

T. C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATÖLYE TİPİ ÜRETİMDE DİNAMİK ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN
TEZGÂH YÜKLEME KURALLARININ KIYASLANMASI

Ali Fırat İNAL

ARALIK 2018

ÖZET

ATÖLYE TİPİ ÜRETİMDE DİNAMİK ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN TEZGÂH YÜKLEME KURALLARININ KİYASLANMASI

İNAL, Ali Fırat

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

Aralık 2018, 90 Sayfa

Çalışmanın ilk aşamasında; literatürde en sık kullanılmış olan 30 adet tezgâh yükleme kuralı ve bu kuralları kıyaslayabilmek için 9 adet performans ölçütü tespit edilmiştir. ARENA® paket programıyla dinamik bir atölye ortamının simülasyon modeli hazırlanarak, tespit edilen 30 kuralın performansları bulunmuş ve kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar neticesinde, gecikmeleri azaltan kurallar belirlenmiş ve bu kurallar arasından SPRO (slack per remaining operations) kuralının bir adım öne çıktığı görülmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında; SPRO kuralının çalışma mantığı, EDD (earliest due date) kuralı ile birleştirilmiştir ve bu kurala kısaca EDDPRO adı konulmuştur. EDDPRO kuralı, daha önce belirlenmiş olan 30 kural ile aynı simülasyon modelinde denenmiş ve gecikmeler için olumlu sonuçlar verdiği sayısal veriler ile kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atölye Tipi Üretim, Dinamik Çizelgeleme, Tezgâh Yükleme Kuralları, Tezgâh Yükleme Stratejileri, Simülasyon, Benzetim, Gecikmeler, Erken Bitmeler, Akış Süresi, Tamamlanma Süresi, Atölyedeki İş Adedi

ABSTRACT

COMPARISON OF DISPATCHING RULES IN THE DYNAMIC JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM

İNAL, Ali Fırat

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER

December 2018, 90 Pages

In the first phase of the study; the most frequently used, 30 dispatching rules and 9 performance criterion were determined in the literature. The simulation model of a dynamic job shop environment was prepared by ARENA® program and the performances of the 30 dispatching rules were found and compared. As a result of the comparison, the rules that reduce the tardiness have been determined and it has been seen SPRO (slack per remaining operations) rule is one step ahead of these rules.

In the second phase of the study; the logic of the SPRO rule is combined with the EDD (earliest due date) rule, which is called EDDPRO. The EDDPRO rule has been tested in the same simulation model and has been proven by numerical data that it can perform superior for reduce the tardiness.

Anahtar Kelimeler: Job Shop Scheduling, Dynamic Scheduling, Dispatching Rules
Scheduling Rules, Simulation, Tardiness, Earliness, Flow Time,
Makespan, Work in Process

TEŞEKKÜR

Çalıőmamda bana bilgi ve hayat tecrübeleri ile yol gösteren danışman hocam Doç.Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER'e, yine tecrübesi ve önerileri ile destek olan sayın hocam Prof.Dr. Süleyman ERSÖZ'e, tezin içeriği ile ilgili önerilerde bulunan ve çok yardımcı olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL'e ve yine yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Dr.Öğr.Üyesi Adnan AKTEPE'ye kıymetli zamanlarını ayırarak tezimi okudukları ve tavsiyelerde buldukları için teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca maddi/manevi desteklerini üzerimde her zaman hissettiğim, fedakarlıklarından dolayı minnettar olduğum annem, babam, ablam ve hayat arkadaşına sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ii
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. ATÖLYE TİPİ ÜRETİMDE DİNAMİK ÇİZELGELEME	15
4. TEZGÂH YÜKLEME KURALLARI.....	18
4.1. Kullanılan Tezgâh Yükleme Kuralları	18
4.2. Tezgâh Yükleme Kurallarının Performans Ölçütleri	28
4.2.1. Tamamlanma Süresi (Makespan).....	28
4.2.2. Akış Süresi (Flow-time).....	28
4.2.3. Gecikme (Tardiness)	29
4.2.4. Erken Bitme (Earliness)	30
4.2.5. Atölyedeki İş Adedi (Work-in-process).....	30
5. UYGULAMA	32
5.1. Simülasyon ve Kesikli Olay Simülasyonu Nedir ?	32
5.2. Sistem Analizi	34
5.3. Simülasyon Modelinin Oluşturulması.....	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53

6.1. Nihai Sonuçlar ve ıkarımlar.....	77
KAYNAKLAR	80
EKLER	88



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Atölye Tipi Üretimde Dinamik Çizelgeleme İle İlgili Yaklaşımlar	5
Çizelge 4.1. Kuralların Formülizasyonunda Kullanılan Simgeler	19
Çizelge 4.2. Mevcut Kuralların Sınıflandırılması ve İlişkileri	27
Çizelge 5.1. Parça Tipine Göre Rota, Birim İşlem Süresi	35
Çizelge 5.2. İş Merkezlerindeki Tezgâh Adetleri	37
Çizelge 5.3. Senaryolar	52
Çizelge 6.1. Senaryo 1’den Elde Edilen Veriler	53
Çizelge 6.2. Senaryo 2’den Elde Edilen Veriler	54
Çizelge 6.3. Senaryo 3’den Elde Edilen Veriler	55
Çizelge 6.4. Senaryo 4’ten Elde Edilen Veriler	56
Çizelge 6.5. Senaryo 5’ten Elde Edilen Veriler	57
Çizelge 6.6. Senaryo 6’dan Elde Edilen Veriler	58
Çizelge 6.7. Tamamlanma Süresi İçin Kuralların Sıralanması	60
Çizelge 6.8. Geciken İşlerin Oranı İçin Kuralların Sıralanması	62
Çizelge 6.9. Ortalama Gecikme Süresi İçin Kuralların Sıralanması	64
Çizelge 6.10. Maksimum Gecikme Süresi İçin Kuralların Sıralanması	66
Çizelge 6.11. Ortalama Erken Bitme Süresi İçin Kuralların Sıralanması	69
Çizelge 6.12. Maksimum Erken Bitme Süresi İçin Kuralların Sıralanması	70
Çizelge 6.13. Ortalama Akış Süresi İçin Kuralların Sıralanması	72
Çizelge 6.14. Maksimum Akış Süresi İçin Kuralların Sıralanması	74
Çizelge 6.15. Atölyedeki Ortalama İş Adedi İçin Kuralların Sıralanması	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Atölye Tipi Üretim Örneği	16
Şekil 4.1. Tezgâh Yükleme Kurallarının Sınıflandırılması	18
Şekil 5.1. İş Akış Diyagramı	32
Şekil 5.2. Sistemin Çalışma Şekli.....	34
Şekil 5.3. Atölyenin Temsilî Yerleşim Planı	37
Şekil 5.4. Siparişin Oluşturulması ve İş Merkezine Gönderilmesi	39
Şekil 5.5. Create Modülünün Parametreleri	39
Şekil 5.6. “Assign 1” Modülündeki Atamalar	40
Şekil 5.7. “Assign 2” Modülündeki Atamalar	42
Şekil 5.8. Route Modülünün Parametreleri	43
Şekil 5.9. Sequence Tanımlamaları	44
Şekil 5.10. Expression Tanımlamaları	44
Şekil 5.11. İş Merkezleri ve Kuyruktan Parça Seçimi	45
Şekil 5.12. “Assign M1” Modülündeki Atamalar	45
Şekil 5.13. Search Modülü	46
Şekil 5.14. Tamamlanan Siparişlerin İstatistiklerinin Tutulması	47
Şekil 5.15. “Assign Wip Azaltma” Modülündeki Atamalar	47
Şekil 5.16. “Decide” Modülüyle Geciken Siparişlerin Tespiti	48
Şekil 5.17. Erken Biten Siparişlerin Sayılması	49
Şekil 5.18. Geç Biten Siparişlerin Sayılması	49
Şekil 5.19. Erken Bitme Süresinin Hesaplanması	50
Şekil 5.20. Gecikme Süresinin Hesaplanması	50

Şekil 5.21. Akış Süresinin Hesaplanması	51
Şekil 5.22. Siparişin Sevk Edilmesi	51
Şekil 6.1. Tamamlanma Süresi Grafiği	59
Şekil 6.2. Geciken İşlerin Oranı Grafiği	61
Şekil 6.3. Ortalama Gecikme Süresi Grafiği	63
Şekil 6.4. Maksimum Gecikme Süresi Grafiği	65
Şekil 6.5. Ortalama Erken Bitme Süresi Grafiği	67
Şekil 6.6. Maksimum Erken Bitme Süresi Grafiği	69
Şekil 6.7. Ortalama Akış Süresi Grafiği	71
Şekil 6.8. Maksimum Akış Süresi Grafiği	73
Şekil 6.9. Atölyedeki Ortalama İş Adedi Grafiği	75

1. GİRİŞ

Üretim, doğal kaynakların bir takım belirli süreçlerden geçirilerek, tüketici ihtiyaçlarını karşılayan ürünlere dönüştürülmesidir. Üretim Yönetimi, üretim unsurlarını en uygun şekilde değerlendirerek talep edilen ürünü; minimum maliyet ile istenilen zamanda ve istenilen kalitede arz etmekten sorumludur. İyi bir üretim yönetimi ile tüketici isteklerinin fiyat, zaman, miktar ve kalite açısından en iyi şekilde karşılanması, oluşan stok düzeylerinin mümkün olduğunca düşük ve/veya stok çevrim hızının artırılması ve bunların doğal sonucu olarak da işletmenin insan gücü ve makine gibi kaynaklarından yararlanma derecesinin de artırılması amaçlanır. Bu amaçlara ulaşmak için de üretim yönetimi sistematığı ile; “Hangi mal?”, “Ne kadar miktarda?”, “Hangi özelliklerde?”, “Nerede ve kim tarafından yapılacak?” gibi soruların yanıtlarını minimum maliyeti ve maksimum kârı sağlayacak şekilde bulmaya çalışılır.

Atölye tipi üretim sistemleri; siparişe göre üretimin gerçekleştirildiği, ürün çeşitliliğinin fazla ve parti hacimlerinin az olduğu, sürece göre atölye yerleşiminin benimsendiği işletmelerde uygulanmaktadır. Atölye tipi üretim sistemlerinde, üretime ait unsurların koordinasyonunun zor olması; üretim planlama ve kontrol sistemlerinin etkinliğinin ve etkililiğinin artırılması ihtiyacını doğurmaktadır. Atölye tipi üretim gerçekleştiren işletmelerin çoğunda gelen siparişlerin teslimi için siparişi veren firma tarafından bir teslim tarihi verilmekte ve siparişlerin zamanında teslim edilmesi de müşteri memnuniyetinde büyük önem arz etmektedir.

Bu nedenle atölye tipi üretimde, üretimin çizelgelenmesi, sistemin verimliliği açısından daha da önemli bir yer teşkil eder. Çizelgeleme, atölyedeki faaliyetlerin ayrıntılı günlük planlanması olup üç ana amacı vardır. Bunlar; (i) teslimlerin tam zamanında yapılması yani gecikmelerin minimizasyonu, (ii) işlerin sistemde geçirdikleri sürenin azaltılması yani bekleme sürelerinin minimizasyonu ve (iii) iş istasyonlarının (makine, teçhizat ve personel) kullanımının maksimizasyonudur (Türker ve Ersöz, 2016)

İşlerin çizelgelenmesi genellikle statik iş yükleme kuralları ile gerçekleştirilir. Bu çizelgeleme yaklaşımı; gerçek hayatta var olan sürekli sipariş gelişi, süreç erteleme, makine bozulmaları vb. sorunları dikkate almadığından etkisiz kalmaktadır (Elhüseyni, 2012)

Daha önce yapılan birçok çalışmada çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılıklar üzerinde durulmuştur. Çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılığa dikkat çeken ve çizelgelerin gerçeğe daha uygun veya uygulanabilir olması adına yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca klasik çizelgelemenin, uygulama aşamasında çevrenin ihtiyaçlarını karşılamada başarısız olduğu da ifade edilmiştir (Azadeh, 2012 ve Larsen, 2018)

Üretim yönetiminin önemli fonksiyonlarından birisi de kontroldür. Kontrol, planlama faaliyetlerinin belirlenen sonuçlara ulaşip ulaşmadığını denetler ve belirlenen plandan sapmaların nedenlerini araştırır. Planlama ve kontrol faaliyetleri iç içe geçmiş ve birlikte çalışan bir yapıya sahiptir. Planlamanın tutturulması, üretim yönetimini gerçekleştiren kadroların üretime hâkimiyetini ve yetkinliğini ortaya koyar. Planlamanın gerçekleşme oranı, yöneticilerin tesise üzerindeki hâkimiyetinin göstergesidir. Planlanan ile gerçekleşen arasındaki fark, üretimde kontrol altına alınamayan unsurların büyüklüğünü de gösterir. Planlama ile gerçekleşen arasındaki farkın yeniden planlamaya dâhil edilmesi yani planlamanın güncellenmesi etkinlik ve etkililik açısından çok önemli bir yer teşkil etmektedir.

Plandan sapmaların minimize edilmesi gereken yerlerden birisi de atölye tipi üretim gerçekleştiren işletmelerdir. Bu sapmayı minimize etmek için, “atölye tipi üretimde çizelgeleme” adı altında birçok farklı yöntem denenmektedir. Akıllı ajanlar, yapay zeka, uzman sistemler, veri madenciliği, sezgiseller, meta-sezgiseller ve tezgâh yükleme kuralları gibi denenmiş olan bir çok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada; plandan sapmayı minimize etmek için kullanılmakta olan bu yöntemlerden, tezgâh yükleme kuralları üzerinde durulmuştur. Tezgâh yükleme kuralları, atölyedeki bir iş merkezi boşaldığında, bu iş merkezinde işlenmek üzere bekleyen işler arasından bir

işin seçilerek, işlenmek için iş merkezine yüklenmesidir. Tezgâh yükleme kuralları, çalışmanın ilerleyen kısımlarında ayrıntılı olarak verilecektir.

Bu çalışmada; atölye tipi üretimin gerçekleştirildiği sistemlerde farklı tezgâh yükleme kurallarının nasıl performans gösterdiği, hangi durumlarda hangi kuralların daha iyi sonuçlar verdiği saptanmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında; literatürde en sık geçen, 30 adet tezgâh yükleme kuralı tespit edilmiştir. Daha sonra atölye tipi üretim yapmakta olan bir işletmenin ürün portföyü ve iş akışından esinlenilerek, sanal bir atölye ortamı tasarlanmış ve simülasyon modeli oluşturulmuştur. Tespit edilen 30 adet tezgâh yükleme kuralının, simülasyon yöntemi ile performansları ölçülerek kıyaslanmıştır. Performans ölçütleri belirlenirken; yine literatürde en sık geçen 7 ölçüt ve buna ek olarak, stok maliyetlerini etkileyeceğini düşündüğümüz 2 ölçüt daha (ortalama erken bitme süresi ve maksimum erken bitme süresi) kullanılmıştır.

Simülasyon yöntemi ile tezgâh yükleme kurallarının kıyaslanması neticesinde, gecikmeleri minimize eden tezgâh yükleme kuralı SPRO (slack per remaining operations) olarak belirlenmiştir. Ancak gecikmeler ile ilgili sayısal sonuçlara bakıldığında, bu sonuçların daha da iyileştirilebileceği görülmüştür.

SPRO kuralı en iyi sonuçları verdiği için, bu kuralın çalışma mantığının, diğer kurallar ile hibritlenerek ortaya daha iyi bir kural çıkarılması fikri ortaya atılmıştır. Denemeler sonucunda, SPRO ve EDD (earliest due date) kuralının hibritlenmiş halinin sonuçları iyileştirdiği görülmüştür. Bu hibritlenmiş kuralın adına EDDPRO denilmiştir ve bildiğimiz kadarıyla literatürde birebir aynısına rastlanmamıştır.

EDDPRO kuralı ile birlikte toplam 31 adet tezgâh yükleme kuralının, simülasyon yöntemi ile atölye ortamındaki performansları kıyaslanmıştır.

Çalışmanın bir diğer amacı ise; kıyaslanırken kullanılan 2 adet performans ölçütünün,

anlamli sonuçlar verip vermediğinin incelenmesidir. Bu 2 performans lt, “Earliness” faktörünü incelemektedir ve literatürde çok sık kullanılmamaktadır. Fakat, teorik olarak bakıldığı zaman, bu ltlerin anlamli sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bu ölçtüler ile ilgili ayrıntılı bilgi mevcuttur.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde, konu ile ilgili literatür taraması yapılmıştır ve yıllara göre sıralandırılmıştır. Kullanılan anahtar kelimeler: Dinamik izelgeleme, atölye tipi üretim, atölye çizelgeleme, tezgâh yükleme kuralları ve simülasyon gibi kelimelerdir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde; çizelgeleme, dinamik olay, dinamik sistem, dinamik çizelgeleme, atölye tipi üretim ve atölye çizelgeleme kavramları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümü; tezgâh yükleme kuralları nedir?, ne işe yarar?, nasıl kullanılır?, nasıl çalışır?, nasıl sınıflandırılır? gibi sorulara yanıt niteliğindedir. Ayrıca, çalışmada kullanılan 31 adet tezgâh yükleme kuralı ve 9 adet performans lt bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölümde; simülasyon kavramından bahsedilmiştir. Tasarlanan sanal atölye ortamının sistem analizi yapılmıştır ve buna göre oluşturulan simülasyon modeli bu bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Altıncı ve son olarak sonuç bölümünde; ulaşılan sonuçlar, sonuçlardan yapılan çıkarımlar ve çalışmanın literatüre katkıları anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme çalışmaları yıllardır sürmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalarda, araştırmacılar değişik yöntemler ile atölye çizelgeleme probleminde ilerleme (iyileşme) kat etmeye çalışmışlardır.

Literatürü incelerken kullanılan anahtar kelimeler çok önemlidir. Örneğin; dinamik çizelgeleme, dinamik programlama ve dinamik optimizasyon kavramları aynı gibi görünseler de hepsi farklı konulardır. Literatürde, bu tezin konusuyla ilgili olan çalışmalarda ağırlıklı olarak İngilizce kullanılmaktadır. Bu sebeple literatür araştırmasında İngilizce anahtar kelimeler kullanılmalıdır. Bu bölümde bahsi geçen çalışmalara ulaşırken en çok kullandığımız anahtar kelimeler şunlardır: Dynamic scheduling, job shop scheduling, dispatching rules, simulation.

Çizelge 2.1. Atölye Tipi Üretimde Dinamik Çizelgeleme İle İlgili Yaklaşımlar

Yazarlar	Yıl	Dinamik Etkenler	Yöntem	Ölçütler	Yükleme Kuralları
Leon vd.	1994	Sipariş gelişleri ve makine arızaları	Genetik algoritma	Tamamlanma süresi, makine arızaları ve robustluk	-
Chang	1997	Sipariş gelişleri	Sezgiseller ve tezgâh yükleme kuralları	Gecikmeler ve kuyrukta bekleme süreleri	FCFS, SPT, SLACK, CR, ODD
Holthaus ve Rajendran	1997	Sipariş gelişleri	Tezgâh yükleme kuralları	Akış süresi ve gecikmeler	SPT, WINQ, RR
Fang ve Xi	1997	Sipariş gelişleri, makine arızaları, teslim tarihleri, setup süreleri	Genetik algoritma ve yükleme kuralları	Gantt şemaları	-
Lee ve Uzsoy	1999	Sipariş gelişleri	Sezgisel algoritmalar	Tamamlanma süresi ve kullanım oranları	-
Sabuncuoğlu ve Bayız	2000	Makine arızaları	Reaktif çizelgeleme	Tamamlanma süresi ve gecikmeler	-
Aydın ve Öztemel	2000	Sipariş gelişleri	Akıllı ajanlar ve yükleme kuralları	Gecikmeler	SPT, COVERT, CR
Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu	2001	Makine Arızaları ve sipariş iptalleri	Reaktif çizelgeleme	Makine arızaları	-
Yang	2001	Sipariş gelişleri	Genetik algoritma	Tamamlanma süresi	-

Sabuncuoğlu ve Kızıılışık	2003	Sipariş gelişleri	Reaktif çizelgeleme	Akış süresi	-
Dominic vd.	2004	Sipariş gelişleri	Tezgâh yükleme kuralları	Akış süresi ve gecikmeler	Hibrit Kurallar
Liao ve Chen	2004	Sipariş gelişleri, setup süreleri ve makine arızaları	Sezgisel algoritmalar	Setup süreleri ve işlem süreleri	EDD
Liu vd.	2005	Sipariş gelişleri ve makine arızaları	Tabu arama algoritması	Tamamlanma süresi	-
Gupta ve Sivakumar	2005	Setup süreleri, teslim tarihleri,	Tezgâh yükleme kuralları	Tamamlanma süresi, gecikmeler ve kullanım oranları	SPT, EDD
Gao vd.	2009	Makine arızaları ve sipariş iptalleri	Karınca kolonisi ve genetik algoritma	Tamamlanma süresi ve kullanım oranları	-
Zandieh ve Adibi	2010	Sipariş gelişleri ve makine arızaları	Değişken komşu arama algoritması ve yükleme kuralları	Tamamlanma süresi ve gecikmeler	SPT, FIFO, LIFO,
Fattahi ve Fallahi	2010	Sipariş gelişleri ve işlem süreleri	Genetik algoritma	Verimlilik ve kararlılık	-
Dileepan ve Ahmadi	2010	Sipariş gelişleri	Tezgâh yükleme kuralları	Atölyedeki iş adedi ve gecikmeler	SPRO, PR, EDD, TWKR, SPT
Ghomi ve Iranpoor	2010	Siparişin kabul veya red edilmesi	Genetik algoritma	Erken bitmeler, gecikmeler ve satış kayıpları	-
Kapanoğlu ve Alikalfa	2011	Sipariş gelişleri	Genetik algoritma ve yükleme kuralları	Gecikmeler	SPT, SLACK, EDD, MDD, COVERT, CR
Kaban vd.	2012	Sipariş gelişleri ve işlem süreleri	Tezgâh yükleme kuralları	Tamamlanma süresi, atölyedeki iş adedi ve kuyrukta bekleme süreleri	FIFO, LIFO, SPT, LPT, SPS, LPS, STPT, LTPT, ECT, LCT, SWT, LWT, LTWR, MTWR, Hibrit Kurallar
Kundakçı	2013	Sipariş gelişleri, makine arızaları ve işlem süreleri	Tabu arama, genetik algoritma ve yükleme kuralları	Gecikmeler, akış süresi, tamamlanma süresi, kuyrukta bekleme süreleri	FIFO, LIFO, SPT, LPT, EDD, LWR, MWR, SRPT, LRPT, SIRO

Qiu ve Lau	2013	Sipariş gelişleri, işlem süreleri ve teslim tarihleri	Tezgâh yükleme kuralları ve yapay bağışıklık sistemi	Gecikmeler ve akış süresi	FCFS, SPT, EDD, LPT, MEDD, SLACK, CR, MRO, FRO, SPRO, WINQ, WINQ(SPT) Hibrit Kurallar vb.
Aydemir ve Korusu	2015	Sipariş gelişleri	Genetik algoritma ve yükleme kuralları	Akış süresi	FCFS, LCFS, SPT, LPT, EDD, SRPT, LRPT, SIRO
Sharma ve Jain	2016	Sipariş gelişleri ve setup süreleri	Tezgâh yükleme kuralları	Akış süresi, gecikmeler ve setup süreleri	FCFS, SPT, EDD, SLACK, Setup Hibritleri
Amariei ve Hamat	2017	Sipariş gelişleri	Tezgâh yükleme kuralları	Tamamlanma süresi	EDD, SLACK, FCFS, LPT, SPT, WSPT, CR, Hibrit Kurallar
Weiss-Cohen vd.	2017	Sipariş gelişleri ve makine arızaları	Akıllı ajanlar	Kullanım oranları	-
Klausnitzer vd.	2017	Sipariş gelişleri ve setup süreleri	Sezgisel algoritmalar	Akış süresi ve gecikmeler	FCFS, JSPT, SPT, EDD, SLACK ve Hibrit Kurallar
Nguyen vd.	2018	Sipariş gelişleri ve işlem süreleri	Genetik algoritma	Tamamlanma süresi ve gecikmeler	WINQ
Pergher ve Almeida	2018	Sipariş gelişleri	Tezgâh yükleme kuralları	Akış süresi, gecikmeler ve kullanım oranları	FIFO, EDD, SPT, SLACK, LWKR, MDD, ATC, COVERT ve Hibrit Kurallar
Zhang ve Roy	2018	Sipariş gelişleri ve setup süreleri	Tezgâh yükleme kuralları	Tamamlanma süresi, gecikmeler, akış süresi ve kuyrukta bekleme süreleri	FCFS, EDD, LCFS, LPT, LWKR, LWT, MST, MWKR, ODD, SPT, SST
Shen vd.	2018	Sipariş gelişleri ve setup süreleri	Tabu arama algoritması	Tamamlanma süresi	-
Sel ve Hamzadayı	2018	Sipariş gelişleri, makine arızaları ve teslim tarihleri	Tavlama benzetimi ve yükleme kuralları	Akış süresi ve gecikmeler	FIFO, SPT, EDD

Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Bu bölümün devamında, bahsi geçen çalışmalar ile ilgili birer paragraf özet bilgi verilmiştir. Ayrıca bu bölümün sonunda, literatürdeki eksik noktalar ve bu çalışmanın literatüre katkısından bahsedilmiştir.

MacCarthy ve Liu (1993), çizelgeleme teorisi ve pratiği arasındaki farklılıkları dikkate

almış ve çizelgeleri daha gerçekçi ve pratik hale getirmek için yeni trendleri araştırmışlardır. Buna ek olarak, pratikte klasik çizelgelemenin çevrenin ihtiyaçlarını karşılayamadığını belirtmişlerdir.

Leon ve diğ. (1994), beklenmedik ve öngörülemeyen dinamik durumlardan etkilenmeyen güçlü çizelgeleme metodları geliştirmişlerdir. Çalışmada, planlama döneminde tek bir problemin olduğu durum için güçlü bir çizelgeleme kriteri önermişlerdir. Birden fazla problemin ortaya çıktığı daha karmaşık durumlar için, değişime karşı direnç ölçüsünü (robustness) geliştirmişlerdir ve atölye tipi üretimde üretim çizelgesini elde edebilmek için bir genetik algoritma ile birleştirmişlerdir.

Shukla ve Chen (1996), dinamik çizelgelemede teori ve uygulamanın farklarını karşılaştırmışlardır. Bir esnek üretim ortamında yaptıkları uygulama ile teorideki uygulamanın hiç de benzer olmadığı fikrini sunmuşlardır. Kısacası teoride mümkün olan bir üretim çizelgesinin pratikte pek de mümkün olmadığını göstermişlerdir.

Chang (1997) atölye tipi üretimde, bir ürünün tamamlanması için kalan operasyonlarının toplam kuyrukta bekleme zamanını tahmin ederek çizelgeleme ile birleştiren yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Fang ve Xi (1997), atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Ayrıca genetik algoritmaya ve öncelik kurallarına dayanan bir melez yaklaşım önermişlerdir.

Lee ve Uzsoy (1999), dinamik iş gelişlerinde en uzun işlem süresini en aza indirme problemine çözmüş üretmeye çalışmışlardır. Bu problem için sezgisel yöntemler sunmuşlardır.

Aydın ve Öztemel (2000) akıllı ajan tabanlı dinamik çizelgeleme yaklaşımını

incelemişlerdir. Bu yaklaşımın iki bağımsız bileşenden oluştuğunu ifade etmişlerdir, bunlar akıllı ajan ve simüle edilmiş ortamdır.

Sabuncuoğlu ve Bayız (2000) stokastik üretim ortamında dinamik çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Özellikle klasik atölye tipi üretim sisteminde, makinelerin arıza ve duruş durumlarında birçok çizelgeleme yöntemini test etmişlerdir. Ayrıca sistem büyüklüğünün sistem performansına etkisini araştırmışlardır.

Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu (2001), atölye tipi üretim sistemlerinde makine arızalarının etkisini minimize etmek için bir dinamik çizelgeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, işlerin rotalarında bir makine arızası varsa rotaları değiştirmeye dayanmaktadır.

Yang (2001), esnek üretim sistemlerinde genetik algoritmaya dayalı yeni bir dinamik çizelgeleme yaklaşımı geliştirmiştir. Burada, esnek üretim ortamının kesikli zaman simülasyonunu yaparak, işlerin sırasını belirlemek için genetik algoritma kullanmıştır.

Cowling ve Johansson (2002), çizelgeleme kararlarını iyileştirmek için anlık dinamik bilgileri kullanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Dinamik olaylara karşı kullanılabilir iki temel strateji belirlemişlerdir. Bu stratejiler yeniden çizelgeleme ve grafik düzeltmesidir. Yeniden programlama stratejisine göre, sistem tamamen yeniden çizelgelenirken, grafik düzeltme stratejisinde küçük değişiklikler yapılarak çizelgenin dinamik olaylara ayak uydurmasını amaçlamışlardır.

Sabuncuoğlu ve Kızılışık (2003), dinamik ve stokastik esnek üretim sistemlerinde dinamik çizelgeleme ile ilgilenmişlerdir. Çalışmada, simülasyona dayalı bir çizelgeleme tekniği önermişlerdir.

Dominic ve diğ. (2004), dinamik atölye tipi üretim sisteminde çizelgeleme için farklı

öncelik kurallarını birleştirerek çalışmışlardır. Çalışmada, farklı öncelik kuralları ve performans ölçütleri altında bu problemi ARENA® programını kullanarak çözmeye çalışmışlardır.

Liao ve Chen (2004), sık sık makine arızalarının meydana geldiği bir tekstil hattının çizelgelenmesi problemini incelemişlerdir. Problemi çözmek için sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir ve bu sezgisel yöntem, makine arızalarını azaltılmasını da sağlamıştır.

Liu ve diğ. (2005), makine arızaları ve yeni sipariş gelişlerinde dinamik çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda, dinamik çizelgeleme problemini statik bir problem olarak modellemek için yeni bir yöntem sunmuşlardır.

Gupta ve Sivakumar (2005), teslim tarihleri ve setup süreleri ile tek makineli bir üretim ortamı için simülasyon modeli hazırlanmışlardır. Bu çalışmanın hedefi akış süresini en aza indirirken, aynı zamanda makine kullanımını da en üst düzeye çıkarmaktır.

Gao ve diğ. (2009), atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme için karınca kolonisi algoritması ve genetik algoritmaya dayanan melez bir yöntem önermişlerdir. Amaç, toplam tamamlanma süresini, maliyeti ve teslim tarihinden sapmaları en aza indirmektir. Bu yöntemde rotalama karınca kolonisi algoritması ile yapılırken, kuyruktaki işlerin dizilimi genetik algoritma ve komşu arama algoritması yardımıyla yapılmaktadır. Çalışmanın sonunda, önerilen algoritmanın sonuçlarını analiz etmek için bir simülasyon modeli hazırlanmışlardır.

Dileepan ve Ahmadi (2010), yaygın olarak kullanılan bir dizi çizelgeleme kuralını incelemişlerdir. Farklı rotalara sahip iki dinamik atölye ortamı için simülasyon modelleri geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonunda, SPT kuralının akış süresini azaltmak için en iyi öncelik kuralı olduğunu, ayrıca EDD kuralının gecikmeleri azaltmak için en iyi kural olduğunu bir kez daha ortaya koymuşlardır.

Fattahi ve Fallahhi (2010), esnek atölye tipi üretim sisteminde, çizelgeleme problemi

üzerine çalışmışlardır. Problem ile ilgili, genetik algoritmaya dayalı bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir.

Zandieh ve Adibi (2010), dinamik sipariş gelişlerini ve makine arızalarını dikkate alan, atölye çizelgeleme problemi için değişken bir komşu arama algoritması önermişlerdir.

Ghomi ve Iranpoor (2010), atölye tipi üretimde, siparişlerin kabul ve reddedilme durumlarını içeren yaklaşım önermişlerdir. İşlerin rotasını tahmin etmek için genetik algoritma kullanmışlardır ve simülasyon yöntemi ile test etmişlerdir. Performans ölçütü olarak erken biten işler, gecikmeler ve satış kayıplarını kullanmışlardır.

Kapanoğlu ve Alikalfa (2011) dinamik atölye çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, klasik çizelgeleme yöntemlerini bir yapay zeka algoritması ile kıyaslamışlardır.

Kaban ve diğ. (2012), yeni hibrit tezgâh yükleme kuralları geliştirmişlerdir. Atölye ortamını simüle etmek için bir otomotiv endüstrisinden elde ettikleri bir dizi veriyi kullanmışlardır. LTWR (least total work remaining) kuralının hemen hemen tüm ölçümlerde en iyi performansı gösterdiğini saptamışlardır.

Qiu ve Lau (2013), dinamik atölye tipi üretim sisteminde çizelgeleme problemi için yapay zeka, yapay bağışıklık sistemi algoritması ve öncelik kurallarının kombinasyonuna dayanan bir yaklaşım önermişlerdir.

Aydemir ve Kuruca (2015), atölye tipi üretimde, akış süresini kısaltmak için Öncelikli Kural-Tabanlı Genetik Algoritma Çizelgeleme (PRGA-Sched) adında yeni bir çizelgeleme metodu geliştirmişlerdir. Modülü, ısıtma kazanı imal eden bir işletmeye entegre etmişlerdir. 6 ürün ve 6 müşterinin sipariş verileriyle simülasyon çalışması yapmışlardır. Sonuçlarda, tamamlanma süresinin öncekine göre büyük ölçüde

kısaltıldığını göstermişlerdir.

Sharma ve Jain (2016), dinamik atölye tipi üretimde çizelgeleme problemi için, setup sürelerini kullanan yeni tezgâh yükleme kuralları önermişlerdir. Önerdikleri kuralların, mevcut tezgâh yükleme kurallarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Jeon ve Kim (2016), atölye tipi üretim sistemlerinde simülasyon uygulamaları hakkında akademik yayınları inceleyerek bir literatür taraması sunmuşlardır. Çalışma; dinamik sistem simülasyonu, ayrık olay simülasyonu ve akıllı ajan tabanlı simülasyon tekniklerini içermektedir.

Amariei ve Hamat (2017), yedek parça üretimi yapan bir atölyede, kendi geliştirdikleri rotalama yöntemlerini kullanarak tamamlanma zamanını düşürmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca bir simülasyon modeli hazırlayarak farklı tezgâh yükleme kurallarını kıyaslamışlardır.

Weiss-Cohen ve diğ. (2017), atölye ortamında, işletmenin kârının maksimizasyonu üzerine çalışırken, “kontrol edilebilirlik” kavramı üzerine yoğunlaşmışlardır. Atölye ortamında çalışan ve sistemi doğrudan kontrol eden çok ajanlı bir yapı geliştirmişlerdir. Çalışmada önerdikleri çok ajanlı sistemin simülasyon modelini de sunmuşlardır.

Klausnitzer ve diğ. (2017), üretimi planlayabilmek için daha önce atölye tipi üretimde kullanılmakta olan klasik sezgisel algoritmaları geliştirerek hücreli atölye tipi üretim ortamında kullanmayı hedeflemişlerdir. Yeni geliştirdikleri çift katmanlı sezgisel algoritmayı klasik sezgisel algoritmalar ile kıyaslayabilmek için simülasyon yöntemini kullanmışlardır. Yeni algoritma; ortalama akış süresi, ortalama gecikme süresi ve geciken işlerin oranı bakımından klasik algortimalara göre üstün sonuçlar vermiştir.

Türker ve diğ. (2018), atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi üzerine

çalışmışlardır. Bir atölye ortamının simülasyon modelini hazırlayarak, bu atölye modelinde farklı tezgâh yükleme stratejilerini kıyaslamışlardır. Belirledikleri en iyi stratejiyi farklı talep hızlarında test etmişlerdir. Veri madenciliği sınıflama algoritmalarından yararlanarak sistemi iyileştirmişlerdir ve gecikme ihtimali yüksek olan işleri tahmin ederek dış kaynak kullanımını kararını verecek bir karar destek sistemi tasarlamışlardır.

Pergher ve Almeida (2018), atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme probleminde, en iyi tezgâh yükleme kuralını belirleyebilmek için, mobilya sektöründeki bir firmadan gerçek verileri alarak simülasyon çalışması yapmışlardır. Tezgâh yükleme kurallarını daha iyi kıyaslayabilmek için yeni ölçütler önermişlerdir.

Zhang ve Roy (2018), tezgâh yükleme kuralı seçimi üzerine çalışmışlardır. Atölye ortamının farklı kısıtlarını tanımlayarak, hangi atölye ortamı için hangi kuralların daha efektif çalışacağını belirleyen bir sistem oluşturmuşlardır. Bu sistemin temeli anlamsal-yakınlık teoremine dayanmaktadır. Anlamsal-yakınlık modelini Pseudo kodları haline getirerek, farklı tezgâh yükleme kuralları ile, modellerini test etmişlerdir.

Nguyen ve diğ. (2018), atölye çizelgeleme probleminde yapılmış olan çeşitli çalışmaları bir araya getirerek literatüre katkıda bulunmuşlardır. Ayrıca, tezgâh yükleme kurallarının geliştirilmesinde, genetik programlama yaklaşımı üzerine çalışmışlardır.

Shen ve diğ. (2018), atölye çizelgeleme probleminde, setup sürelerini kullanarak tamamlanma süresini (makespan) minimize etmeye çalışmışlardır. Spesifik komşuluk özellikleri içeren bir tabu arama algoritması geliştirerek bu algoritmayı test etmişlerdir. Ulaştıkları sonuçlar ile, algoritmanın literatürdeki birçok yaklaşımdan daha iyi performans gösterdiğini saptamışlardır.

Sel ve Hamzadayı (2018), atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi için

tavlama benzetimi sezgiseli tabanlı bir simülasyon optimizasyonu yöntemi önermişlerdir. FIFO, SPT ve EDD kurallarının ve önerilen tavlama benzetimi sezgiselinin performanslarını simülasyon yöntemi ile kıyaslamışlardır. Ortalama akış süresini ve ortalama gecikme süresini en küçükleyen amaç fonksiyonları farklı seviyelerdeki atölye kullanım oranı ve teslim süresi durumlarında incelenmiştir. Önerdikleri tavlama benzetimi sezgiselinin EDD ve FIFO kurallarından daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Literatürdeki çalışmaları özetlemek gerekirse: bütün çalışmaların özünde, farklı yöntemleri kullanarak iyileştirme yapılmaya çalışılmıştır. Tezgâh yükleme kuralları, akıllı ajanlar, yapay zeka, uzman sistemler, veri madenciliği, sezgiseller, meta-sezgiseller ve hiper-sezgiseller gibi denenmiş olan birçok yöntem; problemin optimum çözümüne ulaşmakta yetersiz kalmıştır. Bu sebeple dinamik çizelgeleme probleminde optimum çözüme ulaşmak, günümüzde imkansız olarak kabul edilmektedir.

Literatür araştırmasının neticesinde, tezgâh yükleme kurallarını kıyaslayan çalışmaların bir çoğunda kural sayısı çok kısıtlı kalmıştır. Çalışmaların çoğunda setup sürelerini içeren kurallar mevcut değildir. Ayrıca kuralların kıyaslanmasında “erken bitme” ölçütünü kullanan çalışma sayısı yetersizdir. Bu çalışmanın, bahsi geçen konuların hepsini tek bir çalışmada toplaması sebebiyle literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

3. ATÖLYE TİPİ ÜRETİMDE DİNAMİK ÇİZELGELEME

Üretim sistemlerinde çizelgeleme, makine konfigürasyonları açısından dört ana sınıfta tanımlanabilir: Tek tezgâh, paralel tezgâhlar, akış tipi üretim ve atölye tipi üretim. Tek tezgâh ve paralel tezgâhlar ortamında, bir iş tek bir işlemden oluşmaktadır ancak paralel tezgâhlar ortamında bu işlem mevcut tezgâhların herhangi birinde yapılabilmektedir. Akış tipi üretimde, işler belirli bir sırayla tezgâhlar üzerinde işlenerek standart rotada devam eder. Atölye tipi üretimde ise, her iş çeşitli tezgâhlarda birden fazla işlemden geçebilir veya geçmeyebilir ve her işin kendine has işlem süresi ve rotası vardır. Bütün bu çizelgeleme problemlerinde amaç sistemi optimize etmektir. Bir sistemi optimuma yaklaştırmak için performans ölçütlerini en iyi durumuna getirmek gerekmektedir. Performans ölçütlerinden literatürde bariz bir şekilde en çok karşımıza çıkan, tamamlanma süresidir.

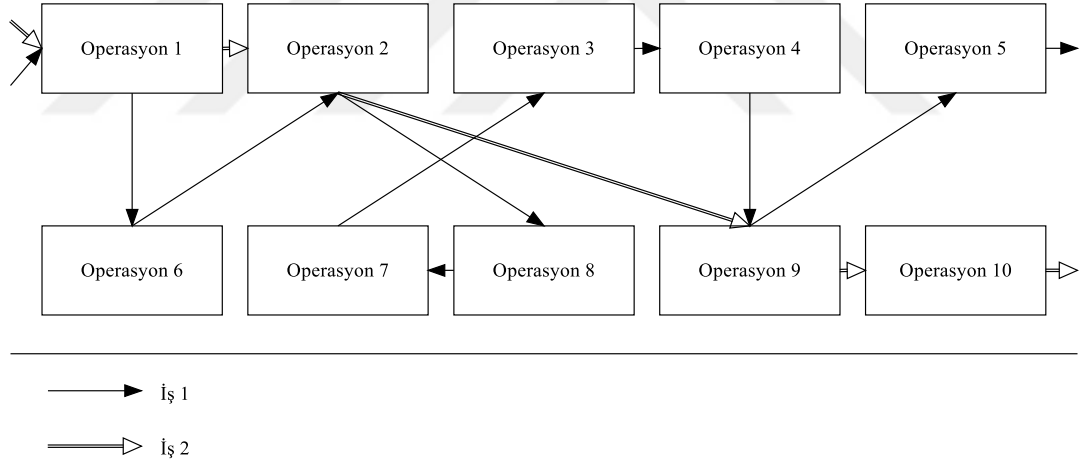
“Tamamlanma süresi” ölçütü bu çalışmada sıklıkla kullanılacağından, erken safhada tanımlamak faydalı olacaktır. Bu ölçüt, belirli bir sayıdaki siparişlerin tamamlanması için ihtiyaç duyulan süre olarak tanımlanmaktadır. Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi, tamamlanma süresini en aza indirmek ile ilgili uzun bir geçmişe sahiptir. Bu ölçütün matematiksel bir bakış açısıyla ele alınması basittir ve formülize edilmesi kolaydır, dolayısıyla akademik ve endüstriyel uygulamalardaki kullanımı yaygındır.

Girdi parametrelerinin belirsizlik derecesine göre, bir çizelgeleme problemi statik veya dinamik olarak sınıflandırılabilir. Statik çizelgeleme modellerinde belirsizlik söz konusu değildir. Ancak, gerçek dünya problemlerinde olaylar böyle değildir. Atölye ortamı sürekli olarak rastgele olaylara maruz kalmaktadır. Makine arızaları, operatörün iş görememe durumları, teslim tarihlerindeki değişiklikler, talep değişkenliği ve işlem sürelerindeki değişkenlikler çalışma sürecini olumsuz etkileyebilmektedir. İşte bu nedenle, dinamik bir ortamdaki çizelgeleme problemi, statik olandan daha gerçekçi görünmektedir. En basit olarak; bir işin işlem süresindeki değişkenlik, sistemi dinamik bir yapı haline getirmektedir.

Literatürde dinamik olaylar ikiye ayrılmaktadır:

- Makine (kaynak) ile ilgili: Makine arızası, operatör hastalıkları, operatörün meşgul olması, alet arızaları, kuyruk kapasiteleri, işe başlamada gecikme, malzemelerin yetersizliği, hatalı malzeme, yanlış özellikteki malzeme, vb.
- İş ile ilgili: Yeni gelen siparişler, acil işler, işlerin iptalleri, teslim tarihi değişiklikleri, işlerin erken veya geç gelişi, iş önceliğindeki değişiklikler, işlem süresinde değişiklikler, vb.

Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi uzun süredir kapsamlı bir şekilde incelenmekte ve araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bu problem genellikle şu şekilde tanımlanır: Her biri belirli bir zaman periyodu içinde “i” adet tezgâh veya iş merkezi tarafından işlenmesi gereken ve kendine özgü bir rotası olan “j” adet iş vardır. Amaç, performans ölçütlerini iyileştirmektir (Pinson, 1995)



Şekil 3.1. Atölye Tipi Üretim Örneği

Atölye ortamındaki iş akışlarının daha iyi anlaşılabilmesi açısından, Şekil 3.1’de temsili bir atölye örneği verilmiştir.

Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi, belirli bir zaman dilimi içerisinde farklı işlere kaynak tahsis edilmesi ile ilgilenen, komplike bir optimizasyon problemi

olarak bilinir. Bir veya daha fazla hedefi optimize etme amacı güden bir karar verme süreci olarak tanımlanabilir. Bu problem için kısıtlayıcı varsayımlar şu şekildedir:

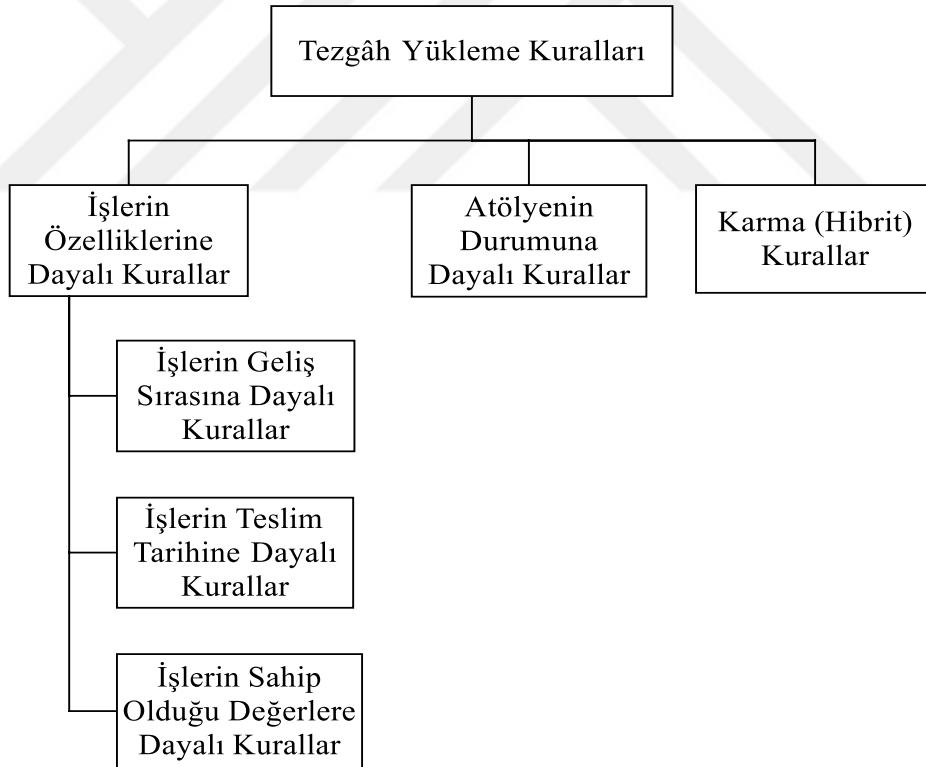
- Her bir iş, her bir operasyondan bir defadan fazla geçemez.
- Her bir işin, aynı anda, maksimum 1 operasyonu gerçekleştirilebilir.

Atölye tipi üretimde çizelgelemeyi zorlaştıran bir başka etken de parti hacimlerinin küçük ve ürün çeşitliliğinin fazla olmasıdır. Ürün yelpazesindeki çeşitlilik sebebiyle ortada standart bir iş yoktur. Hatta mevcut atölyede, daha önce üretimi yapılmamış olan bir ürünün müşteri tarafından talep edilmesi durumu sıklıkla gerçekleşmektedir. İşlerin standart olmadığı sistemlerde, karmaşa kaçınılmazdır. Bu sebeple; atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme problemi NP-hard sınıfında bir problemdir ve en zor kompleks optimizasyon problemleri arasında yer almaktadır. Nitekim, matematiksel olarak optimum çözüm bulunsa bile, bunun pratikte uygulanabilirliği şüphelidir (Garey ve diğerleri, 1976)

4. TEZGÂH YÜKLEME KURALLARI

Atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmalarda, atölye ortamını optimize etmek için tezgâh yükleme kurallarının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Tezgâh yükleme kuralları, bir tezgâhın kuyruğunda bekleyen işlerden, hangisinin daha önce işlenmesi gerektiği ile ilgilenmektedir. Bu bekleyen işler arasından bir işin seçilerek, tezgâh boşaldığı anda yüklenmesi gerekmektedir. Bu bekleyen işlerin hepsinin özellikleri aynı olmayabilir. İşlerin teslim tarihleri, işlem süreleri, geliş zamanları, rotaları ve bunların kombinasyonları gibi daha birçok özellikleri genellikle farklıdır. Tezgâhların yüklenirken, bekleyen işler arasından bu farklı özelliklerine göre seçilmesi, sistemin performansını etkileyecektir.

4.1. Kullanılan Tezgâh Yükleme Kuralları



Şekil 4.1. Tezgâh Yükleme Kurallarının Sınıflandırılması

Tezgâhlar yüklenirken yalnızca işlerin özelliklerine bakılarak iş seçilmez. Türker vd. (2018), tezgâh yükleme kuralları tasnif ederek üç ana başlık altında toplamışlardır. Bunlar; işe dayalı kurallar, atölye durumuna dayalı kurallar ve hibrit kurallar olmak

üzere, Şekil 4.1’de görülebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, atölyenin performans ölçütlerini optimize edebilmek için, literatürdeki mevcut tezgâh yükleme kuralları ve EDDPRO kuralının simülasyon yöntemi ile performansları ölçülmüştür. Kullanılan bütün tezgâh yükleme kurallarının çalışma mantığı, formülize edilerek bu başlık altında anlatılmaktadır. Formülizasyonda kullanılan simgeler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kuralların Formülizasyonunda Kullanılan Simgeler

j	İş indeksi
i	Tezgâh indeksi
k	Operasyon indeksi
Z_j	j işinin öncelik indeksi
t	Şu anki zaman
O_j	j işinin işlem adedi
$P_{i,j}$	j işinin i tezgâhındaki işlem süresi
$P'_{i+1,j}$	j işinin, gideceği bir sonraki tezgâhın kuyruğundaki işlerin, toplam işlem süresi
d_j	j işinin teslim tarihi
r_j	j işinin atölyeye geliş zamanı
$r_{i,j}$	j işinin i tezgâhına geliş zamanı
$S_{i,j}$	j işinin i tezgâhındaki setup süresi

1) İlk Gelen İlk İşlem Görür (FCFS): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, tezgâhın önüne ilk gelmiş olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$\text{Min}(Z_j) = r_{i,j} \quad (4.1)$$

2) Atölyeye İlk Gelen İlk İşlem Görür (ECT): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, atölyeye ilk önce giriş yapmış olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$\text{Min}(Z_j) = r_j \quad (4.2)$$

3) İşlem Süresi Küçük Olan (SPT): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasında, işlem süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Smith, 1956)

$$\text{Min}(Z_j) = P_{i,j} \quad (4.3)$$

4) En Yakın Teslim Tarihi (EDD): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasında, teslim tarihi en yakın olan iş öncelikli olarak işlenir (Jackson, 1955)

$$\text{Min}(Z_j) = d_j \quad (4.4)$$

5) Aynı Tipte İş (SIMSET): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasında, seçildiği zaman setup süresi hangisinin daha kısa olacağına o iş öncelikli olarak işlenir (Cheung ve Zhou, 2001)

$$\text{Min}(Z_j) = S_{i,j} \quad (4.5)$$

6) İşlem Süresi ve Setup Süresi Küçük Olan (SSPT): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasında, işlem süresi ve setup süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Cheung ve Zhou, 2001)

$$\text{Min}(Z_j) = P_{i,j} + S_{i,j} \quad (4.6)$$

7) Setup Süresinden Sonra İşlem Süresi Küçük Olan (JSPT): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasında, setup süresi minimum olan öncelikli olarak işlenir. Eğer

setup süresi minimum olan birden fazla iş varsa, işlem süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Cheung ve Zhou, 2001)

8) Setup Süresinden Sonra Teslim Tarihi En Yakın Olan (JEDD): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, setup süresi sıfır olan öncelikli olarak işlenir. Eğer setup süresi sıfır olan yoksa, teslim tarihi en yakın olan iş öncelikli olarak işlenir (Cheung ve Zhou, 2001)

9) Toplam İşlem Süresi Küçük Olan (STPT): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, toplam işlem süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dannenbring, 1977)

$$Min(Z_j) = \sum_{i=1}^{O_j} P_{i,j} \quad (4.7)$$

10) Kalan İşlem Süresi Küçük Olan (LTWR): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, toplam kalan işlem süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Blackstone vd., 1982)

$$Min(Z_j) = \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j} \quad (4.8)$$

11) Rotasındaki İşlem Sayısı Küçük Olan (LRS): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, rotasındaki işlem sayısı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$Min(Z_j) = O_j \quad (4.9)$$

12) Rotasındaki İşlem Sayısı Büyük Olan (HRS): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, rotasındaki işlem sayısı en büyük olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$Max(Z_j) = O_j \quad (4.10)$$

13) Rotasındaki Kalan İşlem Sayısı Küçük Olan (LRRS): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, kalan işlem sayısı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$Min(Z_j) = O_{j-k+1} \quad (4.11)$$

14) Rotasındaki Kalan İşlem Sayısı Büyük Olan (HRRS): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, kalan işlem sayısı en büyük olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$Max(Z_j) = O_{j-k+1} \quad (4.12)$$

15) Öncelik Oranı En Küçük Olan (PR veya CR): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, teslim tarihine kalan süresinin toplam kalan işlem süresine oranı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (toplam kalan işlem süresi / teslim tarihine kalan süre).

$$Min(Z_j) = (d_j - t) / (\sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j}) \quad (4.13)$$

16) Müsait Süresi En Küçük Olan (SLACK): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, işin teslim tarihinden geliş zamanının çıkarılması ile elde edilen süreden, kalan toplam işlem süresinin çıkarılması ile müsait süre olarak adlandırılan bir süre elde edilir. Müsait süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir ([teslim tarihi – geliş zamanı] – kalan toplam işlem süresi) (William ve Gere, 1966)

$$Min(Z_j) = d_j - (t + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j}) \quad (4.14)$$

17) Kalan İşlem Sayısı Başına Müsait Süresi Küçük Olan (SPRO): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, müsait süresinin kalan işlem sayısına oranı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (([teslim tarihi – geliş zamanı] – kalan toplam işlem süresi) / kalan işlem sayısı).

$$\text{Min}(Z_j) = (d_j - (t + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j})) / O_{j-k+1} \quad (4.15)$$

18) Bir Sonraki Tezgâhın Toplam İş Yüğü (WINQ): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi (WINQ değeri) en küçük olan iş belirlenir. Eğer WINQ değeri en küçük olan birden fazla iş varsa; bu işler arasından mevcut tezgâha ilk gelmiş olan iş öncelikli olarak işlenir (Haupt, 1989)

$$\text{Min}(Z_j) = P'_{i+1,j} \quad (4.16)$$

19) Bir Sonraki Tezgâhın Toplam İş Yüğü ve İşlem Süresi Küçük Olan (WINQ(SPT)): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi en küçük olan işler belirlenir. Bu işlerin WINQ değerleri aynıdır. Bu işlerden, mevcut tezgâhtaki işlem süresi en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$\text{Min}(Z_j) = P'_{i+1,j} + \text{Min}(P_{i,j}) \quad (4.17)$$

20) Bir Sonraki Tezgâhın Toplam İş Yüğü ve Teslim Tarihi En Yakın Olan (WINQ(EDD)): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi en küçük olan işler belirlenir. Bu işlerin WINQ değerleri aynıdır. Bu işlerden, teslim tarihi en yakın olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$\text{Min}(Z_j) = P'_{i+1,j} + \text{Min}(d_j) \quad (4.18)$$

21) Bir Sonraki Tezgâhın Toplam İş Yükü ve Setup Süresi Küçük Olan (WINQ(SIMSET)): Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi en küçük olan işler belirlenir. Bu işlerin WINQ değerleri aynıdır. Bu işlerden, seçildiği takdirde setup süresi en kısa olacak olan iş öncelikli olarak işlenir.

$$Min(Z_j) = P'_{i+1,j} + Min(S_{i,j}) \quad (4.19)$$

22) PT+WINQ: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından; işin mevcut tezgâhtaki işlem süresi ile, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$Min(Z_j) = P_{i,j} + P'_{i+1,j} \quad (4.20)$$

23) PT+WINQ+AT: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından; işin mevcut tezgâhtaki işlem süresi, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi ve işin sisteme geliş zamanının toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$Min(Z_j) = P_{i,j} + P'_{i+1,j} + r_j \quad (4.21)$$

24) PT+WINQ+SLACK: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından; işin mevcut tezgâhtaki işlem süresi, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi ve işin müsait süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$Min(Z_j) = P_{i,j} + P'_{i+1,j} + (d_j - (t + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j})) \quad (4.22)$$

25) PT+WINQ+AT+SLACK: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından; işin mevcut tezgâhtaki işlem süresi, gideceği bir sonraki tezgâhtaki işlerin toplam işlem süresi, işin sisteme geliş zamanı ve işin müsait süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$\text{Min}(Z_j) = P_{i,j} + P'_{i+1,j} + r_j + (d_j - (t + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j})) \quad (4.23)$$

26) TDDSSPT: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından; teslim tarihine kalan süresi, mevcut tezgâhtaki setup süresi ve işlem süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Sharma ve Jain, 2016)

$$\text{Min}(Z_j) = (d_j - t) + S_{i,j} + P_{i,j} \quad (4.24)$$

27) SPT+LTWR: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, mevcut tezgâhtaki işlem süresi ile toplam kalan işlem süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$\text{Min}(Z_j) = P_{i,j} + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j} \quad (4.25)$$

28) EDD+LTWR: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, teslim tarihine kalan süresi ile toplam kalan işlem süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$\text{Min}(Z_j) = d_j + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j} \quad (4.26)$$

29) SPT+EDD: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, mevcut tezgâhtaki işlem

süresi ile teslim tarihine kalan süresinin toplamı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (Dominic vd., 2004)

$$\text{Min}(Z_j) = P_{i,j} + d_j \quad (4.27)$$

30) SPRO+TWRPRO: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, müsait süresi ile kalan toplam işlem süresinin toplamının kalan işlem sayısına oranı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir ((müsait süresi + kalan toplam işlem süresi) / kalan işlem sayısı).

$$\text{Min}(Z_j) = ((d_j - (t + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j})) + \sum_{i=k}^{O_j} P_{i,j}) / O_{j-k+1} \quad (4.28)$$

31) EDDPRO: Bir tezgâhın önünde bekleyen işler arasından, teslim tarihine kalan süresinin kalan işlem sayısına oranı en küçük olan iş öncelikli olarak işlenir (teslim tarihine kalan süresi / kalan işlem sayısı). Basit olarak ifade etmek gerekirse, EDDPRO kuralı SPRO kuralının sadeleştirilmiş halidir.

$$\text{Min}(Z_j) = (d_j - t) / O_{j-k+1} \quad (4.29)$$

Çizelge 4.2. Mevcut Kuralların Sınıflandırılması ve İlişkileri

Kural	Sınıfı	Bağlantılı Olduğu Kurallar
FCFS	İÖD	
ECT	İÖD	
SPT	İÖD	
EDD	İÖD	
SIMSET	İÖD	
SSPT	Hibrit	SPT, SIMSET
JSPT	İÖD	SPT, SIMSET
JEDD	İÖD	EDD, SIMSET
STPT	İÖD	SPT
LTWR	İÖD	SPT
LRS	İÖD	
HRS	İÖD	
LRRS	İÖD	LRS
HRRS	İÖD	HRS
PR	İÖD	SPT, EDD, LTWR,
SLACK	İÖD	SPT, EDD, LTWR,
SPRO	İÖD	SPT, EDD, LTWR, LRS
WINQ	ADD	SPT
WINQ(SPT)	ADD	SPT, WINQ
WINQ(EDD)	ADD	SPT, WINQ, EDD
WINQ(SIMSET)	ADD	SPT, WINQ, SIMSET
PT+WINQ	Hibrit	SPT, WINQ
PT+WINQ+AT	Hibrit	SPT, EDD, WINQ
PT+WINQ+AT+SLACK	Hibrit	SPT, EDD, WINQ, LTWR
PT+WINQ+SLACK	Hibrit	SPT, EDD, WINQ, LTWR
TDDSSPT	Hibrit	SPT, EDD, SIMSET
SPT+LTWR	Hibrit	SPT, LTWR
EDD+LTWR	Hibrit	SPT, EDD, LTWR
SPT+EDD	Hibrit	SPT, EDD
SPRO+TWRPRO	Hibrit	SPT, EDD, LTWR, LRS, SPRO
EDDPRO	İÖD	SPT, EDD, LTWR, LRS, SPRO
İÖD: İşin Özelliğine Dayalı		
ADD: Atölyenin Durumuna Dayalı		

Çalışmada kullanılan kuralların hangi sınıfa girdiği ve birbirleri ile ilişkileri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

4.2. Tezgâh Yükleme Kurallarının Performans Ölçütleri

Literatürde bu konu ile ilgili çalışmalara bakıldığında en çok tekerrür eden performans ölçütlerinin; tamamlanma süresi (makespan), akış süresi (flow-time), gecikmeler (tardiness) ve atölyedeki iş adedi (work-in-process) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, literatürde pek sık görülmeyen erken bitme (earliness) ölçütünün mantığı da bu bölümde incelenmiştir.

4.2.1. Tamamlanma Süresi (Makespan)

Tamamlanma süresine şu şekilde ulaşılmaktadır: Atölyeye belirli bir sayıda iş (sipariş) gönderilir, bu işlerin hepsinin bitirilerek simülasyon modelinden çıkması gerekmektedir, çıkan son siparişin çıkış zamanına bakılır, böylece tamamlanma süresine ulaşılır. Bu çalışmada toplam iş sayısı 5.000 adettir. Tamamlanma süresi, atölye simülasyonunun performansını ölçmek için kullanılan en önemli performans ölçütlerindedir.

4.2.2. Akış Süresi (Flow-Time)

Bir işin sisteme girdiği andan itibaren çıkışına kadar geçen süre o işin akış süresidir. Her işin, sistemde geçirdiği süre farklı olduğu için akış süresi de farklı olmaktadır. Simülasyon modelinde akış süresi şu şekilde bulunmaktadır: İşin sisteme geliş zamanı “Attribute” olarak atanır, iş sistemi terketmeden hemen önce Eşitlik 4.30’da gösterilen şekilde bir “Attribute” ataması daha yapılır, son olarak *Akış Süresi* atamasının istatistikleri 5.000 parça için de tutulur.

$$Akış\ Süresi = Şu\ Anki\ Zaman - Geliş\ Zamanı \quad (4.30)$$

Akış süresine bağlı olan performans ölçütlerine literatürde iki farklı şekilde

rastlanmaktadır. Bunlar, Ortalama Akış Süresi (Average Flow-Time) ve Maksimum Akış Süresi (Maximum Flow-Time)'dir. Bu çalışmada da bu 2 ölçüt kullanılacaktır.

4.2.3. Gecikme (Tardiness)

Her siparişin bir teslim tarihi vardır. Bir siparişin bu tarihten sonra teslim edilmesi geciktiğini göstermektedir. Geciken siparişler, müşteri memnuniyetsizliği ve müşteri kaybı yaratır. Bu hem üretici hem de tüketici açısından en istenmeyecek durumlardan birisidir. Özet olarak, bu geciken siparişlerin hem adedinin minimize edilmesi hem de gecikme sürelerinin minimize edilmesi gerekmektedir.

Geciken siparişler simülasyon modelinde şu şekilde tespit edilir: Sipariş tamamlandığı zaman sistemden çıkmadan hemen önce Eşitlik 4.31'de verilen ifade yardımıyla bir soruya tabi tutulur, eğer sorunun cevabı evet ise sipariş gecikmiş demektir ve bu siparişlerin adedi sayılarak Eşitlik 4.32'de verilen formül ile gecikme sürelerinin istatistikleri tutulur.

$$\text{Şu Anki Zaman} > \text{Teslim Tarihi} \quad (4.31)$$

$$\text{Gecikme Süresi} = \text{Şu Anki Zaman} - \text{Teslim Tarihi} \quad (4.32)$$

Geciken siparişler ile ilgili olarak bu çalışmada kullanılan performans ölçütleri şu şekildedir: Geciken İşlerin Oranı (Proportion Of Tardy Jobs), Ortalama Gecikme Süresi (Average Tardiness) ve Maksimum Gecikme Süresi (Maximum Tardiness)'dir.

4.2.4. Erken Bitme (Earliness)

Bir siparişin teslim tarihinden önce bitmesi, erken bitmesi demektir. Erken biten

siparişler, stok bulundurma maliyetlerinin artmasına ve envantere yer işgal etmesine sebep olacağı için üretici açısından istenmeyen bir durumdur. Ancak; işin geç bitmesinden önce erken bitmesi daha olumlu bir durumdur. Bu sebeple geç bitmeler ile erken bitmeler arasında dengenin yakalanması gerekmektedir.

Erken biten siparişler simülasyon modelinde şu şekilde tespit edilir: Sipariş tamamlandığı zaman sistemden çıkmadan hemen önce Eşitlik 4.31’de verilen ifade yardımıyla bir soruya tabi tutulur, eğer sorunun cevabı hayır ise sipariş erken bitmiş demektir ve bu siparişlerin adedi sayılarak Eşitlik 4.33’te verilen formül ile erken bitme sürelerinin istatistikleri tutulur.

$$\text{Erken Bitme Süresi} = \text{Teslim Tarihi} - \text{Şu Anki Zaman} \quad (4.33)$$

Erken biten siparişler ile ilgili olarak bu çalışmada kullanılan performans ölçütleri şu şekildedir: Erken Biten İşlerin Oranı (Proportion Of Early Jobs), Ortalama Erken Bitme Süresi (Average Earliness) ve Maksimum Erken Bitme Süresi (Maximum Earliness)’dir.

4.2.5. Atölyedeki İş Adedi (Work-in-Process)

Zaman ilerledikçe, o anda atölye içerisinde bulunan iş adedi de değişmektedir. Buna atölye yükü de denmektedir. Atölyeye yeni bir siparişin gelmesi ile 1 artan atölye yükünün değeri, bir siparişin tamamlanıp sevk edilmesi ile de 1 azalmaktadır. Atölye yükünün değerine şu şekilde ulaşılmaktadır: Bir sipariş geldiği zaman “Assign” modülünden geçer, bu modülde Eşitlik 4.34’teki ifade yardımı ile bir “Variable” ataması yapılır, sipariş tamamlandıktan sonra sevk edilmeden hemen önce bir “Assign” modülünden daha geçer, burada Eşitlik 4.35’teki ifade yardımı ile yeni bir “Variable” ataması yapılır ve bu süreç her sipariş için bu şekilde devam eder.

$$Wip = Wip + 1 \quad (4.34)$$

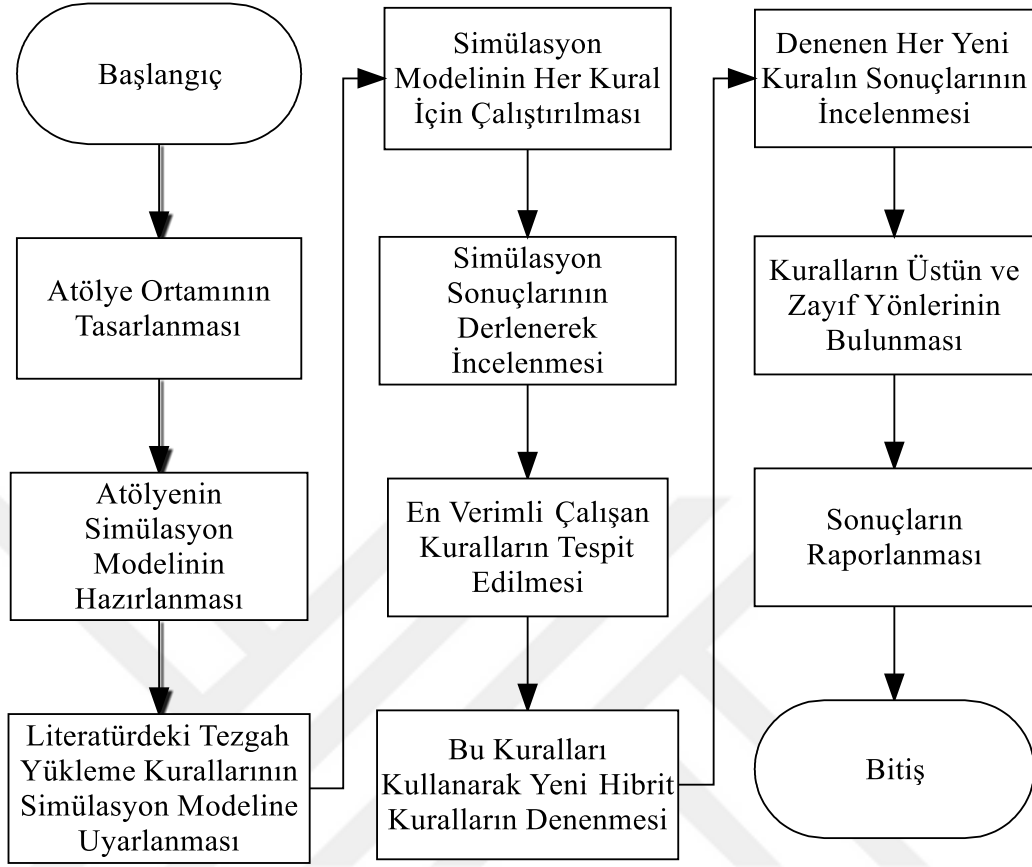
$$Wip = Wip - 1 \quad (4.35)$$

Wip değeri kullanılırken, bu değerin ortalamasının bulunması gerekmektedir. Bu değerin zaman içerisinde almış olmuş değerler toplanır ve değişim sayısına bölünür. Her bir sipariş bu değeri 2 kere değiştirmektedir, biri sisteme girerken diğeri sistemden çıkarken.



5. UYGULAMA

Bu tez çalışmasının uygulama aşamasında izlenen adımlar Şekil 5.1.'deki iş akış diyagramına uygun ilerlemektedir.



Şekil 5.1. İş Akış Diyagramı

5.1. Simülasyon ve Kesikli Olay Simülasyonu Nedir ?

Simülasyon, teknik anlamda gerçek bir dünya süreci veya sisteminin işletilmesinin zaman üzerinden taklit edilmesidir. Sistemin nesnelere arasında tanımlanmış ilişkileri içeren süreçlerin bir modelidir. Simülasyonda, ilk olarak bir model geliştirilmesi gerekmektedir. Bu model, somut bir sistemin ya da sürecin karakteristik özelliklerini, davranışlarını veya fonksiyonlarını temsil eder. Model, sistemin kendisini ve simülasyon, sistemin zamana bağlı çalıştırılmasını temsil eder.

Simülasyon yöntemi; performans optimizasyonu, güvenlik mühendisliği, test, eğitim, öğretim, ve video oyunları gibi birçok bağlamda kullanılır. Simülasyon modelleri genellikle bilgisayar ortamında çalışmaktadır. Simülasyon, alternatif durumların ve hareket tarzlarının gerçek etkilerini göstermek için kullanılabilir. Ayrıca simülasyon, gerçek sistemin erişemediği, tehlikeli, uygulamanın kabul edilmediği veya dizayn edilmiş ancak henüz gerçekleştirilmemiş bir şey için de kullanılabilir (Carson vd., 2005)

Simülasyonun türlerinden birisi olan sistem simülasyonu; trafik modelleri, deprem modelleri, lojistik/tedarik dağıtım sistemleri, üretim uygulama sistemleri, sağlık sistemleri, askeri sistemler gibi birçok alanda uygulama alanı olan geniş bir benzetim uygulamasıdır. Sistem simülasyonu genel olarak deney yapmanın maliyetli veya uygun olmadığı durumlarda kullanılan bir uygulama olup bunun yanında bir sistemin henüz yapım aşamasında yani tasarımında, sistem davranışlarının analiz edilmesi gerektiği durumlarda veya analitik çözümle çözülemeyen sistem işleyişine olasılığın girdiği karmaşık durumlarda kullanılan bir uygulamadır (Baudrillard, 2007)

Sistem değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimine göre simülasyonun kesikli ya da sürekli olduğu belirlenebilir. Sistemin durumunu belirleyen değişkenlerin değerleri zaman içinde sürekli değişim gösteriyorsa (sıvının borudan akması ya da nüfus değişimi gibi) simülasyon sürekli olarak tanımlanır. Sistemin durumunu belirleyen değişkenlerin değerleri zamanın belirli noktalarında değişiyorsa, simülasyon kesikli olarak tanımlanır. Buna örnek olarak: Bir servis sağlayıcının önündeki kuyruğun uzunluğu, yeni bir müşterinin varışı ya da ayrılışıyla değişmektedir. Kesikli sistem, durum değişkenlerinin zamanın farklı noktalarında değiştiği sistemdir (Özden, 2015)

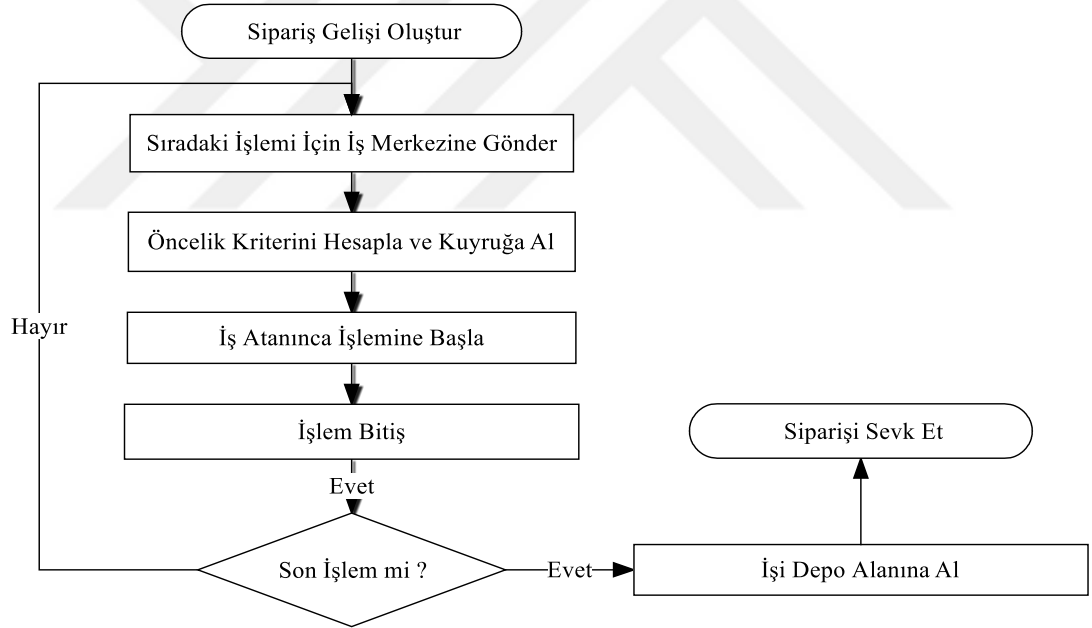
Kesikli olay simülasyonu, her zaman dilimini simüle etmek zorunda değildir. Kesikli olay simülasyonunda simülasyonun durumu kesin bir anda meydana gelen olaya göre değişir ve bir sonraki olaya kadar aynı durumda kalır (Matloff, 2013)

Bu çalışmada, kesikli olay simülasyonu mantığına dayanan ARENA® paket programı

kullanılmıştır. Hızlı çalışması ve kullanıcı arayüzünün kolay anlaşılabilir olması sebebiyle ARENA® paket programı, gerçek dünya sistemlerinin modellenmesinde ve simüle edilmesinde etkin rol oynamaktadır.

5.2. Sistemin Analizi

Bu tez çalışmasında, Türker ve diğerleri'nin "Atölye Tipi Üretimde Endüstri 4.0'ın Getirdikleriyle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Üretim Verilerinin Veri Madenciliği ile Analiz edilerek Gecikebilecek Siparişlerin Tahmini ve Dış Kaynak Kullanımı" adlı makalesinde kullanmış olduğu sanal atölye modeli üzerinden hareket edilmiştir. Bu atölye modelinde kullanılmamış olan setup süreleri, modele eklenerek, setup sürelerini içeren tezgâh yükleme kuralları modelde kullanılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 5.2. Sistemin Çalışma Şekli

Modelin ilk adımı sipariş gelişlerinin oluşturulmasıdır. Siparişler sisteme; gelişler arası süresi ortalaması μ dakika olan üstel dağılıma uygun olarak gelmektedir ($expo(\mu)$). Bu aşamada μ değeri, sipariş geliş hızını belirleyen unsurdur. μ küçüldükçe, sipariş gelişleri hızlanmaktadır ve atölyenin yükü artmaktadır. Bu çalışmada, farklı

senaryolar için kullanılan μ değerleri şu şekildedir: $\mu=65$, $\mu=70$, $\mu=72$ ve $\mu=80$

Atölyeye toplam 5.000 adet sipariş gönderilmektedir. Bu siparişlerin hepsinin tamamlanıp, sevk edilmesi gerekmektedir. Simülasyon koşumuna; 3 ay veya 6 ay gibi süreye dayalı bir sınırlama koyulmamıştır. 5.000 siparişin hepsi bittiğinde simülasyon koşumunu tamamlanmaktadır. Bunun sebebi tamamlanma süresi ölçütünü tespit edebilmek ve her bir kuralın sipariş bazında mukayese edilebilmesi içindir. Ayrıca 5.000 sayısı, sistemin kararlı duruma ulaşması için fazlasıyla yeterli bir sayıdır.

Atölyede farklı tipte parçalar üretilebilmektedir, dolayısıyla bir sipariş geldiği zaman farklı parçalara gelebilmektedir. Her bir parçanın kendine özgü bir rotası ve işlem süreleri vardır. Siparişin geldiği parça tipleri, rotaları ve işlem süreleri Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Parça Tipine Göre Rota, Birim İşlem Süresi

	İşlem-1 (dk)	İşlem-2 (dk)	İşlem-3 (dk)	İşlem-4 (dk)	İşlem-5 (dk)	İşlem-6 (dk)	İşlem-7 (dk)
Parça1	İşMer-1 (8)	İşMer-2 (12)	İşMer-5 (12)	İşMer-4 (7)	İşMer-7 (13)		
Parça2	İşMer-1 (8)	İşMer-5 (19)	İşMer-4 (12)	İşMer-8 (15)	İşMer-6 (10)		
Parça3	İşMer-1 (10)	İşMer-4 (8)	İşMer-3 (6)	İşMer-6 (8)	İşMer-9 (9)		
Parça4	İşMer-1 (9)	İşMer-6 (10)	İşMer-3 (10)	İşMer-4 (10)	İşMer-5 (14)	İşMer-9 (8)	İşMer-10 (10)
Parça5	İşMer-1 (9)	İşMer-4 (10)	İşMer-3 (8)	İşMer-5 (15)	İşMer-10 (11)	İşMer-9 (5)	
Parça6	İşMer-1 (9)	İşMer-2 (10)	İşMer-3 (8)	İşMer-4 (11)	İşMer-5 (10)	İşMer-6 (9)	İşMer-10 (14)
Parça7	İşMer-2 (13)	İşMer-3 (11)	İşMer-4 (10)	İşMer-5 (16)	İşMer-8 (18)	İşMer-9 (9)	
Parça8	İşMer-2 (14)	İşMer-4 (14)	İşMer-5 (13)	İşMer-7 (14)	İşMer-8 (18)	İşMer-9 (10)	
Parça9	İşMer-2 (12)	İşMer-5 (9)	İşMer-4 (11)	İşMer-7 (16)	İşMer-10 (14)		
Parça10	İşMer-2 (13)	İşMer-3 (9)	İşMer-4 (7)	İşMer-8 (14)	İşMer-7 (14)	İşMer-6 (10)	
Parça11	İşMer-2 (11)	İşMer-5 (10)	İşMer-6 (10)				
Parça12	İşMer-2 (10)	İşMer-5 (11)	İşMer-4 (10)	İşMer-8 (17)	İşMer-9 (12)		
Parça13	İşMer-2 (12)	İşMer-5 (12)	İşMer-4 (10)	İşMer-3 (8)	İşMer-6 (8)	İşMer-9 (7)	
Parça14	İşMer-2 (13)	İşMer-5 (10)	İşMer-4 (11)	İşMer-3 (8)	İşMer-6 (9)	İşMer-7 (17)	İşMer-10 (12)

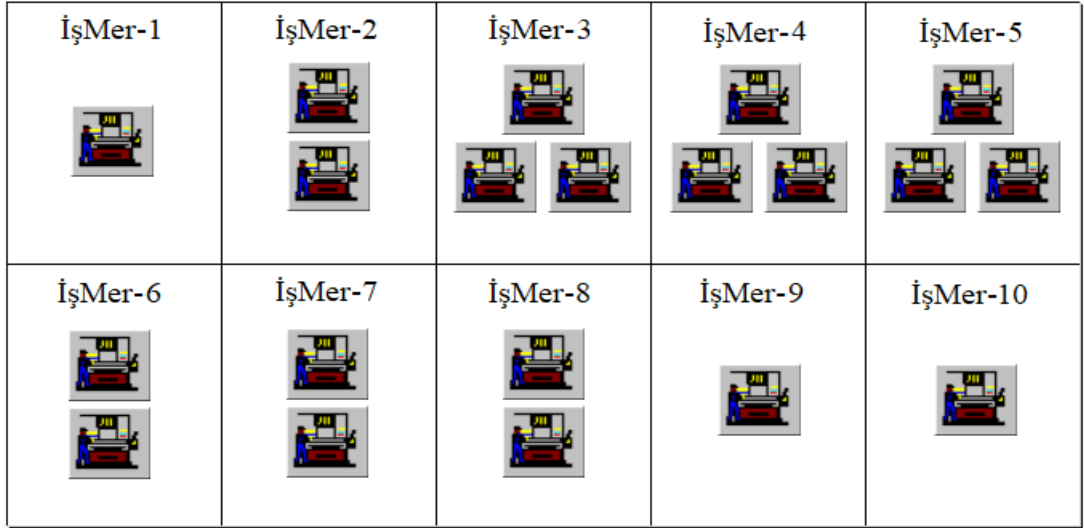
Parça15	İşMer-3 (10)	İşMer-6 (9)	İşMer-4 (11)	İşMer-8 (17)	İşMer-7 (15)		
Parça16	İşMer-3 (9)	İşMer-5 (10)	İşMer-4 (9)	İşMer-7 (18)			
Parça17	İşMer-3 (8)	İşMer-4 (7)	İşMer-8 (15)				
Parça18	İşMer-3 (9)	İşMer-5 (10)	İşMer-4 (10)	İşMer-6 (8)			
Parça19	İşMer-3 (8)	İşMer-4 (9)	İşMer-7 (15)	İşMer-6 (11)			
Parça20	İşMer-3 (8)	İşMer-5 (11)	İşMer-4 (9)	İşMer-8 (15)	İşMer-6 (12)		

Sipariş geldiği zaman, 20 tip parçadan hangisinin isteneceğinin olasılığı, kesikli düzgün dağılım fonksiyonundan yararlanılarak, eşit olarak dağıtılmıştır. Parça tipi belirlendikten sonra parti hacmi belirlenmektedir. Parti hacmi belirlenirken 10 ile 30 arasındaki tam sayılar eşit olasılık ile kullanılabilir. Yani minimum değeri 10 ve maksimum değeri 30 olan kesikli düzgün dağılıma uyacak şekilde tanımlanmıştır.

Sipariş sisteme geldiğinde, teslim tarihinin de belirlenmesi gerekmektedir. Teslim tarihi belirlenirken üstel dağılım fonksiyonundan yararlanılmıştır. Teslim tarihini belirlerken Eşitlik 5.1'den yararlanılmıştır.

$$Teslim\ Tarihi = Geliş\ Zamanı + Toplam\ İşlem\ Süresi * (1 + k + expo(1,5)) \quad (5.1)$$

Bir sipariş geldiği zaman, toplam işlem süresi kadar vakit geçtikten hemen sonra teslim edilme ihtimali çok düşük olduğu için sabit bir öteleme katsayısı olan k kullanılmıştır. k , değeri kullanıcıya bağlı olan bir değişkendir ve değeri büyüdükçe teslim tarihi de büyümektedir. Yani k değeri ile gecikmeler ters orantılıdır. Bu çalışmada, farklı senaryolar için kullanılan k değerleri şu şekildedir: $k=0,5$, $k=1,5$ ve $k=2$



Şekil 5.3. Atölyenin Temsilî Yerleşim Planı

Atölyede 10 farklı iş merkezi bulunmaktadır. Her iş merkezindeki tezgâh adetleri farklıdır. Simülasyon modelinin birçok kez çalıştırılması sonucu, darboğaz oluşturmayacak minimum tezgâh adetleri Çizelge 5.2.'deki gibi bulunmuştur.

Çizelge 5.2. İş Merkezlerindeki Tezgâh Adetleri

	İşMer-1	İşMer-2	İşMer-3	İşMer-4	İşMer-5	İşMer-6	İşMer-7	İşMer-8	İşMer-9	İşMer-10
Tezgâh Adedi	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1

Sistemin İşleyişi: Sisteme gelen siparişler, rotalarında yer alan ilk iş merkezine yönlendirilir. İş merkezi müsait ise işlem başlatılır, dolu ise işlenmek üzere kuyrukta bekletilir. Kuyrukta bekleyenler var ise iş merkezi boşaldığında belirlenen atama kuralına göre hesaplanan öncelik değerine göre atanacak iş seçilerek işleme alınır. İşlemi biten işler, rotalarındaki bir sonraki iş merkezine yönlendirilerek, bu iş merkezlerinde de aynı işlemlere tabi tutulurlar. Böylece işlerin, rotalarındaki tüm iş merkezlerini ziyaret etmesi sağlanarak, siparişlerin üretilmesi sağlanmış olur ve daha sonra da sevk edilir.

Sistemin Öğeleri: Bunlar, bir araya geldiklerinde sistemi oluşturan varlıklardır. Sistemimizin öğeleri aşağıdaki gibidir (Türker, 2011)

- Gezen birimler: Sisteme giriş-çıkış yapan unsurlardır. Bu sistemde, bunlar siparişlerdir.
- Kaynaklar: Gezen birimlere hizmet vermek için sistemde var olan öğelerdir. Bu sistemde, bunlar tezgâhlardır.
- Taşıyıcılar: Gezen birimleri bir noktadan başka bir noktaya iletmek için kullanılan öğelerdir. Bu sistemde, taşımalar ihmal edildiği için taşıyıcı tanımlaması da yapılmamıştır.

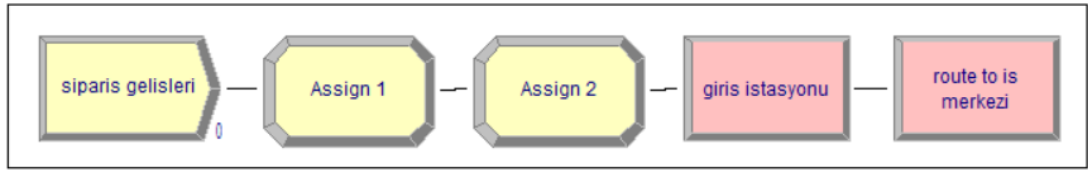
Simülasyon modeli aşağıdaki varsayımlar çerçevesinde oluşturulmuştur.

- Her bir sipariş bir bütündür. İş farklı iş merkezlerinde farklı operasyonlardan geçerek oluşmaktadır. Bu nedenle aynı işin iki operasyonu asla aynı anda gerçekleşemez.
- Sipariş gelmeden üretime başlanamaz, yani stoğa üretim söz konusu değildir.
- Siparişin bölünmesi mümkün değildir. Siparişin herhangi bir operasyonunun başlayabilmesi için önceki operasyonlarının tamamlanması gerekir.
- Her bir işin, her bir iş merkezinde bir tane operasyonu vardır.
- Siparişin iptali söz konusu değildir. Her bir sipariş tamamlanıncaya dek işlenir. Sipariş iptalinin göz ardı edilmesinin sebebi, bu olayın gerçek hayatta çok nadiren gerçekleşmesidir.
- İşler herhangi bir şekilde kontrole tabi tutulmadığından bir fire durumu söz konusu değildir.
- İş merkezleri arasında, işleri taşımak için gereken süre ihmal edilmiştir.
- İş merkezleri önünde arastoklara izin verilir. İşler tezgâhın boşalması için bekleyebilir.
- İş merkezlerindeki tezgâhlar boş kalabilir. Tezgâhlar asla bozulmaz ve çizelgeleme periyodu boyunca elverişlidir.

Burada belirtilenlere göre sistemin ARENA® programı ile simülasyon modeli oluşturulmuştur.

5.3. Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Sistem analizi kısmında anlatılan atölyenin simülasyon modeli ARENA® paket programı ile hazırlanmıştır.



Şekil 5.4. Siparişin Oluşturulması ve İş Merkezine Gönderilmesi

Siparişler, Şekil 5.4’te gösterilen “Create” modülü ile oluşturulmakta ve “Assign” modülleri ile özellikleri atanmaktadır. Daha sonra bir “Station” modülü ile giriş istasyonu tanımlanmakta ve “Route” modülü ile gideceği iş merkezinin istasyonuna gönderilmektedir.

Name:		Entity Type:	
siparis gelisleri		Entity mm	
Time Between Arrivals			
Type:	Value:	Units:	
Random (Expo)	70	Minutes	
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:	
1	5000	0.0	
OK		Cancel	Help

Şekil 5.5. Create Modülünün Parametreleri

Sipariş oluşturulurken kullanılan “Create” modülünün içerişi Şekil 5.5’te gösterilmiştir. “Time Between Arrivals” kısmında, siparişlerin gelişler arası süresi tanımlanacaktır, “Type” kısmında “Random(expo)” ifadesi üstel dağılıma göre rassal anlamına gelmektedir ve ortalaması $\mu=70$ dakika olarak tanımlanmıştır. “Max Arrivals” kısmı, bu modülün kaç adet gezen birim göndereceğini tanımlamaktadır, ve burada 5.000 yazması, 5.000 siparişin gelişini ifade etmektedir.

	Type	Variable Name	Attribute Name	New Value
1	Attribute	Variable 1	gelzam	tnow
2	Attribute	Variable 2	partiHacmi	aint(unif(10,30.9999))
3	Attribute	Variable 3	parcaNo	aint(UNIF(1,20.999))
4	Other	Variable 4	Attribute 4	GBtip(parcaNo)
5	Attribute	Variable 5	Entity.Sequence	parcaNo
6	Variable	Sno	Attribute 6	Sno+1
7	Attribute	Variable 7	SipNo	Sno
8	Variable	Wip	Attribute 8	Wip+1

Şekil 5.6. “Assign 1” Modülündeki Atamalar

“Assign 1” modülünün içerisinde yapılan atamalar Şekil 5.6’da gösterilmiştir. ARENA® programında birçok özellik atama tipi vardır. Bunlardan en sık kullanılanları “Attribute” ve “Variable” atamalarıdır. “Attribute” ataması, gezen birimin üzerine bir etiket yapıştırılması gibi düşünülebilir. Gezen birimin, gittiği her iş merkezinde veya simülasyon modelinde uğradığı her modülde, “Attribute” atamaları gezen birim ile beraber ilerlemektedir ve yeri geldiğinde okunabilir veya yeni bir değer atanabilir.

Assign 1:

1.atama: Attribute (gelzam) = tnow

Siparişlerin geliş zamanlarını kaydetmek için atanır. “tnow” ifadesi ARENA® programında tanımlı olan bir sistem değişkenidir, o andaki simülasyon saatini ifade etmektedir.

2.atama: Attribute (partiHacmi) = aint(unif(10,30.9999))

Siparişlerin parti hacimlerini atamak için kullanılır. Parti hacimleri minimum 10 maksimum 30 olan uniform dağılıma uymaktadır. Parti hacminin kesikli bir sayı olması gerekmektedir. Burada “aint” ifadesi, bir sayının ondalık kısmının görülmemesini sağlamaktadır. Uniform dağılım sürekli bir dağılım olduğu için, “aint” ifadesi bu dağılımdan kesikli sayıların üretilmesini sağlayacaktır.

3.atama: Attribute (parcaNo) = aint(unif(10,20.9999))

Siparişlerde hangi parçanın istendiğini atamak için kullanılır. Parça tiplerinin her birine eşit olasılık vermek için yine burada uniform dağılım kullanılmıştır.

4.atama: Other (Entity.type) = GBtip(parcaNo)

“Entity.type” ifadesi, gezen birimin tipini ifade etmektedir. Farklı gezen birimleri birbirinden ayırt etmek için kullanılır. Burada, gezen birimin tipine “Gbtip(parcaNo)” ifadesi atanmıştır. Bir önceki atamada “parcaNo” ifadesinin sonucu, burada değişken olarak kullanılmıştır.

5.atama: Attribute (Entity.Sequence) = parcaNo

Bir önceki atamada olduğu gibi, “parcaNo” ifadesi burada değişken olarak kullanılmıştır. Bir gezen birimin rota numarasını ifade etmektedir. Kısacası bir gezen birimin parcaNo, Entity.type ve Entity.sequence atamaları, aynı sayı olacaktır. “Sequence” tanımlamalarının bir örneği Şekil 6.8’de gösterilmiştir.

6.atama: Variable (sNo) = sNo+1

“Variable” atamaları, birer sistem değişkenidir. “Attribute” ataması etiket mantığında çalışmaktaydı, ancak “Variable” ataması, gezen birimin gelişi ile sürekli değişen bir atamadır. Burada “sNo=sNo+1” ifadesi, bu modülün içerisinde her gezen birim geçişinde, “sNo” ifadesini 1 arttır anlamındadır.

7.atama: Attribute (SipNo) = sNo

Burada, bir önceki atamada değeri sürekli değişen “sNo” ifadesi etiket haline getirilmiştir. Yani bu modülün içerisinde geçen gezen birimlerin “SipNo” atamalarında 1,2,3,4,5,6... gibi ardışık sayılar yazdırılmaktadır. Amaç, basit bir mantık ile sipariş numarasının atanmasıdır.

8.atama: Variable (Wip) = Wip+1

“Wip” değişkeni, atölye içerisindeki sipariş adedini belirlemek için kullanılmıştır. Atölyenin girişinde, bu değişkenin 1 artırılıp, atölye çıkışında da 1 azaltılması, atölye içerisindeki sipariş adedini verecektir.

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	TeslimT	$tnow + ((partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)) * (2.5 + Expo(1.5)))$
2	Attribute	musaitZ	$TeslimT - tnow - (partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo))$
3	Other	Attribute 3	$GBTip1(parcaNo)$
4	Attribute	kalanZ	$partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)$
5	Attribute	topzaman	$partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)$

Şekil 5.7. “Assign 2” Modülündeki Atamalar

Assign 2:

1.atama: Attribute (TeslimT) = $tnow + ((partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)) * (2.5 + Expo(1.5)))$

Burada siparişin teslim tarihi atanmaktadır. Teslim tarihinin nasıl belirlendiği Eşitlik 5.1’de açıklanmıştı. “GNL(2,parcaNo)” ifadesi siparişin toplam işlem süresini, “GNL(3,parcaNo)” ifadesi siparişin toplam setup süresini ifade etmektedir. “(2.5+Expo(1.5))” ifadesi, $k=1.5$ ve $\mu=1.5$ dakika olan üstel dağılımı ifade etmektedir.

“GNL” ifadelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için Ek 2 ve Ek 3 kısmına bakılması faydalı olacaktır.

2.atama: Attribute (musaitZ) = $TeslimT - tnow - (partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo))$

Burada siparişlerin müsait süreleri atanmaktadır. Benzer ifadeler bir önceki atamada açıklanmıştır.

3.atama: Other (Entity.Picture) = $GBTip1(parcaNo)$

Siparişlere parça tiplerine göre gezen birim simgesi atamasıdır. Akışı takip edebilmek açısından gezen birimlerin simgelerinin farklı olması, kolaylık sağlamaktadır.

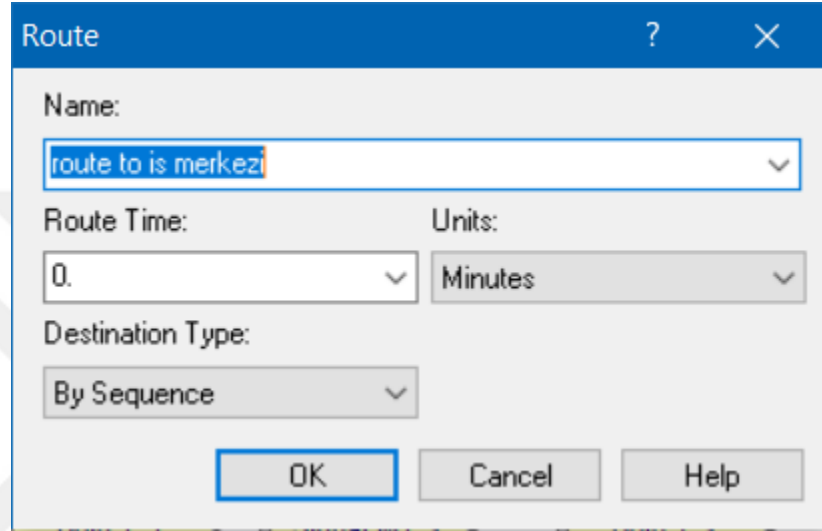
4.atama: Attribute (kalanZ) = $partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)$

Siparişin toplam işlem süresi ve toplam setup süresinin, bir etikete atanması

gerekmektedir. Şu an için bir anlam ifade etmese de, ilerleyen kısımlarda “kalanZ” ifadesi üzerinden atamalar yapılacaktır, bu sebeple bunun burada atanması gerekmektedir.

5.atama: Attribute (topzaman) = partiHacmi * GNL(2,parcaNo) + GNL(3,parcaNo)

Bir önceki atamadaki gibi, şu an bir anlam ifade etmiyor ama ilerleyen kısımlarda “topzaman” ifade üzerinden atamalar yapılacaktır. Bu sebeple tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 5.8. Route Modülünün Parametreleri

“Assign” modüllerinde ilk atamalar yapıldıktan sonra, gezen birimler rotalarındaki iş merkezlerine gönderilirler. Her gezen birimin gitmesi gereken iş merkezi farklı olduğundan, kullanılması gereken “Route” modülünün parametreleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Burada “By Sequence” ifadesi, gezen birimin, rotasına göre gönderilmesini sağlamaktadır.

Sequence - Advanced Transfer		
	Name	Steps
1	Sequence 1	6 rows
2	Sequence 2	6 rows
3	Sequence 3	6 rows
4	Sequence 4	8 rows
5	Sequence 5	7 rows
6	Sequence 6	8 rows
7	Sequence 7	7 rows
8	Sequence 8	7 rows
9	Sequence 9	6 rows
10	Sequence 10	7 rows
11	Sequence 11	4 rows
12	Sequence 12	6 rows
13	Sequence 13	7 rows
14	Sequence 14	8 rows
15	Sequence 15	6 rows
16	Sequence 16	5 rows
17	Sequence 17	4 rows
18	Sequence 18	5 rows
19	Sequence 19	5 rows
20	Sequence 20	6 rows

Steps	
	Station Name
1	Station M1
2	Station M2
3	Station M5
4	Station M4
5	Station M7
6	çikis istasyonu

Double-click here to ac

Şekil 5.9. Sequence Tanımlamaları

Sequence yani rotaların tanımlanma yöntemi Şekil 5.9’da gösterilmiştir. 20 parça tipi için farklı rotalar olduğu için 20 farklı Sequence tanımlaması yapılmıştır.

Expression - Advanced Process							
	Name	Rows	Columns	Data Type	File ...	Recordset	Expression Values
1	islemZ	10	20	Real	dos	Recordset 2	0 rows
2	Hazirlik	10	20	Real	dos	Recordset 3	0 rows
3	GNL	3	20	Real	dos	Recordset 4	0 rows
4	rota	10	20	Real	dos	Recordset 1	0 rows
5	Kriter			Native			1 rows

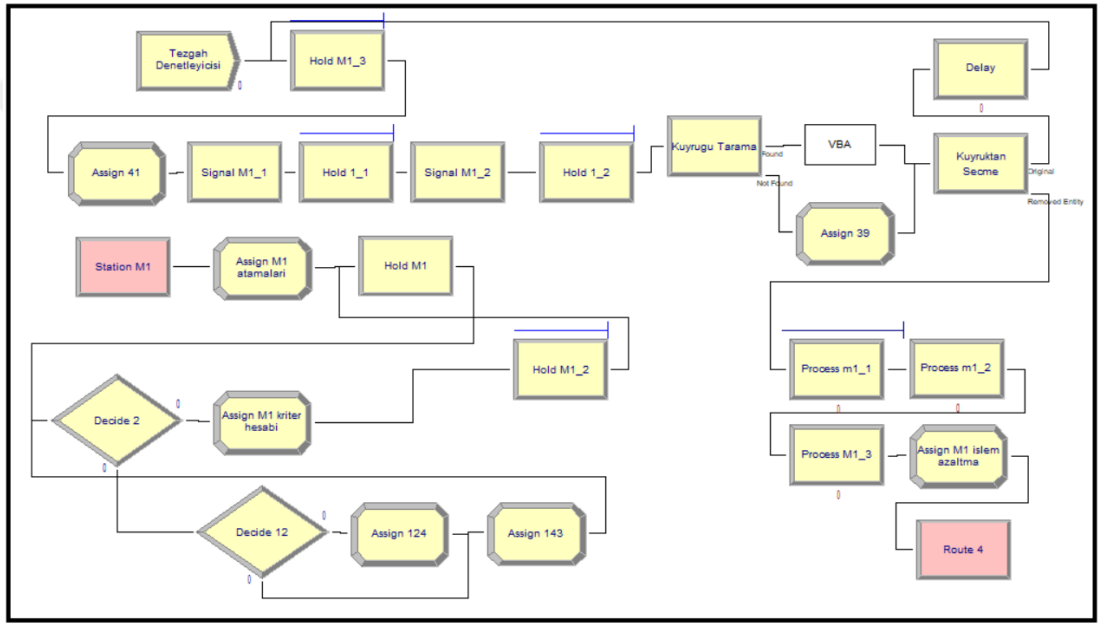
Expression Values	
	$x+y-z / p * q$

Şekil 5.10. Expression Tanımlamaları

Expression tanımlamaları, kullanıcının sistem için tanımladığı temel ifadelerdir. Bunlar Şekil 5.10’da gösterilmiştir. “Kriter” tanımlaması hariç, buradaki tanımlamaların amacı, verilerin bulunduğu dosyaların, modelde tanımlanmasıdır.

“islemZ” tanımlaması Ek 2’deki verileri ifade etmektedir. “Hazirlik” tanımlaması Ek 3’teki verileri ifade etmektedir. “GNL” tanımlaması Ek 1, Ek 2 ve Ek 3’teki verilerin toplam sayılarını ifade etmektedir. “rota” tanımlaması yine Ek 1’deki verileri ifade etmektedir.

“Kriter” tanımlaması, bu kısımdaki en önemli tanımlamadır. Tezgâh yükleme kurallarının formülleri, ARENA® programına bu kısımda tanıtılır. “Expression Values” kısmının içerisine, her türlü tanımlama yapılabilir. Burada yapılan “Kriter” tanımlaması, ilerleyen kısımlarda “Search” modülünün içerisinde kullanılacaktır.



Şekil 5.11. İş Merkezleri ve Kuyruktan Parça Seçimi

Tezgâhlar, ARENA® programında Şekil 5.11’deki gibi modellenmiştir ve bunun gibi 9 tane daha hücre vardır. Bu kısımdaki önemli olan modüller ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	Nislem	partiHacmi * islemZ(Entity.JobStep,parcaNo)+hazirlik(Entity.JobStep,parcaNo)
2	Attribute	ggg	GNL(1,parcaNo)-Entity.JobStep+1

Şekil 5.12. “Assign M1” Modülündeki Atamalar

Assign M1:

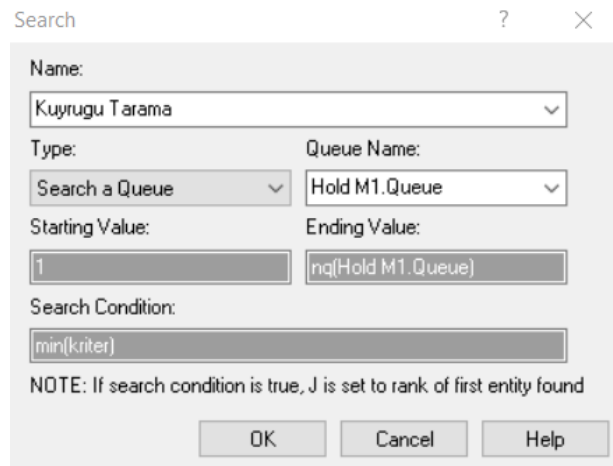
1.atama: Attribute (Nislem) = partiHacmi * islemZ(Entity.JobStep,parcaNo) + hazirlik(Entity.JobStep,parcaNo)

Burada, işin mevcut tezgâhtaki işlem süresi ve setup süresinin toplamı “Nislem” ifadesi ile tanımlanmıştır. İş, iş merkezinden ayrılırken “Nislem” ifadesi, “kalanZ” ifadesinden çıkarılarak, kalan toplam işlem ve setup süresi hesaplanacaktır.

2.atama: Attribute (ggg) = GNL(1,parcaNo) - Entity.JobStep + 1

Burada, işlerin rotalarındaki kalan operasyon adetleri hesaplanmaktadır. “Entity.JobStep” ifadesi, işin rotasındaki kaçınıcı operasyonunda olduğunu göstermektedir. Örneğin; toplam 4 operasyonu olan bir iş için, GNL(1,parcaNo)=4, tür. Bu iş, 2. Operasyonunu tamamlamak üzere mevcut iş merkezine gelsin, bu iş için Entity.JobStep=2 olacaktır, ancak mantıken düşünüldüğü zaman bu işin kalan operasyon adedi 3 olmalıdır, bu sebeple “+1” ifadesi eklenmelidir.

Bu atamalar da yapıldıktan sonra, tezgâh müsait ise parça hemen işleme alınır. Tezgâh dolu ise parça kuyrukta bekletilir. Kuyrukta birden fazla parça var ise bu parçalardan hangisinin daha önce işleme alınacağı tezgâh yükleme kuralları ile belirlenir. Bunu sağlamak için ARENA® programında çeşitli yöntemler vardır, ancak en kolay modellenebilir olanı “Search” ve “Remove” modüllerinin kombine bir şekilde kullanılmasıdır. “Search” modülü, tezgâhın kuyruğundaki parçaların öncelik kriterine bakmaktadır. Bu modülün içerisindeki parametreler Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



Search

Name: Kuyruğu Tarama

Type: Search a Queue Queue Name: Hold M1.Queue

Starting Value: 1 Ending Value: nq(Hold M1.Queue)

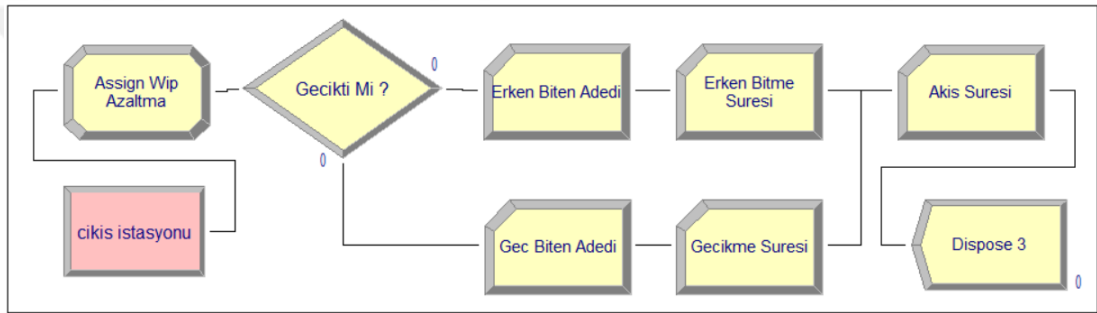
Search Condition: min(kriter)

NOTE: If search condition is true, J is set to rank of first entity found

OK Cancel Help

Şekil 5.13. Search Modülü

“Search” modülünün içerisinde “Type” kısmında “Search a Queue” seçili olması, bu modülün bir kuyruğu tarayacağını ifade etmektedir. “Starting Value” ve “Ending Value” kısmında, bu modülün, kuyruktaki ilk gezen birimden başlayıp, sonuncusuna kadar tarama yapacağı ifade edilmektedir. “Search Condition” kısmında, bu modülün, kuyruktaki gezen birimlerin hangi özelliğinin taranacağı ifade edilmektedir. Burada “min(kriter)” ifadesi, “kriter” atamasının, kuyruk içerisinde minimum değerli olanını tarayarak bulmasını ifade etmektedir. “Search” modülünün 2 çıkışı vardır. Aradığı ifadeyi bulduğu zaman, hangi gezen birim için bulduysa ona bir “J” ataması yapar. “J” ataması “Remove” modülünde kullanılabilen bir atamadır. Bu şekilde “Search” ve “Remove” modülleri beraber kullanılarak dinamik çizelgeleme teknikleri kullanılabilir.



Şekil 5.14. Tamamlanan Siparişlerin İstatistiklerinin Tutulması

Bir sipariş, rotasındaki bütün operasyonlarını tamamladıktan sonra, atölyeden çıkarılmak için Şekil 5.14’te gösterilen çıkış istasyonuna gönderilir.

	Type	New Value
1	Variable	Wip-1

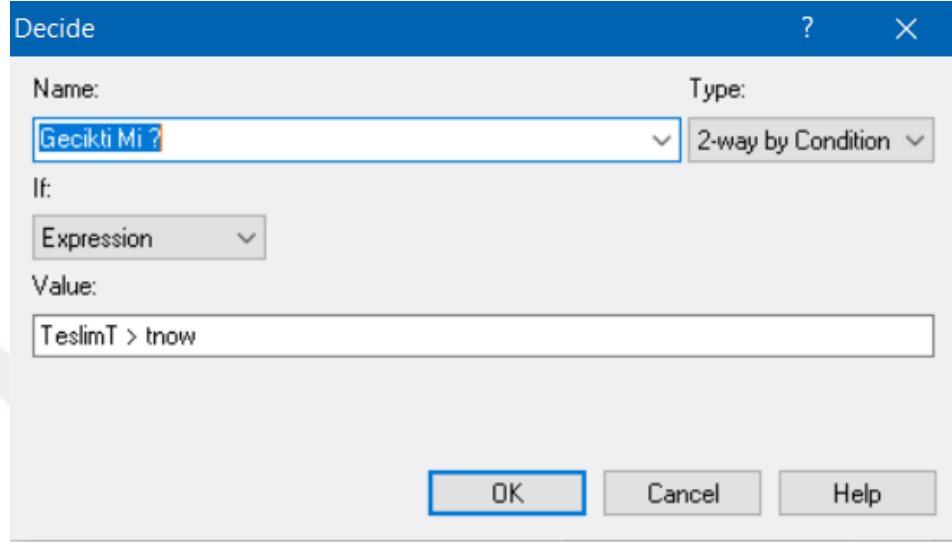
Şekil 5.15. “Assign Wip Azaltma” Modülündeki Atamalar

Çıkış istasyonuna gelen bir sipariş için, ilk olarak atölye içerisindeki sipariş adedinin 1 azaltılması gerekmektedir.

Assign Wip Azaltma:

1.atama: Variable (Wip) = Wip - 1

“Wip” değişkenini, atölye içerisindeki sipariş adedini tanımlamak için kullanılmıştıık. Atölyenin girişinde, bu değişkeni 1 arttırmıştıık, atölye çıkışında da 1 azaltılması gerekmektedir.



The image shows a screenshot of a software dialog box titled "Decide". The dialog box has a blue header bar with a question mark icon and a close button (X). Below the header, there are several fields and buttons. The "Name:" field contains the text "Gecikti Mi?". The "Type:" field is a dropdown menu set to "2-way by Condition". Below these, there is an "If:" field with a dropdown menu set to "Expression". The "Value:" field contains the text "TeslimT > tnow". At the bottom of the dialog, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Şekil 5.16. “Decide” Modülüyle Geciken Siparişlerin Tespiti

Çıkış istasyonununda kullanılan “Decide” bloğunun parametreleri Şekil 5.16’de gösterilmiştir. “Type” kısmında, bu modülün hangi mantığa göre çalıştığı seçilir. “2-way by Condition” ifadesi kullanılırsa, bu modül, bir şartın sağlanıp sağlanmadığını kontrol edecektir. Eğer şart sağlanıyorsa, gezen birim “True” kolundan, sağlanmıyorsa “False” kolundan çıkarak akışına devam etmektedir. Gezen birim için bakılan şart “TeslimT > tnow” olarak tanımlanmıştır. Bu bir soru ifadesi olarak düşünülebilir. Eğer cevabı evet ise; teslim tarihi şu anki simülasyon saatinden büyük demektir, yani sipariş erken sevk edilmiştir.

The screenshot shows a dialog box titled "Record" with a blue header bar containing a question mark and a close button. The dialog is divided into several sections: "Name:" with a dropdown menu showing "Erken Biten Adedi"; "Type:" with a dropdown menu showing "Count"; "Value:" with a text input field containing "1"; "Counter Name:" with a dropdown menu showing "Erken Biten Adedi."; and a checkbox labeled "Record into Set" which is unchecked. At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Şekil 5.17. Erken Biten Siparişlerin Sayılması

Erken biten siparişler Şekil 5.17’de verilen “Record” modülü ile sayılmaktadır. “Record” modülü, kullanıcının tanımladığı istatistiklerin tutulmasına sağlamaktadır. “Count” ifadesi, bu modülün içinden geçecek olan gezen birimlerin, sayılacağını ifade etmektedir.

The screenshot shows a dialog box titled "Record" with a blue header bar containing a question mark and a close button. The dialog is divided into several sections: "Name:" with a dropdown menu showing "Gec Biten Adedi"; "Type:" with a dropdown menu showing "Count"; "Value:" with a text input field containing "1"; "Counter Name:" with a dropdown menu showing "Gec Biten Adedi."; and a checkbox labeled "Record into Set" which is unchecked. At the bottom, there are three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

Şekil 5.18. Geç Biten Siparişlerin Sayılması

Geç biten siparişler Şekil 5.18’de verilen “Record” modülü ile sayılmaktadır. Parametreleri bir önceki “Record” modülü ile aynıdır.

The screenshot shows a 'Record' dialog box with the following fields:

- Name: Erken Bitme Süresi
- Type: Expression
- Value: TeslimT-tnow
- Record into Set:
- Tally Name: Erken Bitme Süresi.

Buttons: OK, Cancel, Help

Şekil 5.19. Erken Bitme Süresinin Hesaplanması

Erken bitme süresi Şekil 5.19’da verilen “Record” modülü ile hesaplanmaktadır. “Expression” ifadesi, bu modülün içinden geçecek olan gezen birimlerde, kullanıcının tanımladığı belirli bir özelliğe bakılacağını ifade etmektedir. “Value” kısmında “TeslimT-tnow” ifadesi kullanılmıştır. Bu ifade, teslim tarihinden şu anki simülasyon saatinin değerini çıkararak, siparişin ne kadar erken bittiğini bulmaktadır. Yani bu modülde 5.000 adet süre tutulmaktadır. Bu modülden önce kullanılmış olan “Decide” modülü, “TeslimT-tnow” ifadesinin negatif değer vermesini engellemektedir.

The screenshot shows a 'Record' dialog box with the following fields:

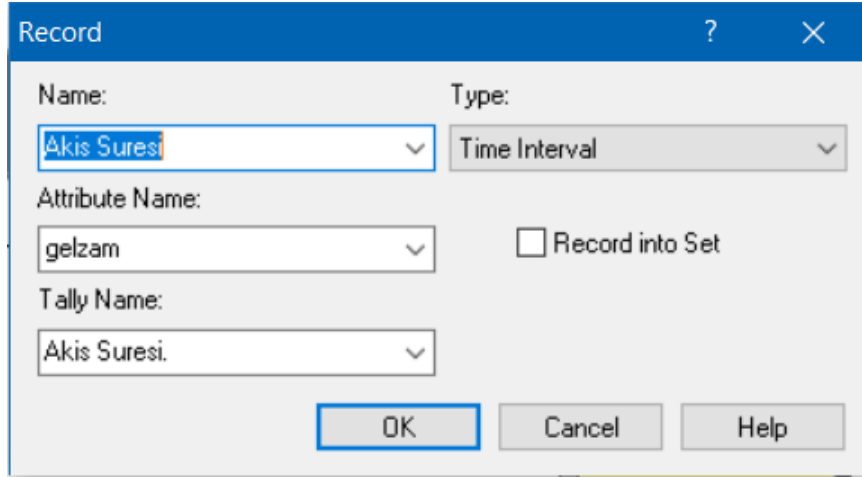
- Name: Gecikme Süresi
- Type: Expression
- Value: tnow-TeslimT
- Record into Set:
- Tally Name: Gecikme Süresi.

Buttons: OK, Cancel, Help

Şekil 5.20. Gecikme Süresinin Hesaplanması

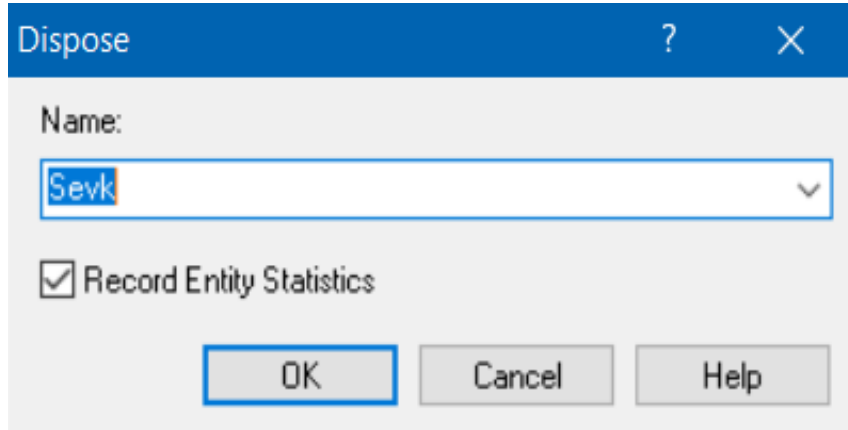
Gecikme süresi Şekil 5.20’de verilen “Record” modülü ile hesaplanmaktadır. Bir önceki modülden farklı olarak, “Value” kısmında “tnow-TeslimT” ifadesi kullanılmaktadır. Bu ifade, şu anki simülasyon saatinden teslim tarihi değerini çıkararak, siparişin ne kadar geciktiğini bulmaktadır. Bir önceki modülde olduğu gibi,

burada da negatif değer çıkması “Decide” modülü ile engellenmiştir.



şekil 5.21. Akış Süresinin Hesaplanması

Akış süresi şekil 5.21’de verilen “Record” modülü ile hesaplanmaktadır. “Time Interval” ifadesi, gezen birim için daha önce kaydedilmiş olan bir zaman noktasına bakar ve o zamandan bu zamana ne kadar süre geçtiğini hesaplar. “Attribute Name” kısmına, daha önce tanımlanmış olan zaman noktasının ifadesi girilir. Bizim modelimizde bu “gelzam” ifadesidir. Daha önce şekil 5.4’teki “Assing 1” modülünde tanımlamış olduğumuz “gelzam” ataması, burada akış süresini bulabilmemizi sağlamaktadır. Bu istatistik, yine 5.000 sipariş için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.



şekil 5.22. Siparişin Sevk Edilmesi

Gerekli olan istatistikler tutulduktan sonra, sipariş şekil 5.22’deki “Dispose” modülü ile sevk edilir (sistemden çıkışı sağlanır).

Bütün modüllerin tanımlamaları ve bağlantıları yapıldıktan sonra, simülasyon modeli çalıştırılmaya hazırdır. Ancak, sistemi farklı senaryolar altında simüle etmek, bilimsel açıdan daha uygun olacaktır. Nitekim tek bir senaryonun sonuçlarından yola çıkarak kurallar ile ilgili genellemeler yapılamaz. Modelin çalıştırılacağı senaryolar Çizelge 5.3'te verilmiştir. Sistem 10.000 dakika ısınma periyodu ve 30 replikasyon sayısı ile çalıştırılmıştır.

Çizelge 5.3. Senaryolar

	Sipariş Gelişleri: $\text{expo}(\mu)$	Teslim Tarihi: k
Senaryo 1	$\mu = 70$	$k = 1,5$
Senaryo 2	$\mu = 72$	$k = 1,5$
Senaryo 3	$\mu = 72$	$k = 0,5$
Senaryo 4	$\mu = 80$	$k = 1,5$
Senaryo 5	$\mu = 80$	$k = 0,5$
Senaryo 6	$\mu = 65$	$k = 2$

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyon modeli; 6 farklı senaryo altında, 31 adet kural için, 30'ar replikasyon ile çalıştırılmıştır. İstatistikleri tutulan 9 adet performans ölçütüne ait veriler; Senaryo 1 için Çizelge 6.1'de, Senaryo 2 için Çizelge 6.2'de, Senaryo 3 için Çizelge 6.3'te, Senaryo 4 için Çizelge 6.4'te, Senaryo 5 için Çizelge 6.5'te ve Senaryo 6 için Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Senaryo 1'den Elde Edilen Veriler

	Tamamlama Süresi (Makespan) (dk.)	Tardiness		Earliness		Flow-Time		Wip	
		Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
expo(70) k=1,5									
FCFS	348720	0.1764	995	9471	2463	36668	2733	13979	38.60
ECT	349303	0.2110	1012	9724	2559	37084	2781	11773	39.27
SPT	349839	0.0474	4327	116599	2605	35681	2312	126497	32.62
EDD	349223	0.0334	608	5922	2145	33700	2536	34952	35.77
SIMSET	350274	0.1260	2537	29558	2622	35012	2620	35231	36.94
SSPT	349782	0.0474	4351	117237	2606	35681	2312	126692	32.62
JSPT	350628	0.0726	3324	106824	2692	37211	2334	116902	32.92
JEDD	350256	0.1138	2550	31331	2693	37167	2495	35572	35.20
STPT	349860	0.0488	5635	127678	2588	36342	2403	134098	33.87
LTWR	349919	0.0488	5576	106476	2589	36539	2398	116554	33.81
LRS	348878	0.1538	3487	24353	2622	36528	2915	29871	40.99
HRS	348551	0.1988	3093	63701	2903	37107	2888	65386	40.85
LRRS	350274	0.1654	3478	57639	2543	35952	3059	60780	43.05
HRRS	348393	0.2020	2546	61172	2703	37160	2955	64147	41.78
PR	349045	0.0360	503	7705	2049	34737	2629	34412	37.10
SLACK	349461	0.0354	619	5601	2129	33372	2555	34324	36.05
SPRO	349400	0.0320	578	7670	2116	36004	2558	34525	36.11
WINQ	348687	0.1410	1452	32914	2581	36492	2574	37630	36.34
WINQ(SPT)	348826	0.0640	2654	81818	2646	37255	2280	88121	32.19
WINQ(EDD)	348780	0.1266	1498	29532	2629	37305	2480	32588	35.04
WINQ(SIMSET)	348726	0.1142	2069	32497	2675	37053	2456	35173	34.68
PT+WINQ	349034	0.0654	2583	74298	2583	37099	2341	87456	33.04
PT+WINQ+AT	348980	0.1622	962	8923	2565	36604	2592	12032	36.61
PT+WINQ+AT+SLACK	349369	0.0618	780	6889	2248	34867	2525	19905	35.65
PT+WINQ+SLACK	349353	0.0302	660	6872	2206	35754	2466	34815	34.81
TDDSSPT	349319	0.0340	622	5808	2153	35960	2529	35141	35.68
SPT+LTWR	349996	0.0468	5650	126243	2590	36409	2385	132663	33.62
EDD+LTWR	349473	0.0362	708	6354	2179	33345	2512	36045	35.44
SPT+EDD	349318	0.0340	621	5808	2154	35960	2528	35141	35.67
SPRO+TWRPRO	349199	0.0344	646	6951	2151	36059	2532	35528	35.75
EDDPRO	349400	0.0306	607	7350	2130	35953	2541	34522	35.87

Çizelge 6.2. Senaryo 2'den Elde Edilen Veriler

	Tamamlanma Süresi (Makespan) (dk.)	Tardiness			Earliness		Flow-Time		Wip
		Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
FCFS	355067	0.1230	804	7516	2550	37038	2444	11893	33.61
ECT	355551	0.1558	834	8314	2633	37406	2489	10338	34.24
SPT	355655	0.0354	3487	71554	2679	36952	2123	77330	29.18
EDD	355797	0.0128	383	4236	2335	35723	2282	33634	31.35
SIMSET	356043	0.0966	1980	25922	2685	36167	2351	29999	32.32
SSPT	355359	0.0356	3455	71553	2679	36952	2123	76693	29.18
JSPT	356366	0.0562	2620	67115	2753	37093	2132	78605	29.31
JEDD	356409	0.0872	2045	25796	2749	37086	2255	30229	31.00
STPT	355678	0.0374	4428	71724	2658	37087	2191	82073	30.10
LTWR	355904	0.0376	4395	71474	2658	37145	2192	82897	30.11
LRS	357475	0.1210	2732	23578	2683	36762	2563	28206	35.14
HRS	355119	0.1622	2455	43153	2910	37091	2549	44787	35.10
LRRS	357765	0.1240	2709	37345	2621	36515	2630	40783	36.09
HRRS	355235	0.1590	2058	43194	2751	37354	2601	45049	35.81
PR	355627	0.0138	314	5893	2247	37008	2369	31394	32.57
SLACK	355852	0.0130	395	4328	2322	35653	2296	33626	31.56
SPRO	355726	0.0116	354	5822	2309	35770	2304	33446	31.68
WINQ	355287	0.1026	1219	26202	2652	36904	2326	28989	31.99
WINQ(SPT)	355216	0.0472	2152	68549	2721	37454	2091	73795	28.76
WINQ(EDD)	355550	0.0922	1250	27536	2700	37158	2246	29261	30.90
WINQ(SIMSET)	355020	0.0854	1655	24088	2735	37389	2223	29444	30.58
PT+WINQ	355093	0.0476	2090	69092	2665	36225	2144	74338	29.48
PT+WINQ+AT	355314	0.1176	788	7697	2638	37009	2345	10760	32.26
PT+WINQ+AT+SLACK	355647	0.0308	601	5421	2394	36418	2279	18941	31.33
PT+WINQ+SLACK	355781	0.0122	477	4646	2379	35631	2238	32974	30.76
TDDSSPT	355787	0.0126	385	4229	2342	36186	2275	33833	31.26
SPT+LTWR	355834	0.0360	4415	71760	2661	36854	2177	83250	29.91
EDD+LTWR	355843	0.0146	487	4962	2358	34714	2265	34665	31.12
SPT+EDD	355715	0.0126	385	4229	2342	36186	2275	33833	31.26
SPRO+TWRPRO	355578	0.0134	449	5484	2339	35915	2279	33981	31.34
EDDPRO	355759	0.0112	320	5937	2325	36504	2287	33432	31.45

Çizelge 6.3. Senaryo 3'ten Elde Edilen Veriler

	Tamamlanma Süresi (Makespan) (dk.)	Tardiness			Earliness		Flow-Time		Wip
		Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
FCFS	355067	0.3208	927	8901	1905	34869	2444	11893	33.61
ECT	355551	0.3502	971	9004	1988	35238	2489	10339	34.24
SPT	355655	0.1346	1711	73421	1785	34783	2123	77330	29.18
EDD	355703	0.1102	519	5651	1331	31258	2312	32370	31.78
SIMSET	356043	0.2304	1559	26763	1881	33999	2351	29999	32.32
SSPT	355359	0.1342	1712	73421	1784	34783	2123	76693	29.18
JSPT	356366	0.1586	1685	69616	1870	34925	2132	78605	29.31
JEDD	356409	0.2030	1624	27051	1901	34918	2255	30229	31.01
STPT	355678	0.1301	2200	73937	1763	34919	2192	82073	30.11
LTWR	355904	0.1303	2191	73908	1762	34977	2192	82897	30.12
LRS	357475	0.2263	2388	24873	1837	34594	2563	28206	35.14
HRS	355119	0.2909	1972	43546	2071	34923	2549	44787	35.11
LRRS	357764	0.2626	2077	38560	1846	34347	2630	40783	36.09
HRRS	355235	0.3202	1633	43588	2010	35186	2602	45049	35.82
PR	355725	0.1324	422	8639	1298	32670	2369	31584	32.57
SLACK	355783	0.1098	510	5645	1311	34783	2329	31824	32.02
SPRO	355713	0.1071	495	8076	1296	33162	2336	31963	32.12
WINQ	355287	0.2640	1110	27021	1910	34736	2326	28989	32.00
WINQ(SPT)	355216	0.1598	1343	70122	1859	35286	2091	73795	28.76
WINQ(EDD)	355550	0.2380	1126	28123	1917	34990	2246	29262	30.91
WINQ(SIMSET)	355020	0.2125	1356	25650	1911	35220	2223	29445	30.59
PT+WINQ	355093	0.1742	1260	70665	1832	34057	2144	74338	29.48
PT+WINQ+AT	355314	0.3008	894	8387	1950	34841	2345	10760	32.27
PT+WINQ+AT+SLACK	355476	0.1688	631	6775	1492	32623	2305	18333	31.70
PT+WINQ+SLACK	355723	0.1063	513	5911	1377	33492	2263	31935	31.12
TDDSSPT	355581	0.1099	521	5673	1337	32630	2306	32789	31.70
SPT+LTWR	355834	0.1289	2137	74261	1764	34686	2177	83250	29.91
EDD+LTWR	355771	0.1108	586	6317	1373	32579	2283	33813	31.38
SPT+EDD	355581	0.1097	521	5673	1337	32630	2306	32789	31.70
SPRO+TWRPRO	355659	0.1130	506	6936	1344	33558	2304	33563	31.69
EDDPRO	355719	0.1029	495	7903	1305	34868	2320	32731	31.90

Çizelge 6.4. Senaryo 4'ten Elde Edilen Veriler

expo(80) k=1,5	Tardiness				Earliness		Flow-Time		Wip
	Tamamlanma Süresi (Makespan) (dk.)	Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
FCFS	393437	0.035494	473.80	4433.77	2803.51	37287.15	1891.14	7898.14	23.4591
ECT	393764	0.055794	519.43	4364.03	2847.11	37287.15	1918.98	6787.02	23.8063
SPT	393491	0.011274	1824.08	30348.43	2887.39	37287.15	1744.26	39512.18	21.6307
EDD	393782	0.000200	26.98	1074.17	2769.63	37169.50	1808.90	19936.55	22.4315
SIMSET	393523	0.036500	1078.63	19724.04	2877.64	37287.15	1845.57	23171.61	22.8914
SSPT	393491	0.011226	1821.74	31159.07	2886.98	37287.15	1744.28	39512.18	21.6313
JSPT	393505	0.020946	1371.44	30947.29	2933.64	37287.15	1735.24	36156.07	21.5230
JEDD	393523	0.032986	1082.71	16592.88	2923.62	37287.15	1787.31	20918.28	22.1708
STPT	393509	0.012006	2191.50	26253.83	2868.15	37250.46	1771.14	33763.19	21.9623
LTWR	393509	0.012014	2170.68	32821.06	2868.42	37265.48	1770.81	38983.37	21.9567
LRS	393488	0.048174	1473.52	11861.32	2860.03	37287.15	1928.58	17760.31	23.9104
HRS	393375	0.076494	1336.97	20051.89	2974.24	37250.46	1935.71	21170.82	24.0253
LRRS	393761	0.043746	1446.12	25066.20	2843.64	37287.15	1923.62	27832.37	23.8472
HRRS	393450	0.066334	1154.43	17996.55	2893.41	37251.91	1954.82	20045.21	24.2619
PR	393743	0.000346	47.97	1241.05	2713.83	37273.88	1865.08	18629.79	23.1333
SLACK	393742	0.000134	22.23	827.67	2766.49	37287.15	1811.84	19574.96	22.4683
SPRO	393375	0.000200	29.99	1464.89	2763.44	37287.15	1815.10	19472.63	22.5125
WINQ	393509	0.035794	724.99	9527.60	2856.55	37287.15	1850.09	11607.32	22.9491
WINQ(SPT)	393491	0.015486	1158.12	22526.64	2921.77	37287.15	1719.75	28068.63	21.3325
WINQ(EDD)	393509	0.031906	734.60	9067.50	2896.17	37287.15	1798.17	11913.56	22.3076
WINQ(SIMSET)	393509	0.031886	919.95	11449.61	2920.52	37287.15	1780.59	15870.35	22.0887
PT+WINQ	393491	0.015294	1146.46	23809.28	2880.80	37287.15	1759.11	29351.27	21.8190
PT+WINQ+AT	393415	0.039814	494.82	4383.84	2852.61	37287.15	1858.89	6498.21	23.0573
PT+WINQ+AT+SLACK	393743	0.002120	286.94	2784.25	2776.70	37225.60	1807.94	12855.69	22.4213
PT+WINQ+SLACK	393375	0.000240	57.36	1190.96	2782.13	37169.85	1796.52	19925.45	22.2792
TDDSSPT	393782	0.000240	41.50	1242.83	2772.99	37287.15	1805.68	20295.68	22.3914
SPT+LTWR	393509	0.011640	2151.13	32857.31	2872.65	37235.87	1764.49	39019.61	21.8787
EDD+LTWR	393742	0.000320	113.48	1369.48	2780.94	37490.49	1797.97	19886.70	22.2950
SPT+EDD	393782	0.000240	41.50	1242.83	2772.97	37287.15	1805.69	20295.68	22.3916
SPRO+TWRPRO	393422	0.000374	81.47	1898.48	2773.58	37265.48	1805.49	19551.92	22.3938
EDDPRO	393372	0.000214	25.48	1516.26	2768.98	37265.48	1809.60	19955.01	22.4438

Çizelge 6.5. Senaryo 5'ten Elde Edilen Veriler

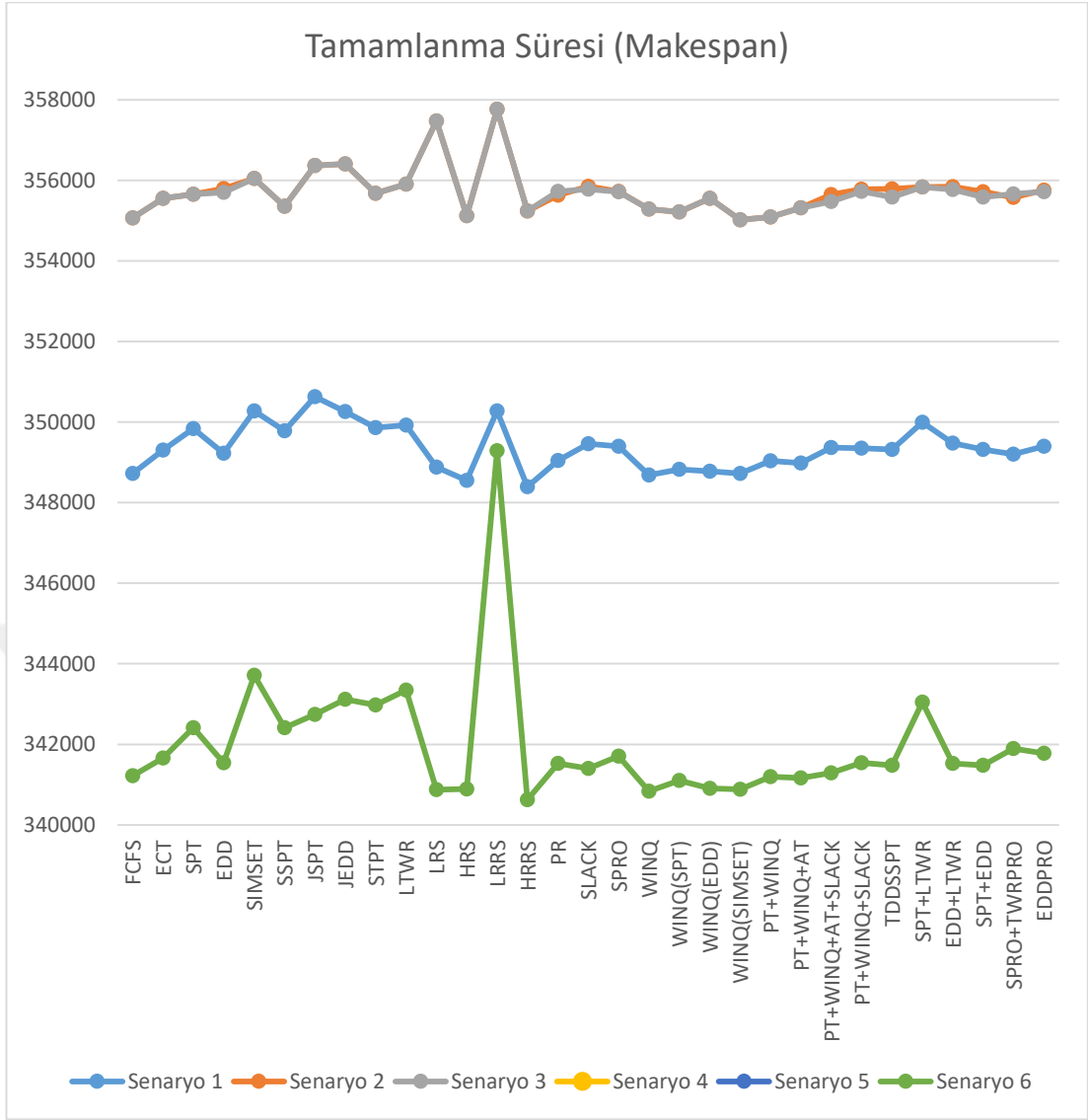
expo(80) k=0,5	Tamamlanma Süresi (Makespan) (dk.)	Tardiness			Earliness		Flow-Time		Wip
		Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
FCFS	393437	0.163386	548.77	5260.73	1952.09	35118.77	1891.14	7898.14	23.4591
ECT	393764	0.188380	606.60	5125.28	2008.18	35118.77	1918.98	6787.02	23.8063
SPT	393491	0.071914	893.46	32487.31	1890.29	35118.77	1744.26	39512.18	21.6307
EDD	393743	0.024314	190.80	2084.94	1658.48	35330.53	1820.33	18988.66	22.5729
SIMSET	393523	0.130140	864.43	20564.41	1956.08	35118.77	1845.57	23171.61	22.8914
SSPT	393491	0.072400	882.35	33026.82	1890.81	35118.77	1744.28	39512.18	21.6313
JSPT	393505	0.090120	904.36	32815.04	1956.91	35118.77	1735.24	36156.07	21.5230
JEDD	393523	0.113540	889.75	18097.26	1972.21	35118.77	1787.31	20918.28	22.1708
STPT	393509	0.071660	1079.14	28392.70	1874.93	35082.09	1771.14	33763.19	21.9623
LTWR	393509	0.072586	1060.90	34882.56	1876.83	35097.10	1770.81	38983.37	21.9567
LRS	393488	0.133500	1244.03	13540.33	1930.87	35118.77	1928.58	17760.31	23.9104
HRS	393375	0.176546	1084.88	20365.77	2054.46	35082.09	1935.71	21170.82	24.0253
LRRS	393761	0.140780	1060.57	26146.58	1933.28	35118.77	1923.62	27832.37	23.8472
HRRS	393450	0.182754	905.65	18660.30	2014.55	35083.54	1954.82	20045.21	24.2619
PR	393743	0.034814	159.38	3100.29	1632.72	34876.40	1863.33	19190.28	23.1110
SLACK	393743	0.022774	176.74	2367.03	1643.85	35330.53	1831.46	18862.76	22.7116
SPRO	393375	0.022320	165.40	3563.86	1641.64	35330.53	1832.60	19035.17	22.7307
WINQ	393509	0.143134	669.79	10346.85	1960.90	35118.77	1850.09	11607.32	22.9491
WINQ(SPT)	393491	0.085954	749.06	24273.89	1946.12	35118.77	1719.75	28068.63	21.3325
WINQ(EDD)	393509	0.127754	675.46	9886.75	1974.79	35118.77	1798.17	11913.56	22.3076
WINQ(SIMSET)	393509	0.117954	783.79	12210.86	1979.85	35118.77	1780.59	15870.35	22.0887
PT+WINQ	393491	0.094374	712.14	25556.53	1923.80	35118.77	1759.11	29351.27	21.8190
PT+WINQ+AT	393415	0.160646	562.45	5145.09	1984.64	35118.77	1858.89	6498.21	23.0573
PT+WINQ+AT+SLACK	393743	0.053374	316.15	4301.22	1716.39	35417.66	1826.03	12751.45	22.6443
PT+WINQ+SLACK	393375	0.028626	198.59	2871.04	1676.34	35118.77	1811.02	18917.03	22.4605
TDDSSPT	393743	0.024146	186.21	2402.93	1663.13	35330.53	1815.32	19613.63	22.5116
SPT+LTWR	393509	0.069740	1063.48	34918.81	1874.84	35067.49	1764.49	39019.61	21.8787
EDD+LTWR	393782	0.029246	231.67	2509.25	1682.15	35412.03	1807.50	20513.49	22.4124
SPT+EDD	393743	0.024180	186.31	2402.93	1663.13	35330.53	1815.38	19613.63	22.5124
SPRO+TWRPRO	393375	0.029006	201.84	3031.28	1673.04	35080.40	1815.02	19478.35	22.5104
EDDPRO	393375	0.022060	169.42	3605.29	1651.79	35083.74	1822.27	19712.76	22.5998

Çizelge 6.6. Senaryo 6'dan Elde Edilen Veriler

expo(65)
k=2

	Tamamlanma Süresi (Makespan) (dk.)	Tardiness			Earliness		Flow-Time		Wip
		Geciken İşlerin Oranı	Ortalama Gecikme Süresi (dk.)	Maksimum Gecikme Süresi (dk.)	Ortalama Erken Bitme Süresi (dk.)	Maksimum Erken Bitme Süresi (dk.)	Ortalama Akış Süresi (dk.)	Maksimum Akış Süresi (dk.)	Atölyedeki Ortalama İş Adedi
FCFS	341220	0.3954	2402	25247	2491	34402	4703	28882	70.36
ECT	341663	0.4222	2346	22499	2610	35525	4738	25194	70.89
SPT	342408	0.0791	12313	292077	2869	36348	3549	300848	53.00
EDD	341543	0.2542	2023	19081	1944	26055	4343	40183	64.87
SIMSET	343716	0.2077	7078	81029	2852	32053	4444	87343	66.15
SSPT	342412	0.0792	12331	263427	2869	35631	3553	271483	53.07
JSPT	342740	0.1143	9455	277296	2966	37122	3667	288754	54.70
JEDD	343116	0.1899	7087	90450	2957	31917	4181	93321	62.36
STPT	342978	0.0738	16087	313579	2876	34701	3734	325037	55.63
LTWR	343342	0.0745	15869	313642	2872	32929	3737	325101	55.69
LRS	340879	0.2412	9340	50340	2915	32571	5288	54287	78.36
HRS	340890	0.2903	8395	178770	3397	38219	5309	180956	79.51
LRRS	349287	0.2954	9386	168944	2689	32060	6166	173118	91.06
HRRS	340622	0.3429	6475	180031	2968	37681	5560	182255	83.39
PR	341523	0.2602	1701	33083	1786	25706	4378	45583	65.44
SLACK	341399	0.257	1995	19030	1926	26055	4353	39434	65.05
SPRO	341707	0.243	1939	29217	1838	26055	4349	39169	65.00
WINQ	340834	0.2789	3509	56538	2711	34103	4274	62224	63.91
WINQ(SPT)	341099	0.1168	7071	276354	2846	37631	3545	284292	53.04
WINQ(EDD)	340910	0.2612	3534	59501	2786	37207	4119	62911	61.64
WINQ(SIMSET)	340883	0.2119	5281	93224	2879	37301	4107	99697	61.44
PT+WINQ	341196	0.1188	6937	271411	2748	37934	3628	278320	54.24
PT+WINQ+AT	341169	0.3387	2318	28517	2640	35129	4289	32166	64.21
PT+WINQ+AT+SLACK	341287	0.2594	2148	20610	2175	26055	4210	29758	62.98
PT+WINQ+SLACK	341541	0.2093	2096	26567	2094	26055	4054	39386	60.61
TDDSSPT	341480	0.2493	2021	19392	1955	26055	4313	40414	64.44
SPT+LTWR	343048	0.073	15900	313689	2879	35061	3706	325148	55.24
EDD+LTWR	341527	0.2465	2080	19689	1997	26055	4286	41121	64.03
SPT+EDD	341480	0.2508	2014	19338	1957	26055	4315	40399	64.46
SPRO+TWRPRO	341894	0.2432	1890	27544	1876	26055	4308	40394	64.41
EDDPRO	341778	0.2349	1944	27989	1842	26055	4315	39518	64.51

Ulaşılan sayısal veriler çizgi grafikleri haline getirilerek, tezgâh yükleme kurallarının farkları daha anlaşılır hale getirilmiştir.



Şekil 6.1. Tamamlanma Süresi Grafiği

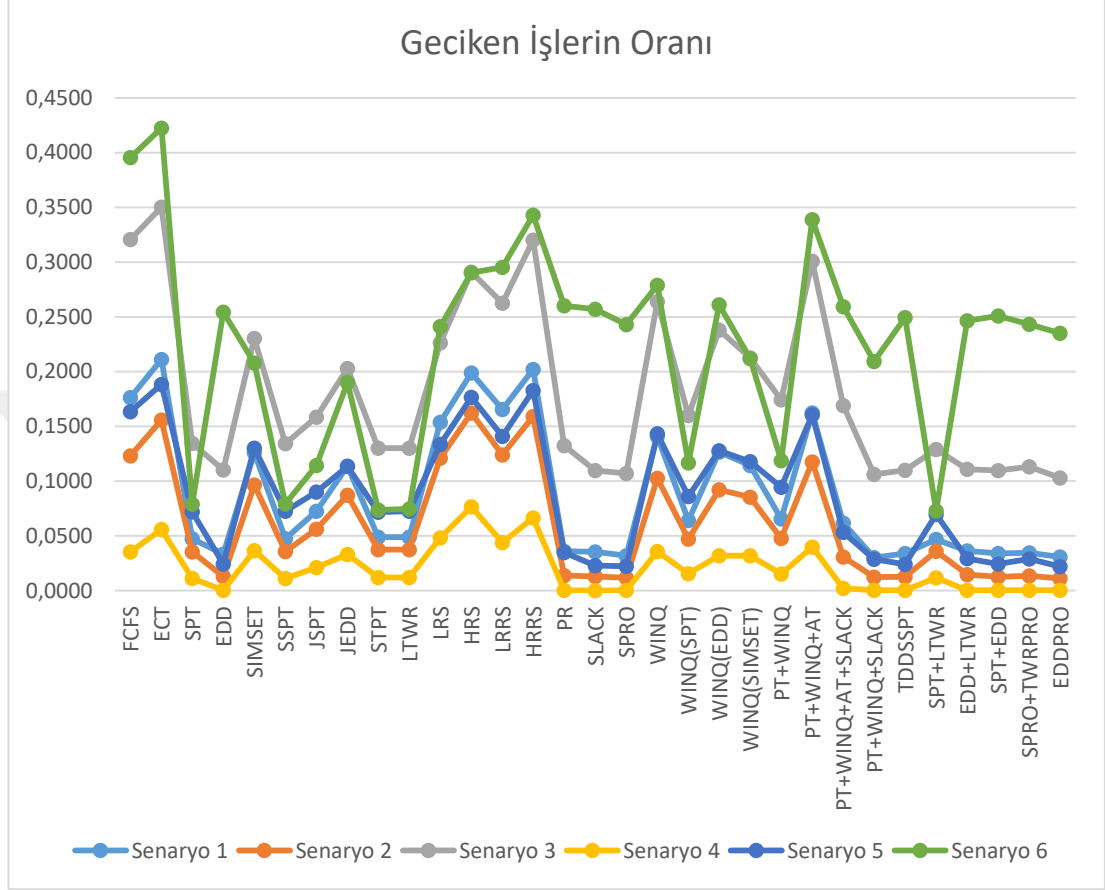
Tamamlanma süresi, önemli ölçütlerden birisidir. Bu ölçütün küçük çıkması, üretici açısından olumlu bir durumdur. En küçük, tamamlanma süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.7’de şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.7. Tamamlanma Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	HRRS	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	EDDPRO	EDDPRO	HRRS
2	HRS	FCFS	FCFS	HRS	HRS	WINQ
3	WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	SPRO	SPRO	LRS
4	FCFS	HRS	HRS	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ +SLACK	WINQ(SIMSET)
5	WINQ(SIMSET)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	PT+WINQ+AT	SPRO+TWRPRO	HRS
6	WINQ(EDD)	HRRS	HRRS	SPRO+TWRPRO	PT+WINQ+AT	WINQ(EDD)
7	WINQ(SPT)	WINQ	WINQ	FCFS	FCFS	WINQ(SPT)
8	LRS	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	HRRS	HRRS	PT+WINQ+AT
9	PT+WINQ+AT	SSPT	SSPT	LRS	LRS	PT+WINQ
10	PT+WINQ	WINQ(EDD)	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ	PT+WINQ	FCFS
11	PR	ECT	WINQ(EDD)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	PT+WINQ+AT +SLACK
12	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	ECT	SSPT	SSPT	SLACK
13	EDD	PR	SPT+EDD	SPT	SPT	SPT+EDD
14	ECT	PT+WINQ+AT +SLACK	TDDSSPT	JSPT	JSPT	TDDSSPT
15	SPT+EDD	SPT	SPT	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	PR
16	TDDSSPT	STPT	SPRO+TWRPRO	WINQ	WINQ	EDD+LTWR
17	PT+WINQ +SLACK	SPT+EDD	STPT	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	PT+WINQ +SLACK
18	PT+WINQ+AT +SLACK	SPRO	EDD	STPT	STPT	EDD
19	SPRO	EDDPRO	SPRO	SPT+LTWR	SPT+LTWR	ECT
20	EDDPRO	PT+WINQ +SLACK	EDDPRO	LTWR	LTWR	SPRO
21	SLACK	TDDSSPT	PT+WINQ +SLACK	SIMSET	SIMSET	EDDPRO
22	EDD+LTWR	EDD	PR	JEDD	JEDD	SPRO+TWRPRO
23	SSPT	SPT+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	SLACK	SPT
24	SPT	EDD+LTWR	SLACK	SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	SSPT
25	STPT	SLACK	SPT+LTWR	PT+WINQ+AT +SLACK	PR	JSPT
26	LTWR	LTWR	LTWR	PR	SPT+EDD	STPT
27	SPT+LTWR	SIMSET	SIMSET	LRRS	TDDSSPT	SPT+LTWR
28	JEDD	JSPT	JSPT	ECT	EDD	JEDD
29	SIMSET	JEDD	JEDD	SPT+EDD	LRRS	LTWR
30	LRRS	LRS	LRS	TDDSSPT	ECT	SIMSET
31	JSPT	LRRS	LRRS	EDD	EDD+LTWR	LRRS

Bu çalışmada, tamamlanma süresine dair ulaşılan sonuçlardan yapılan ilk çıkarımlar şu şekildedir: WINQ ile kombine edilmiş kurallar, tamamlanma süresini minimize etmektedir. Literatürde, SPT kuralı ile kombine edilmiş olan kuralların, tamamlanma

süresini minimize ettiğinden zaten bahsedilmektedir. WINQ kuralı, özüne bakıldığı zaman SPT'nin bir sonraki tezgâh için kullanılan halidir. Yani SPT ile WINQ kurallarının mantığı arasında çok küçük bir farklılık vardır. Özet olarak, simülasyon modelinin mantıklı sonuçlar verdiği buradan anlaşılmaktadır.



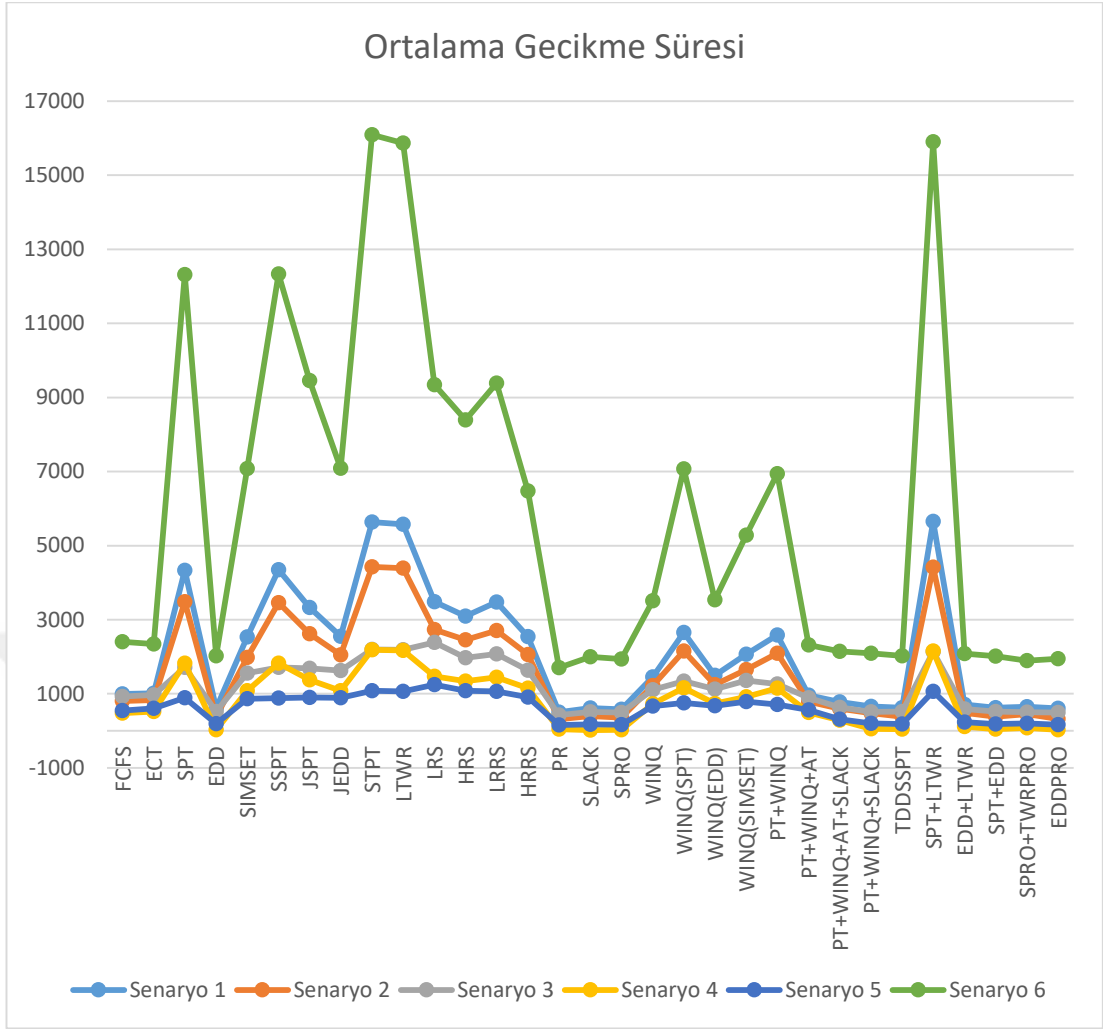
Şekil 6.2. Geciken İşlerin Oranı Grafiği

Gecikmelerin hem üretici hem de müşteri açısından istenmeyen bir durum olduğundan bahsedilmiştir. Geciken işlerin oranı, literatürde sıkça kullanılan bir ölçüttür ayrıca EDD ve SLACK ile kombine edilmiş kuralların bu oranı minimize ettiği zaten bilinmektedir. En küçük, geciken işlerin oranını veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.8'de şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.8. Geciken İşlerin Oranı İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	PT+WING +SLACK	EDDPRO	EDDPRO	SLACK	EDDPRO	SPT+LTWR
2	EDDPRO	SPRO	PT+WING +SLACK	SPRO	SPRO	STPT
3	SPRO	PT+WING +SLACK	SPRO	EDD	SLACK	LTWR
4	EDD	TDDSSPT	SPT+EDD	EDDPRO	TDDSSPT	SPT
5	TDDSSPT	SPT+EDD	SLACK	PT+WING +SLACK	SPT+EDD	SSPT
6	SPT+EDD	EDD	TDDSSPT	SPT+EDD	EDD	JSPT
7	SPRO+TWRPRO	SLACK	EDD	TDDSSPT	PT+WING +SLACK	WING(SPT)
8	SLACK	SPRO+TWRPRO	EDD+LTWR	EDD+LTWR	SPRO+TWRPRO	PT+WING
9	PR	PR	SPRO+TWRPRO	PR	EDD+LTWR	JEDD
10	EDD+LTWR	EDD+LTWR	SPT+LTWR	SPRO+TWRPRO	PR	SIMSET
11	SPT+LTWR	PT+WING+AT +SLACK	STPT	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING +SLACK
12	SPT	SPT	LTWR	SSPT	SPT+LTWR	WING(SIMSET)
13	SSPT	SSPT	PR	SPT	STPT	EDDPRO
14	STPT	SPT+LTWR	SSPT	SPT+LTWR	SPT	LRS
15	LTWR	STPT	SPT	STPT	SSPT	SPRO
16	PT+WING+AT +SLACK	LTWR	JSPT	LTWR	LTWR	SPRO+TWRPRO
17	WING(SPT)	WING(SPT)	WING(SPT)	PT+WING	WING(SPT)	EDD+LTWR
18	PT+WING	PT+WING	PT+WING+AT +SLACK	WING(SPT)	JSPT	TDDSSPT
19	JSPT	JSPT	PT+WING	JSPT	PT+WING	SPT+EDD
20	JEDD	WING(SIMSET)	JEDD	WING(SIMSET)	JEDD	EDD
21	WING(SIMSET)	JEDD	WING(SIMSET)	WING(EDD)	WING(SIMSET)	SLACK
22	SIMSET	WING(EDD)	LRS	JEDD	WING(EDD)	PT+WING+AT +SLACK
23	WING(EDD)	SIMSET	SIMSET	FCFS	SIMSET	PR
24	WING	WING	WING(EDD)	WING	LRS	WING(EDD)
25	LRS	PT+WING+AT	LRRS	SIMSET	LRRS	WING
26	PT+WING+AT	LRS	WING	PT+WING+AT	WING	HRS
27	LRRS	FCFS	HRS	LRRS	PT+WING+AT	LRRS
28	FCFS	LRRS	PT+WING+AT	LRS	FCFS	PT+WING+AT
29	HRS	ECT	HRRS	ECT	HRS	HRRS
30	HRRS	HRRS	FCFS	HRRS	HRRS	FCFS
31	ECT	HRS	ECT	HRS	ECT	ECT

Ulaşılan sonuçlardan anlaşıldığı üzere; EDD, SLACK ve SPRO ile kombine edilmiş kurallar, geciken işlerin oranını minimize etmektedir. SPRO(slack per remaining operations) kuralının temeli, SLACK kuralından gelmektedir. Özet olarak simülasyon modelinin mantıklı sonuçlar verdiği bir kez daha teyit edilmiştir.



Şekil 6.3. Ortalama Gecikme Süresi Grafiği

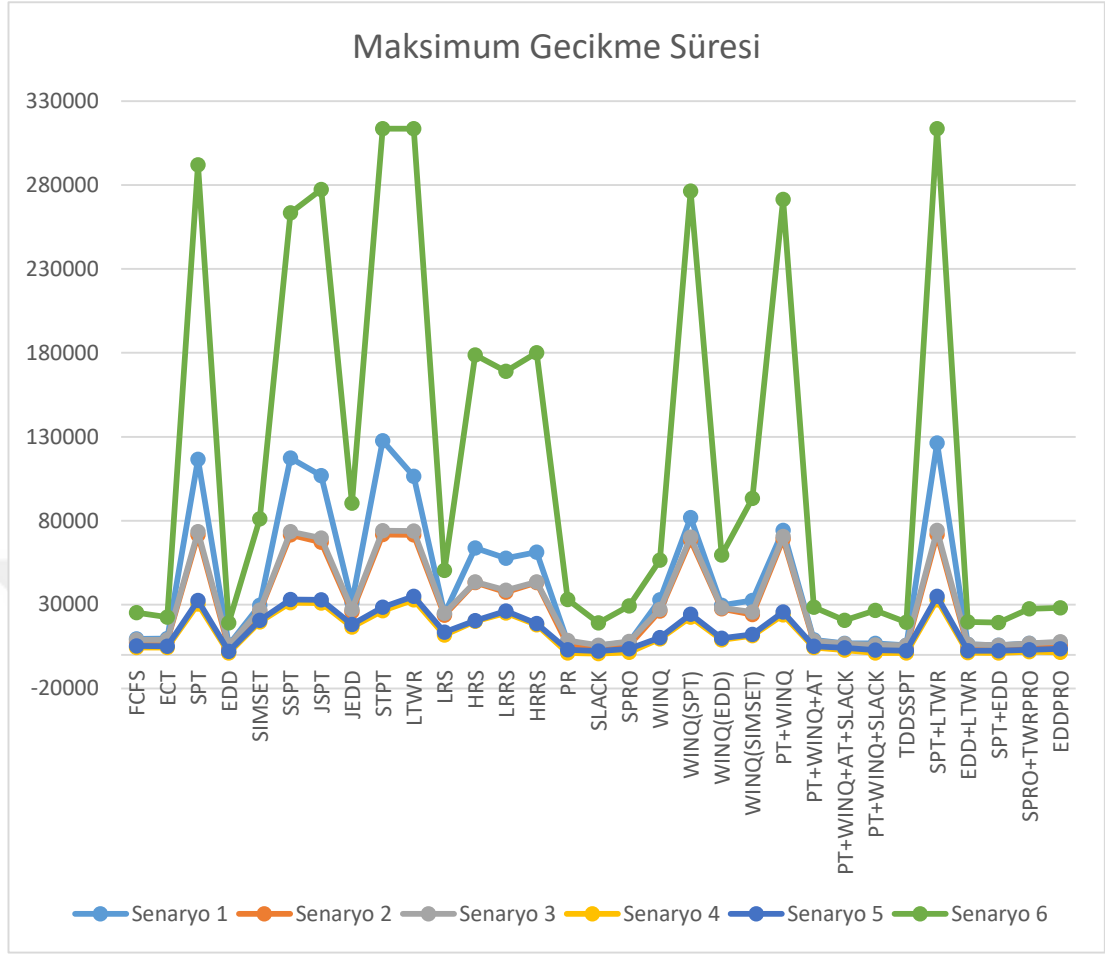
Geciken işlerin oranında olduğu gibi, ortalama gecikme süresi de literatürde sıklıkla karşılaşılan bir ölçüttür. Aynı şekilde, EDD ve SLACK ile kombine edilmiş kuralların bu ölçütü minimize ettiği zaten bilinmektedir. En küçük, ortalama gecikme süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.9’da şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.9. Ortalama Gecikme Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	PR	PR	PR	SLACK	PR	PR
2	SPRO	EDDPRO	EDDPRO	EDDPRO	SPRO	SPRO+TWRPRO
3	EDDPRO	SPRO	SPRO	EDD	EDDPRO	SPRO
4	EDD	EDD	SPRO+TWRPRO	SPRO	SLACK	EDDPRO
5	SLACK	SPT+EDD	SLACK	SPT+EDD	TDDSSPT	SLACK
6	SPT+EDD	TDDSSPT	PT+WING +SLACK	TDDSSPT	SPT+EDD	SPT+EDD
7	TDDSSPT	SLACK	EDD	PR	EDD	TDDSSPT
8	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPT+EDD	PT+WING +SLACK	PT+WING +SLACK	EDD
9	PT+WING +SLACK	PT+WING +SLACK	TDDSSPT	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	EDD+LTWR
10	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	PT+WING +SLACK
11	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK
12	PT+WING+AT	PT+WING+AT	PT+WING+AT	FCFS	FCFS	PT+WING+AT
13	FCFS	FCFS	FCFS	PT+WING+AT	PT+WING+AT	ECT
14	ECT	ECT	ECT	ECT	ECT	FCFS
15	WING	WING	WING	WING	WING	WING
16	WING(EDD)	WING(EDD)	WING(EDD)	WING(EDD)	WING(EDD)	WING(EDD)
17	WING(SIMSET)	WING(SIMSET)	PT+WING	WING(SIMSET)	PT+WING	WING(SIMSET)
18	SIMSET	SIMSET	WING(SPT)	SIMSET	WING(SPT)	HRRS
19	HRRS	JEDD	WING(SIMSET)	JEDD	WING(SIMSET)	PT+WING
20	JEDD	HRRS	SIMSET	PT+WING	SIMSET	WING(SPT)
21	PT+WING	PT+WING	JEDD	HRRS	SSPT	SIMSET
22	WING(SPT)	WING(SPT)	HRRS	WING(SPT)	JEDD	JEDD
23	HRS	HRS	JSPT	HRS	SPT	HRS
24	JSPT	JSPT	SPT	JSPT	JSPT	LRS
25	LRRS	LRRS	SSPT	LRRS	HRRS	LRRS
26	LRS	LRS	HRS	LRS	LRRS	JSPT
27	SPT	SSPT	LRRS	SSPT	LTWR	SPT
28	SSPT	SPT	SPT+LTWR	SPT	SPT+LTWR	SSPT
29	LTWR	LTWR	LTWR	SPT+LTWR	STPT	LTWR
30	STPT	SPT+LTWR	STPT	LTWR	HRS	SPT+LTWR
31	SPT+LTWR	STPT	LRS	STPT	LRS	STPT

Ulaşılan sonuçlardan görülmektedir ki; PR kuralı her senaryo için en iyi sonucu verirken, EDD, SLACK ve SPRO ile kombine edilmiş kurallar, ortalama gecikme süresini düşürebilmektedir. PR kuralına bakıldığı zaman aslında içerisinde EDD kuralını barındırmaktadır. Bu sebeple PR kuralının en iyi sonuçları vermesi şaşırtıcı

değildir.



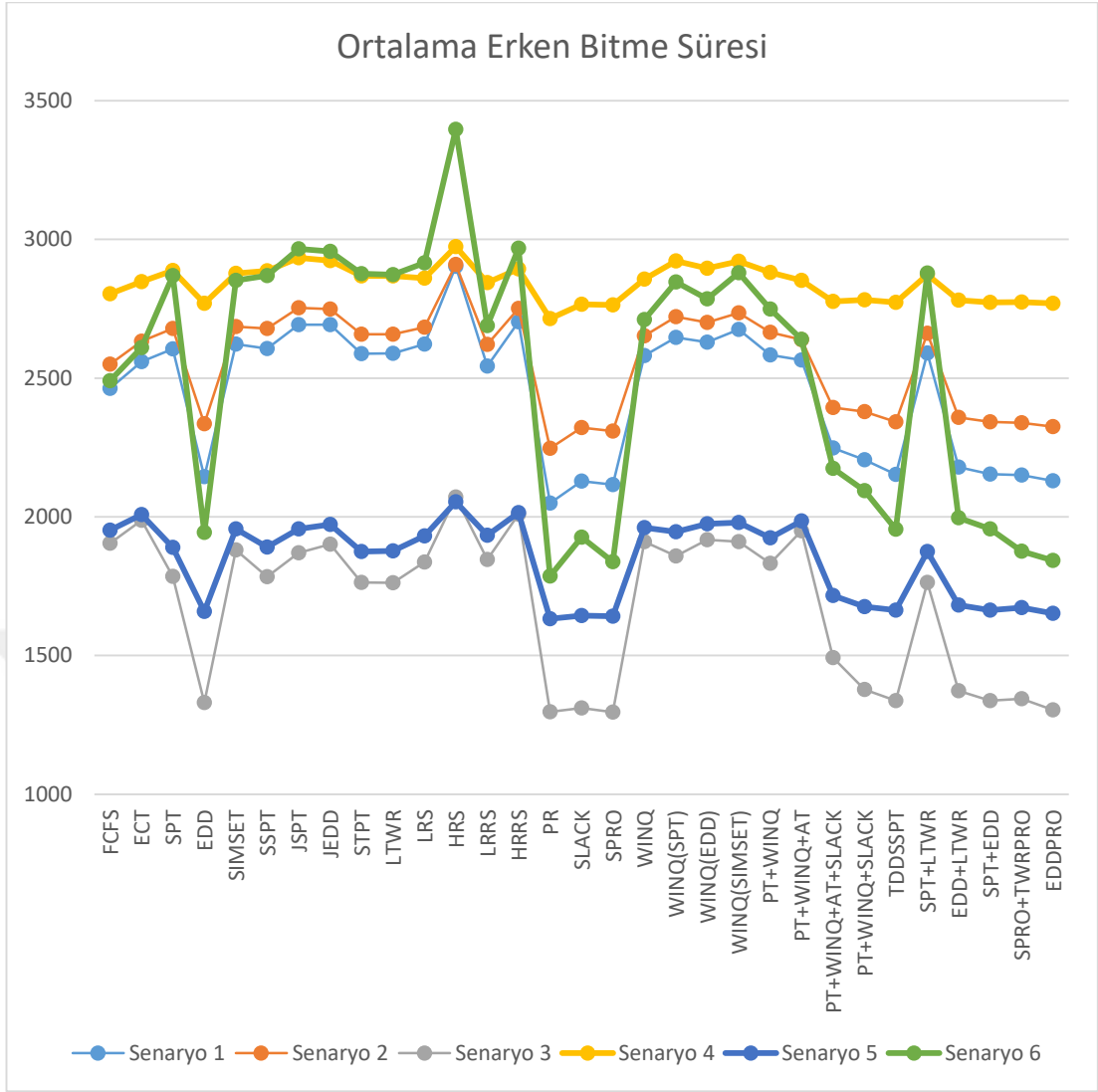
Şekil 6.4. Maksimum Gecikme Süresi Grafiği

Bu ölçüt ile bir önceki ölçüt aynı istatistik üzerinden hesaplanmaktadır. Bir önceki ölçütte ortalama değer kullanılırken, bu ölçütte maksimum değer kullanılmaktadır. Aynı şekilde, EDD ve SLACK ile kombine edilmiş kuralların bu ölçütü minimize ettiği zaten bilinmektedir. En küçük, maksimum gecikme süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.10'da şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.10. Maksimum Gecikme Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	SLACK	TDDSSPT	SLACK	SLACK	EDD	SLACK
2	TDDSSPT	SPT+EDD	EDD	EDD	SLACK	EDD
3	SPT+EDD	EDD	TDDSSPT	PT+WING +SLACK	TDDSSPT	SPT+EDD
4	EDD	SLACK	SPT+EDD	PR	SPT+EDD	TDDSSPT
5	EDD+LTWR	PT+WING +SLACK	PT+WING +SLACK	TDDSSPT	EDD+LTWR	EDD+LTWR
6	PT+WING +SLACK	EDD+LTWR	EDD+LTWR	SPT+EDD	PT+WING +SLACK	PT+WING+AT +SLACK
7	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	EDD+LTWR	SPRO+TWRPRO	ECT
8	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPRO	PR	FCFS
9	EDDPRO	SPRO	EDDPRO	EDDPRO	SPRO	PT+WING +SLACK
10	SPRO	PR	SPRO	SPRO+TWRPRO	EDDPRO	SPRO+TWRPRO
11	PR	EDDPRO	PT+WING+AT	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	EDDPRO
12	PT+WING+AT	FCFS	PR	ECT	ECT	PT+WING+AT
13	FCFS	PT+WING+AT	FCFS	PT+WING+AT	PT+WING+AT	SPRO
14	ECT	ECT	ECT	FCFS	FCFS	PR
15	LRS	LRS	LRS	WING(EDD)	WING(EDD)	LRS
16	WING(EDD)	WING(SIMSET)	WING(SIMSET)	WING	WING	WING
17	SIMSET	JEDD	SIMSET	WING(SIMSET)	WING(SIMSET)	WING(EDD)
18	JEDD	SIMSET	WING	LRS	LRS	SIMSET
19	WING(SIMSET)	WING	JEDD	JEDD	JEDD	JEDD
20	WING	WING(EDD)	WING(EDD)	HRRS	HRRS	WING(SIMSET)
21	LRRS	LRRS	LRRS	SIMSET	HRS	LRRS
22	HRRS	HRS	HRS	HRS	SIMSET	HRS
23	HRS	HRRS	HRRS	WING(SPT)	WING(SPT)	HRRS
24	PT+WING	JSPT	JSPT	PT+WING	PT+WING	SSPT
25	WING(SPT)	WING(SPT)	WING(SPT)	LRRS	LRRS	PT+WING
26	LTWR	PT+WING	PT+WING	STPT	STPT	WING(SPT)
27	JSPT	LTWR	SSPT	SPT	SPT	JSPT
28	SPT	SSPT	SPT	JSPT	JSPT	SPT
29	SSPT	SPT	LTWR	SSPT	SSPT	STPT
30	SPT+LTWR	STPT	STPT	LTWR	LTWR	LTWR
31	STPT	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR

Ulaşılan sonuçlardan görülmektedir ki; EDD ve SLACK ile kombine edilmiş kurallar, bu ölçütü minimize etmektedir.



Şekil 6.5. Ortalama Erken Bitme Süresi Grafiği

Erken bitme ile ilgili örneklere literatürde pek sık rastlanmamaktadır. Ancak, bu konu ile ilgili önemli bir ölçüt olduğu düşünülmektedir. Erken biten işler elde buldurma maliyeti ortaya çıkarmaktadır ve yer işgal etmektedir. Ayrıca, her işin tam olarak teslim tarihinde teslim edildiği ütopyik bir atölye ortamı düşünülürse, atölye tipi üretimde dinamik çizelgeleme probleminin optimum çözümüne ulaşılmış olacaktır. Günümüz şartlarında bu pek mümkün gibi görünmese de, teslim tarihinden sapma miktarlarının sıfıra indirgenmesi gerekmektedir. Bu sebeple hem gecikme sürelerine hem de erken bitme sürelerine bakılması gerekmektedir. En küçük, ortalama erken bitme süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.11’de şu şekilde sıralanmaktadır:

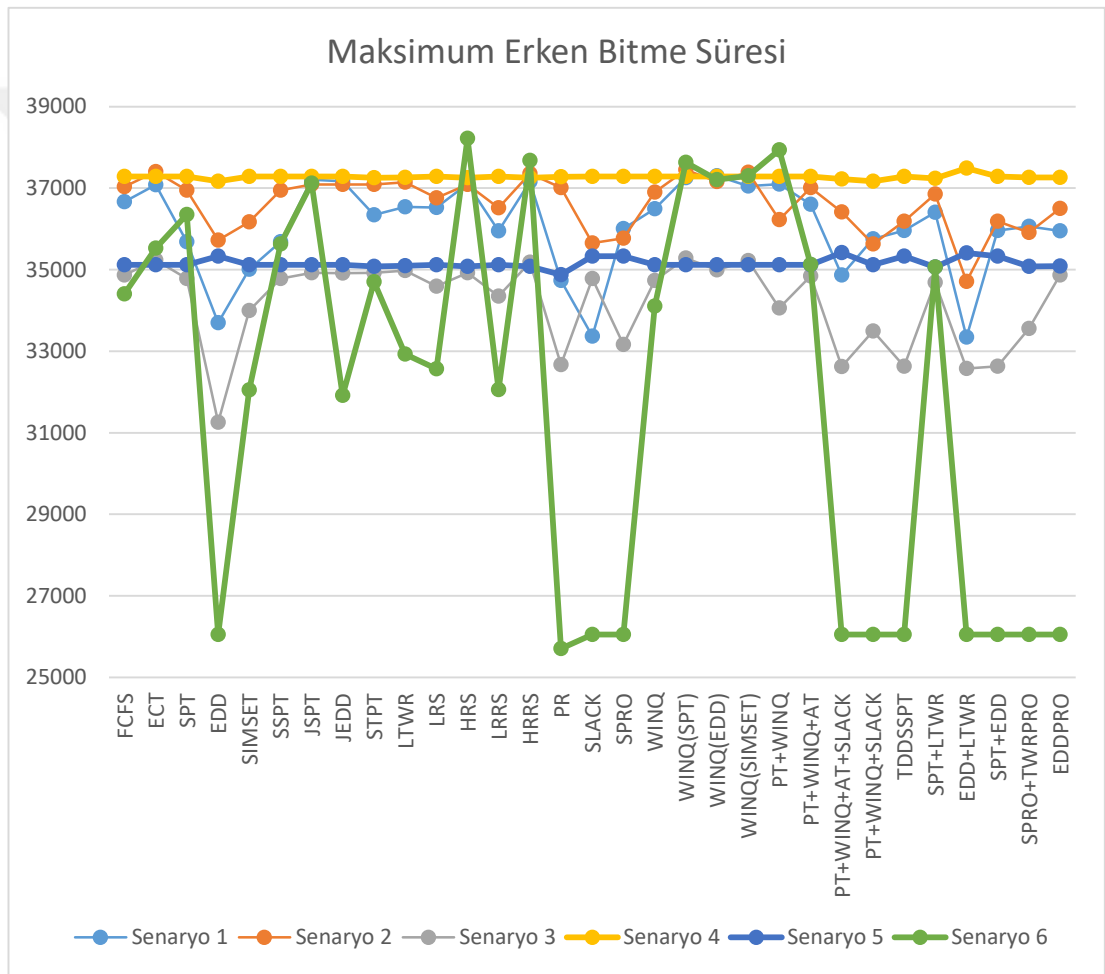
Çizelge 6.11. Ortalama Erken Bitme Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	PR	PR	SPRO	PR	PR	PR
2	SPRO	SPRO	PR	SPRO	SPRO	SPRO
3	SLACK	SLACK	EDDPRO	SLACK	SLACK	EDDPRO
4	EDDPRO	EDDPRO	SLACK	EDDPRO	EDDPRO	SPRO+TWRPRO
5	EDD	EDD	EDD	EDD	EDD	SLACK
6	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPT+EDD	SPT+EDD	SPT+EDD	EDD
7	TDDSSPT	TDDSSPT	TDDSSPT	TDDSSPT	TDDSSPT	TDDSSPT
8	SPT+EDD	SPT+EDD	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPT+EDD
9	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ +SLACK	EDD+LTWR
10	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ +SLACK	EDD+LTWR	EDD+LTWR	PT+WINQ +SLACK
11	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK
12	FCFS	FCFS	LTWR	FCFS	SPT+LTWR	FCFS
13	LRRS	LRRS	STPT	LRRS	STPT	ECT
14	ECT	ECT	SPT+LTWR	ECT	LTWR	PT+WINQ+AT
15	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	SSPT	PT+WINQ+AT	SPT	LRRS
16	WINQ	WINQ	SPT	WINQ	SSPT	WINQ
17	PT+WINQ	STPT	PT+WINQ	LRS	PT+WINQ	PT+WINQ
18	STPT	LTWR	LRS	STPT	LRS	WINQ(EDD)
19	LTWR	SPT+LTWR	LRRS	LTWR	LRRS	WINQ(SPT)
20	SPT+LTWR	PT+WINQ	WINQ(SPT)	SPT+LTWR	WINQ(SPT)	SIMSET
21	SPT	SPT	JSPT	SIMSET	FCFS	SSPT
22	SSPT	SSPT	SIMSET	PT+WINQ	SIMSET	SPT
23	SIMSET	LRS	JEDD	SSPT	JSPT	LTWR
24	LRS	SIMSET	FCFS	SPT	WINQ	STPT
25	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	WINQ	HRRS	JEDD	SPT+LTWR
26	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SIMSET)	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	WINQ(SIMSET)
27	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(EDD)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	LRS
28	JSPT	JEDD	PT+WINQ+AT	WINQ(SPT)	PT+WINQ+AT	JEDD
29	JEDD	HRRS	ECT	JEDD	ECT	JSPT
30	HRRS	JSPT	HRRS	JSPT	HRRS	HRRS
31	HRS	HRS	HRS	HRS	HRS	HRS

Ulaşılan sonuçlara bakıldığında, Çizelge 6.7 ile Çizelge 6.9 arasındaki ilişki dikkat çekmektedir. Buradan şu hipotez kurulabilir:

Benzerlik Hipotezi: Gecikme sürelerini minimize eden kurallar, erken bitme sürelerini de minimize etmektedir.

Bu hipotez başlı başına bir çalışma konusudur. Gecikme süresi ve erken bitme süresi arasındaki benzerliğin tesadüf mü yoksa gerçekten aralarında doğrusal bir ilişki mi olduğu derinlemesine incelenmelidir. Bu benzerlik, mevcut veri setinden kaynaklanıyor olabilir de olmayabilir de. Farklı veri setleriyle, farklı atölye modellerinde ve farklı parametre değerleriyle bu benzerliğin tesadüf olup olmadığı görülebilir.



Şekil 6.6. Maksimum Erken Bitme Süresi Grafiği

Bu ölçüt ile bir önceki ölçüt aynı istatistik üzerinden hesaplanmaktadır. Bir önceki ölçütte ortalama değer kullanılırken, bu ölçütte maksimum değer kullanılmaktadır. En küçük, maksimum erken bitme süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için

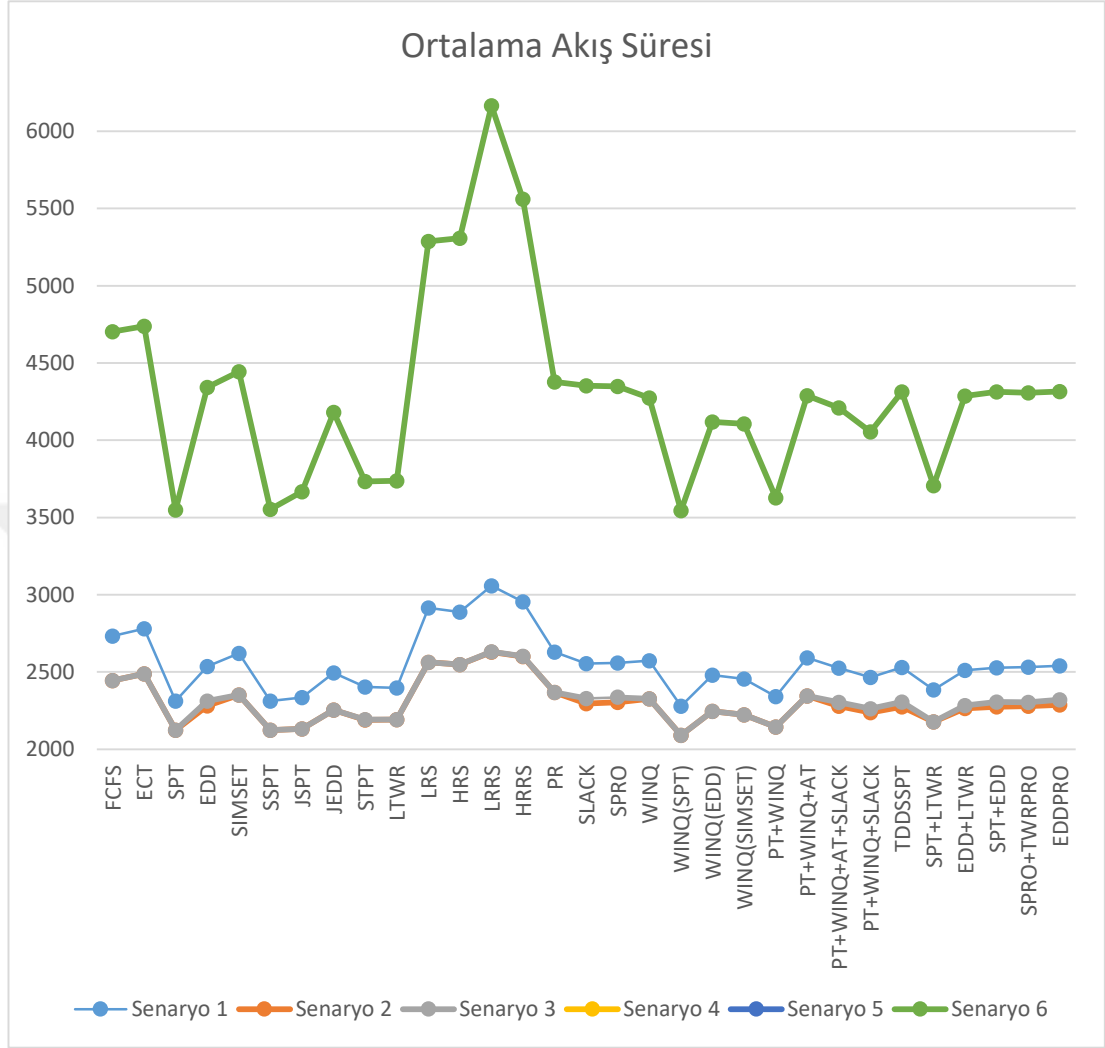
Çizelge 6.12’de şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.12. Maksimum Erken Bitme Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD	EDD	PR	PR
2	SLACK	PT+WING +SLACK	EDD+LTWR	PT+WING +SLACK	SPT+LTWR	SPRO+TWRPRO
3	EDD	SLACK	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING+AT +SLACK	SPRO+TWRPRO	EDDPRO
4	PR	EDD	TDDSSPT	SPT+LTWR	STPT	PT+WING +SLACK
5	PT+WING+AT +SLACK	SPRO	SPT+EDD	STPT	HRS	EDD
6	SIMSET	SPRO+TWRPRO	PR	HRS	HRRS	TDDSSPT
7	SPT	SIMSET	SPRO	HRRS	EDDPRO	SPT+EDD
8	SSPT	TDDSSPT	PT+WING +SLACK	SPRO+TWRPRO	LTWR	SPRO
9	PT+WING +SLACK	SPT+EDD	SPRO+TWRPRO	EDDPRO	PT+WING +SLACK	SLACK
10	LRRS	PT+WING	SIMSET	LTWR	SIMSET	EDD+LTWR
11	EDDPRO	PT+WING+AT +SLACK	PT+WING	PR	PT+WING	PT+WING+AT +SLACK
12	TDDSSPT	EDDPRO	LRRS	TDDSSPT	LRRS	JEDD
13	SPT+EDD	LRRS	LRS	SPT+EDD	LRS	SIMSET
14	SPRO	LRS	SPT+LTWR	SPRO	WING	LRRS
15	SPRO+TWRPRO	SPT+LTWR	WING	SIMSET	SPT	LRS
16	STPT	WING	SLACK	PT+WING	SSPT	LTWR
17	SPT+LTWR	SPT	SPT	LRRS	PT+WING+AT	WING
18	WING	SSPT	SSPT	LRS	FCFS	FCFS
19	LRS	PR	PT+WING+AT	WING	JEDD	STPT
20	LTWR	PT+WING+AT	EDDPRO	SLACK	JSPT	SPT+LTWR
21	PT+WING+AT	FCFS	FCFS	SPT	WING(EDD)	PT+WING+AT
22	FCFS	JEDD	JEDD	SSPT	WING(SIMSET)	ECT
23	WING(SIMSET)	STPT	STPT	PT+WING+AT	ECT	SSPT
24	ECT	HRS	HRS	FCFS	WING(SPT)	SPT
25	PT+WING	JSPT	JSPT	JEDD	EDD	JSPT
26	HRS	LTWR	LTWR	JSPT	TDDSSPT	WING(EDD)
27	HRRS	WING(EDD)	WING(EDD)	WING(EDD)	SPT+EDD	WING(SIMSET)
28	JEDD	HRRS	HRRS	WING(SIMSET)	SPRO	WING(SPT)
29	JSPT	WING(SIMSET)	WING(SIMSET)	ECT	SLACK	HRRS
30	WING(SPT)	ECT	ECT	WING(SPT)	EDD+LTWR	PT+WING
31	WING(EDD)	WING(SPT)	WING(SPT)	EDD+LTWR	PT+WING+AT +SLACK	HRS

Ulaşılan sonuçlardan yapılan çıkarımlar şu şekildedir: EDD ve SLACK ile kombine

edilmiş kurallar bu ölçütü minimize etmektedir. Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.10 arasındaki benzerlik göze çarpmaktadır. Bu da Benzerlik Hipotezi'ni destekleyen bir bulgudur.



Şekil 6.7. Ortalama Akış Süresi Grafığı

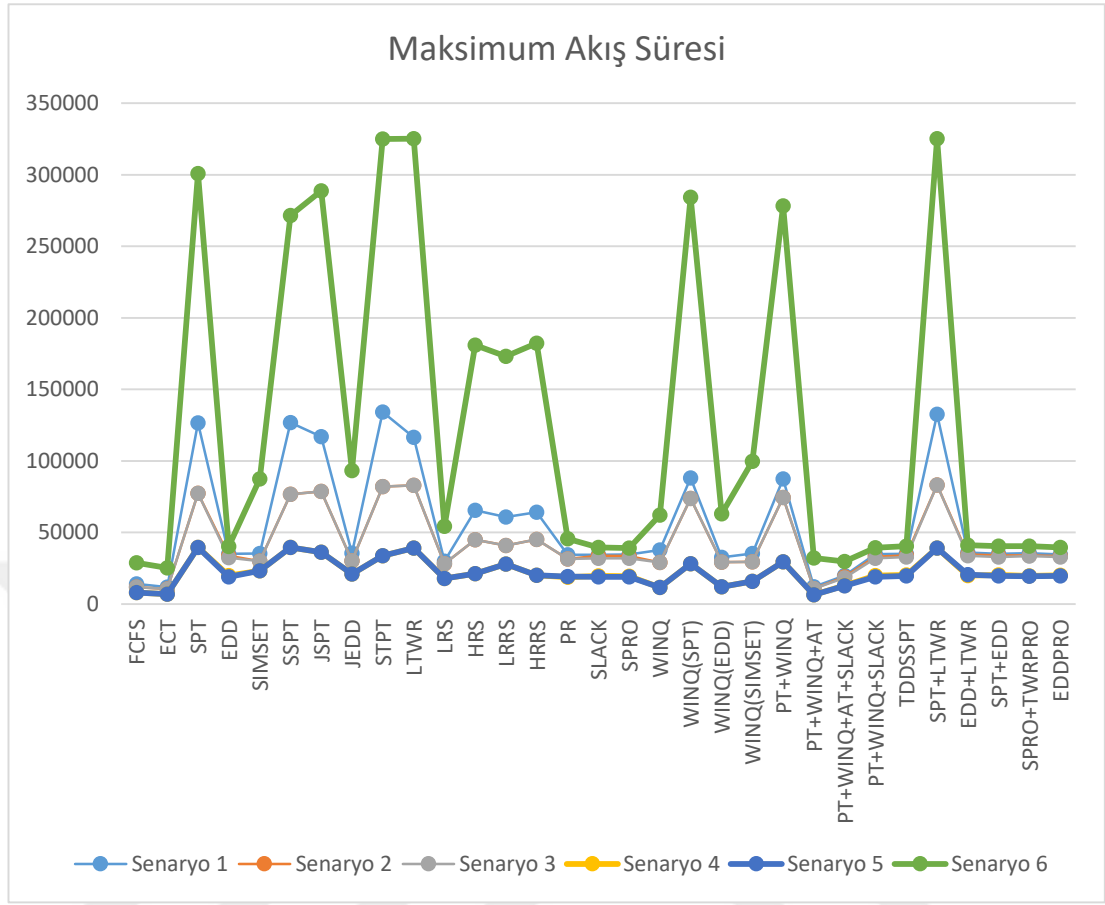
Akış süresi, literatürde kullanılan önemli performans kıstaslarından birisidir. Literatürde, genellikle SPT kuralı bu kıstası minimize etmektedir. Bu kıstas, mevcut çalışmada iki ölçüt içerisinde incelenmektedir. Akış süresi kıstasının ilk ölçütü, ortalama akış süresidir. En küçük, ortalama akış süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.13'te şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.13. Ortalama Akış Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)
2	SPT	SPT	SPT	JSPT	JSPT	SPT
3	SSPT	SSPT	SSPT	SPT	SPT	SSPT
4	JSPT	JSPT	JSPT	SSPT	SSPT	PT+WINQ
5	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	JSPT
6	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR
7	LTWR	STPT	STPT	LTWR	LTWR	STPT
8	STPT	LTWR	LTWR	STPT	STPT	LTWR
9	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	PT+WINQ +SLACK
10	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ +SLACK	WINQ(EDD)	JEDD	JEDD	WINQ(SIMSET)
11	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	JEDD	PT+WINQ +SLACK	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)
12	JEDD	JEDD	PT+WINQ +SLACK	EDD+LTWR	EDD+LTWR	JEDD
13	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	WINQ(EDD)	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK
14	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	WINQ
15	SPT+EDD	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	TDDSSPT	TDDSSPT	EDD+LTWR
16	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD	SPT+EDD	SPT+EDD	PT+WINQ+AT
17	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	EDD	SPRO+TWRPRO
18	EDD	EDD	EDD	EDD	EDDPRO	TDDSSPT
19	EDDPRO	EDDPRO	EDDPRO	EDDPRO	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD
20	SLACK	SLACK	WINQ	SLACK	SLACK	EDDPRO
21	SPRO	SPRO	SLACK	SPRO	SPRO	EDD
22	WINQ	WINQ	SPRO	SIMSET	SIMSET	SPRO
23	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	WINQ	WINQ	SLACK
24	SIMSET	SIMSET	SIMSET	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	PR
25	PR	PR	PR	PR	PR	SIMSET
26	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS
27	ECT	ECT	ECT	ECT	ECT	ECT
28	HRS	HRS	HRS	LRRS	LRRS	LRS
29	LRS	LRS	LRS	LRS	LRS	HRS
30	HRRS	HRRS	HRRS	HRS	HRS	HRRS
31	LRRS	LRRS	LRRS	HRRS	HRRS	LRRS

Ortalama akış süresine dair ulaşılan sonuçlardan yapılan ilk çıkarımlar şu şekildedir: SPT ve WINQ ile kombine edilmiş kurallar, ortalama akış süresini minimize etmektedir. Tamamlanma süresi ölçütünün sonuçları yorumlanırken, SPT ve WINQ kurallarının arasındaki yakın ilişkiden bahsedilmiştir. Ortalama akış süresi ölçütünün

sonuçlarında da aynı ilişki görülebilmektedir.



Şekil 6.8. Maksimum Akış Süresi Grafiği

Akış süresi kıstasının ikinci ölçütü, maksimum akış süresidir. En küçük, maksimum akış süresi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.14'te şu şekilde sıralanmaktadır:

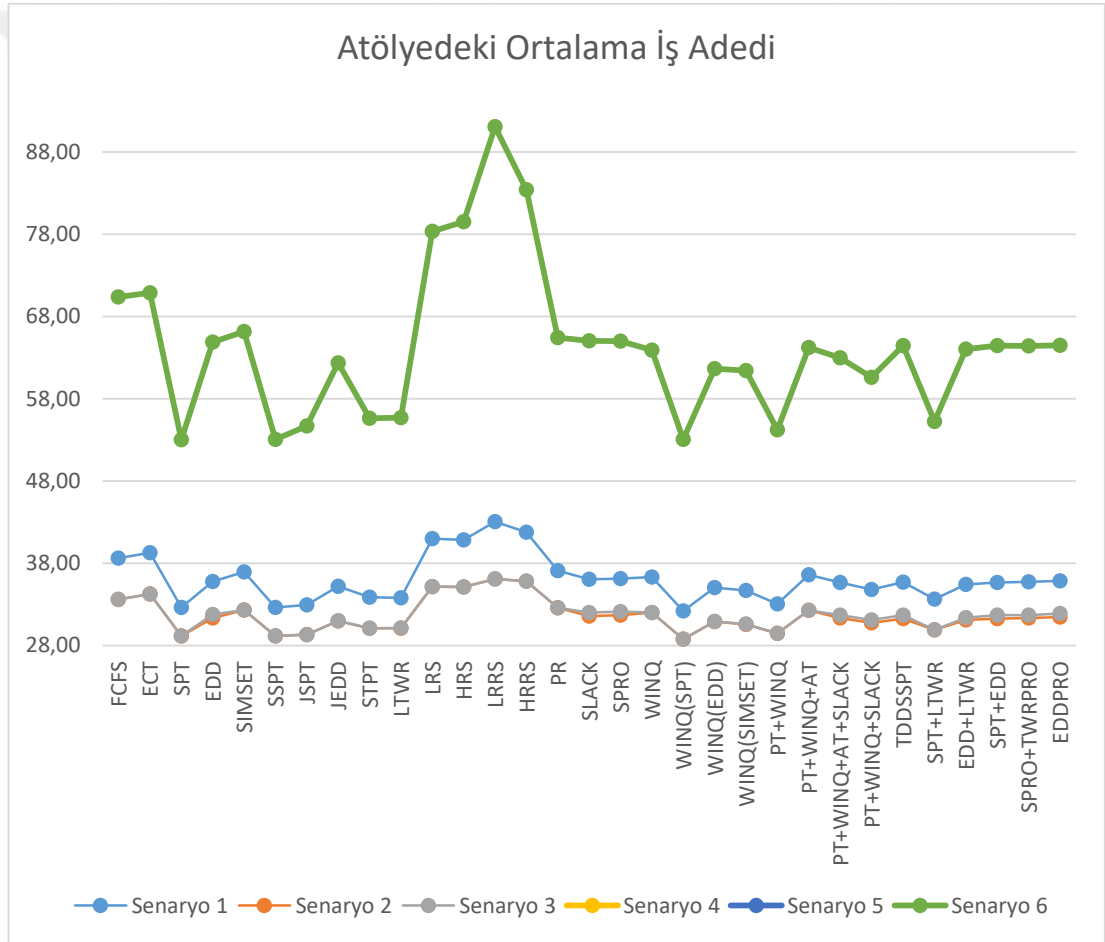
Çizelge 6.14. Maksimum Akış Süresi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	ECT	ECT	ECT	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	ECT
2	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	ECT	ECT	FCFS
3	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	PT+WINQ+AT +SLACK
4	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	WINQ	WINQ	PT+WINQ+AT
5	LRS	LRS	LRS	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	SPRO
6	WINQ(EDD)	WINQ	WINQ	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK	PT+WINQ +SLACK
7	SLACK	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	SLACK
8	PR	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	LRS	LRS	EDDPRO
9	EDDPRO	SIMSET	SIMSET	PR	SLACK	EDD
10	SPRO	JEDD	JEDD	SPRO	PT+WINQ +SLACK	SPRO+TWRPRO
11	PT+WINQ +SLACK	PR	PR	SPRO+TWRPRO	EDD	SPT+EDD
12	EDD	PT+WINQ +SLACK	SLACK	SLACK	SPRO	TDDSSPT
13	TDDSSPT	EDDPRO	PT+WINQ +SLACK	EDD+LTWR	PR	EDD+LTWR
14	SPT+EDD	SPRO	SPRO	PT+WINQ +SLACK	SPRO+TWRPRO	PR
15	WINQ(SIMSET)	SLACK	EDD	EDD	TDDSSPT	LRS
16	SIMSET	EDD	EDDPRO	EDDPRO	SPT+EDD	WINQ
17	SPRO+TWRPRO	TDDSSPT	TDDSSPT	HRRS	EDDPRO	WINQ(EDD)
18	JEDD	SPT+EDD	SPT+EDD	TDDSSPT	HRRS	SIMSET
19	EDD+LTWR	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	SPT+EDD	EDD+LTWR	JEDD
20	WINQ	EDD+LTWR	EDD+LTWR	JEDD	JEDD	WINQ(SIMSET)
21	LRRS	LRRS	LRRS	HRS	HRS	LRRS
22	HRRS	HRS	HRS	SIMSET	SIMSET	HRS
23	HRS	HRRS	HRRS	LRRS	LRRS	HRRS
24	PT+WINQ	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	SSPT
25	WINQ(SPT)	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ
26	LTWR	SSPT	SSPT	STPT	STPT	WINQ(SPT)
27	JSPT	SPT	SPT	JSPT	JSPT	JSPT
28	SPT	JSPT	JSPT	LTWR	LTWR	SPT
29	SSPT	STPT	STPT	SPT+LTWR	SPT+LTWR	STPT
30	SPT+LTWR	LTWR	LTWR	SSPT	SSPT	LTWR
31	STPT	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT	SPT	SPT+LTWR

Maksimum akış süresine dair ulaşılan sonuçlardan yapılan ilk çıkarımlar şu şekildedir: Bu ölçütü minimize eden kurallar, farklı senaryolardan etkilenmemektedir. Görüldüğü üzere 6 senaryo için de benzer sıralamaya ulaşılmıştır. ECT ve FCFS kuralları geliş zamanına dayalı kurallardır. Aynı zamanda AT(arrival time) ifadesi de geliş zamanını

temsil etmektedir. Buradan şu sonuca varılabilir: İçerisinde geliş zamanını barındıran kurallar bu ölçütü minimize etmektedir.

Buradan çıkarılabilecek bir başka sonuç da şu şekildedir: Bir önceki ölçütte olduğu gibi, SPT ile kombine edilmiş kurallar, akış süresini olumlu etkilemektedir. Sonuçlardaki kurallara bakıldığında PT ve WINQ ifadelerine sıklıkla rastlanmıştır. PT(processing time) ifadesi, zaten SPT ifadesinin özüdür. Ayrıca WINQ ile SPT kurallarının arasındaki ilişkiden dolayı WINQ kuralının bu ölçütte de olumlu sonuçlar vermesi beklenen bir durumdur.



Şekil 6.9. Atölyedeki Ortalama İş Adedi Grafiği

Atölyedeki ortalama iş adedi, literatürdeki önemli ölçütlerden birisidir. Bu ölçütün küçük değerler vermesi, atölye içerisindeki karmaşanın az olduğunu ifade etmektedir

ve üretici açısından olumlu bir durumdur. En küçük, atölyedeki ortalama iş adedi değerini veren kurallar her bir senaryo için Çizelge 6.15'te şu şekilde sıralanmaktadır:

Çizelge 6.15. Atölyedeki Ortalama İş Adedi İçin Kuralların Sıralanması

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
1	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	WINQ(SPT)	SPT
2	SPT	SPT	SPT	JSPT	JSPT	WINQ(SPT)
3	SSPT	SSPT	SSPT	SPT	SPT	SSPT
4	JSPT	JSPT	JSPT	SSPT	SSPT	PT+WINQ
5	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	PT+WINQ	JSPT
6	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR	SPT+LTWR
7	LTWR	STPT	STPT	LTWR	LTWR	STPT
8	STPT	LTWR	LTWR	STPT	STPT	LTWR
9	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	WINQ(SIMSET)	PT+WINQ +SLACK
10	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ +SLACK	WINQ(EDD)	JEDD	JEDD	WINQ(SIMSET)
11	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)	JEDD	PT+WINQ +SLACK	WINQ(EDD)	WINQ(EDD)
12	JEDD	JEDD	PT+WINQ +SLACK	EDD+LTWR	EDD+LTWR	JEDD
13	EDD+LTWR	EDD+LTWR	EDD+LTWR	WINQ(EDD)	PT+WINQ +SLACK	PT+WINQ+AT +SLACK
14	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD	SPRO+TWRPRO	TDDSSPT	SPRO+TWRPRO	WINQ
15	SPT+EDD	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD	TDDSSPT	EDD+LTWR
16	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD	SPRO+TWRPRO	SPT+EDD	PT+WINQ+AT
17	SPRO+TWRPRO	SPRO+TWRPRO	TDDSSPT	PT+WINQ+AT +SLACK	EDD	SPRO+TWRPRO
18	EDD	EDD	EDD	EDD	EDDPRO	TDDSSPT
19	EDDPRO	EDDPRO	EDDPRO	EDDPRO	PT+WINQ+AT +SLACK	SPT+EDD
20	SLACK	SLACK	WINQ	SLACK	SLACK	EDDPRO
21	SPRO	SPRO	SLACK	SPRO	SPRO	EDD
22	WINQ	WINQ	SPRO	SIMSET	SIMSET	SPRO
23	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	WINQ	WINQ	SLACK
24	SIMSET	SIMSET	SIMSET	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT	PR
25	PR	PR	PR	PR	PR	SIMSET
26	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS	FCFS
27	ECT	ECT	ECT	ECT	ECT	ECT
28	HRS	HRS	HRS	LRRS	LRRS	LRS
29	LRS	LRS	LRS	LRS	LRS	HRS
30	HRRS	HRRS	HRRS	HRS	HRS	HRRS
31	LRRS	LRRS	LRRS	HRRS	HRRS	LRRS

Atölyedeki ortalama iş adedi ölçütünün sonuçlarından yapılabilecek çıkarımlar şu şekildedir: SPT kuralını barındıran kurallar, atölyedeki ortalama iş adedini minimize

etmektedir. Bu ölçütün temelinde akış süresinin minimizasyonu yatmaktadır. Literatürde de bu konudan sıklıkla bahsedilmektedir. Akış süresinin kısa olduğu sistemlerde, yığılmalar da az olmaktadır. Yani akış süresi için olumlu sonuçlar veren kuralların, bu performans ölçütünde de olumlu sonuçlar vermesi zaten beklenen bir durumdur.

6.1. Nihai Sonuçlar ve Çıkarımlar

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında; literatürde en sık kullanılan 30 adet tezgâh yükleme kuralı, atölye ortamında simüle edilerek, birbirleri ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama neticesinde ulaşılan sayısal sonuçlar tatminkar olmasına rağmen, bununla yetinilmeyip, literatürde daha önce birebir aynısına rastlamadığımız ve çalışma prensibi SPRO kuralının sadeleştirilmesine dayanan bir tezgâh yükleme kuralı (EDDPRO) geliştirilmiştir ve toplam kural sayısı 31 adede çıkarılmıştır.

Öncelikle ilk 30 kuralın sonuçları incelenmiştir. Bu 30 kural içerisinde en olumlu sonuçları veren kuralların çalışma mentalitesi incelenerek bir takım çıkarımlar yapılmıştır: EDD ve SLACK kuralları, gecikmelere bağlı olan performans ölçütlerini iyileştirirken; SPT kuralı, akış süresine bağlı olan ölçütleri iyileştirmektedir.

İlk akla gelen fikir, EDD ile SPT veya SLACK ile SPT kurallarının çalışma şeklini, tek bir kuralda birleştirerek, bütün performans ölçütlerinde olumlu sonuçlar veren hibrit bir kural oluşturmaktır. Lakin bu düşünce pek de uygulanabilir değildir. Nitekim her kuralın kendi çapında kusurları vardır. Örneğin, SPT+EDD kuralının her açıdan olumlu sonuç vermesi beklenirken, uygulamaya döküldüğünde durumun pek de beklenen gibi olmadığı görülmüştür. Bu sebeple, her performans ölçütünde aynı anda minimum değer yakalanabilmesinin, NP-hard sınıfında olan dinamik çizelgeleme probleminde söz konusu olmadığı anlaşılmıştır. İlk fikir ile hedefe ulaşmanın mümkün olmadığını anlaşılması üzerine, ikinci fikir olarak, ya gecikmelerin minimizasyonu

ya da akış sürelerinin minimizasyonu fikri ortaya atılmıştır. Hangisinin minimize edilmesi gerektiğine, şu şekilde karar verilmiştir: Akış sürelerinin minimizasyonu üreticiyi rahatlatırken, gecikmelerin minimizasyonu hem üreticiyi rahatlatmaktadır hem de müşteriye memnun etmektedir. Bu sebeple, gecikmeleri minimize etmenin daha mantıklı olacağı kanaatine varılmıştır.

Gecikmeler ile ilgili performans ölçütleri incelendiğinde SPRO kuralının iyi sonuçlar verdiği görülmüştür ve bu kural üzerine yoğunlaşmıştır. Lakin literatürdeki birçok çalışmada, gecikmeleri minimize eden kurallar olarak EDD ve SLACK kuralları gösterilmektedir. SPRO kuralı, derinlemesine bakıldığında, SLACK kuralının kalan adım sayısına oranlanmasıdır. Buradan yola çıkarak, EDDPRO kuralının temelleri atılmıştır. Eğer; “SLACK’in kalan adım sayısına oranı”, gecikmeleri minimize edebiliyorsa, “EDD’nin kalan adım sayısına oranı” da gecikmeleri minimize edebilmeliydi. Bu fikirden yola çıkarak EDDPRO kuralı oluşturulmuştur.

Çalışmanın ikinci aşamasında; EDDPRO kuralı, diğer kurallar ile kıyaslanırken literatürde en çok kullanılan 7 adet ve mantıklı sonuçlar vereceğini düşündüğümüz 2 adet performans ölçütü kullanılmıştır. Kıyaslamalar sonucunda, EDDPRO kuralının, gecikmeleri azaltan diğer kurallardan (EDD, SLACK, SPRO, PR) daha iyi sonuçlar verebileceği görülmüştür.

Çalışmanın ışık tuttuğu bir başka konu ise “Earliness” faktörüdür. “Tardiness” faktörü ile ilgili olan ölçütlerde iyi sonuç veren kuralların aslında “Earliness” faktöründe de iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun sebebinin şu olduğu düşünülmektedir: “Earliness” ve “Tardiness” faktörlerinin oluşma sebebi teslim tarihinden sapma ile ilgili bir durumdur. İçerisinde teslim tarihi ile ilgili bir ifade barındıran kurallar, teslim tarihinden sapmayı minimize etmektedir. “Tardiness” faktöründe, üstün sonuçlar veren kuralların, “Earliness” faktöründe de üstün sonuçlar vermesi, bu hipotezi destekler niteliktedir.

Bu tez çalışmasının, sunulan EDDPRO kuralı ile birlikte literatüre büyük katkısı olacağı, ayrıca mevcut kuralların kıyaslanması için “Earliness” faktörünün

kullanılması sebebiyle bu konu üzerine yapılacak olan gelecekteki çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Amariei, O.I., Hamat, C.O., Scheduling Of N Tasks on M Machines with Reaching the Objective of Minimizing Makespan, *Annals of 'Constantin Brancusi' University of Targu-Jiu. Economy Series*, 6 (10): 147-156, 2017.
- Aydemir, E., Koruca, H.I., A New Production Scheduling Module Using Priority-Rule Based Genetic Algorithm, *International Journal of Simulation Modelling* 14 (3): 450-462, 2015.
- Aydın, M.E., Öztemel, E., Dynamic Job-Shop Scheduling Using Reinforcement Learning Agents, *Robotics and Autonomous Systems* 33(1): 169-178, 2000.
- Azadeh, A., Negahban, A., Moghaddam, M., A hybrid computer simulation-artificial neural network algorithm for optimisation of dispatching rule selection in stochastic job shop scheduling problems, *International Journal of Production Research* 50(2): 551-566, 2012.
- Baykasoğlu, A., Karaslan, F.S., Solving comprehensive dynamic job shop scheduling problem by using a GRASP-based approach, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2017.1306134, 2017.
- Bean, J.C., Birge, J.R., Mittenthal, J., Noon C.E., Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions, *Operations Research* 39 (3): 470-483, 1991.
- Blackstone, Jr.J., Phillips, D., and Hogg G., A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations, *International Journal of Production Research* 20(1): 27-45, 1982.
- Chang, F.C.R., Heuristics for Dynamic Job Shop Scheduling with Real-Time Updated Queueing Time Estimates, *International Journal of Production Research* 35 (3): 651-665, 1997.

- Cheung, W., Zhou, H., Using genetic algorithms and heuristics for job shop scheduling with sequence-dependent setup times, *Annals of Operations Research* 107(1):65-81, 2001.
- Church, L.K, Uzsoy, R., Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 5(3): 153-163, 1992.
- Cowling, P., Johansson, M., Using real time information for effective dynamic scheduling, *European Journal of Operational Research* 139(1) 230-244, 2002.
- Dannenbring, D.G., An evaluation of flow shop sequencing heuristics, *Management Science* 23(11): 1174-1182, 1977.
- Dileepan, P., Ahmadi, M., Scheduling Rules for a Small Dynamic Job-Shop: A Simulation Approach, *Int j simul model* 9(4): 173-183, 2010.
- Dominic, P.D.D., Kaliyamoorthy, S., Kumar, S., Efficient Dispatching Rules for Dynamic Job Shop Scheduling, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 24(1): 70-75, 2004.
- Elhüseyni, M., Hipotetik Bir Tekstil Atölyesinin Dinamik Çizelgelenmesinde Yollama Kurallarının Benzetim Tekniğiyle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- Ersöz, O,Ö, Atölye Yükünün Planlanmasında RFID Temelli Dinamik Bir Yaklaşım ve FNSS’de Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2016.
- Fang, J., Xi, Y., A Rolling Horizon Job Shop Rescheduling Strategy in the Dynamic Environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 13(1): 227-232, 1997.

- Fattahi, P., Fallahi A., Dynamic Scheduling in Flexible Job Shop Systems by Considering Simultaneously Efficiency and Stability, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2(1): 114-123, 2010.
- Gao, Y., Ding, Y.S., Zhang, H.Y., Job-Shop Scheduling Considering Rescheduling in Uncertain Dynamic Environment, 16th International Conference on Management Science & Engineering, Moscow, Russia, 380-384, 2009.
- Ghomi S.M.T.F., Iranpoor M., Earliness-tardiness-lost sales dynamic job-shop scheduling, *Production Engineering* 4(2-3): 221-230, 2010.
- Gupta, A.K., Sivakumar, A.I., Single Machine Scheduling with Multiple Objectives in Semiconductor Manufacturing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 26(9-10): 950-958, 2005.
- Hamzadayı, A., Simulation Based Optimization Using Simulated Annealing For Dynamic Scheduling Of Parallel Machines With A Common Server, *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye*, 2014.
- Haupt, R., A survey of priority rule-based scheduling, *OR Spektrum* 11(1): 3-16, 1989.
- Holthaus, O., Rajendran, C., New Dispatching Rules for Scheduling in a Job Shop – An Experimental Study, *Int J Adv Manuf Technol* 13(1): 148-153, 1997.
- Ingimundardottir, H., Runarsson, T.P., Discovering dispatching rules from data using imitation learning: A case study for the job-shop problem, *J Sched* 21:413-428, 2017.
- Jeon, S.M., Kim, G., Survey of Simulation Modeling Techniques in Production Planning and Control (PPC), *Production Planning & Control* 27 (5): 360-377, 2016.

- Kaban, A.K., Othman, Z., Rohmah D.S., Comparison of Dispatching Rules in Job-Shop Schedulingproblem Usingsimulation: A Case Study, International Journal of Simulation Modelling 11(3): 129-140, 2012.
- Kapanoğlu, M., Alikalfa, M., Learning IF-THEN Priority Rules for Dynamic Job Shops Using Genetic Algorithms, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 27(1): 47-55, 2011.
- Karunakaran, D., Mei, Y., Chen, G., Zhang., M., Dynamic Job Shop Scheduling Under Uncertainty Using Genetic Programming, Intelligent and Evolutionary Systems 8(1): 195-210, 2016.
- Kesen, S.E., Tam Zamanında Üretim Felsefesine Dayalı Otomatik Yönlendirmeli Araç Sistemlerinin Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2004.
- Klausnitzer, A., Neufeld, J.S., Buscher, U., Scheduling dynamic job shop manufacturing cells with family setup times: a simulation study, Logistics Research 10(4): 1-18, 2017.
- Kundakçı, N., Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2013.
- Kutanoğlu, E., Sabuncuoğlu, I., Routing-Based Reactive Scheduling Policies for Machine Failures in Dynamic Job Shops, International Journal of Production Research, 39(14): 3141-3158, 2001.
- Larsen, R., Marco, P., A framework for dynamic rescheduling problems, International Journal of Production Research 1-18, 2018.

- Lee, C.Y., Uzsoy, R., Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals, *International Journal of Production Research* 37 (1): 219-236, 1999.
- Leon, V.J. Wu, S.D., Storer, R.H., Robustness Measures and Robust Scheduling for Job Shops, *IIE Transactions* 26(5): 32-43, 1994.
- Liao, C.J., Chen, W.J, Scheduling Under Machine Breakdown in a Continuous Process Industry, *Computers & Operations Research* 31(1): 415-428, 2004.
- Liu, S.Q., Ong, H.L., Ng, K.M., Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem, *Advances in Engineering Software* 36(1): 199-205, 2005.
- MacCarthy, B.L., Liu, J., Addressing the Gap in Scheduling Research: A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling, *International Journal of Production Research* 31 (1): 59-79, 1993.
- Özkan, S.E., Farklı Kapasiteli Paralel Makinelerin Dinamik Çizelgenmesi İçin Sezgisel Bir Algoritma Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2009.
- Pergher, I., Almeida, A.T., A multi-attribute, rank-dependent utility model for selecting dispatching rules, *Journal of Manufacturing Systems* 46(1): 264-271, 2018.
- Pinson, E., The Job Shop Scheduling Problem: Concise survey and some recent Developments, *Scheduling Theory and its applications* Edited by P. Chretienne, E.G. Coffman Jr., J.K. Lenstra and Z. Lim, John Wiley & Sons Ltd, 1995.
- Qiu, X., Lau, H.Y.K., An AIS-Based Hybrid Algorithm with PDRs for Multi-Objective Dynamic Online Job Shop Scheduling Problem *Applied Soft Computing* 13(1): 1340-1351, 2013.

Sabuncuoğlu, I., Kızılışık, O.B., Reactive Scheduling in a Dynamic and Stochastic FMS Environment, *International Journal of Production Research* 41(17): 4211-4231, 2003.

Sabuncuoğlu, I., Bayız, M., Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment, *European Journal of Operational Research* 126(1): 567-586, 2000.

Sel, ., Hamzadayı, A., A simulated annealing approach based simulation-optimisation to the dynamic job-shop scheduling problem, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg* 24(4): 665-674, 2018.

Sharma, P., Jain, A., New setup-oriented dispatching rules for a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times, *Concurrent Engineering* 24 (1): 58-68, 2016.

Shen, L., Peres, S.D., Neufeld, J.S., Solving the flexible job shop scheduling problem with sequence-dependent setup times, *European Journal of Operational Research* 265: 503-516, 2018.

Türker, A.K., Göle, A., Aktepe, A., Ersöz, S., İpek, M., ağıl, G., Atölye Tipi Üretimde Endüstri 4.0'ın Getirdikleriyle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Üretim Verilerinin Veri Madenciliği ile Analiz edilerek Gecikebilecek Siparişlerin Tahmini ve Dış Kaynak Kullanımı, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, under review.

Türker, A.K., Ersöz O.Ö., Üretim Planlama ve Kontrolün Atölye Yüğü ile Eşzamanlı Gerekleştirilmesi, *MANAS Journal of Social Studies* 5(5) 2016.

Yang, J.B., GA-Based Discrete Dynamic Programming Approach for Scheduling in FMS Environments, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics* 31 (5): 824-835, 2001.

- Weiss-Cohen, M., Mitnovizky, M., Shpitalni, M., Manufacturing systems: Using agents with local intelligence to maximize factory profit, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 18(1): 135-144, 2017.
- William, S., Gere, Jr., Heuristics in Job Shop Scheduling, *Management Science* 13(3): 161-293, 1966.
- Zandieh, M., Adibi, M.A., Dynamic Job Shop Scheduling Using Variable Neighbourhood Search, *International Journal of Production Research* 48(8): 2449-2458, 2010.
- Zhang, S., Wang, S., Flexible Assembly Job-Shop Scheduling With Sequence-Dependent Setup Times and Part Sharing in a Dynamic Environment: Constraint Programming Model, Mixed-Integer Programming Model, and Dispatching Rules, *IEE Transactions On Engineering Management* 65(3): 487-504, 2018.
- Zhang, H., Roy, U., A semantics-based dispatching rule selection approach for job shop scheduling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2018.
- Aktepe, A., Ersöz, S., Hizmet-Servis Sistemleri, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2018.
- Baudrillard, J., Simülark ve Simülasyon, Çeviri: Oğuz Adanır, Doğu-Batı Yayınları, 3. Baskı, 2007.
- Carson, B., Nelson, Nicol, *Discrete Event System Simulation* 4th Edition, Prentice Hall, 2005.
- Matloff, N., *Introduction to Discrete - Event Simulation and the SimPY Language*, SimPY, 1-33, 2013.
- Özden, Ü.H., Simülasyon, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Simülasyon Ders Notları, 2015.

Pinedo, M., Scheduling Theory, Algorithms, and Systems, New York, USA, Springer-Verlag, 2015.

Türker, A.K., Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon ve ARENA®, Kral Matbaa, Ankara, ISBN:978-605- 87375-0-1, 2011.



EKLER

Ek 1. Parça Tiplerine Göre Rota ve İşlem Adetleri

	Parça1	Parça2	Parça3	Parça4	Parça5	Parça6	Parça7	Parça8	Parça9	Parça10	Parça11	Parça12	Parça13	Parça14	Parça15	Parça16	Parça17	Parça18	Parça19	Parça20
Sıra 1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Sıra 2	2	5	4	6	4	2	3	4	5	3	5	5	5	5	6	5	4	5	4	5
Sıra 3	5	4	3	3	3	3	4	5	4	4	6	4	4	4	4	4	8	4	7	4
Sıra 4	4	8	6	4	5	4	5	7	7	8	0	8	3	3	8	7	0	6	6	8
Sıra 5	7	6	9	5	10	5	8	8	10	7	0	9	6	6	7	0	0	0	0	6
Sıra 6	0	0	0	9	9	6	9	9	0	6	0	0	9	7	0	0	0	0	0	0
Sıra 7	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0
Sıra 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNL(L,parçaNo)	5	5	5	7	6	7	6	6	5	6	3	5	6	7	5	4	3	4	4	5

Ek 2. Parça Tiplerine Göre İşlem Süreleri

	Parça1	Parça2	Parça3	Parça4	Parça5	Parça6	Parça7	Parça8	Parça9	Parça10	Parça11	Parça12	Parça13	Parça14	Parça15	Parça16	Parça17	Parça18	Parça19	Parça20
Sıra 1	8	8	10	9	9	9	13	14	12	13	11	10	12	13	10	9	8	9	8	8
Sıra 2	12	19	8	10	10	10	11	14	9	9	10	11	12	10	9	10	7	10	9	11
Sıra 3	12	12	6	10	8	8	10	13	11	7	10	10	10	11	11	9	15	10	15	9
Sıra 4	7	15	8	10	15	11	16	14	16	14	0	17	8	8	17	18	0	8	11	15
Sıra 5	13	10	9	14	11	10	18	18	14	14	0	12	8	9	11	0	0	0	0	12
Sıra 6	0	0	0	8	5	9	9	10	0	10	0	0	7	13	0	0	0	0	0	0
Sıra 7	0	0	0	10	0	14	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
Sıra 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNL(2,parcaNo)	52	64	41	71	58	71	77	83	62	67	31	60	57	76	58	46	30	37	43	55

Ek 3. Parça Tiplerine Göre Setup Süreleri

	Parça1	Parça2	Parça3	Parça4	Parça5	Parça6	Parça7	Parça8	Parça9	Parça10	Parça11	Parça12	Parça13	Parça14	Parça15	Parça16	Parça17	Parça18	Parça19	Parça20
Sıra 1	1	1	1,25	1,125	1,125	1,125	1,625	1,75	1,5	1,625	1,375	1,25	1,5	1,625	1,25	1,125	1	1,125	1	1
Sıra 2	1,5	2,375	1	1,25	1,25	1,25	1,375	1,75	1,125	1,125	1,25	1,375	1,5	1,25	1,125	1,25	0,875	1,25	1,125	1,375
Sıra 3	1,5	1,5	0,75	1,25	1	1	1,25	1,625	1,375	0,875	1,25	1,25	1,25	1,375	1,375	1,125	1,875	1,25	1,875	1,125
Sıra 4	0,875	1,875	1	1,25	1,875	1,375	2	1,75	2	1,75	0	2,125	1	1	2,125	2,25	0	1	1,375	1,875
Sıra 5	1,625	1,25	1,125	1,75	1,375	1,25	2,25	2,25	1,75	1,75	0	1,5	1	1,125	1,375	0	0	0	0	1,5
Sıra 6	0	0	0	1	0,625	1,125	1,125	1,25	0	1,25	0	0	0,875	1,625	0	0	0	0	0	0
Sıra 7	0	0	0	1,25	0	1,75	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
Sıra 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sıra 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNL(3.parcaNo)	6,5	8	5,125	8,875	7,25	8,875	9,625	10,375	7,75	8,375	3,875	7,5	7,125	9,5	7,25	5,75	3,75	4,625	5,375	6,875