rotası

Tablo 2.3. İşlemlerin birinci gösterim şekli

Birinci iş	[1 1]	[1 2]	[1 3]
İkinci iş	[2 1]	[2 2]	[2 3]
Üçüncü iş	[3 1]	[3 2]	[3 3]

Tablo 2.4. İşlemlerin ikinci gösterim şekli

Birinci İş	1	2	3
İkinci İş	4	5	6
Üçüncü İş	7	8	9

[j i] gösterim şeklinde birinci indeks işi ve ikinci indeks işlemin işteki sırasını göstermektedir. Örneğin üçüncü işin ikinci işlemi [3 2] şeklinde ve bu işlemin genel indeksi 8 ile gösterilir.

Aşağıda bu örnek problem için iki farklı kategoride olan kural üzerinden çizelgeleme yapılmıştır. Birinci kural işlem zamanı temelli olan SPT ve ikincisi teslim zamanı temelli olan EDD kuralıdır.

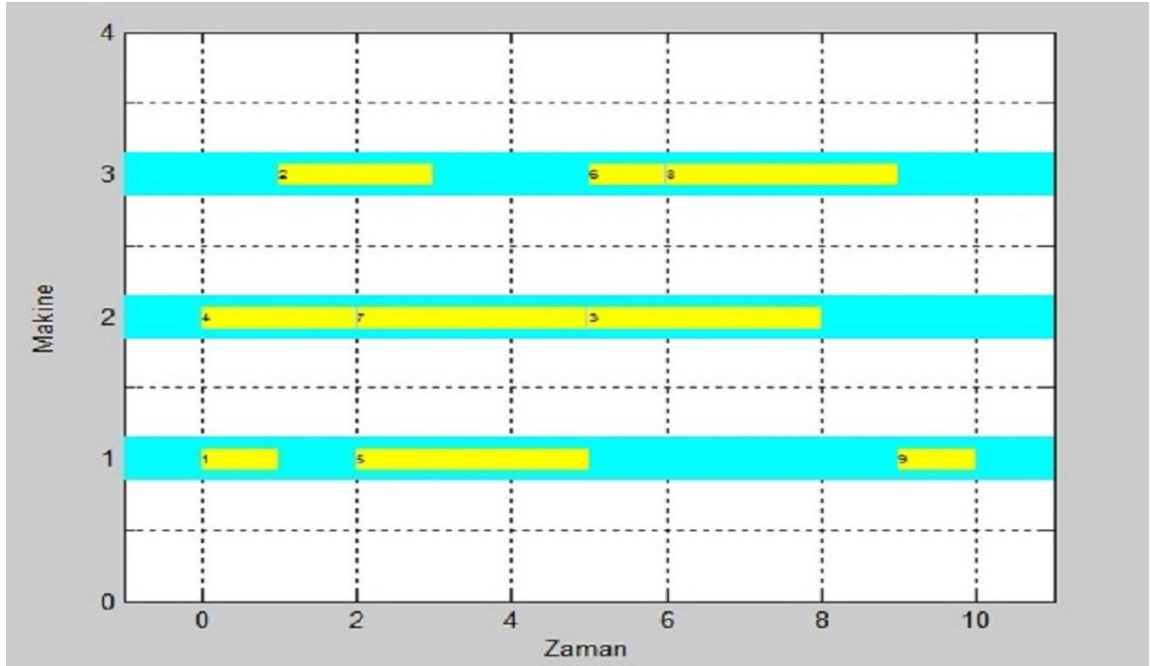
SPT kuralına göre çizelgeleme

Birinci makineye birinci operasyon yani birinci işin birinci işlemi atanır, ikinci makineye ise dördüncü ve yedinci işlemler arasından birisinin seçilmesi lazımdır. SPT kuralına göre bu durumda yedinci işlem seçilir. Her işlemin atanabilmesi için iki şartın gerçekleşmiş olması lazımdır. Birincisi bağlı olduğu işte önceki işlemin bitmesi gerekmektedir. Eğer bir işlem bağlı olduğu işin birinci işlemi ise bu şart bu işlem için incelenmez ama örneğin bir işin ikinci işlemi mensup olduğu işin birinci işlemi bitmeden işleme başlayamaz. Ayrıca işlemin atanacağı makinenin boş olması lazımdır. Bu şartların üçüncü makineye atanması gereken işlemler için gerçekleşmediğinden sıfırıncı zamanda bu makine boş kalacaktır. Diğer aşamalar aşağıdaki tabloda gösterilmektedir. Tablonun birinci sütununda çizelgeleme sırası gösterilmiştir. Örneğin birinci ve dördüncü

işlemlerin her ikisi de sıfır zamanında makinelere atandıklarından çizelgeleme sıraları birdir.

Tablo 2.5 SPT kuralına göre çizelgelemenin sonucu

Çizelgeleme sırası	İşlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı	Atandığı makine
1	1	0	1	1
1	4	0	2	2
2	2	1	3	3
3	5	2	5	1
3	7	2	5	2
4	3	5	8	2
4	6	5	6	3
5	8	6	9	3
6	9	9	10	1



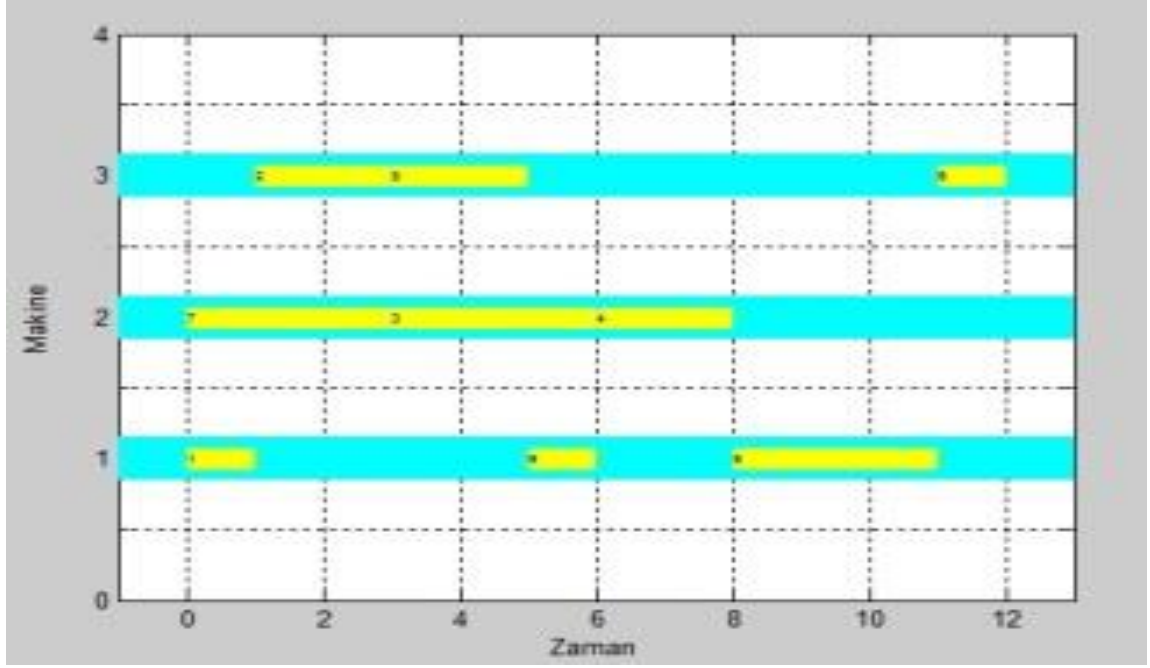
Şekil 2.2. SPT kuralına göre çizelgelemenin gantt şeması

EDD kuralına göre çizelgeleme

Bu kuralda da diğer çizelgeleme yöntemleri gibi bir işlemin atanması için gerekli olan iki şart yani öncül işin bitmesi ve atanması gereken makinenin boş olma şartlarının gerçekleşmesi gerekmektedir. Tek fark bir makinenin boş olduğu zamanda birden fazla atanabilir işlem olma durumunda, söz konusu işlemlerin bağlı olduğu işlerin teslim zamanlarına bakıp en yakın teslim zamanına sahip olan işin işleminin seçilmesidir. Aşağıdaki tabloda bu kurala göre çizelgelemenin sonuçları görünmektedir.

Tablo 2.6 EDD kuralına göre çizelgelemenin sonucu

Çizelgeleme sırası	İşlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı	Atandığı makine
1	1	0	1	1
1	7	0	3	2
2	2	1	3	3
3	3	3	6	2
3	8	3	5	3
4	9	5	6	1
5	4	6	8	2
6	5	8	11	1
7	6	11	12	3



Şekil 2.3. EDD kuralına göre çizelgelemenin gantt şeması

Esnek atölye tipi çizelgeleme (FJ_c)

Atölye tipi çizelgelemenin genel hali ki en az bir aşamada en az iki makine vardır. c iş merkezleri veya atölyelerin sayısıdır. Her atölyede birkaç özdeş makine, her aşamanın işlerini paralel bir şekilde yaparlar. Her aşamada her iş sırayla bir makinede yapılır. Eğer bir işin bir aşamaya birkaç kez uğraması lazımsa, zaman β bölümünde recrc yazılır [1].

Açık atölye tipi çizelgeleme (O_m)

m makinelerin sayısıdır. Her iş tüm makinelerde işlem görmelidir. Bazı işlerin bazı makinelerdeki işlem süresi sıfır Olabilir. İşlerin makinalardaki sıralamalarında hiçbir kısıt yoktur. Çizelgeleyen amaç fonksiyonuna göre işlerin makinalardaki veya makinelerin sırasının nasıl olacağına karar verebilir. Açık atölye tipi modelinde atölye tipi modelinin aksine işlerin sırası önemlidir (atölye tipi probleminde işlerin gerçekleşme sırası bağımlıdır) [1].

Bazı kavramlarda β ' nin durumları üzerinden sınıflandırılır. β ' nin kısıtları ve durumlarını göstermek için bazı göstergeleri kullanmak lazım. Amaç fonksiyonu üzerinden bu modeli böyle sınıflandırabiliriz:

- Ağırlıklı toplam üretim zamanı
- Maksimum gecikme
- Geciken işlerin sayısı
- Toplam gecikme
- Toplam ağırlıklı gecikme

Atölye tipi çizelgeleme probleminde bazı özel örnekler ve test problemler

Literatürdeki hazır test problemlerin çoğu dinamik olmayan problemler içindir. Dinamik problemleri genelde parametrelerin dağılımı üzerinden belli bir zaman aralığı için türetilir. Yani dinamik problemlerde örneğin işlerin geliş zamanları direkt verilmez belki onu dağılımı verilir ve problem esnasında bu geliş zamanları üretilir. Tezin diğer bölümlerinde bu problemlerin nasıl türeteceğine dair örnekler vardır.

Esnek atölye çizelgeleme problemi klasik atölye çizelgeleme probleminin genel halidir. Esnek atölye çizelgeleme probleminde sıralama probleminin yanı sıra makineler arasında seçim yapıp atama problemi de işin içine girer. Esnek atölye çizelgeleme problemini ilk defa 1993 yılında Brandemarte tanıtmıştır.

Bu makalenin problemde makinelerin en az birinde çok yönlülük özelliği vardır, yani öz konusu makine birden fazla işleve sahiptir. Hurnik vd. ve Chambers ile Barnesin örneklerinde operasyonların işlem süreleri makinelerde bağımsızdır [5] [15].

Kacem vd. tanıttığı problemde toplam esneklik yani tüm işlerin bir veya birkaç makine üzerinde işlem görebilme özelliği vardır [15].

Atölye çizelgeleme problemi için literatürde çok sayıda örnek mevcuttur bazı makalelerde yeni problemler üretilmiştir. Bu örnek problemlere hem makalelerden hem de OR Library'den ulaşılabilir.

MPM – JSSP örneği (çok işlemci atölye tipi çizelgeleme problemi)

MPM – JSSP (multi processor job shop scheduling problem) klasik atölye tipi çizelgeleme probleminin değiştirilmiş halidir. Klasik JSSP probleminde n iş $J=\{j_1, \dots, j_n\}$ vardır. Her j_i sabit sıraya sahip olan bir kaç operasyonda ibarettir,

$O_i = \{o_{i,1}, o_{i,2}, o_{i,3}, \dots, o_{i,h_i}\}$ ve her iş bir makine üzerinde işlem görmelidir. $M_{i,k} \in M, M = \{M_1, \dots, M_m\}$ eğer $M_{i,k} \subseteq M$ olursa kısmi esneklik ve eğer $M_{i,k} = M$ olursa toplam esneklik mevcuttur. $|M_{i,k}|$ her operasyonun en fazla kaç makine üzerinde işlem görebileceğini yani esneklik seviyesini gösterir [16].

Fisher ve Thampson'un problemlerini Adams da başka bir değişiklikle göstermiştir [16]. Yine aynı süreçler göz önüne alınarak Carlier ve Pinson ve Applgate ve Cook S verileri ve E verileri ve R verileri ve V verileri desenlerinden farklı problemler türetmişlerdir. Bu problemlere OR Library'den ulaşılabilir [17].

Dauzere – Peres ve Paulli çok işlemlili JSSP için üretilen ve sonra FMS ortamı içinde kullanılan 18 örnek türetmişlerdir [17].

Pauzere – Peres ve Paulli'nin en belirgin avantajı her işin operasyon sayısının toplam makineler sayısından fazla olmasıdır [16]. Hurink örneklerinin bazısında ise belli bir operasyon atanabilir makineleri göz önüne alınarak işlem sürelerindeki işlem sürelerindeki sapma hesaplanır [16].

Mt ve La örnekleri

Chambers ve Barnes tarafından FJSP için 21 tane örnek üretilmiştir. Örnekler iki tür özel JSP problemi göz önüne alınarak ikiye bölünmüştür [18]:

1. Mt 10 örneği (Fisher ve Thapson 10x10x10 problemi üzerinde türetilmiştir).
2. Setb 4 ve set 5 problemi (Lawrence'nin LA24 ve LA40 problemleri göz önüne alınarak türetilmiştir)

Operasyonların işlem süreleri hangi makine üzerinde işlem gördüklerine bağlı olmadığı için, bu örneklerdeki FJSP Hurink tarafından tanımlanan MPM – JSP kavramına benzerdir [16].

T- FJSP örnekleri (toplam esnek atölye tipi çizelgeleme)

Kacem vd. toplam esneklik ve farklı sayıda operasyonlara sahip olan örnekler üretmiştir. T-FJSP (total flexible job shop scheduling problem) şeklinde gösterilen bu örneklerde her işin belli bir salınma zamanı vardır [15].

MFJS örnekleri

Fattahi vd. matematiksel programlama için FJSP örnekleri üretmişlerdir. Bu örneklerde SFJS1'den (small sized flexible job shop scheduling problem) SFJS10'a kadar olan on örnek küçük boyutlu ve MFJS1'den (medium sized flexible job shop scheduling problem) MFJS10'a kadar olan on örnek orta boyutlu örneklerdir. MFJS örnekleri matematiksel programlama yöntemleri ile çözülmesi tercih edilir [15].

3. DİNAMİK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEMENİN ÖNEMİ ve UYGULANAN YÖNTEMLER

Gerçek hayattaki çizelgeleme problemlerinin çoğu dinamik yapılara sahiptir. Bu dinamik yapının iki temel türü vardır: rassal ve rassal olmayan [19]. Rassal olan çizelgeleme probleminde değişimler önceden bilinmeyen bir şekilde; rassal olmayan çizelgeleme probleminde ise sistemdeki değişiklik önceden bilinen bir plan veya çizelgeye göre gerçekleşir [19]. Dinamik yapıyı ortaya çıkaran bazı faktörler bulunmaktadır. Makinelerin bozulması veya herhangi bir nedenden dolayı işten çıkarılmaları atölyenin şeklindeki değişikliğe sebep olabilir. Ayrıca işlerin serbest kalma zamanları farklı olabilir. Serbest kalma zamanları da rassal veya rassal olmayan bir şekilde olabilir. Literatürdeki çok sayıda çalışmada serbest kalma zamanları ve onların diğer faktörlerle olan istatistiksel ilişkileri konu edilmiştir [19]. Dinamik yapı ve değişkenliğin iki genel faktörü vardır. Bunlar atölyenin şeklindeki değişim ve yeni işlerden kaynaklanan değişimdir. Bu tür çizelgeleme ve üretimde genelde birden fazla amaç bulunur.

3.1. Dinamik Atölye Tipi Çizelgelemede Teslim Zamanı Atama Modelleri

Teslim zamanı belirleme kurallarını iki kategoriye bölünmektedir:

1. Durağan kurallar
2. Dinamik kurallar

Dinamik kurallar, durağan kuralların aksine belli bir anı göz önüne alırlar. Bu an problemin yapısı ve çözüm şekline göre değişebilir. Genelde ortamın, özellikle kuyruk şeklinin değişmesine sebep olan bir değişimin zamanı olmalıdır. Bunun en iyi örneği işlerin serbest kalma anıdır.

Başka bir açıdan ise dinamik çizelgeleme problemleri teslim tarihi belirleme yöntemi üzerinden ikiye bölünür. Eğer teslim tarihleri üretime gelmeden önce ve sipariş alındığı zaman belirli ise dışsal teslim tarihi ve eğer atölyeye girdiği zaman atölye ortamının durumu ve özellikleri göz önüne alınarak oluşturulursa içsel teslim tarihi söz konusudur.

3.1.1. Dışsal teslim zamanı belirleme

Dışsal teslim tarihi belirleme yönteminin iki yaygın örneği vardır:

1. Sabit teslim tarihi belirleme:
Bu yöntemde tüm işler için sabit teslim tarihi tahsis edilir ve şöyle gösterilir:

$$d_i = r_i + k$$

2. Rassal teslim tarihi belirleme

$$d_i = r_i + e_i$$

e_i rassal bir sayıdır.

3.1.2. İşsel teslim zamanı belirleme

Teslim zamanı atamak için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bazı makalelerde genel yöntemlerden bahsedilmiştir [7]:

- DDA: teslim zamanı atama (due date assignment)
- ANN: yapay sinir ağı (artificial neural network)
- BPN: geri yayımlı ağ (back propagation network)
- SFC: atölye ortamı kontrolü (shop floor control)
- AI: yapay zeka (artificial intelligence)
- TWK: toplam iş miktarı üzerinden teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on total amount of works)
- SLK: serbest zaman tabanlı teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on slack time)
- NOP: operasyonların sayısı üzerinde teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on number of operations)
- JIQ: kuyruk uzunluğu tabanlı teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on current queue length in system)
- JIS: sistemde olan işler sayısının üzerinden teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on jobs in system)
- JIS+JIQ: sistemde olan işler ve kuyruklarda bekleyen işler sayısı üzerinden teslim zamanı tahmin kuralları.
- JIBQ: dar boğazdaki kuyruk uzunluğu üzerinde teslim zamanı tahmin kuralları (due date prediction rule based on queue length in bottleneck station)
- WIP: işlemde olan işler (works in process)

- KFM: anahtar etkenin göz önünü alan regresyon temelli vade zamanı belirleme.

Geleneksel modeller

Genelde teslim zamanının en basit hali şu şekilde hesaplanır:

$$d_i = r_i + p_i + q_i$$

d_i : İşsel kümedeki i ' inci sıranın (iş) teslim zamanıdır.

r_i : i ' inci sıranın serbest bırakma zamanıdır.

p_i : i ' inci sıranın toplam işlem süresidir.

q_i : i ' inci sıranın sistem içindeki toplam kuyrukta bekleme zamanıdır.

Literatürde geleneksel teslim zamanı atama ismi ile tanınan modellerin bazıları böyledir [7]:

a) TWK yöntemi

Bu yöntemde teslim zamanı şu şekilde tahmin edilir.

$$d_i = r_i + p_i \times k$$

b) JIQ yöntemi

$$d_i = r_i + p_i + q_q \times k$$

Buradaki k i ' inci sıranın beklenen kuyruktaki bekleme süresinin katsayısıdır ve regresyon analizinden elde edilir. q_q i 'inci sıranın atölyedeki kuyruklarındaki toplam bekleme süresidir.

c) JIS yöntemi

$$d_i = r_i + p_i + q_s \times k$$

d) JIS + JIQ yöntemi

$$d_i = r_i + p_i + q_s \times k_1 + q_q \times k_2$$

e) JIBQ yöntemi

$$d_i = r_i + p_i + q_{bottleneck} \times k$$

Regresyon temelli yöntemler

Bu yöntemlerde en önemli aşama q_{psp} ve q_s değerlerinin hesaplanmasıdır. q_{psp} , i . işi atölyeden önceki bekleme zamanlarının katsayısıdır. D.Y. Sha ve S.Y.

Hsu Kendi çalışmalarında yarı iletken üretimi için 92 etken ortaya koymuşlardır [7].

Yapay sinir ağları temelli yöntemler

Yapay sinir ağları uygulamalarında çok sayıda aktivasyon ve optimizasyon fonksiyonu vardır. Bunların hangisinin hangi problemde uygulanacağı ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur.

3.2. Dinamik Atölye Tipi Çizelgede Sevk Etme Kuralları ve Kural Temelli Çizelgeleme

Kural temelli çizelgeleme ve sevk etme kurallı çizelgeleme problemlerinin önemi son 10 yıl içinde artmıştır [14]. Kural temelli sevk etmenin dinamik çizelgeleme ortamlarındaki öneminden dolayı bu konudaki birçok çalışmanın konusu sevk etme kuralları ve onların sonuçlardaki etkisi olmuştur [2] [19] [20].

Bazı çalışmalarda kuralların özelliği üzerinden onları dört kategoriye ayrılmıştır[14]:

1. SPR, basit öncelik kuralları (simple priority rules)
2. CDR'ler, basit kuralların bileşimi (composite dispatching rules)
3. Ağırlıklı öncelik indeksleri
4. Sezgisel çizelgeleme kuralları

SPR'lerde genelde amaç fonksiyonu tek amaçlıdır. Yani işlem süresi veya teslim zamanı gibi tek parametreye sahiptir. EDD (earliest due date) ve SPT (shortest processing time), SRPT (shortest remaining processing time) gibi kurallar bu kategori içinde yer almaktadır.

Sevk etme kuralları başka açılardan da farklı kategorilere bölünmektedir. Örneğin bazı çalışmalarda sevk etme kuralları kullandıkları özellik üzerinden sınıflandırılmıştır [20]:

1. İşlem süresi temelli kurallar
2. Teslim zamanlı temelli kurallar
3. Bileşimli kurallar
4. Ne işlem süresi ve ne teslim zamanı göz önüne alan yöntemler

Kural tabanlı çizelgelemede, sistem bir ya da bir kaç çizelgeleme kuralını benimseyerek çizelgeleme işlerini yapar [2] [14]. Eğer sistem yapay zeka algoritmalarından da faydalanırsa belli zamanlarda çizelgeleme ortamının özelliklerine göre belli bir kuralı seçerek çizelgeleme yapar [14].

Literatürdeki bazı yaygın kullanılan sevk etme kuralları ve onların amaç fonksiyonunu bu şekilde sıraya biliriz [2]:

a) **FIFO, ilk giren ilk çıkar (first in first out)**

$$Z_i = r_i$$

b) **SPT en kısa işlem süresi (shortest processing time)**

$$Z_i = \sum P_{ij}$$

c) **EDD, en kısa yakın teslim zamanı (earliest due date)**

$$Z_i = d_i$$

d) **ALL, en küçük izin verilmiş zaman (the smallest allowance)**

$$Z_i = (d_i - t)$$

e) **MST, en küçük zaman payı (minimum slack time)**

$$Z_i = d_i - t - \sum_{r=1}^{r_i} P_{ir}$$

f) **MSTPO, her işlem için en küçük zaman payı (minimum slack time per operation)**

$$Z_i = d_i - t - \sum_{r=1}^{r_i} P_{ir}$$

g) **SRPT, en düşük kalan işlem zamanı (shortest remaining time)**

$$Z_i = \sum_{r=1}^{r_i} P_{ir}$$

h) CR, en küçük kritik oran (critical ratio)

$$Z_i = (d_i - t) / \sum_{r=1}^{r_i} P_{ir}$$

i) MDD, en küçük değiştirilmiş teslim zamanı (modified due date)

$$Z_i = \max(d_i, t_i + \sum_j P_{ij})$$

EDD gibi bazı kurallar iş temelli kurallardır. Bu kurallar işlerin özelliğini göz önüne alır. Bu şekildeki kuralların genelde işlem temelli şekilleri vardır [14]. Örneğin işlemleri için de teslim zamanı atanabilir ve bu teslim zamanı ODD şeklinde gösterilir. MDD kuralı da iş temelli bir kuraldır ve onun işlem temellisi MOD (modified operational due date) ile gösterilir. Bu kuralın matematiksel şekli böyledir:

$$ODD_i = r_i + \frac{(d_i - r_i)R_i}{P_i}$$

$$MOD: Z_i = \max\left(r_i + \frac{(d_i - r_i)R_i}{P_i}, t + P_{ik}\right)$$

Z_i önceliği belli eden amaç fonksiyonudur, P_{ij} i ' inci işin j ' inci makine üzerindeki işlem süresidir, d_i i ' inci işin teslim tarihidir, R_i i ' inci işin kalan işlem süresidir, t ise şimdiki zamandır.

3.3. Dinamik Atölye Tipi Çizelgeleme Ortamı İçin Bazı Özel Örnekler

Daha önce de vurgulandığı gibi dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi hem akademik çalışmalarda hem de pratik çalışmalarda önemli bir yere sahiptir [19] [7]. Bu ortamın pratik çalışmalardaki öneminden dolayı bazı çalışmalar gerçek hayattaki uygulamaları üzerinden çözüm yöntemleri geliştirmeye çalışılmıştır. Örneğin Sha ve Hsu mikro devre ve yarı iletken üretimindeki gerçek bir problem üzerinden dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamında teslim zamanı atama modelleri ve sevk etme kurallarının önemini açıklayıp yeni modeller önermişlerdir [7]. Dinamik atölye tipi çizelgeleme probleminin birçok türü vardır. Bu bölümde bu modellerin bazıları ve bunlara önerilen çözümler, literatürdeki çalışmalar üzerinden açıklanmıştır.

3.3.1. Paralel makineli modeller

FJSPDM (dynamic flexible job shop with parallel machines) ve FJSP ve PM (parallel machines) probleminin birleşimidir. FJSP’de her işlemin aşamalarda yalnız bir makine ama FJSPM’ de en az bir işlem aşamasında birden fazla makine bulunmaktadır. Tay ve Ho 2007 yılında üç seviyede esnekliği atölye çizelgeleme problemi için ele almışlardır [14].

1. Tam esneklik (FJSP – 100)
2. Orta esneklik (FJSP – 50)
3. Düşük esneklik (FJSP – 20)

Tay ve Ho’ya göre c% esnekliğin anlamı işlerin toplam operasyonlarının makinelerin en fazla c% üzerinde işlem görebilirliği anlamına gelmektedir [14].

Abbasian ve Nahavandi makalelerinde operasyonların esnekliği ve farklı hızlara sahip olan paralel makinelerden kaynaklanan esneklikleri göz önüne almışlardır ve sonra FDJSP (flexible dynamic job shop scheduling) probleminin NP – zor olduğundan FDJSPM probleminin NP – Zor olduğunu göstermişlerdir [22].

FDJSPM problem, bu makaleden önce araştırılmadığı için Abbasian ve Nahavandi önerdikleri algoritmanın performansını göstermek için FSPM için 2004 yılında önerilen RKGA algoritması ile karşılaştırma yapılmıştır[22].

RKGA (random key genetic algorithm) 2004 yılında Kurz ve Askin tarafından tanıtılmıştır [28]. RKGA meta sezgisel bir algoritmadır ve sabit hızlara sahip olan paralel makineler ve operasyonlardan kaynaklanan esneklik göz önüne alınarak FSPM probleminin çözümü için önerilmiştir [14].

RKGA algoritmasında problem, esnek istasyonlara atama ve operasyonların sıralaması şeklindeki iki alt probleme bölünür ve sonrada atama problemi de istasyon ve makine atama problemlerine bölünür. 2004’ki araştırmalarda ilk aşama RKGA algoritması ile ve ikinci aşama Johnson kuralı uygulanmıştır [22].

Rassal problemler türetmek

72 senaryo bulunmaktadır [22].

Tablo 3.1. Örnek problemlerde kullanılan parametreler

Etkenler	Etkenlerin seviyesi			
İşlerin sayısı	6		30-100	
Makinelerin dağılımı	Sabit	Değişken	Sabit	Değişken
Makinelerin sayısı	2-6	U(1,4)_U(1,6)	2-10	U(1,4)_U(1,6)
Aşama sayısı	2, 4, 8			
İşlem süreleri	U(50,70)_U(20-100)			
Makine hızlarının dağılımı	U(1,3)			

Her senaryo için 10 veri kümesi üretilmiştir. Sonuçlar küçük, orta ve büyük boyuttaki 3 seviyede elde edilmiştir ve onların ortalaması üzerinde karşılaştırma yapılmıştır.

3.3.2. Chang'ın modeli

Chang'ın çalışmasında atölye kullanım yükünün iki seviyesi vardır [23]:

- a) %50
- b) %90

Varsayımlar ise böyledir:

1. Atölyede 10 farklı makine vardır.
2. İşlerin operasyon sayısı U[2,3] dağılımına uymaktadır.
3. İşlerin geliş oranı atölye kullanım yükü üzerinden hesaplanır.
4. İşlerin geliş Poisson dağılımına uymaktadır.
5. Operasyonların işlem süreleri ortalaması on olan üstel dağılıma uymaktadır.
6. Operasyonlar işlemleri bitmeden makineden ayrılamazlar.
7. Taşıma ve hazırlık süreleri sıfırdır.

3.3.3. Cheng ve Jiang'ın modeli

Bu model literatürde en çok atıf alan modeller arasındadır. Bu çalışmada söz konusu modelin üzerinde çalışma yapılmıştır. Modelin açıklaması tezin izleyen bölümlerinde bulunmaktadır. Bu modelde sevk etme kuralları üzerinden çizelgeleme yapılmıştır [3].

Bazı çalışmalarda buna benzer ortamlar için basit sevk etme kuralları, bu kuralların karışımı, ağırlıklı halleri, meta sezgiseller veya yapay öğrenme yöntemleri ile beraber kullanılmıştır [14] [7].

Bu makaledeki işlerle ilgili varsayımlar literatürdeki standart varsayımlardır [20] [2]:

1. Sisteme giren bir iş direkt işlem görmeye hazırdır.
2. Her işin özellikleri diğerleri ile istatistiksel olarak bağımsızdır.
3. Her işin belli bir rotası vardır.
4. Her işin operasyonları sonlu bir işlem zamanına sahiptir. Tüm işlerin işlem süreleri belli bir dağılıma uymalıdır.
5. Her iş işlem aralarında bekleyebilir. Dolayısıyla işlem için envanter (in process inventory) olabilir.

Makaledeki makinelerle ilgili varsayımlar bunlardır:

1. Her makine merkezi bir ve ya bir kaç özdeş makineye sahiptir.
2. Atölyedeki her makine diğer makinelerden bağımsız olarak ve maksimum performans ile işlem yapabilir. Bakım ve ya arızadan dolayı her hangi bir makine durması söz konusu değildir ve makineler her zaman işlem yapabilir.

Ve operasyonlarla ilgili var sayımlar:

1. Her iş operasyon adlanan 1 veya bir kaç birimden oluşur.
2. Her operasyon işleme başladıktan sonra hiçbir iptal veya kesinti söz konusu olmadan işleme devam etmelidir.
3. Bir operasyonun bir makine üzerinde işlemi bitmeden önce başka operasyon aynı makine üzerinde işleme başlayamaz.
4. Her operasyon birden fazla makine üzerinden işlem göremez.
5. Her makine merkezi işlerin sırada beklemeleri için yeterli kapasiteye sahiptir.

6. Çıkıştaki kuyruklar için de yeterli kapasite vardır.

3.3.4. Diğer ortamlar ve kullanılan yöntemler

Dominic vd. dinamik ortamda denemeler yapıp sonuçları tartışmışlardır [24].

Literatürdeki çoğu çalışma gibi Dominic vd. teslim zamanlarının hesaplanması için toplam iş içeriği (TWK) yöntemini kullanmışlardır [24].

- a. Bu makaledeki teslim zamanları böyle elde edilmiştir:

$$DD_i = T_i + c \times TWK_i$$

- b. İşlerin geliş zamanı üstel dağılıma uymaktadır ve makine kullanım oranı %85 veya %95'tir.
- c. Her 9 kural için 72 benzetim yapılmıştır.
- d. Atölye ortamının istikrarlı duruma gelmesi için bininci işin gelişinden sonraki ortam temel alınmıştır. Veriler 1001'den 5000'inci işlerin atölyedeki durumundan elde edilmiştir.

Tekrar ve çalıştırma sürelerini belli etmek için literatürde birçok çalışma vardır [24] [25] [20]. Üç etkenli varyans analizi ve Duncan testi bu çalışmadaki birinci tip hatanın en fazla %5 olduğunu göstermiştir. Aşağıdaki tablolarda, $K=1$ FIFO kuralı, $K=2$ LIFO kuralı, $K=3$ LPT kuralı, $K=4$ MWKR kuralı, $K=5$ MWKR – FIFO, $K=6$ MWKR – SPT kuralı, $K=7$ SPT, $K=8$ TWKR ve $K=9$ TWKR – SPT kuralı gösterilmektedir. T_k ve K 'inci kuralın uygulandığında işlerin ortalama gecikme ve TJ geciken işler ve TY gecikme durumu UT kullanım etkeni ve FL akış zamanı ve σ_t^2 de gecikmelerin varyansını göstermektedir. Sonuçlar: akış zamanları ve gecikmelerin maksimum ve varyansı üzerinden sonuçlar farklı olmadığı için bu makalede yalnız gecikmelerin ortalama ve maksimumu üzerinden değerlendirme yapılmıştır. MWKR – FIFO kuralının genelde daha iyi performansa sahip olduğu gözükmektedir. SPT ve LPT de bazı durumlarda iyi sonuçlar elde edebilmiştir. Bazı durumlarda ise TWKR – SPT ve MWKR – SPT iyi sonuçlara sahiplerdir. Literatürde ortalama akış süresi ve ortalama gecikme için en iyi kuralın SPT olduğu bilinir ama buradaki sonuçlar MWKR – FIFO ve TWKR – SPT'nin daha iyi sonuçlar elde ettikleri gözükmektedir.

Her sevk etme kuralı için önce veriler elde edilmiştir. Bunun için rassal olarak türetilen problem işlerin başlangıç zamanından sona kadar belli bir kuralla

atamışlardır [5]. Bu benzetim sırasında her işin salındığı zaman atölyenin özellikleri kayıt edilmiştir. Örneğin benzetimde SPT kuralına göre işler sevk edildiğinde, üçüncü işin serbest bırakıldığı zamanda atölyenin ve üçüncü işin kendine özel özelliklerin böyle olduğunu varsayalım:

- İşin maksimum operasyon süresi = 17
- Operasyon sürelerinin toplamı = 85
- Atölyedeki toplam iş sayısı = 3
- Kuyruktaki bekleyen işlerin toplam operasyon sayısı = 27
- İşlerin ortalama gecikme sürelerinin toplamı = 0
- Atölyedeki operasyon sürelerinin toplamı = 1200
- Tüm işlerin operasyon sayısı = 9

Söz konusu çalışma 15 girdiden ve her iş için benzetimden elde edilen akış süresi ile eğitilen yapay sinir ağı tasarlanmıştır. Bu sinir ağında aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyonu olduğu için veriler $x' = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ üzerinden normalleştirilmiştir. Yapay sinir ağının eğitim sırasındaki girdi ve çıktıları şöyle gösterebiliriz [5]:

Çıktılar	Girdiler			Çıktı, akış zamanı
	1'inci girdi	2'inci girdi...	15'incigirdi	
1'inci iş				
2'inci iş				
...				

Şekil 3.1. Sinir ağının girdi ve çıktıları

Aynı eğitim süreci başka kurallar için de yapılır. Eğitim süreci bittikten sonra her kural için elde bir yapay sinir ağı vardır. Bundan sonra çizelgeleme sırasında işlerin serbest bırakıldığı zamandaki atölye durumu ve işlerin kendi özelliği girdi olarak SPT ve ya FIFO veya başka kuralların sinir ağına girdi olarak

girerse o kurala göre toplam akış süresi ve dolayısıyla tam zamanında üretim felsefesine göre teslim tarihinin normalleştirilmiş hali elde edilir.

3.3.5. Dinamik ortamlardaki parametreler için küçük bir problem

Dinamik atölye tipi çizelgeleme problemleri belli parametreler üzerinden türetilir. Bu bölümde çalışmadaki ortama benzer olan ama boyutları küçük olan bir örnek türetilip çözülmüştür.

Örnek probleminin parametreleri

Bu örnekte kullanılan parametreler böyledir:

İşlerin sayısı: 6

İşlerin operasyon sayısının dağılımı: $U(1,5)$

Makinelerin sayısı: 3 (birbirinden farklı)

Her işlemin süresi: $exp(1)$

Atölye kullanım oranı: 0,9

İşlerin operasyon sayıları $U(1,5)$ olduğundan ortalamaları üçtür ($\mu_g = 2$) ve $\mu_g = m$. Ayrıca işlem sürelerinin ortalaması yani μ_p bire eşittir. Atölye kullanım oranının 0,9 olması, ortalama gelişler arası sürenin y ve ortalama bir işin işlem süresi x olduğunda ($\mu_p \mu_g = x$) $x/y = 0,9$ olması anlamındadır. λ iş gelişlerinin oranını ve

$1/\lambda$ gelişler arası süreni temsil etmektedir. Chang'ın belirttiği gibi atölye kullanım oranı aşağıdaki eşitsizlikten elde edilir [26]:

$$\rho = \lambda \mu_p \mu_g / m$$

Yukarıdaki denklemden $\rho = \lambda$ elde edilir. Yani iş gelişlerinin oranı 0,9 ve gelişler arası süre $1/0,9=1,11$ dir.

Bu verilerle türetilmiş olan bir problem

Tablo 3.2. Örnek dinamik problemde işlerin özelliği

İş	İşlem sayısı	Serbest kalma zamanı
1	3	2
2	3	2.18
3	1	2.26
4	3	2.69
5	2	2.99
6	1	3.33

İşlerin rotaları

Birinci işin rotası: 3-1-3

İkinci işin rotası: 3-1-3

Üçüncü işin rotası: 1

Dördüncü işin rotası: 2-3-2

Beşinci işin rotası: 3-2

Altıncı işin rotası: 1

İşlemlerin, işlerdeki sırası ve işlem süreleri

Tablo 3.3. Problemdaki işlerin özelliği

İşlem	İlgili iş	İşteki sırası	İşlem göreceği makine	İşlem süresi
1	1	1	3	0.04
2	1	2	1	1.28
3	1	3	3	0.04
4	2	1	3	0.04
5	2	2	1	1.28
6	2	3	3	0.04
7	3	1	1	1.28
8	4	1	2	0.60
9	4	2	3	0.04
10	4	3	2	0.60
11	5	1	3	0.04
12	5	2	2	0.60
13	6	1	1	1.28

FIFO kuralına göre çizelgelemenin sonucu

Tablo 3.4. FIFO kuralına göre çizelgenenen işlemlerin durumu

Çizelgeleme sırası	Çizelgenen işlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı	Makine
1	1	2	2.04	3
2	2	2.04	2.32	1
3	4	2.18	2.22	2
4	8	2.68	3.29	2
5	11	2.99	3.03	3
6	9	3.29	3.33	3
6	12	3.29	3.89	2
7	5	3.32	4.60	1
8	3	3.33	3.37	3
9	10	3.89	4.49	2
10	6	4.60	4.64	3
10	7	4.60	5.87	1
11	13	5.87	7.15	1

Makinelere atanan işlemler

Tablo 3.5. Birinci makineye atanan işlemler

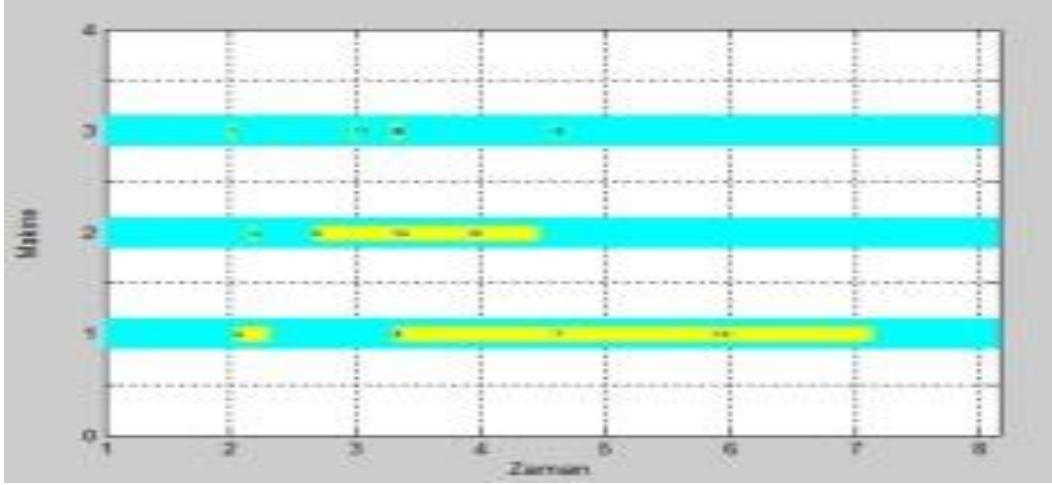
Atanan işlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı
2	2.04	2.32
5	3.32	4.60
7	4.60	5.87
13	5.87	7.15

Tablo 3.6. İkinci makineye atanan işlemler

Atanan işlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı
4	2.18	2.22
8	2.68	3.29
12	3.29	3.89
10	3.89	4.49

Tablo 3.7. Üçüncü makineye atanan işlemler

Atanan işlem	Başlangıç zamanı	Bitiş zamanı
1	2	2.04
11	2.99	3.03
9	3.29	3.33
3	3.33	3.37
6	4.60	4.64



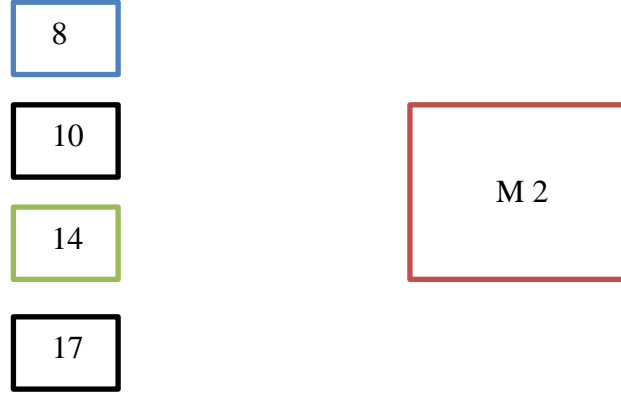
Şekil 3.2. Çizelgelemenin gantt şeması

3.3.6. Dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamlarında makinelerin önündeki işlemlerden kural temelli seçim yapmak için bir örnek

Dinamik atölye tipi çizelgeleme probleminde makinelerin boş olduğu zaman üç durum gerçekleşebilir:

1. Makineye atanacak işlemin bulunmama durumu: Bu durumda makine önüne bir işlem gelene kadar bekler.
2. Makinenin önünde bir işlemin beklediği durum: Bu durumda söz konusu işlem makineye atanır.
3. Makinenin önünde birden fazla işlem beklediği durum: Bu durumda makinenin önünde bekleyen işlemlerden bir kuyruk oluşur ve makine belli bir kurala göre bunların arasından birini seçmesi lazımdır. Atölye kullanım oranları ve dolayısıyla makinelerin kullanım oranları yüksek olduğu zaman genelde bu durum gerçekleşir ve bu durumda kural temelli çizelgelemenin

önemi daha iyi anlaşılır. Aşağıdaki şekil bu kuyruklar için bir örnektir. Tabloda bu işlemlerin özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Atölyedeki bir makinenin önünde bekleyen işlemler

Tablo 3.8. Makinenin önünde bekleyen işlemlerin özelliği

İşlem	Bağlı olduğu iş ve işteki sırası, [j i]	İşin toplam işlem süresi	İşin işlem sayısı	İşin teslim zamanı	Makinenin önünde beklemeye başladığı zaman	İşlem süresi	İşin şimdiki zamana kadar işlem süresi	İşin kalan toplam işlem süresi
8	[2 3]	21	4	28	19	2	16	5
10	[3 1]	16	4	38	14	1	0	16
14	[4 1]	9	2	33	15	5	0	9
17	[5 2]	18	3	30	17	3	10	8

Bir atölyedeki makinenin 21'inci birim zamanında önceki işleminin bittiğini ve bu zamanda önündeki kuyruқта bekleyen işlemlerin özelliğini tablodaki gibi olduğunu varsayalım. Söz konusu makine 21'inci birim zamanında boş olduğundan yukarıdaki işlemler arasından seçim yapmak zorundadır.

Bu seçim rassal ve ya belli bir kurala göre olabilir. Bazı kurallar göre seçilen işlem böyledir:

FIFO kuralına göre işlem seçimi

İşlemlerin makine önünde hangi zamandan hazır beklemedikleri altıncı satırda görünmektedir. Bu makinenin kuyruğa ilk giren işlem onuncu işlem yani üçüncü işin birinci işlemi seçilir.

SPT kuralına göre işlem seçimi

İşlemlerin süreleri 2, 1, 5, 3 birim zamandır. En düşük işlem süresine sahip olan onuncu işlem yani üçüncü işin birinci işlemi seçilir.

SRPT kuralına göre işlem seçimi

Tablonun son satırında işlerin kalan işlem süreleri gösterilmektedir. En az kalan toplam işlem süresine sekizinci iş yani ikinci işin üçüncü işlemi sahiptir ve dolayısıyla bu kurala göre sekizinci işlem seçilir.

EDD kuralına göre işlem seçimi

En erken teslim zamanına sahip olan 17'inci işlem seçilir.

CR kuralına göre işlem seçimi

İşlemlerin bağlı olduğu işlerin kritik oranları $CR_i = (d_i - t)/R_i$ formülü üzerinden hesaplanır. Bu formüldeki t şimdiki zaman yani 21'i temsil etmektedir.

İkinci işin kritik oranı:

$$(28-21)/5 = 1,4$$

Üçüncü işin kritik oranı:

$$(38-21)/16 = 1,0625$$

Dördüncü işin kritik oranı:

$$(33-21)/9 = 1,33$$

Beşinci işin kritik oranı:

$$(30-21)/8 = 1,125$$

En düşük kritik orana sahip olan 10'uncu işlem seçilir.

MDD kuralına göre işlem seçimi

İşlemlerin bağlı olduğu işlerin değiştirilmiş teslim zamanları $MDD_i = \max\{d_i, t + \sum P_{ij}\}$ üzerinden hesaplanır:

İkinci işin değiştirilmiş teslim zamanı:

$$\text{Max } (28, 21+21) = 42$$

Üçüncü işin değiştirilmiş teslim zamanı:

$$\text{Max } (38, 21+16) = 38$$

Dördüncü işin değiştirilmiş teslim zamanı:

$$\text{Max } (33, 21+9) = 33$$

Beşinci işin değiştirilmiş teslim zamanı:

$$\text{Max } (30, 21+18) = 39$$

Bu kurala göre en düşük değiştirilmiş teslim zamanına sahip olan işlem yani 14'üncü işlem seçilir.

4. DİNAMİK ATÖLYE TİPİ ÇİZELGELEME İÇİN TESLİM ZAMANI BELİRLEME YÖNTEMLERİ VE SEVK ETME KURALLARI

İlk olarak Cheng ve Jiang'ın ele aldığı ve Chang'ın önerdiği ortamın bir özel hali olan bu ortam, ayrıca başkaları tarafından da ele alınmıştır [23] [3] [27]. Bu çalışmalarda atölye kullanım oranları için %80 ve %90 şeklindeki iki seviye ele alınmıştır. Baker ve Kanet gerçek imalatta yaptıkları araştırmalar sonucunda bu oranların orta ve ağır derecedeki yük oranlarının temsil ettiğini göstermişlerdir. Diğer çalışmalarda ise %50 yükü atölyenin hafif yükünü göstermek için kullanılmıştır [3].

4.1. Ele Alınan Deney Ortamının Özellikleri

Deney ortamındaki model ve kullanılan parametreler şöyledir:

1. Atölyede 5 farklı makine vardır.
2. Atölyeye işlerin gelişi Poisson sürecine göredir. İşlerin geliş oranı, atölye kullanımına bağlı olarak belirlenmektedir.
3. Her bir iş üzerindeki işlem sayısı 1 ila 9 arasında düzgün dağılmaktadır.
4. Her bir işin rotasının belirlenmesinde, bir sonraki işlem için her bir makinenin seçilme olasılığı eşittir. Bir makine bir işin birden fazla işlemini yapabilmektedir, ancak bir makinede iki sıralı (ardışık) işleme izin verilmemektedir.
5. İşlem süreleri, ortalaması bir birim olarak, üstel dağılmaktadır.
6. İşlerin bölünmesine izin verilmemektedir.
7. Hazırlık süreleri işlem sürelerine dahildir.
8. Taşıma süreleri ihmal edilmektedir.

Cheng ve Jiang bu ortamın değerlendirmesinde 4 sevk etme kuralını, 5 teslim zamanı atama kuralını ve 2 atölye yükünü ele almışlardır [3].

Atölye Kullanım Oranları

Deney ortamında bu konudaki benzer çalışmalarda olduğu gibi %80 ve %90 seviyelerinde olan iki atölye yükü ele alınmıştır.

4.2. Literatürde Bu Ortam İçin Ele Alınan Sevk Etme Kuralları ve Teslim Zamanı Atama Modelleri

Bu dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamına daha önce literatürdeki bazı sevk etme kuralları uygulanıp sonuçlar karşılaştırılmıştır [9] [45]. Bu çalışmada daha etkin sevk etme kuralı bulmak için önerilen sevk etme kuralları ile daha önceki çalışmalarda uygulanan kurallar uygulanarak test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Bu ortamda daha önce denemiş olan sevk etme kuralları

Daha önceki çalışmalarda bu ortam için aşağıdaki sevk etme kuralları denenmiştir [3].

1. FIFO
2. SPT
3. CR+SPT
4. ALL+CR+SPT

Bu ortam ve benzer ortamlarda iyi sonuçlar veren başka bir dinamik sevk etme kuralı ise Aşağıdaki kuraldır [23] [27].

5. CR+OPNSLK

4.2.2. Bu ortamda daha önce denemiş olan teslim zamanı atama modelleri

Daha önce de vurgulandığı gibi teslim zamanı atama modellerinin 3 genel şekli vardır [7].

- a. Geleneksel modeller

TWK ve JIQ ve JIBQ ve dinamik teslim zamanı atama modellerini de bu kategoride sayabiliriz.

- b. Regresyon temelli modeller
- c. Yapay sinir ağları temelli modeller

Regresyon ve yapay sinir ağlarını temel alan modellerin iki genel şekli vardır:

- a. İş ve atölye ortamındaki özelliklerini kullanarak direkt teslim zamanını tahmin eden modeller.
- b. r_i ve p_i değerlerinin toplamını sabit tutarak, sadece gecikmeyi tahmin eden modeller.

Cheng ve Jiang'ın çalışmasında kullanılan teslim zamanı atama modelleri şöyledir [3]:

- a. TWK (Toplam iş içeriği)

$$d_i = r_i + k \cdot p_i$$

- b. PPW (İşlem süresi + Bekleme süresi)

$$d_i = r_i + p_i + k \cdot n_i$$

- c. DTWK (Dinamik toplam iş içeriği)

$$k_t = \frac{N_{s_t}}{\lambda \mu_p \cdot \mu_g}$$

$$d_i = r_i + E n b [1, k_t] \cdot \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij}$$

μ_p her bir işteki ortalama işlem sayısı ve μ_g her işlemin ortalama süresi, $\mu_p \cdot \mu_g$ her bir işin ortalama süresi, λ ortalama gelen iş oranı, N_{s_t} t anındaki sistemde olan iş sayısı, k_t ise t anındaki gerçek sıklık seviyesidir.

- d. DPPW (Dinamik işlem süresi ve bekleme süresi)

$$w_i = \frac{N_{q_t} \cdot n_i}{\lambda \cdot \mu_g}$$

$$d_i = r_i + \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} + w_i$$

N_{q_t} , t anındaki tüm makinelerin kuyruğunda bekleyen işlerin sayısı ve w_i , n_i sayısında işlemi olan bir işin bekleme süresidir.

- e. Regresyon temelli modeller

Bazı çalışmalarda regresyon temelli yeni teslim zamanı atama modeller önermişlerdir [23] [27].

4.2.3. Daha önceki çalışmalardaki kullanılan performans ölçütleri

Bu ortam için MAL (mean absolute latness) - ortalama mutlak sapmalar ve MSL (mean square latness) - ortalama sapmaların karesi daha önceki çalışmalarda kullanılmıştır [3] [23] [27].

4.2.4. Daha önceki çalışmalardaki gözlemler

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda %5 anlam seviyesindeki yapılan varyans analizinde hem MSL ve hem MAL ölçütlerine göre ele alınan üç etkenin ve onların karşılıklı etkileşiminin anlamlı olduğunu göstermişlerdir [3]. Bu çalışmada yapılan faktör analizi sonucunda MAL ölçütü için atölye yük oranının en fazla olduğu gösterilmiştir [3]. Teslim zamanı atama modeli ve sevk etme kuralı faktörleri ise ikinci ve üçüncü sıradalar [3]. MSL ölçütü için ise bu sıra şöyledir: Yük oranı, sevk etme kuralı ve teslim zamanı atama modeli. Bu çalışmada önerilen regresyon temelli model birinci deney ortamı için elde edilen sonuçların hepsinde hem MSL hem de MAL performans ölçütlerine göre açık arayla en iyi sonucu elde etmiştir. Söz konusu çalışmada bu sonuçlar için bu yorumları eklemiştir [3]:

Atölye kullanımı arttıkça performans kötüleşmektedir. Özellikle ortalama kareli sapmada önemli kötüleşme gözlenmektedir [3]. Bu da, atölye sıklığı arttıkça çizelgeleme sisteminin kararsızlığı artmaktadır şeklinde yorumlanabilir [3]. Dinamik teslim zamanı atama modellerinin, teslim zamanı bağımlı sevk etme kuralları ile kullanılmasıyla ortalama mutlak sapmada yaklaşık %42'lik bir azalma elde edilmektedir [3]. Bu azalma ortalama kareli sapmada yaklaşık %65 oranında olmaktadır [3]. Bu da değişen atölye ve iş bilgisinin dikkate alınarak teslim zamanlarının belirlenmesi ve teslim zamanı bilgisinin sevk etmede kullanılmasının, çizelgeleme sürecinin kontrolü ve koordinasyonunda önemli ölçüde yardımcı olduğunu göstermektedir [3]. Ayrıca bu sonuçlar, teslim zamanı bağımlı sevk etme kurallarının teslim zamanı bağımsız kurallara göre daha üstün olduğunu da göstermektedir [3].

Bu çalışmada daha önce bu ortam için kullanılan teslim zamanı atama modellerinden başka aşağıdaki modeller de kullanılmıştır:

1. REG-1
2. REG-2

3. YSA-1
4. YSA-2

Teslim zamanı atama modeli için de daha önce bu ortamda kullanılan regresyon modeline benzer olan ve daha fazla özellikten yararlanan ama özelliklerin etkileşimini göz önüne almayan (REG-1) ve ayrıca etkileşimleri göz önüne alan (REG-2) modeli ve yapay sinir ağı temelli iki model önerilmiştir (YSA-1, YSA-2). Bu modellerin üçünde (REG-1, REG-2 ve YSA-1) ele alınan 20 özellik üzerinden toplam gecikme hesaplanmıştır. Bu gecikme iki modelde regresyon ve diğer yöntemde ise yapay sinir ağları üzerinden hesaplanmıştır. Dördüncü modelde ise (YSA-2), 20 özellik üzerinden gecikme hesaplanmıştır. Yine regresyon temelli çalışmalarda olduğu gibi yapay sinir ağlarını temel alan modellerde de her kural için ayrı bir sinir ağı eğitilmiştir. Ele alınan 20 özellik şöyledir:

1. Atölye kullanım oranı
2. i'inci işin serbest kalma zamanındaki boş makinelerin sayısı
3. i'inci işin serbest kalma zamanındaki serbest kalan işlerin sayısı
4. i'inci işin serbest kalma zamanında tüm sıralarda bekleyen işlerin sayısı
5. i'inci işin serbest kalma zamanında işlemde olan işlerin sayısı
6. i'inci işin serbest kalma zamanında atölyede olan işlerin sayısı
7. i'inci işin serbest kalma zamanında sıradaki işleme hazır olan işlerin sayısı
8. i'inci işin serbest kalma zamanındaki işlerin ortalama kalan operasyon sayısı
9. i'inci işin serbest kalma zamanındaki işlerin ortalama kalan işlem süreleri
10. i'inci işin serbest kalma zamanındaki serbest kalan operasyonların sayısı
11. i'inci işin serbest kalma zamanındaki tüm sıralarda bekleyen operasyonların sayısı
12. i'inci işin serbest kalma zamanındaki işlemde olan operasyonların sayısı
13. i'inci işin serbest kalma zamanındaki atölyede olan operasyonların sayısı
14. i'inci işin serbest kalma zamanındaki serbest kalan işler arasında en az işlem süresi
15. i'inci işin serbest kalma zamanındaki serbest kalan işler arasında en çok işlem süresi

16. i'inci işin serbest kalma zamanındaki serbest kalan işlerin ortalama işlem süreleri
17. i'inci işin işlem süresi
18. i'inci işin operasyon sayısı
19. i'inci işin serbest kalma zamanı
20. Lambda değeri

Teslim zamanı atama modelleri ilk 3 sevk etme kuralı üzerinde denenmiştir ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ama hem yeni kurallar ve hem literatürde en iyi sonuçları veren sevk etme kuralları, daha hassas teslim zamanı atama yapan modeller yani DTWK ve YSA-2 ile sınanmıştır.

4.3. Regresyon Temelli Teslim Zamanı Belirleme

Bu ortamda teslim zamanı atamak için daha önceki çalışmalarda da regresyon yöntemi kullanılmıştır [5] [27]. Bazı çalışmalarda etkin olan özellikler ve onların ikili etkileşimleri tartışılmıştır [27]. Bu çalışmada teslim zamanlarını belirlemek için iki regresyon modeli kullanılmıştır. Bu iki model REG-1 ve REG-2 şeklinde gösterilmiştir.

4.3.1. REG-1

Bu modelde ortam; işler, işlemler ve makinelerin durumu ile ilgili olan 20 özellik, sadece doğrusal etkileşimleri göz önüne alınarak kullanılmıştır.

4.3.2. REG-2

Bu modelde her kural için sadece etkin olan özellikler ve etkin olan ikili etkileşimler kullanılmıştır. Etkili olan özellikleri belirlemek için adimsal regresyon kullanılmıştır.

4.3.3. Regresyon analizinin değerlendirilmesi

Regresyon temelli çalışmalarda her zaman bir kaç faktör yorum için gereklidir. Bunların başında R^2 ve p değerleri ve t testi değerleri vardır. Daha önceki çalışmalarda önerilen regresyon temelli modeller için bu üç faktörün hiç birisinin üzerinde yorum yapılmamıştır. R^2 çok değişkenli regresyonda düzeltilmiş R^2 , bir modelin doğruluk oranını gösterir ama bu yeterli değildir ve ayrıca katsayıların p değerleri ve F değerlerine bakmak gerekiyor. p değeri her

katsayının anlamlı olup olmadığı ve H_0 reddedip edemeyeceğimize dair bilgiler verir ve F istatistiği ise katsayıların standart hata ve standart sapmalarını göz önüne alarak bir katsayının sıfır olma olasılığına dair bilgiler verir. Bu çalışmada önerilen regresyon temelli modellerde değişkenlerin etkileşimini göz önüne alıp alınmadığı durumları inceleyerek onların R^2 değeri üzerinden farklı regresyon modelleri kurulmuştur. Genelde özellik sayısı çoğaldığı zaman, model iyi kurulsa da kurulmasa da R^2 1'e yaklaşır. Bu durumda düzeltilmiş R^2 (adjusted R^2) göz önüne alınır. Genelde regresyon modelinde etkileşimler göz önüne alındığı zaman düzeltilmiş R^2 'nin değişmeyip, MSE değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Regresyon temelli teslim zamanı belirleme modellerinde ilk 3 kural için adimsal regresyon yapılmıştır ve etkin faktörler seçilmiştir. Her kural için etkin faktörlerin farklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Özelliklerin etkinliği

Her iki atölye yükü için yapılan adimsal regresyonu yapılmıştır. Katsayılar farklı olsa da etkin olan özellikler her iki oran için benzerdir. REG-1 modelinde yalnız doğrusal ama REG-2'de karşılıklı etkileşimlerde kullanılmıştır. Yapılan denemelerin sonucunda yapay sinir ağı temelli her iki modelde, regresyon analizinden etkin görünmeyen özellikler çıkarıldığında performansın düştüğü gözlemlenmiştir. Bu yüzden YSA-1 ve YSA-2 modellerinde 20 özelliğin hepsi kullanılmıştır.

%95 güven aralığıyla %80 atölye kullanım oranında REG-2 modeli için adimsal regresyonun sonuçları aşağıdaki tablolarda görülmektedir. %90 kullanım oranı için de sonuçlar benzerdir. Tablonun birinci sütununda etkin olan özelliğin numarası yazılmaktadır. Bu tablolar F istatistik değeri üzerinden sıralanmıştır. Bu değer ne kadar büyük olursa modelde özellik katsayısının sıfır olma olasılığı o kadar düşüktür. Güven aralığı % 95 olduğunda p değerleri 0.05 altında olan özellikler etkindir. Tabloda $x:y$ şeklinde gösterim şekli iki etkileşimleri temsil etmektedir.

- FIFO kuralı için etkin özellikler

Tablo 4.1. FIFO için etkin özellikler

Etkin olan özellik	F statistiđi	P değeri
3	42575188.04	0
10	5747.71	0
17	3639.93	0
18	2317.58	0
19	7403.23	0
5	3510.41	0
5:18	2496.39	0
9	315.66	1.48944e-69
11	67.50	2.36685e-16
8	105.52	1.24550e-24
9:18	65.26	7.30364e-16
3:18	39.97	2.67722e-10
10:18	32.59	1.16937e-08
8:18	12.37	0.000437594
11:18	28.64	8.89457e-08
9:10	8.56	0.0034302
8:9	7.76	0.0053305
7	4.00	0.045518

- SPT kuralı için etkin özellikler

Tablo 4.2. SPT için etkin özellikler

Etkin olan özellik	F istatistiği	P değeri
3	39732274.08	0
10	2828.97	0
15	2455.07	0
19	6323.25	0
17	235.31	1.63654e-52
15:17	589.13	1.6914e-126
13	167.02	6.64251e-38
13:15	526.49	1.3640e-113
10:17	21.84	2.99515e-06
17:19	25.21	5.22708e-07
18	21.65	3.31181e-06
10:19	14.74	0.000124109
3:17	9.21	0.0024021
16	8.53	0.0034825
3:10,	6.28	0.012219
10:18	5.76	0.016333
3:16	11.72	0.000619758
17:18	4.95	0.026087

- SRPT kuralı için etkin özellikler

Tablo 4.3. SRPT için etkin özellikler

Etkin olan özellik	F istatistiği	P değeri
3	64080512.57	0
10	9995.48	0
18	1893.38	0
19	10318.06	0
5	6620.24	0
11	492.23	1.68574e-106
5:18	424.38	2.210094e-92
9	166.76	7.543921e-38
8	169.37	2.079403e-38
15	118.50	1.912993e-27
15:18	133.05	1.374418e-30
14	179.71	1.25661e-40
14:18	118.39	2.023133e-27
8:9	14.30	0.000156338
5:11	14.30	0.000155979
9:18	12.71	0.000364246
11:14	9.70	0.0018446
8:18	7.78	0.0052795
10:18	16.46	4.99929e-05
3:18	13.23	0.000276489
5:14	6.63	0.0099985
5:10	5.86	0.015494
5:19	6.60	0.010211
9:19	4.85	0.027664
9:11	4.03	0.044632
5:8	10.43	0.00124042
3:5	4.65	0.030915
9:10	4.02	0.044784

- **Regresyon modellerinin geçerliđi**

Geliştirilen regresyon modellerinin hepsinde R^2 , bire çok yakın değerlerdir ama her kural için REG-1 ve REG-2'lerin MSE (mean square error) aralarında farklılıklar vardır. Bu değerler aşağıdaki tablolarda görünmektedir.

Tablo 4.4. Regresyon modellerinin MSE değeri

Kural	REG-1'in MSE'si	REG-2'in MSE'si
FIFO	945.30	939.22
SPT	375.23	372.65
SRPT	179.87	177.98

Yukarıdaki tabloda regresyon modellerinin oluşturulma aşamasındaki ortalama kareli hata değerleri üzerinden ikili etkileşimleri kullanan regresyon modellerinin oluşturma aşamasında daha düşük hataya sahip oldukları gözükmektedir. Buna rağmen diğer bölümlerdeki sonuçlardan REG-1 modelinin bazı durumlarda REG-2 modelinden daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

4.4. Sinir Ağı Temelli Teslim Zamanı Belirleme

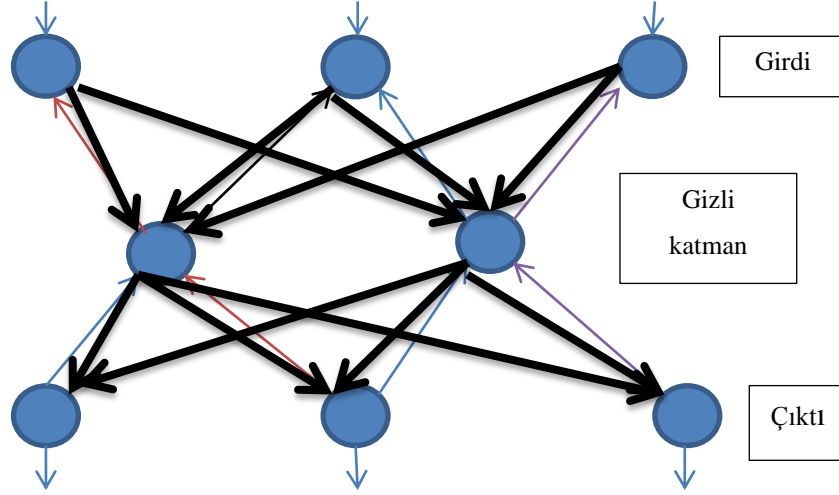
Sinir ağlarının özellikle dinamik ortamlarda teslim zamanı belirlemede etkin oldukları daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir [5]. Bu çalışmada da teslim zamanı atamak için iki yapay sinir ağı temelli yöntem kullanılmıştır. YSA-1 ve YSA-2 şeklinde gösterilen bu modellerin etkili olduğu sonuçlar üzerinden görünmektedir. Daha önceki çalışmalarda bu sayıda özellikle çalışan yapay sinir ağı temelli teslim zamanı belirleme modeli literatürde mevcut değildir. Her iki yapay sinir ağlarına dayalı modelde, optimizasyon algoritması için Bayes düzleştirici yaklaşımı kullanılmıştır. Bu algortima diğer algortimalara (örneğin Levenberg-Marquardt algortimasına) göre daha iyi sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. Örneğin Bayes düzeltmeye dayalı geri yayılım algoritmasında 10,000 iş için ortalama öğrenme süresi 200 saniye ve LM algoritmasında 80 saniye olmuştur ama Bayes düzeltmeye dayalı geri yayılım algoritmasının performansı ortalama %57 daha iyi olmuştur.

Az sayıda iş ile öğrenme süreçlerinde bu farklar çok azalmıştır. Örneğin 1000 iş verileri ile yapılan öğrenmede söz konusu iki algoritma için çok anlamlı farklar olmamıştır.

Levenberg-Marquardt algoritması doğrusal olmayan çok değişkenli fonksiyonların en küçük değerini en küçük kareler yöntemi ile bulan algoritmadır. Bu algoritma Gauss-Newton algoritması (GNA) ve gradyan düşüş yöntemi arasında interpolasyon yapar ve eğri uydurma problemlerinin en yaygını olan algoritmalarındandır.

Yapay sinir ağlarında en uygun şekle sokma algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması

Geriye yayılım ağı, temel olarak girdi örüntüsüyle birlikte ağı sunulan sistemin beklenen çıktılarına gerek duyan öğretmenli öğrenme stratejisini kullanır . [5] Öğrenme mekanizması, ağı gerçek ve beklenen (istenen) çıktıları arasındaki hatayı minimize eden yinelemeli eğim azalması metoduna dayanır [5]. Geri yayımlı sinir ağlarında ağırlıklar ve eğimlerin en uygun değerlerinin bulmak için genelde Levenberg-Marquardt algoritması kullanılır. Bu algoritmanın yaygın kullanım sebeplerinden biri hızlı olmasıdır. Ama daha önce de söylenildiği gibi her problemin yapısına uygun olarak farklı algoritmalar ve ağ topolojisi kullanılabilir. Bu çalışmadaki problemin üzerinde yapılan denemeler Bayes düzleştirici algoritmasının daha uygun olduğunu göstermiştir.

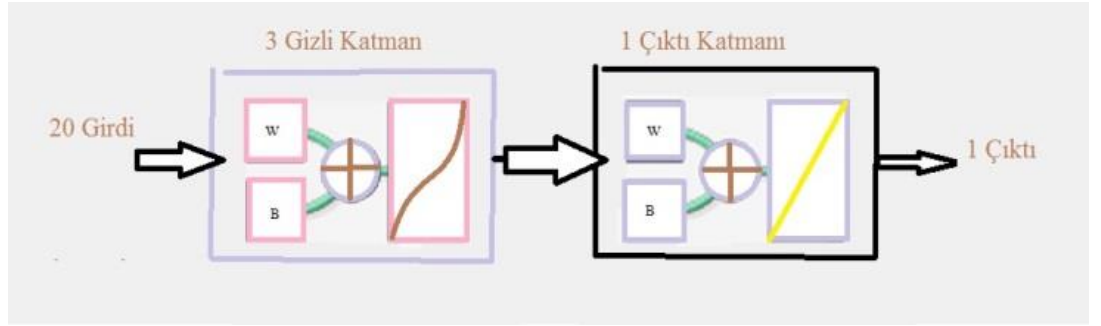


Şekil 4.1. Geri yayımlı bir ağıın şekli

Bayes düzleştirici algoritması

Bayes düzleştirici geri yayımlı ağlarda da Levenberg-Marquardt algoritması kullanılır ama buradaki fark bu algoritmanın hatalar karesi ve ağırlıkların birleşiminin güncellenmesidir.

Gizli katman sayısını belirlemek için literatürde birçok yöntem vardır. Genelde girdilerdeki özellik sayısı kadar gizli katman kullanılır. Bazı çalışmalarda ise fazla gizli katmanın öğrenme setine zarar verdiğiine dair bulgular mevcuttur. Bu çalışmada gizli katman sayısı için hem n ve hem $\sqrt{n \cdot m}$ ve $0.75 \cdot n$ (n girdi ve m çıktı sütunlarının sayısıdır) üzerinden hesaplanan değerler ve hem üçe eşit olan gizli katman sayısı denenmiştir ve performansta pek bir fark olmadığından ve yalnız öğrenme hızının gizli katman sayısının artışıyla düştüğünden dolayı gizli katman sayısı üçe eşit tutulmuştur [12]. Çıktı nöron sayısı ise bire eşit tutulmuştur. Sinir ağlarının çalıştırma devir sayısı 1000 ve eğitim sırasında performans ölçütü için MSE kullanılmıştır. Söz konusu ölçüt farklı olunca da farklı sonuçlar elde edilmiştir. Verilerin %70'i eğitim ve %15'i değerlendirme ve %15'i de sınama için kullanılmıştır. Genelde en geç 600 devirden sonra öğrenme ve test performansı MSE değerine göre en iyi noktaya ulaşmıştır. Hem öğrenme aşamasında ve hem test aşamasında R^2 değeri %99 üzerinde olmuştur. Girdiler için normalleştirme ve çıktılar için ters normalleştirme yapılmıştır.



Şekil 4.2. Kullanılan yapay sinir ağının genel yapısı

4.4.1. YSA-1

Bu modelde 20 özellik üzerinden işler için doğrudan teslim zamanı atanmıştır, yani bu model girdisi 20 özelliğin hepsi ve çıktısı ilgili işin teslim zamanıdır. Literatürde bu modele benzer modeller mevcuttur ama bu ortam için bu model ilk defa kullanılmaktadır. Ayrıca kullanılan özellik sayısı ve ağın şekli ve optimizasyon algoritması da daha önce hiçbir çalışmada uygulanmamıştır.

4.4.2. YSA-2

YSA-1 modeli gibi bu yapay sinir ağı temelli modelin girdileri 20 özelliğin hepsidir. Ayrıca ağ topolojisi ve kullandığı algoritma da YSA-1 ile aynıdır ama bu modelin çıktısı YSA-1 modelindeki gibi teslim zamanı değildir. Her işin teslim zamanında sabit olan iki etken vardır. Bu etkenler serbest kalma zamanı ve işin toplam süresidir ve aslında değişen etken işin kuyruklardaki bekleme süresidir. Her işin teslim zamanı serbest kalma zamanı ve işin toplam işlem süresi ve kuyruklarda bekleme sürelerinin toplamıdır. YSA-2 modeli, çıktı olarak 20 özellik üzerinden her işin kuyruklarda bekleme sürelerinin toplam zamanını hesaplamaktadır. Bu değere diğer sabit iki etken eklenerek teslim zamanı tahmin edilir.

4.5. Sevk Etme Kuralları

Bu çalışmada 7 farklı sevk etme kuralı kullanılmıştır. Bu kurallar böyledir:

1. FIFO: $Z_i = r_i$

2. SPT: $Z_i = \sum_j P_{ij}$
3. SRPT: $Z_i = R_i$
4. MOD: $Z_i = \max(r_i + \frac{(d_i - r_i)R_i}{P_i}, t + P_{ik})$
5. CR+OPNSLK: $Z_i = \min[t + CR \cdot P_{ik}, d_i - \sum_{j=k+1}^{m_i} P_{ij}]$

Yukarıdaki sevk etme kuralları daha önce bu ortam için denenmiş olan kurallardır ama aşağıdaki kurallar daha önce bu ortamda denenmemiş olan kurallardır. Yapılan denemelerde sadece iş değil belki makinenin önünde hazır bekleyen operasyonların özellikleri göz önüne alındığında daha iyi sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Literatürde operasyon temelli teslim zamanı (ODD) böyle hesaplanır:

$$ODD_i = r_i + \frac{(d_i - r_i)R_i}{P_i}$$

Yukarıdaki MOD kuralı da ODD kuralını kullanır.

6. CR-ODD : $Z_i = (ODD_i - t)/P_i$
7. SPT+SRPT+SLK : $Z_i = P_{ik} + R_i + (d_i - R_i - t)$

Z_i önceliği belli eden amaç fonksiyonudur, P_{ij} i' inci işin j' inci makine üzerindeki işlem süresidir, d_i i' inci işin teslim tarihidir, R_i i' inci işin kalan işlem süresidir, t ise şimdiki zamandır.

4.6. Performans Ölçütleri

Bu çalışmada performansları ölçmek için daha önce bu ortam için kullanılan MAL ve MSL ölçütleri kullanılmıştır [3] [27]. Bu ölçütlerin özelliği sapmaları yani hem gecikmeleri hem de erkenlikleri göstermektir.

5. UYGULAMA ve SAYISAL SONUÇLAR

Ele alınan dinamik ortamda analizler yapmak için en uygun yöntemlerden biri benzetimdir. Cheng ve Gupta' nın da vurguladığı gibi dinamik ortamların üzerinde araştırma yapmak için benzetim en yaygın ve etkili yöntemdir [4]. Dinamik atölye ortamı için geliştirilen benzetim modeli izleyen alt bölümde tanıtılmıştır.

5.1.Dinamik Atölye Tipi Ortamın Benzetimi

Benzetim, karmaşık veya analitik çözümleri olmayan problemlerde en yaygın kullanılan yöntemlerin biridir. Ele alınan ortamda analizler yapmak için MATLAB 2013a programı ile dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamının benzetimini gerçekleştiren bir program geliştirilmiştir. Benzetimde birçok yöntem ve teknik mevcuttur. Burada kullanılan yöntem olay eksenli benzetimdir. Geliştirilen benzetim programının doğrulanmasında, FIFO kuralı Cheng [26] tarafından verilen analitik sonuçlar kullanılmıştır. Cheng, çalışmasında FIFO kuralı için analitik yöntemlerle ortalama akış süreleri ve akış sürelerinin standart sapmasını elde eden denklemler tanıtılmıştır [26] [28].

Bu konuda en önemli çalışmaların bir diğeri ise Conway'in araştırmasıdır [28]. Conway' in benzetimden elde ettiği sonuçları Cheng analitik yöntemlerle elde etmiştir [28]. Bu çalışmadaki benzetim yöntemi Conway' in ortamına uygulanmıştır. Üç farklı atölye kullanım oranı ve her birisi için on tekrarda benzetim yapılmıştır [26]. Elde edilen sonuçları Conway' in sonuçlarına çok yakın olduğundan yapılan benzetimin ortamı yansıttığı onaylanmıştır. Conway' in FIFO ve diğer kuralları uyguladığı ortam bu tezde ele alınan ortama çok benzemektedir.

Conway' in ortamı birkaç işlemciden oluşan genel bir ortamdır [28]. Cheng bu ortamın özel bir halini göz önüne almıştır [26]. Bu ortamın özellikleri şöyledir:

- Ortamda 9 farklı makine vardır. (Dinamik atölye tipi çizelgeleme örneğinde de gösterildiği gibi genelde $\mu_g = m$, dolayısıyla $\mu_g = m = 9$)
- İşlerin geliş oranı Poisson dağılımı ve dolayısıyla gelişler arası süre üstel dağılıma uymaktadır ve bu oranlar atölye kullanım oranları üzerinden hesaplanmaktadır [28].

- Duyarlılık analizlerinde atölye kullanım oranı için 0.884, 0.904 ve 0.919 şeklinde olan üç seviye kullanılmıştır. Bu oran deney boyunca sabittir ve $\rho_s = \rho$ yani atölye kullanım oranı ile makinelerin ortalama kullanım oranları eşittir [28].
- $\mu_g = m$ Olduğundan ortalama iş gelişleri bu şekilde hesaplanır [26]:

$$\lambda = \frac{\rho_s}{\mu_p}$$
- İşlerin rotalarını belirlemek için geçiş matrisi oluşturulmuştur. Her makine bir işin birden fazla işini yapabilmektedir, dolayısıyla bir iş rotasında bir makine birden fazla kez bir makinede işlem görebilir. Her işin rotasındaki ilk işi belirlemek için m makine arasından $1/m$ olasılıkla seçim yapılabilir ama sonraki makine diğer makineler arasından $1/(m-1)$ olasılıkla seçilebilir, dolayısıyla bir iş aynı makine üzerinde ardışık iki işlemini yapamaz. Böylelikle işlerin işlem sayısı ortalaması $p=1/m$ olan geometrik dağılıma uymaktadır. İşlerin işlem sayısı en fazla 39 olabilir [28].
- $E(\mu_g) = 9$ ve $E(\mu_g^2) = 144$ [26].
- İşlemlerin süresi ortalaması bir birim olan üstel dağılıma uymaktadır. Bu süreçler X.XX şeklinde yuvarlanmıştır. 0.00'dan küçük olan değerler göz ardı edilmiştir ve 9.99'dan büyük olan değerler ise 9.99'a eşit tutulmuştur [28].
- $E(\mu_p) = 1$, $E(\mu_p^2) = 2$ ve $E(\mu_p^3) = 6$ [26].
- Diğer ortamdaki standart şartlar bu ortam için de geçerlidir.

Cheng bu ortamda analitik yöntemlerle FIFO kuralı için çizelgelenen işlerin ortalama akış süresi ve akış sürelerinin standart sapmasını veren formüller önermiştir [26] hem de Conway'ın hem de kendisinin benzetimden elde ettiği sonuçlarla bu formüllerin doğru olduğunu göstermiştir [26].

Buradaki ısınma süresi ilk 250 işin bitmesi ve ele alınan işler bu ısınma süresinden sonra biten ilk 2000 iş olmuştur [26]. Aşağıdaki tablolarda bu sonuçlar gösterilmektedir:

Tablo 5.1. Analitik yöntemlerle elde edilen sonuçlar

Atölye kullanım oranı	Akış sürelerinin ortalaması	Akış sürelerinin standart sapması
0.884	77.6	73.1
0.904	93.8	88.3
0.919	111.1	104.8

Tablo 5.2. Cheng' in benzetim yoluyla elde ettiği sonuçlar

Atölye kullanım oranı	Akış sürelerinin ortalaması	Akış sürelerinin Standart sapması
0.884	74.4	75.8
0.904	90.6	90.04
0.919	112.9	108.47

Tablo 5.3. Bu çalışmadaki benzetimden elde edilmiş olan sonuçlar

Atölye kullanım oranı	Akış sürelerinin ortalaması	Akış sürelerinin standart sapması
0.884	75.73	75.6
0.904	92.12	89.15
0.919	110.65	115.1

Yukarıdaki tablolarda da görüldüğü gibi çalışmadaki elde edilen sonuçlar hem analitik yöntemlerle ve hem daha önceki çalışmalardaki benzetimden elde edilen sonuçlara çok yakındır ve bu da yapılan benzetimin bir dinamik atölye tipi çizelgeleme ortamını doğru yansıttığının göstergesidir. Ayrıca Cheng'in de vurguladığı gibi bu değerler kullanım oranındaki az değişimlerin farklı sonuçlara sebep olduğunun göstergesidir.

5.2. Ön Benzetim

DTWK ve DPPW gibi dinamik teslim zamanı atama modelleri hariç diğer modellerde belirlenmesi gereken hesaplamalar vardır. Bunun için de bir ön benzetim gereklidir. Bu çalışmada yapılan ön benzetim tüm 7 kural için

yapılmıştır ve sonuçlar üzerinden hem yapay sinir ağlarını hem de regresyon modellerini temel alan modellerde hesaplamaların her kural için gerçekleşmesinin gerekli olduğu gösterilmiştir.

Birinci deney ortamında Cheng ve Jiang'ın çalışmasında olduğu gibi verilerin atölyenin kararlı duruma gelmesi beklenmiştir [3]. Söz konusu çalışmada kararlı durum için 1000 işin bitişi beklenmiştir ama bu çalışmada işler başlangıç zamanından sonraki ilk 10000 birim işin tamamlanmasından sonra seçilmiştir. Toplanan verilerin birbirinden bağımsızlığı Durbin-Watson testi ile sınanmıştır ve değer 1.77 olduğu için bağımsızlık kabul edilmiştir. Durbin-Watson testi verilerin birbirinden bağımsız olmasını denemek için kullanılan bir testtir. Bu testten elde edilen değer 1.5 ile 2.5 arasında olursa veriler birbirinden bağımsızlardır [6]

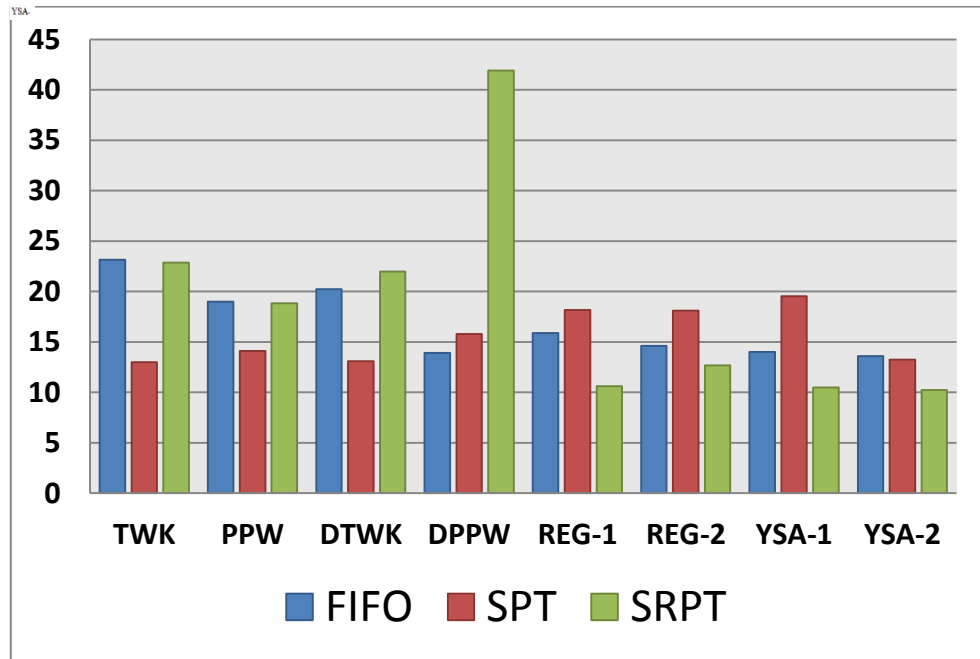
5.3.Performans Ölçütleri ve Teslim Zamanı Atama Modellerinin Performansı

Ön benzetimden elde edilen teslim zamanı atama modelleri üzerinden aynı ortamdan 10 deseni, yine ön benzetimde olduğu gibi 1000 birim iş bittikten sonraki ilk 10000 birim işin ilk 3 sevk etme kural için teslim zamanları tahmin edilmiştir ve sonra MSL ve MAL ölçütleriyle performanslar ölçülmüştür. Diğer kurullarla ilgi bir sonraki bölümde bahsedilmiştir. Aşağıda da görüldüğü gibi önerilen teslim zamanı atama modelleri ve özellikle YSA-2 hem MAL ve hem MSL ölçütlerinde iyi sonuçlar elde etmişlerdir. MSL performans ölçütü için SPT kuralının teslim zamanlarını tahmin eden yapay sinir ağı temelli yöntemin iyi sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Aşağıda yapılan 10 tekrarın ortalaması tablolarında görünmektedir.

- MAL ölçütü ve %90 kullanım oranı

Tablo 5.4. % 90 ve MAL ölçütüne göre sonuçlar

MAL - % 90	FIFO	SPT	SRPT
TWK	23.16	12.98	22.87
PPW	18.99	14.11	18.84
DTWK	20.22	13.08	21.98
DPPW	13.91	15.79	41.92
REG-1	15.87	18.18	10.62
REG-2	14.62	18.10	12.66
YSA-1	14.02	19.52	10.49
YSA-2	13.60	13.24	10.24

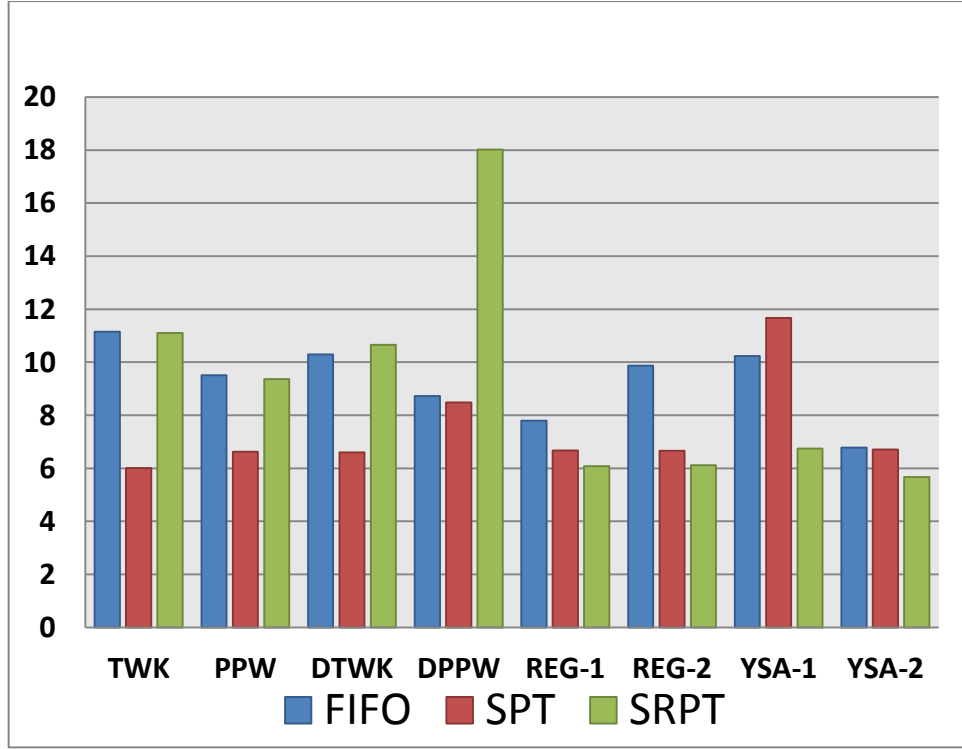


Şekil 5.1. % 90 ve MAL ölçütüne göre sonuçların grafiği

- MAL ölçütü ve % 80 kullanım oranı

Tablo 5.5. % 80 ve MAL ölçütüne göre sonuçlar

MAL - % 80	FIFO	SPT	SRPT
TWK	11.15	6.01	11.10
PPW	9.51	6.62	9.37
DTWK	10.30	6.60	10.66
DPPW	8.72	8.48	18.02
REG-1	7.79	6.67	6.08
REG-2	9.87	6.66	6.12
YSA-1	10.24	11.67	6.74
YSA-2	6.78	6.71	5.67



Şekil 5.2. % 80 ve MAL ölçütüne göre sonuçların grafiği

Tablolardaki verilerden dinamik teslim zamanlarının durağan teslim zamanlarına göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermektedir. Örneğin FIFO kuralında % 90 kullanım oranında YSA-2 modeli TWK modeline göre % 41 daha iyi performans göstermektedir. % 80 kullanım oranında ise % 39 iyileşme vardır. % 90 kullanım oranı ve FIFO kuralı için YSA-2 modeli en iyi sonucu elde etmese

de literatürde iyi bilinen DTWK gibi dinamik modele göre % 30 daha iyi sonuç elde etmiştir. YSA-2 modeli YSA-1 modeline göre hem % 80 ve hem % 90 kullanım oranında daha iyi performansa sahip olduğundan, yapay sinir ağı temelli modellerde ortam ve işler üzerinden doğrudan teslim zamanı yerine kuyrukta beklemlerin hesaplamasında fayda olduğunun göstergesidir.

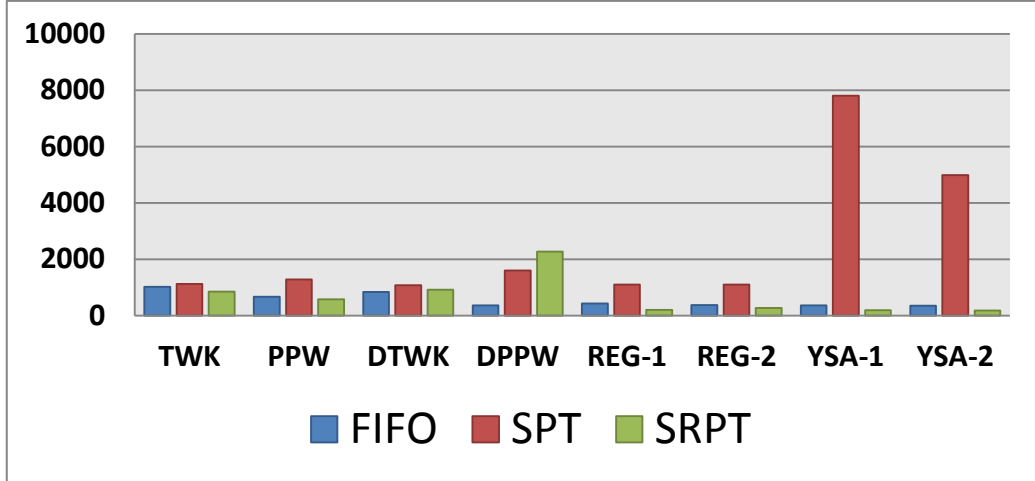
SPT kuralında genelde REG-1 ile REG-2 arasında anlamlı bir fark yoktur ve bu fark % 90 kullanım oranında FIFO kuralı için ve % 80 kullanım oranında SRPT kuralı için daha fazladır.

Göründüğü gibi SPT kuralı hariç diğer kurallarda YSA-2 modeli en iyi sonuçları elde etmiştir. YSA-1 kuralı ise bazen literatürde iyi bilinen kurallara göre iyi sonuçlar elde etmiştir. REG-1 genelde REG-2'ye göre daha iyi sonuçlar elde ettiğinden ikili etkileşimler yerine daha fazla özellik kullanmanın faydalı olduğunun göstergesidir.

- **MSL ölçütü ve % 90 kullanım oranı**

Tablo 5.6. % 90 ve MSL ölçütüne göre sonuçlar

MSL - %90	FIFO	SPT	SRPT
TWK	1017.25	1117.19	848.81
PPW	668.25	1284.62	581.90
DTWK	837.82	1073.01	914.32
DPPW	363.38	1599.36	2266.51
REG-1	431.07	1103.25	197.83
REG-2	369.24	1104.10	267.72
YSA-1	361.99	7802.78	189.26
YSA-2	344.42	4990.59	180.96

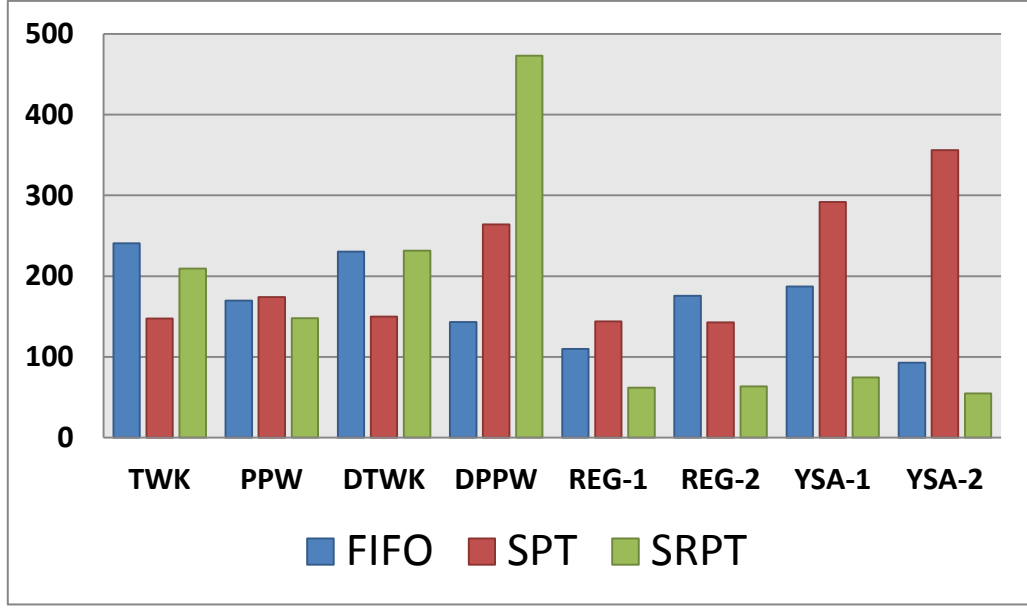


Şekil 5.3. % 90 ve MSL ölçütüne göre sonuçların grafiği

- **MSL ölçütü ve % 80 kullanım oranı**

Tablo 5.7. % 80 ve MSL ölçütüne göre sonuçlar

MSL - % 80	FIFO	SPT	SRPT
TWK	240.61	147.70	209.28
PPW	169.62	174.05	148.12
DTWK	230.33	149.84	231.57
DPPW	143.15	264.23	472.75
REG-1	109.88	144.04	62.04
REG-2	175.91	143.02	63.39
YSA-1	187.15	291.64	74.66
YSA-2	92.86	356.05	54.78



Şekil 5.4. %80 ve MSL ölçütüne göre sonuçların grafiği

MAL ölçütünde olduğu gibi, MSL ölçütüne göre de SPT hariç diğer iki kuralda YSA-2 en iyi sonuçları elde etmektedir. Özellikle % 90 atölye kullanım oranında sapmaların çoğaldığı görülmektedir. SPT kuralı, her işlemin süresi daha önceden belli olduğundan diğer işlemlere göre daha durağan bir kuraldır ve YSA-1 ve YSA-2 gibi birçok özelliği göz önüne alan dinamik modellerle uyumlu değildir. Ama diğer iki kuralda özellikle % 80 kullanım oranında YSA-2 modeli diğer modellere göre anlamlı bir farkla daha iyi sonuçlar vermiştir. % 80 kullanım oranında FIFO kuralı için YSA-2 ikinci iyi performansa sahip olan REG-1'e göre % 15,5 daha iyi sonuç vermiştir. Bu oran SRPT kuralında %12'dir. Aynı kullanım oranında FIFO kuralı için YSA-2 modeli ile literatürde iyi bilinen DTWK modeli performansları arasında % 60' a kadar ve SRPT kuralı için %75 değerindedir. %90 kullanım oranında da SRPT ve FIFO kuralları için YSA-2 modelinin anlamlı olarak iyi performanslar sergilediği gözükülmektedir.

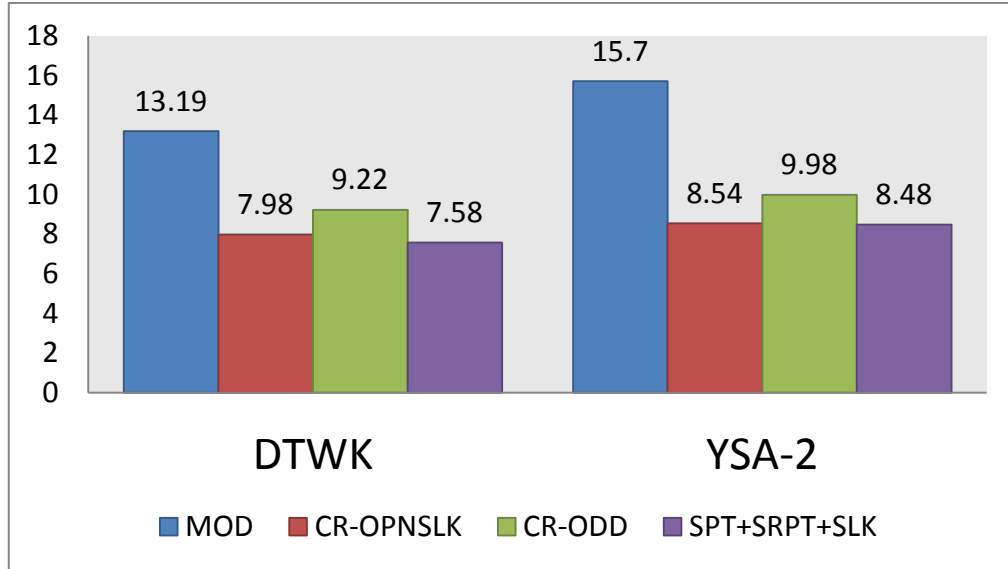
5.4. Bu ortam için yeni sevk etme kuralları ve daha önce uygulanan kurallarla karşılaştırma

Aşağıdaki tablolarda görüldüğü gibi önerilen CR-ODD ve SPT+SRPT+SLK kuralları genelde iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

- **MAL ölçütü ve % 90 kullanım oranı**

Tablo 5.8. % 90 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonucu

MAL - % 90	MOD	CR-OPNSLK	CR-ODD	SPT+SRPT+SLK
DTWK	13.19	7.98	9.22	7.58
YSA-2	15.70	8.54	9.98	8.48



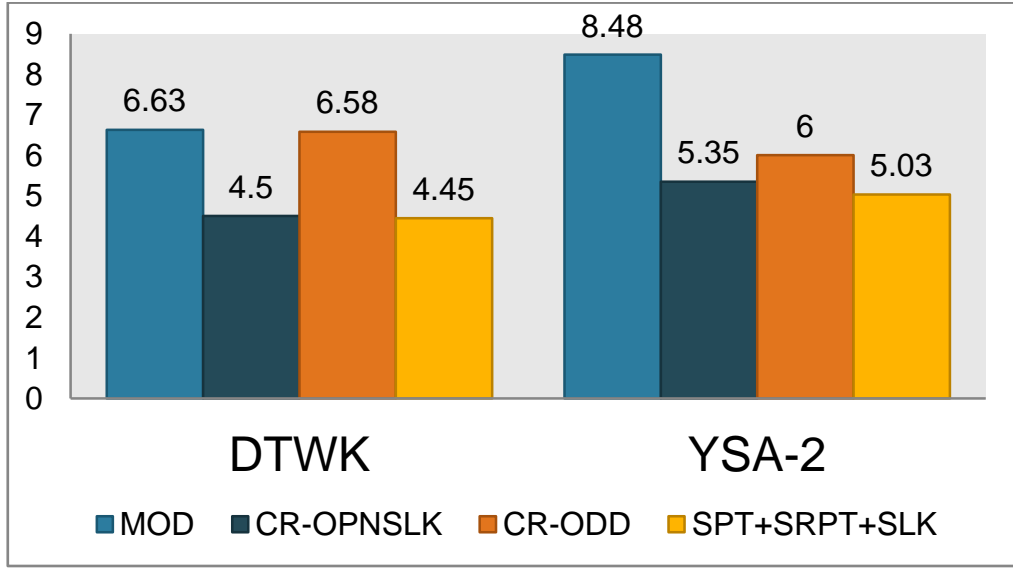
Şekil 5.5. % 90 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların grafiği

YSA-2 ve DTWK modellerinin her ikisinde de SPT+SRPT+SLK kuralı literatürde her iki kullanım oranında en iyi sonuçları veren CR-OPNSLK [7] kuralına göre daha sonuçlar vermiştir ve bu 10 tekrarın hepsinde gerçekleşmiştir. YSA-2 modelinde SPT+SRPT+SLK kuralı MOD kuralına göre yaklaşık % 50 ve DTWK modelinde % 42'e kadar daha iyi sonuçlar vermiştir.

- **MAL ölçütü ve % 80 kullanım oranı**

Tablo 5.9. % 80 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonucu

MAL - % 80	MOD	CR-OPNSLK	CR-ODD	SPT+SRPT+SLK
DTWK	6.63	4.50	6.58	4.45
YSA-2	8.48	5.35	6.00	5.03



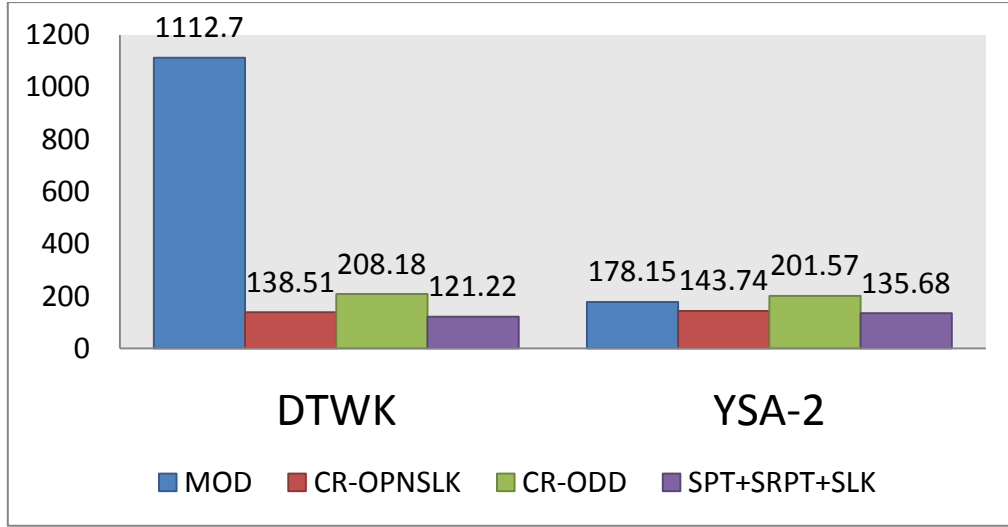
Şekil 5.6. % 80 kullanım oranında MAL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği

% 80 kullanım oranı ve MAL ölçütünde DTWK ve YSA-2 modeli için CR-OPNSLK ve SPT+SRPT+SLK kurallarının performansı arasında çok anlamlı fark yoktur ama tüm tekrarlarında hem DTWK hem de YSA-2 modeli için SPT+SRPT+SLK daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Ayrıca CR-ODD kuralı da MOD kuralına göre daha iyi performansa sahip olmuştur.

- **MSL ölçütü ve % 90 kullanım oranı**

Tablo 5.10. % 90 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonucu

MSL - % 90	MOD	CR-OPNSLK	CR-ODD	SPT+SRPT+SLK
DTWK	1112.70	138.51	208.18	121.22
YSA-2	178.15	143.74	201.57	135.68



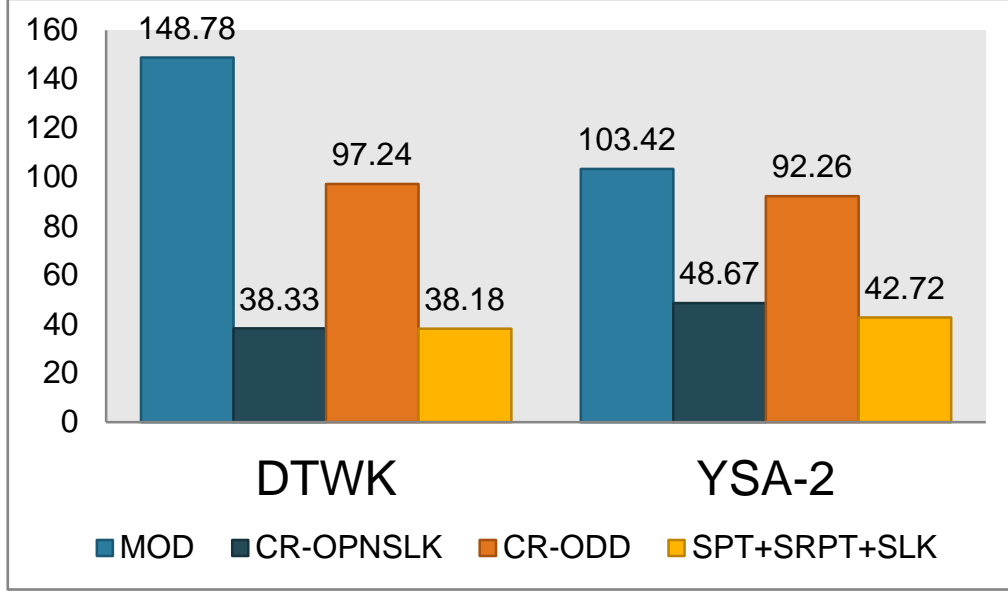
Şekil 5.7. % 90 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği

MSL ölçütü ve % 90 kullanım oranında MOD kuralı YSA-2 modelinde CR-ODD kuralına göre daha iyi sonuç vermiştir ama DTWK modelinde CR-ODD kuralı MOD kuralına göre daha iyi performansa sahip olmuştur. SPT+SRPT+SLK kuralı DTWK modelinde % 12,5 ve YSA-2 modelinde yaklaşık % 0.06 daha iyi performans göstermiştir.

- **MSL ölçütü ve % 80 kullanım oranı**

Tablo 5.11. % 80 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonucu

MSL-%80	MOD	CR-OPNSLK	CR-ODD	SPT+SRPT+SLK
DTWK	148.78	38.33	97.24	38.18
YSA-2	103.42	48.67	92.26	42.72



Şekil 5.8. % 80 kullanım oranında MSL ölçütüne göre kuralların sonuç grafiği

%80 kullanım oranı ve MSL ölçütüne göre DTWK modelinde SPT+SRPT+SLK ve CR-OPNSLK kuralları arasındaki ortalama fark az olmasına rağmen yine SPT+SRPT+SLK kuralı tüm 10 tekrarda daha iyi sonuçlar vermiştir. YSA-2 modelinde SPT+SRPT+SLK ve CR-OPNSLK arasındaki fark daha fazladır.

Önerilen kurallar için genel olarak şunlar söylenilebilir:

SPT+SRPT+SLK, tüm tekrarlarda, daha önceki çalışmalarda bu ortamda en iyi sonuçları veren CR-OPNSLK kuralına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca DTWK diğer teslim zamanı atama modellerine göre bu kural için daha uygun modeldir. CR-ODD literatürde iyi bilinen MOD kuralına göre genelde daha iyi sonuçlar vermesine rağmen CR-OPNSLK kuralını geçememiştir ama yine de makul sonuçlar vermiştir. Görüldüğü gibi bu kurallarda DTWK, YSA-2 modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın giriş bölümünde üretim ortamlarında, hem erkenlik hem de gecikmelerin istenmeyen durumlar olduğu ve bu yüzden işlerin teslim zamanlarını dikkatli belirlenmenin ne kadar önemli olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bu amaca ulaşmak için farklı ortamlarda ve kullanılan performans ölçütü ve atölye kullanım oranı ve diğer bahsedilen etkenlere göre uygun sevk etme kuralları ve teslim zamanı atama modellerinin seçilmesinin gerekli olduğundan bahsedilmiştir. Sonraki bölümlerde çizelgeleme problemlerinin çeşitleri ve bağlı kavramlardan bir özet verilmiştir ve sonra atölye tipi çizelgeleme ve onun dinamik şekli için daha önceki çalışmalarda olan bulgular ve örnekler verilmiştir. Esnek, akış ve atölye tipi çizelgeleme problemlerinin diğer türleri her ne kadar temel ve önemli modeller olarak üretimde veya bilgisayar bilimlerinde sık sık karşımıza çıksalar da gerçek çizelgeleme problemlerinin çoğu dinamik yapıya sahiptirler. Bu yüzden bu konuda benzetim, yapay öğrenme ve eski verilerden çıkarım yapan yöntemlerin kullanılmasında fayda vardır. Bu yöntemler birçok amaç için kullanılabilir. Örneğin tam zamanında teslim gibi kavramların gereği teslim zamanlarının belirlenmesi, planlamada en önemli problemlerden biridir. Yukarıda da vurgulandığı gibi hem erkenlik hem de gecikmeler istenmeyen durumlardır, bu yüzden önceden belirlenen teslim zamanlarını değerlendirmek için uygun bir performans ölçütü seçmek çok önemlidir [8]. Bu değerlendirme için literatürde; negatif geciken iş sayısı, ortalama mutlak sapma, ortalama negatif gecikme, ortalama pozitif gecikme, ortalama sapma karesi, pozitif geciken iş sayısı vb. birçok ölçüt vardır. Bazı performans ölçütleri hem erkenlik hem de gecikmeleri yani tüm sapmaları göze almamaktadır [8]. Örneğin eğer yalnız geciken işlerin sayısını ele alırsa erkenlik ve gecikmelerin gerçek değeri göz ardı etmiş olunur. Bu yüzden bu çalışmada hem literatürde yaygın olan ve hem sapmaları, ister erkenlik ve ister gecikme şekillerinde olsunlar, gösteren MAL (ortalama mutlak sapma) ve MSL (ortalama kareli sapma) ölçütleri kullanılmıştır. Sonuçlar tablosunda görüldüğü gibi bazı teslim zamanı atama modelleri bir ölçüte göre iyi sonuçlar ve diğer ölçüte göre kötü sonuçlar vermektedir. Bu nedenle çizelgeleme probleminin özellikleri ve amaca uygun performans ölçütü seçmek çok önemlidir. Etkin teslim zamanı atamak için diğer iki önemli etken ise, uygun bir teslim

zamanı atama modeli ve sevk etme kuralı seçmektir. Bu çalışmada teslim zamanı atamak için önerilmiş olan YSA-2 modelin diğer modellere göre genelde daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. YSA-1 modeli de bazen iyi veya makul sonuçlar elde etmektedir. YSA-1, kullanılan 20 özellik üzerinden direkt teslim zamanını hesaplamakta; buna karşın YSA-2 modeli ise teslim zamanında serbestlik zamanı ve işin süresini sabit görüp ve yalnız gecikmeleri hesaplayarak bu değerlere eklemektedir. Bu yöntem daha önce literatürde kullanılmasına rağmen bu çalışmadaki ortam için kullanılmamıştır. Ayrıca yapay sinir ağı yöntemleri kullanan teslim zamanı atama modellerinde bu sayıda özellik kullanan çalışma az sayıdadır. Bu çalışmadaki denemeler yapay sinir ağı temelli modellerde girdi olarak kullanılan özellik sayısının artmasıyla beraber performansın iyileştiğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmanın diğerlerinden farkı kuyruktaki özelliklere işler ve operasyonlar açısından bakmakta ve atölyenin durumunu da dikkate almaktadır. Cheng ve Jiang'ın belirttiği gibi teslim zamanı atamak için onların kullandığı DTWK gibi dinamik yöntemler durağan yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmektedir [9]. Kullanılan yapay sinir ağı modelleri makinelerin önünde oluşan işler ve operasyonların özelliğini göz önüne almalarından dolayı dinamik yapıya sahiplerdir. Kesin olan şu ki modelin girdilerinde işlerin genel özelliğinden başka operasyonların da özelliği bulunursa daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Yapay sinir ağlarının kullanılmasında her zaman dikkat edilmesi gereken konu öğrenme ve test kümelerinin uygun bir şekilde belirlenmesidir. Bu konuda literatürde yaygın olan oranlar vardır ama yine de bu husus probleme göre değişmektedir. Bu çalışmada öğrenme, değerlendirme ve test kümeleri için kullanılan yüzdeler sırasıyla %70 ve %15 ve %15 şeklindedir. Diğer önemli konu ise gizli katmanların sayısını belirlemektir. Yapay sinir ağının gizli katmanları çoğaldığı zaman performans ve hız düşmektedir. Bu problem için gizli katman sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Yapay sinir ağlarında kullanılan fonksiyonlar performansı doğrudan etkilemektedir. Kullanılan yapay sinir ağı modellerde optimizasyon algoritması olarak Bayes düzenlettirici algoritması kullanılmıştır ve bu algoritmanın diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Örneğin 10000 veriye sahip olan kümede bu algoritma literatürde hızlı olması bilinen LM algoritmasına göre bir dakikayı bile aşmayan

bir gecikmeyle çalışmasına rağmen bazen %30 gibi daha iyi sonuçlar vermektedir. Yapay sinir ağı temelli modellerin tersine regresyon temelli modellerde etkin olan özellikler veya karşılıklı etkileşimler belirlenip diğerleri çıkarıldığında performans yükselmektedir. Belirlenen atölye kullanım oranlarında özelliklerin ikili etkileşimi etkindir ama yapılan denemeler diğer atölye kullanım oranlarında ve özellikle düşük atölye kullanım oranlarında ikili etkileşimlerin azaldığı hatta hiç olmadığını göstermiştir. Ayrıca regresyon temelli modellerde etkin olan özellikler kuraldan kurala değişmektedir. Bu yüzden teslim zamanı atama modeli ile beraber uygun bir sevk etme modeli seçmek de çok önemlidir.

Literatürdeki birçok çalışmanın konusu sevk etme kuralları ve onların etkileri üzerinedir. Bu çalışmadaki ortam için de daha önce kullanılmayan bazı yeni sevk etme kuralları önerilmiştir. Bu çalışmalar ve benzerlerinden FIFO ve SPT gibi işlerin yalnız bir özelliğini ele alan kuralların karmaşık ve kullanım oranları yüksek atölyede makul sonuçlar elde etmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca bunlar gibi basit kuralların literatürdeki teslim zamanı atama modelleri ile uyumluluk içinde olmadıkları da gözlemlenmiştir. FIFO kuralı her ne kadar bazı çalışmalarda toplam üretim zamanını azaltmak ve SPT kuralı da ortalama akış süresini azaltmak için uygun kurallar oldukları gösterilse de teslim zamanı belirleme konusunda özellikle yüksek atölye kullanım oranlarında ve MSL ölçütüne göre iyi sonuçlar elde etmemektedir [4]. Bu konudaki çalışmalar, teslim zamanı atamak için en uygun kuralların teslim zamanı temelli kurallar olduğunu göstermiştir. Ayrıca teslim zamanıyla beraber kalan iş miktarı, kritik oran ve değiştirilmiş olan bazı özellikler baz alındığı zaman daha iyi bir performans elde edilir. Bu çalışmada yapılan denemeler işlerden ziyade operasyonların teslim zamanı ve diğer özellikleri ele alındığında iyi sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Önerilen SPT+SRPT+SLK kuralı aynı anda operasyon ve işin birçok önemli özelliğini kullanmaktadır. Bu kural yapılan tüm tekrarlar da her iki DTWK ve YSA-2 modeli ile hem MAL hem de MSL ölçütüne göre her iki atölye kullanım oranında istisnasız diğer kurallardan daha iyi sonuçlar vermiştir. Diğer önerilen sevk etme kuralı yani CR+ODD en iyi sonuçları vermemesine rağmen literatürde bu ortam için makul sonuçlar verdiği bilinen MOD kuralından genelde daha iyi sonuçlar vermiştir.

Literatürdeki bazı çalışmalarda her makine veya atölye önündeki kuyruktan iş seçmek için farklı veya zamanla değişen kurallar veya bazı kuralların kombinasyonundan oluşan kurallar kullanır [4]. Bu konular, yine her zaman birden fazla iş ve operasyonun özelliklerini göz önüne almanın faydalı olmasının kanıtıdır [4].

Sonuçlar ve önerileri özetlemek istersek şu hususlar üzerinde vurgu yapabiliriz:

- Atölye kullanım oranları her zaman önemli bir etken olarak göz önüne alınmalıdır.
- Yapılan deneyler farklı seviyelerdeki kullanım oranının regresyon temelli modellerde ikili etkileşimlerin anlamlı olup olmadığını doğrudan etkilediğini göstermiştir.
- Kuyruklardaki durumun hem operasyonlar hem de işlerin özelliği açısından göz önüne alınmasında fayda vardır.
- Sinir ağlarında özelliklerin sayısı çoğaldığında performansın arttığı gözlenmektedir. Dolayısıyla farklı özellikleri değerlendirip hesaba katmak genelde yararlı olur.
- Amaç doğrultusunda özellikle hem gecikmeleri ve hem erkenlikleri göz önüne alabilen performans ölçütü seçmek çok önemlidir.
- Daha önce de vurgulandığı gibi performans ölçütü, sevk etme kuralı, teslim zamanı atama modeli ve atölye kullanım oranı dört önemli etken olarak göz önüne alınmalıdır. Farklı kuralları farklı teslim zamanı atama modelleri ile farklı ölçüt ve atölye kullanım oranlarında değişik sonuçlar verebilir.
- Sevk etme kurallarında hem işlerin ve hem operasyonların birden fazla özelliğini göz önüne alan kurallar daha iyi performansa sahiplerdir.

Sonraki çalışmalarda, amaç burada elde edilen kurallar ve modelleri daha dinamik bir şekilde kullanarak daha iyi sonuçlar elde etmektir.

KAYNAKLAR

- [1] M.L. Pinedo, *Scheduling: Theory, algorithms, and systems*, 2nd ed. New York: Springer, 2007.
- [2] O. Holthaus ve C. Rajendranb, "Efficient dispatching rules for scheduling in a job shop," *Production Economics*, (48), 87-105, June 1997.
- [3] T.C.E. Cheng ve J. Jiang, "Job shop scheduling for missed due dates performance," *Computers and Industrial Engineering*, 2, (34), 297-307.
- [4] T.C.E. Cheng ve M.C. Gupta, "Survey of scheduling research involving due date," *Journal of Operations Research*, (38), 156-166, 1989.
- [5] M. İpek, "Dinamik atölye çizelgelemede yapay sinir ağı ile teslim tarihi belirleme," Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Doktora Tezi 2007.
- [6] C.H. Tsai, G.T. Chang, ve R.K. Li, "Integrating order release control with due-date assignment rules," *International Journal of Production Research*, 12, (35), 3379-3392, 1997.
- [7] D. Y. Sha ve S. Y. Hsu, "Due-date assignment in wafer fabrication using artificial," *International Journal of Manufacturing Technology*, (23), 768-775, 2004.
- [8] A. Carrie, *Simulation of Manufacturing Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- [9] P. R. Philipoom, L. P. Rees, ve L. Wiegmann, "Using Neural networks to determine internally set due date assignments for shop scheduling," *Decision*, 5/6, (25), 825-851, 1994.
- [10] F.C.R. Chang, "A study of factors affecting due date predictability in a simulated dynamic job shop, Journal of Manufacturing Systems," *Journal of Manufacturing Systems*, (13(6)), 393-400, 1997.
- [11] C. Hamzaçelebi, *Yapay sinir ağları, tahmin amaçlı kullanımı matlab ve neurosolutions uygulamalı*, 1st ed. İstanbul, Türkiye: Ekin Kitabevi Yayınları, 2011.
- [12] E. Oztemel, *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2003.
- [13] E. Alpaydın, *Yapay Öğrenme*, 2nd ed. İstanbul, Türkiye: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2011.
- [14] J. C. Tay ve N. B. Ho, "Evolving dispatching rules using genetic programming," *Computers & Industrial Engineering*, (54), 453-473, September 2007.
- [15] I. Kacem, S. Hammadi, ve P. Borne, "Pareto optimality approach for flexible job-shop," *Mathematics and Computers in Simulation*, (60), 245-276, 2002.
- [16] D. Behnke ve M.J. Geiger, "Test instances for the flexible job shop scheduling problem with work centers," *Arbeitspapier*, ISSN 2192-0826, January 2012.
- [17] S. Dazère-Pères ve J. Paulli, "Solving the general multiprocessor job shop," Rotterdam School of Management, Doktora Tezi 1994.
- [18] P. Fattahi, M. S. Mehrabad, ve F. Jolai, "Mathematical modeling and

heuristic approaches to flexible job shop scheduling problems.," *Journal of Intelligent*, 3, (18), 331–342, 2007.

- [19] Shyh Chang Lin, Erik D. Goodman, ve William F. Punch, "A genetic algorithm approach to dynamic job shop scheduling problems," in *Proceedings of the 7th International Conference on Genetic Algorithm.*, San Francisco, 1997.
- [20] J.H. Blackstone, D.T. Phillips, ve G.L. Hogg, "A state of the art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations," *International Journal of Production Research*, 20, 27-45, 1982.
- [21] R. Haupt, "A survey of priority rule-based scheduling," *OR Spectrum*, 1, (11), 3-16, 1989.
- [22] M. Abbasi ve N. Nahvandian, "Minimizing flow time in a flexible dynamic job shop with parallel machines," Tarbiat Modarres University, Tahrán, Master Thesis 2002.
- [23] S. Alpay, "Dynamic stochastic multi-machine job shop scheduling," Osmangazi Üniversitesi, Eskisehir, Doktora Tezi 2003.
- [24] K.R. Baker, "Sequencing rules and due date assignments in a job shop," *Management Science*, 30, 1093-1104., 1984.
- [25] C.T. Baker ve B.P. Dzielinski, "Simulation of a Simplified Job Shop," *Management Science*, 6, (3), 311-323, 1960.
- [26] T. C. E. Cheng, "Analysis of job flow time in a job shop," *The Journal of the Operational Research Society*, 3, (36), 225-230, March 1985.
- [27] S. Alpay ve N. Yüzügüllü, "A study of factors affecting due date predictability for on-time delivery in a dynamic job shop," *Advances in Artificial Intelligence*, 4304, 1239-1245, 2006.
- [28] R. Conway, "An experimental investigation of priority assignment in a job shop," RAND Corporation Memorandum, California, RM-3789-PR, 1964.
- [29] T.S. Raghu ve C. Rajendran, "Due-date setting methodologies based on simulated annealing, an experimental study in a real life job shop," *International Journal of Production Research*, 9, (33), 2535-2554, January 1995.