

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİPOTETİK BİR TEKSTİL ATÖLYESİNİN DİNAMİK
ÇİZELGELENMESİNDE YOLLAMA KURALLARININ BENZETİM
TEKNİĞİYLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ELHÜSEYNİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

**HİPOTETİK BİR TEKSTİL ATÖLYESİNİN DİNAMİK
ÇİZELGELENMESİNDE YOLLAMA KURALLARININ BENZETİM
TEKNİĞİYLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat ELHÜSEYNİ
(507101128)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ

2 Mayıs 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101128 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Murat ELHÜSEYNİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“HİPOTETİK BİR TEKSTİL ATÖLYESİNİN DİNAMİK ÇİZELGELENMESİNDE YOLLAMA KURALLARININ BENZETİM TEKNİĞİYLE ANALİZİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd.Doç.Dr. Cafer Erhan BOZDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd.Doç.Dr. Murat BASKAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Umut Rıfat TUZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2012**

Savunma Tarihi : **6 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

Küreselleşen dünyada firmalar arası rekabet giderek artmaktadır. Önceden piyasayı domine eden firmalara gün geçtikçe yeni rakipler eklenmektedir ve bu da rekabet artışıyla sonuçlanmaktadır. Özellikle üretim firmaları artan müşteri isteklerine ve taleplerine cevap verirken hem müşteri memnuniyetini gözetmek hem de Toyota yaklaşımının da dünyaya egemen olmasıyla birlikte artık üretim sistemi performanslarını dengede tutmak istemektedirler. Bunun üzerine planlama departmanları üzerine üretimi bu gibi amaçları gözeterek çizelgeleme gibi önemli görevler düşmektedir. Fakat günümüzde işler atölyeye sürekli geldiğinden ve siparişlerin gelişleri bilinemediğinden statik çizelgeleme yaklaşımları planlamacılar için yeterli bir çözüm sağlamamaktadır. İşte bu çalışmada literatür ve çalışmada geliştirilen kurallar da gözetilerek bütün bir çizelge ufku için değişen atölye yüklemesi ve teslim günleri faktörleri altında farklı amaç ölçütlerine göre en iyi sonucu veren yollama kuralları bulunmaya çalışılacaktır. Böylece planlama departmanı çalışanları, hem teslim performansı hem de sistem dengesini gözeterek kendilerine en uygun kurallar bütününü seçebilecek ve dinamik yapıdaki siparişlerini bu mantığa göre çizelgeleyebileceklerdir. Ayrıca sistem yüklemesi ve teslim günü gibi çizelge performansını etkileyebilecek iki kritik faktörden hangisinin çizelge sonucuna daha çok etki ettiğini görüp ona göre üretimlerini planlayabileceklerdir.

Bu çalışma boyunca bilgi ve tecrübelerini bütün içtenliğiyle benimle paylaşan, öneri ve fikirlerini hiçbir zaman esirgemeyen, tez yazım süresince her zaman yardımcı olan değerli tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Erhan BOZDAĞ'a, tezin şekillendiği kritik anlarda yardımcı olan Prof.Dr. Bülent DURMUŞOĞLU, Yrd.Doç.Dr. Murat BASKAK ve Doç.Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY hocalarıma ve tez sürecinde her zaman arkamda durup beni motive eden aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Murat Elhüseyni
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç	2
1.2 Literatür Araştırması	2
1.2.1 Sezgisel yaklaşımlar	3
1.2.2 Vekil yaklaşımları	5
1.2.3 Matematiksel model yaklaşımı	6
1.2.4 Benzetim yaklaşımı	7
1.2.4.1 Uzman çizelge sistemleri	7
1.2.4.2 Yollama kuralları	11
1.3 Literatür Sonuçlarının Değerlendirilmesi	21
2. ÇİZELGELEME İNCELEMESİ	27
2.1 Çizelgeleme	27
2.2 Çizelgeleme Sınıflandırması	29
2.2.1 Makine ortamı	29
2.2.1.1 Tezgah sayısı	29
2.2.2 Diğer etmenler	31
2.2.2.1 Statik ve dinamik çizelge	31
2.2.2.2 Deterministik ve stokastik modeller	32
2.2.3 Performans ölçütü	33
2.2.4 Çizelge problemlerinin gösterimi	34
3. YOLLAMA KURALLARININ PERFORMANSININ SINANMASI	37
3.1 Giriş	37
3.2 Yollama Kuralları	37
3.2.1 Statik kurallar	37
3.2.2 Dinamik kurallar	38
3.2.3 Kompozit kurallar	39
3.2.4 Geliştirilen kurallar	40
3.2.5 Teslim günü belirleme	41
3.3 Hipotetik Atölye Sistemi	42
3.3.1 İş bilgileri	42
3.3.2 Sistemin açıklanması	42
3.3.2.1 Örme süreci	43
3.3.2.2 Hazırlık süreci	43
3.3.2.3 Boyama süreci	43

3.3.2.4 Bitirme süreci	44
3.4 Deney Tasarımı	45
3.4.1 Isınma periyodunun belirlenmesi	45
3.4.2 Varsayımlar	46
3.4.3 Benzetim modelinin kurulması	47
3.4.3.1 Yollama kuralı modelleme farklılıkları	47
3.4.3.2 Örnek yollama kuralı üzerinden modelleme	48
3.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
3.5.1 Performans ölçütlerine göre yollama kurallarının karşılaştırılması	51
3.5.2 Deney parametre etkisinin incelenmesi	60
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
4.1 Sonuçlar	65
4.2 Tezin Literatüre Katkısı	66
4.3 Gelecek Çalışmalar için Öneriler	66
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ	101

KISALTMALAR

%TJ	: Geciken teslim gecikmesi yüzdesi
F_j	: Akış Süresi
L_j	: Geç kalma Süresi
M	: Yayılma Süresi
H_0	: Sıfır hipotezi
H_1	: Ret hipotezi
C_{ij}	: Kritik yoldaki parça i'nin j. işleminin kalan işlemler kümesi
N	: Geciken İş Sayısı
RPT_i	: İş i'nin tamamlanmamış işlemleri için işleme sürelerinin toplamı
R_{ij}	: Parça i'nin j. işleminin kalan işleme süresi
T^*	: Ortalama teslim gecikmesi süresi
T_j	: Teslim gecikmesi
T_{now}	: Şu anki zaman
V_{ik}	: Benzetim koşumu sırasında güncellenen istasyon k'nın güncel ortalama bekleme süresi
W_{nxt}	: İş i'nin bir sonraki işlemdeki makinedeki beklenen bekleme süresi
a_i	: Parti i'nin makine kuyruğuna vardığı an
d_i	: Parça i'nin teslim günü
n_i	: İş i'nin toplam işlem sayısı
p_{ij}	: Parça i'nin j. işleminin işlem süresi
p_i	: İş i'nin toplam işlem süresi
r_i	: i. işin atölyeye geliş zaman
s_i	: Dinamik gevşek
μ_s	: İşlemin ortalama hazırlık süresi
AT-RPT	: Arrival time minus remaining processing time
c	: Teslim günü sıklık faktörü
CBS	: Contingency based Scheduling
COVERT	: Cost Over Time
CR	: Critical ratio
CRSPT	: Combination of critical ratio and shortest processing time
DEA	: Data envelopment analysis
DPAS	: Distributed production-assembly scheduling
DPPW	: Dynamic processing plus waiting time
DTWK	: Dynamic total work content
EDD	: Earliest due date
EFTA	: Earliest finishing time with alternatives

F*	: Ortalama akış süresi
FCFS	: First come first served
FIFO	: First in first out
FOSS	: Framework for on-line scheduling and control system
gas	: Gelişler arası süre
HLWKRCH	: Hybrid least work remaining and cyclic heuristics
HRN	: High response ratio next
HW&ICH	: Hybrid Wilkerson & Irvin and cyclic heuristics
JDD	: Job Due Date
LBE+LBT+LBF	: Lower bound earliness, tardiness and flowtime
LFD - JDD	: Verilen teslim gününde en geç bitirme günü
LF-ECT	: Latest finish – Earliest completion time
LSD	: Least significant difference
MDD	: Modified due date
MOFCS	: FIFO, CR ve SSU kurallarının ağırlıklı birleşimi
MOFCS+	: FIFO, CR ve SSU+ kurallarının ağırlıklı birleşimi
MS	: Minimum Slack
MSLACK	: Modified Slack
PT + WINQ	: Processing Time plus Work in Next Queue
ATRPT	: Process Time plus Work in Next Queue plus Arrival time minus Remaining Processing Time
MDD	: Process Time + Work in Next Queue – Modified Due Date
PTWINQSL	: Processing time plus work in queue of next operation
RR	: Raghu ve Rajendran
SIMSET	: Similar Setup
SLRPT	: Slack per remaining processing time and shortest processing time
SPT	: Shortest processing time
SPT/LQS	: Shortest Processing Time/Largest Queue Size
SPT/SDT	: Shortest Processing Time/Shortest Distance Travelled
SSPT	: Shortest setup and processing time
SSU	: Smallest Setup
SSU+	: Smallest Setup modified
TWBR	: Total Work Load Based Rule
TWK	: Total Work Content
TWKR	: Total work content of all operations remaining to be done on items of the job
TWKR-BY-TIS	: Sistemde geçirilen süre başına işin parçaları üzerine kalan işlemlerin toplamı
TWKR-RRP	: İşin parçaları üzerine kalan işlemlerin toplamının göreceli kalan işlem süresiyle birleşimi
VARf	: Akış süresi varyansı
VARt	: Teslim gecikmesi süresi varyansı

WINQRPT	: Work in next queue plus remaining processing time
WIP	: Stok içi proses
α	: Makine ortamı
β	: İş karakteristikleri
γ	: En küçüklenmeye çalışılacak amaç fonksiyonunu
b	: Kalan bekleme süresini hesaplamak için parametre
c	: Teslim günü sıklık faktörü
n	: İşin yükleneceği makinenin kullanım seviyesi
α	: Anlamlılık düzeyi
$\theta(i)$	: İş ideki toplam işlem sayısı
τ	: Yollama kuralı kararının verildiği an

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Literatür araştırmasının sonuçları.	22
Çizelge 1.2 : Yollama kuralları literatür matrisi.	25
Çizelge 1.3 : Yollama kuralları ve iyileştirdikleri performans ölçütleri.	26
Çizelge 2.1 : Literatürde problemleri anlatmak için kullanılan Graham gösterimi. ..	35
Çizelge 3.1 : Hazırlık atölyesi ürün rotası.....	43
Çizelge 3.2 : Hazırlık atölyesi ürün rotası.....	44
Çizelge 3.3 : Bitirme atölyesi ürün rotası	44
Çizelge 3.4 : Deney faktörleri ikili birleşimi.	51
Çizelge 3.5 : Yollama kurallarının Tukey testi sonuçları.	55
Çizelge 3.6 : Tukey testine göre en iyi sonuç veren kurallar.	60
Çizelge 3.7 : Deney parametrelerinin performans ölçütlerine etkisi.	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Fiziksel sistemle benzetimin arayüzü (Harmonosky, 1995).....	11
Şekil 2.1 : Tezgah ve iş temelli Gantt grafikleri (Brucker, 2007).....	27
Şekil 2.2 : İmalat sistemindeki bilgi akış diagramı (Pinedo, 2012).	28
Şekil 2.3 : Üretim planlamanın temel işlevleri (Baskak, 2011).	29
Şekil 2.4 : Esnek akış tipi atölye (Pinedo, 2005).	30
Şekil 2.5 : Sipariş tipi atölye (Pinedo, 2005).	30
Şekil 2.6 : Açık atölye için fizibil çizelge (Brucker ve Knust, 2012).	31
Şekil 2.7 : Çizelge ve makine ortamı ilişkisi (T'kindt ve Billaut, 2006).	31
Şekil 2.8 : Çizelge hiyerarşisi (Büyükköprü, 2005).	32
Şekil 3.1 : Tekstil üretim sürecindeki ana aşamalar (Greasley, 2008).	43
Şekil 3.2 : CRSPT kalış süresinin hareketli ortalama grafiği.	46
Şekil 3.3 : COVERT kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.	47
Şekil 3.4 : RR kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.	47
Şekil 3.5 : FIFO kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.	48
Şekil 3.6 : PT+WINQ kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.	48
Şekil 3.7 : %TJ performans ölçütü ve 8,2 deney parametresi için Anova testi sonucu.	52
Şekil 3.8 : %TJ performans ölçütü ve 8,2 deney parametresi için Tukey testi sonucu.	52
Şekil 3.9 : AT-RPT kuralının diğer kurallarla ikili karşılaştırması.	54
Şekil 3.10 : Deney parametrelerinin etki analizi.	60
Şekil 3.11 : Deney parametrelerinin FIFO kuralı performansına etki grafiği.	61
Şekil 3.12 : FIFO kuralı için deney parametreleri arasındaki ilişki.	62
Şekil F.1 : Ana aşamanın modellenmesi.	94
Şekil F.2 : Örme atölyesinin modellenmesi.	95
Şekil F.3 : Hazırlık atölyesinin modellenmesi.	96
Şekil F.4 : Boya atölyesinin modellenmesi.	98
Şekil F.5 : Bitiş atölyesinin modellenmesi.	99

HİPOTETİK BİR TEKSTİL ATÖLYESİNİN DİNAMİK ÇİZELGELENMESİNDE YOLLAMA KURALLARININ BENZETİM TEKNİĞİYLE ANALİZİ

ÖZET

Dinamik ve rassal gelişlere sahip olan atölyelerde statik çizelge metotları işe yaramamaktadır. Bu yüzden dinamik çizelgeleme yaklaşımı kullanmak gerekir. Dinamik çizelgelemede kontrol sistemlerine dayanan ve duruma göre sisteme müdahale edip yeniden çizelgeleme yapan çeşitli yaklaşımlar söz konusudur. Bu yaklaşımlar da genelde uzman sistemlere dayanır. Fakat sürekli yeniden çizelgeleme yapmak zor olduğundan böyle atölyelerde yollama kurallarının uygulanması daha uygundur. İlgili yollama kurallarının uygulanmasında da benzetim yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu sebeple literatürden belli alt atölyelerde paralel tezgahlar ve hazırlık süresi gerektiren boya proseslerini içeren tekstil atölyesi seçilmiştir. Ancak sisteme gelen dinamik işler, sıra-bağımlılık ve esnek makineler dikkate alınarak atölye sistemi biraz değiştirilmiş, yollama kuralları bu hipotetik atölyede benzetim tekniğiyle analiz edilmiştir. Uygulanacak kurallar için sistemin ortalama akış süresi, akış süresi varyansı gibi üretim sisteminin kalitesini ve performansını belirleyen, bunun yanında teslim gecikmesi süresi, teslim gecikmesi yüzdesi ve teslim gecikmesi varyansı ile de müşteri teslim performansını doğrudan ölçen performans ölçütleri ortaya konmuştur. Literatürde ilgili performans ölçütlerinde en iyi performans gösteren statik, dinamik ve yazarların geliştirdiği kompozit kurallar bunun yanında bu çalışmada önerilen altı kural da olmak üzere toplam 17 kural benzetimle denenmek üzere seçilmiştir. Atölye yüklemesini ayarlayan gelişler arası süre ve işlerin teslim gününü belirleyen teslim günü sıklık katsayısı gibi iki deney parametresi, yollama kurallarının çeşitli şartlarda analizi için tespit edilmiştir. Her deney parametresi iki farklı durum içerdiğinden ve her yollama kuralı on benzetim koşuluna tabi tutulduğundan her yollama kuralı için (10x2x2) 40, toplamda (40x17) 680 benzetim koşumu yapılmıştır. Her bir performans ölçütüne göre yollama kurallarının hangi deney parametreleri kombinasyonunda iyi sonuç verdiği tek yönlü varyans analizi ve ikili istatistiksel karşılaştırmalarla analiz edilmiştir. Çalışmada önerilen kurallardan olan WINQRPT, deney parametrelerinin ikili kombinasyonlarıyla yapılan koşumlardan elde edilen ve yukarıda tanımlanan beş performans ölçütünün istatistiksel sonuçları dikkate alındığında, literatürdeki COVERT kuralıyla birlikte en iyi sınıfta yer almıştır. Böylece literatüre önemli bir yollama kuralı kazandırılmıştır. Ayrıca önerilen birbirlerine benzer kural performanslarının istatistiksel olarak birbirlerinden anlamlı derecede farklı olmadığı hatta türetildikleri kurallardan daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Son olarak deney parametrelerinin kendi aralarındaki ilişkinin ve parametrelerin yollama kuralları performansına etkileri çift yönlü varyans analiziyle incelenmiştir. Yollama kuralları arasındaki ilişki ve teslim günü sıklık etkisinin istisnalar dışında genelde teslim gecikmesi yüzdesi performans ölçütüyle sınırlı kaldığı, gelişler arası süre faktörünün yollama kuralları performansını etkileyen asıl faktör olduğu gözlenmiştir.

DYNAMIC SCHEDULING IN HYPOTHETIC TEXTILE SHOP FOR ANALYZING DISPATCHING RULES VIA SIMULATION TECHNIQUE

SUMMARY

Manufacturing firms have started to design their manufacturing system thanks to increasing competition which arises from globalization. However manufacturing becomes more complex than before via growth of product types. Static scheduling which depends on deterministic variables like integer programming and not take into account of shop status can no longer deal with problems. Thus, dynamic scheduling has gained an importance to succeed in ascending complexity in manufacturing and deal with issues like continuous order arrivals, process delays and machine breakdowns.

There are two ways to do dynamic scheduling. Rescheduling is the first way that not only includes shop status, shop objectives and dynamic shop information but also affected from internal changes such as machine breakdowns and external changes like urgent orders. Second way is to use dispatching rules. Dispatching rules are used to determine which job is to be done next in a machine buffer. Dispatching rules are preferred on account of easy execution, short computation and no need of rescheduling while reacting random events.

Dynamic scheduling problems are able to be solved in different approaches. Various approaches are combined in literature studies but classification is made with regard to major approaches. Four approaches are encountered during literature survey: Heuristic methods, agent based systems, mathematical modelling and simulation. Heuristics propose alternative approaches. Agent based systems are composed of generic shop which includes combination of different units that communicates with each other. Mathematical modelling is developed to find a solution to different kind of objective functions. Simulation, which is a last method for dynamic scheduling, is the most used methodology due to execution of different scenerios and inclination to dynamic modelling. Complex events can be modelled easily thanks to this method. Simulation method is examined in two topics according to usage areas. First one is expert scheduling system which reacts to changes in the system and takes dynamic scheduling as a root. These systems can be called production control system that grounds on simulation. Examination of static, dynamic and composite dispatching rules under different conditions and scenerios is second and base thing for simulation technique. There have been numerous studies about this topic and several rules have been found as a result of many works. In addition to this, simulation with sequence-dependant setup is also a critical issue that is worked in the literature.

In this study, various dispatching rules are selected to be experimented due to the fact that hypothetical textile shop required to be experimented according to different kinds of performance measures and dispatching rules are the easiest and widely-used way to do it. Static, dynamic and composite rules are investigated for under which performance measures they perform well. During selection of dispatching rules for application most notable performance measures, results of dispatching rules with regard to these measures and hypothetical shop framework in which rules are going to be applied are taken into consideration. Besides, six dispatching rules are developed in this study that derivation method of rules are similar to counterparts in the literature survey. Experimental factors are sought for throughout the literature to try these dispatching rules in different conditions. As a result of research, frequent and rare interarrival times are given to arrange shop load. In addition to this, due date tightness coefficient, which is composed of tight and loose variables, is suggested to regulate internal due dates according to TWK rule in order to test due date based performance measures. The textile shop is taken from literature survey to make a trial with these factors. This textile shop consists of four sub-shops and applies multi-stage manufacturing system. Sub-shops have parallel machines and dye processes that requires setup. Nevertheless, the textile shop is changed slightly with regard to dynamic arrivals, sequence-dependant setup, lot sizes, order numbers and flexible machines. Performance measures such as mean flow time, percent tardy of jobs, mean tardiness, tardiness variance and flow time variance which both measure customer delivery performance and determine quality of production system for process performance is introduced to assess a performance of dispatching rules under various experimental factors. Simulation is selected to make an experiment with these dispatching rules on account of widely used technique according to literature survey.

Simulations can not be done without assumptions and determining warm-up periods. Some assumptions are made according to system which is experimented. In order to specify warm-up period, plots are drawn for each dispatching rule and a warm-up period is specified according to max warm-up period time of dispatching rules related to flow time performance measure. 17 different simulation model is build to test each dispatching rules. Each experiment parameter has two variation and each dispatching rule undergoes ten simulation run so that for each dispatching rule $(10 \times 2 \times 2) = 40$ and in total $(40 \times 17) = 680$ simulation runs are done via ARENA 11.0. One way variance tests and Tukey pairwise comparison tests are done through Minitab 16.0 to find out which dispatching rules perform well under experimental factors in combination with each performance measure. Dispatching rules are grouped according to the number of getting location in top statistical classes which are comprised of combination of five performance measures and four experimental factors that equal to $(5 \times 4) = 20$ Tukey test results. When results of this clustering are taken into consideration WINQRPT rule which is one of the proposed rules in this study is located in top class with COVERT. Hence, an important dispatching rule is introduced to literature. Other dispatching rules are splitted into four groups due to how much they are located in the top statistical classes. Furthermore, similar rules which are derived from developed rules show no significantly difference from each other and their performance are lower than rules which are derived from.

Finally, it is known that each experimental factor may have different effects on performance of dispatching rules. Apart from that, there may be some relations between two experimental factors. In order to test whether there is a relation or not, relationship between them and impacts of these factors on dispatching rules are examined through two way variance test in Minitab. These tests are executed considering all combinations of experimental factors in which dispatching rules perform under each performance measure. As a result, although relationship between experimental factors influences performance of most of dispatching rules under percent tardy of jobs and other few rules under other performance measures, it is observed that interarrival times is the main factor that has impact on performance of dispatching rules. On the other hand, due date tightness coefficient plays no efficient role in affecting performance of dispatching rules.

1. GİRİŞ

1990 ve öncesinde genel olarak müşteri–firma ilişkisinde fiyatlar daha çok firmaların isteklerine göre belirleniyordu. Bunun yanında genelde rekabet de az olduğundan seri üretim mantığı gelişmişti. Fakat 90’lardan itibaren artan rekabet müşteri isteklerini daha ön plana çıkardı. Müşteriler artık farklı tipte ürüne daha kısa sürede ihtiyaç duyuyordu. Böylece *Sipariş Tipi İmalat Sistemi* ortaya çıktı. Üretim firmaları artık kendilerini ve imalat sistemlerini müşteri isteklerine göre dizayn etmeye başladılar. Fakat ürün tipi sayısının artması ve esnek makinelerin ortaya çıkmasıyla imalat daha da karmaşıklaştı. Böylece hem müşteriye memnun etmek hem de üretim sistemlerini iyileştirip çıktı sayısı arttırmak için müşteri bazlı ve temin süresi bazlı performans ölçütleri ön plana çıktı. Bu performans ölçütlerinde başarıya ulaşabilmek için çizelgeleme önem kazandı. Ürün çeşidinin ve taleplerin fazlaştığı bu ortamda sürekli gelen siparişlere göre çizelgeleme yapmak zorunluluğu ortaya çıktı. Böylece değişen koşullara göre üretim yapabilmek için dinamik çizelgeleme zorunlu hale geldi.

Dinamik çizelgenin çıkış noktası olarak ele alındığı bu çalışmada hipotetik bir ortamda, farklı deney koşullarında, literatürde ve bu çalışmada geliştirilen yollama kurallarının performansı her bir performans ölçütü için benzetimle bulunup istatistiksel yöntemlerle değerlendirilecektir. Böylece etkin yollama kuralları elde bulunacaktır.

Tezin ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 1’de genel olarak literatür araştırmasına değinilecek ve neden dinamik çizelgelemede yollama kurallarıyla benzetim analizine girdiğimiz anlatılacaktır. Bölüm 2’de çizelgeleme kavramının ayrıntılı bir incelemesi yapılacaktır. Bölüm 3’te yollama kurallarının benzetimle modellenmesi anlatılacak ve elde edilen sonuçlar istatistiksel bulgular göz önüne alınarak değerlendirilecektir. Son bölümdeyse tezin literatüre katkısı ve gelecek çalışmalar için birtakım öneriler sunulacaktır.

1.1 Amaç

Bu çalışmanın hedefi, literatürde farklı çalışmalarda fayda gösteren kuralların yanına çalışma esnasında geliştirilen yollama kurallarını da katarak sanal sipariş tipi tekstil atölyesinde, farklı deney parametrelerini göz önüne alarak belli başlı performans ölçütlerinde en iyi sonucu elde etmek için ilgili yollama kurallarını benzetim yardımıyla deneyip, önerilen kuralların en etkin sonucu sağladığını ya da en etkin yollama kuralları arasına girdiğini ispat etmektir. Ayrıca tezdeki diğer ulaşılmak istenen nokta da deney faktörlerinin yollama kuralları performans değerlerini ne derecede etkiledikleridir.

1.2 Literatür Araştırması

Günümüzde imalat sistemleri tam sayılı programlama veya statik yollama kuralları kullanılarak statik şekilde çizelgelenir fakat bu çizelgeleme gerçek hayatta sipariş gelişi, süreç erteleme, makine bozulmaları gibi sorunları dikkate almadığından çaresiz kalır. Uygulanması kolay ve verimli olduğundan dinamik çizelgeleme yaklaşımı geliştirilmiştir (Xiang ve Lee, 2008). Gerçek zamanlı çizelgeleme yani *dinamik çizelgeleme* iki kavram içerir: Online ve offline çizelge. *Offline çizelge* bütün işlerin çizelge periyodunun tamamı için uygun olduğu varsayımına, *online çizelge* ise gereken zamanda çizelgelemeye dayanır. Offline metodlar kullanıldığında çizelgeleme süreci çizelgeleme ve yeniden çizelgelemeye döner fakat online yaklaşımda işlerin gelişi, iş bitimi gibi etkiler sonucunda yapılır (Sabuncuoğlu ve Hommertzheim, 1992).

Dinamik çizelgeleme yapılırken genelde iki durum söz konusudur: Yollama veya yeniden çizelgeleme. Yeniden çizelgeleme; atölye durumu, atölye amaçları ve dinamik atölye bilgisini içeren hedefe yönelik bir stratejidir. Atölyedeki değişikliklerle tetiklenir (Kunnathur ve diğ., 2004). Bu değişiklikler içsel yani çalıştırmaya dayalı bozulmalardır. Makine durması, içsel bozulmalara örnek olarak gösterilebilir. Dışsal bozulmalar ise acil işler gibi yeni işin sisteme girdiği durumlardır. Çizelgeyi yapan kişi yeni çizelgeyi yaparken ilk çizelgeden mümkün olduğunca sapmadan çok sayıda amacı gerçekleştirmeye çalışır (Pfeiffer, 2007). Yeniden çizelgeleme gerçek zaman olaylarına ne zaman ve nasıl tepki verileceğine göre ikiye ayrılır. Periyodik, olay temelli ve hibrit çizelgeleme zamana bağlı; çizelge

tamiri veya bütünsel çizelgeleme de çizelgenin verdiği tepki kısmına girer (Büyükköprü, 2005).

Yollama kuralları ise uygulanması kolay, hesaplama süresi kısa ve dinamik ortamda yeniden çizelgelemeye gerek kalmadan rassal olaylara tepki verebildiğinden dolayı tercih edilir. Fakat çalışma performansı sistem durumuna, iş özelliğine ve performans ölçütüne bağlı olduğundan bir yollama kuralı değişen sistem koşullarında diğer yollama kurallarına baskın gelemeyebilir. Bu yüzden bütün çizelge ufku boyunca kullanımı istenmeyen sonuçlara sebep olabilir (Donghai, 2008). Bu tip durumları önlemek için performans değeri, şimdiki sistem durumu gibi değişkenleri dikkate alarak yeni gelen işlerin oluşturduğu karar noktasında aday kuralları deneyip en iyi yollama kuralını bulan ve bunu bir dahaki iş gelinceye kadar uygulayan çoklu-geçiş kuralları kullanılır (Kutanoglu ve Sabuncuoğlu, 2001). Bu yöntemle çizelgeleme ufku küçük çizelge periyotlarına bölünür. Böylece her bir yollama kuralından uygun aşamalarda yararlanılır. Yöntem, sistem durum değişikliklerini de dikkate aldığından yeniden çizelgelemeyle yollama kurallarının karması şeklinde de düşünülebilir. Fakat bu yöntemin uygun yollama kuralı seçiminde fazladan hesaplama yükü, fazla değişkenlik içeren dinamik sistemlerde benzetim sonuçlarının güvenilirliğinin kaybolması ve bitmemiş işlerden kaynaklanan yanlış yollama kuralı seçimi gibi dezavantajları vardır (Donghai, 2008).

Dinamik çizelgeleme problemleri çeşitli yaklaşımlarla çözülebilir. Makalelerin çoğunda birden fazla yöntem birleştirilerek verilmiştir. Fakat sınıflandırma genel olarak makalede ağırlıklı olarak geçen yaklaşıma göre yapılmıştır.

1.2.1 Sezgisel yaklaşımlar

Sezgisel yaklaşımdaki ilk makalede Ying ve Cheng (2010) dinamik iş gelişlerinde sıra-bağımlı hazırlık süreleri altında özdeş paralel makine çizelgeleme problemini incelemiştir. Amaç, işlerin maksimum gecikmesini en küçükmektir. Bahsedilen amaca ulaşmak için çalışmada *yinelemeli aç gözlü sezgiseli* kullanılmıştır. Bu sezgiselde bir ilk çözümden başlanıp, buradan birtakım sonuçların elemine edilip tekrardan iyi bir sonuca ulaştığı bir inşa sürecinden sonra kabul etme kriterinde olayın kabul edilip edilmemesine bağlı olarak bir *kabul kriteri* neticesinde belli bir kritere kadar algoritma devam eder ve en iyi çözüme ulaşır.

Kunnathur ve diğ. (2004) dinamik bir çerçevede benzetim temelli ve yapay zekaya dayanan kural temelli yeniden çizelgeleme esasıyla akış süresi, ortalama gecikme ve geciken işlerin yüzdesi gibi performans ölçütlerini azaltmayı esas almıştır. Uzman sisteme göre iş makineden ayrılır ayrılmaz diğer işin nasıl ele alınacağına *Kural-temelli yeniden çizelgeleme yapısı* karar verir. Yapı tek-geçişli sezgisellere dayanır. *Yeniden çizelgeleme sezgiselinde* ortalama tahmin edilen akış süresiyle gerçekleşen arasındaki fark yeniden çizelgelemeyi tetikler. Çalışmadaki nihai sonuca göre akış süresini en küçükleme gecikmeye göre daha ağır basmıştır.

Zandieh ve Gholami (2009) esnek sipariş tipi atölye sistemlerinde rassal makine bozulmaları altında dinamik çizelgelemeye benzetim ve genetik algoritmanın birleştirilmesiyle çözüm aramaktadır. Yapılan çalışmada *olay bazlı politika* sayesinde yeniden çizelgeleme ile sistemdeki değişikliklere anında cevap verilerek ve makine bozulmalarına göre kalan operasyon çizelgesini zamanda ileri atan *sağa kaydırma* yaklaşımını kullanan simulator, tahmini yayılma süresini ve ortalama gecikmeyi hesaplar. Sonuç olarak yayılma süresini azaltmanın istenilen sonuca etkisinin daha fazla olacağı bulunmuştur.

Julien ve diğ. (1997) tek-makine dinamik çizelgeleme problemi için işe başlama sürelerini, hazırlık süresi ve işteki bazı gecikmeler dolayısıyla tekrarlanması gereken iş kesme yaklaşımı için yollama kurallarına atıfta bulunmuştur. Bu kurallar toplam akış süresi ve maksimum gecikmenin en küçüklendiği iki klasik probleme uygulanmaktadır. İş kesmeden kaynaklanan ertelemeleri çözmek için on-line optimallik de kullanılarak iş kesme-hazırlık durumundan iş kesme-devam modu ve iş kesme-başlangıç kavramlarından da iş kesme – tekrar modları ve bunlardan hareketle geliştirilen sezgiseller, önceliği önemsemeyen statik problemler için hazırlanmıştır. Bu sezgisel toplam akış süresi ve maksimum gecikme amaçlarını azaltmak için denenmiş ve eksik yanları görülmüştür.

Üretimde yüksek kalitenin yanı sıra beklenmeyen olaylara yanıt verme de önem kazanmaya başlamış, böylece sanal üretim sistemleri ortaya çıkmıştır. Li ve Jiang (2007) olay temelli, kendine uyarlanan mekanizması ve algoritmasıyla birlikte sanal sistemler için bir metot oluşturmuştur. Metodda, iç ve istenmeyen rahatsızlıkların tespit edilmesinden sonra yerel bazda kendine-uyarlanan kuralların ne zaman ve nasıl olacağı tespit edilmiştir. Bu metoda dayanan sezgisel, literatürdeki çoklu-ögeyi

temel alan bütünsel çizelgeleme yöntemiyle karşılaştırıldığında kaynak kullanım oranı, maliyet ve kararlılık ekseninde daha üstün gelmiştir.

1.2.2 Vekil yaklaşımları

Xiang ve Lee (2008) makalesinde vekil temelli çözüm düşünülmüştür. Önerilen generic shop yapısıyla birimlerin bir araya geldiği çoklu-vekil yapısı oluşturulmaktadır. Generic sistem birden fazla iş tipinin olduğu ve her makinenin çok amaçlı ve birkaç imalat operasyonu yapabildiği fakat bir tipten diğerine değişen hazırlık sürelerini içeren bir sistemdir. Makalede sipariş, iş, makine ve iş merkezi vekilleri vardır ve bunlar koordineli bir şekilde çalışırlar. Makine vekili ve iş vekili baz alınarak karınca kolonisi algoritması geliştirilir. Bu algoritma FIFO kuralıyla gerçek hayattaki makine bozulmaları da dikkate alınarak benzetim yoluyla karşılaştırılır. Sonuç olarak algoritmanın iş sırası ve makine kullanımını dengeleyecek şekilde genel performansta bir artış sağladığı bunun yanında değişken koşullara uyumu kolaylaştırdığı görülmüştür.

Ouelhadj ve diğ (2004)'ın makalesi, metal üretiminde sürekli döküm ve sıcak şerit haddesinin dinamik çizelgeleme ile entegre bir şekilde optimize edilmesi için vekiller arası protokol içermektedir. Yerel olarak çalışan iki vekil, bahsedilen protokol sayesinde koordine bir şekilde hareket ederek yerel çizelgeye göre daha iyi performans gösterir. Bunun yanında gerçek zaman şartlarıyla baş edebilmek için yeniden çizelgelemenin yanında 3 performans kriterini (fayda, sağlamlık, denge) kullanarak oluşturulan ve iyi bir tahmini-tepkisel çizelge için ihtiyaç duyulan stratejiler denenmiştir. Sonuçlara bakıldığında tabu aramayı kullanan stratejiler en iyi başlangıç noktasına sahip olduğundan ötürü gerçek zaman olaylarına daha sağlam çizelgelerle yanıt vermiştir. Bu durum da yerel çizelgelemeden daha verimli bir sonuç ortaya çıkarmıştır.

Petrol endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada ele alınan sistemde birçok kısıt ve amaç olduğundan sistemde kendi kararını kendisi verebilen, yerel derecede yetkili ve kendi akranlarıyla iletişim kurabilen sistem öğelerine dayalı çoklu-vekil seçimi kurulmuştur. Bu öğelerin değişen çevreye uyumunu sağlayabilmek ve tecrübe ile öğrenmeleri desteklemek için Takviye Öğrenme Yaklaşımı ele alınmıştır. İlgili yaklaşımı temel alan model belli bir performans ölçütüne göre deneye tabi

tutulduğunda, sistemin üretim hızını düşürmeden sürekli iyileştirmeyi öğrenebildiğine sonucuna varılmıştır (Aissani ve diğ, 2009).

Yapılan Sun ve Xue (2001) çalışmasında müşteriden kaynaklanan sipariş iptali ya da herhangi bir acil durum siparişinin yol açtığı üretim sipariş değişiklikleri, makine bozulmaları, işçi hastalıkları gibi imalat durum değişikliğine yanıt verecek olan bir akıllı üretim çizelgeleme sistemi tasarlanmıştır. Sistem içinde müşteri siparişleri ya da imalat koşullarından dolayı oluşan değişiklikler için dinamik reaktif çizelgeleme algoritması düzenlenirken normal çizelgenin değişiminden kaynaklanan olumsuzlukların azaltılması ve kalitenin belli bir seviye üstünde kalması amaçlanmış ve sonuç olarak siparişlerin yüksek oranda değişikliklere ayak uydurduğu ve verimli olduğu ispatlanmıştır.

1.2.3 Matematiksel model yaklaşımı

Jiang ve diğ. (2008) silah üretiminde paralel makineler ve grup dağıtımlarını ele almıştır. Üretimdeki limitli kaynaklardan dolayı bir matematiksel model yaklaşımı uygun bulunmuştur. Atölyedeki paralel makineleri çizelgelemek, üretimdeki değişen (kapasite, makine) koşullarına uyum sağlamak ve toplam maliyeti en küçükmek amacıyla matematiksel program temelli bir *Dinamik Çizelge Modeli* kurulmuştur. Model performans açısından FCFS (first-come-first-served) tekniğiyle karşılaştırılmış ve bu tekniğe göre daha esnek ve üretim maliyetlerini düşürmede daha etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Masin ve diğ. (2007) makalesinde ele alınan problem genel dinamik üretim-montaj ağıdır. Problem çoklu kaynak (makine ve insan), atölye veya akış tipi, paralel makineler, sisteme dinamik gelişler ve farklı amaç fonksiyonlarıyla ilgilidir. Kaynak kullanımı ve iş birleştirmeden dolayı Açık arttırma yaklaşımı uygulanmaktadır. Yaklaşımına göre işler teklif verici, makineler arttırıcı olarak ayrılırlar. Makineler karlarını büyötmek için kendini ayarlar ve işler de ayarlanmış yerlerde WIP (Stok içi proses) ve teslim günü maliyetlerini azaltmak için çaba sarfederler. Dinamik çevrede, makineler uygun duruma geldiğinde veya yeni bir iş gelirse arttırma tetiklenir. En az tamamlama süresine sahip iş seçilip makine ve sürece atanır. Başka bir makine boşa çıktığında gene bu süreç yinelenir. DPAS (Distributed Production-Assembly Scheduling) bu yapıyı esas alır ve toplam en az maliyetli çizelgeyi bulmayı amaçlar. Bu algoritma en çok kullanılan yollama kuralları ve IBM solverın ürettiği çizelgeyle

karşılaştırıldığında etkinlik bazında, daha fazla makine-iş ve atölye gibi karmaşık ortamlarda amaç fonksiyonlarında ciddi iyileştirmelere yol açmıştır.

1.2.4 Benzetim yaklaşımı

Benzetim yaklaşımı farklı senaryolara kolayca uygulanabildiğinden ve dinamik ortamda modellemeye yatkın olduğundan en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem sayesinde karmaşık olaylar kolayca modellenebilir. Tezde benzetim tekniği, kullanım alanlarına göre iki başlık halinde inlenmektedir. Bunlardan ilki, daha önce dinamik çizelge mantığında da bahsedildiği gibi sistemdeki değişen durumlara göre tepki veren ve dinamik çizelgelemeyi esas alan uzman çizelge sistemleridir. İkincisi ise statik, dinamik veya kompozit yollama kurallarını çeşitli koşullar ve senaryolar altında inceleyen benzetim yaklaşımıdır.

1.2.4.1 Uzman çizelge sistemleri

Kutanoglu ve Sabuncuoglu (2001)'nin ortaya koyduğu çalışma, dinamik ve stokastik ortamlarda imalat sistemi için tekrarlayan benzetim temelli çizelgeleme kurallarını ele alır. Bunu yaparken ilk olarak dinamik ve stokastik çevrede benzetim periyodu ve çizelgeleme ufkunun da içinde bulunduğu çeşitli parametrelere göre yollama kurallarını seçer. Makalede çeşitli iddialar sıralanmıştır. Bunlardan ilki olan benzetim periyodu ve çizelgeleme ufkı arasında güçlü bir ilişki olduğuna ilişkin kanı doğrulanmıştır. İkinci durumda yani benzetim temelli mekanizmanın kısa çizelge periyotları belirlemede kullanıldığında politikaların güncellenmesine ihtiyaç olmadığı anlayışı anında tepki veren algoritmalar sayesinde desteklenmiştir. Son yaklaşım olan en iyi tekli-geçiş yollama kuralının benzetim temelli *temin süresi yineleme algoritmasına* üstün geldiği düşüncesi, değişken ve stokastik bir ortamda bu algoritmanın etkisini kaybetmesiyle kanıtlanmıştır.

Cowling ve Johansson (2002)'in beraber yaptığı çalışmada gerçek zamanlı olaylarda sistemden gelen bilginin geldiği ana göre gerekli çizelge stratejisini seçecek bir çerçeve geliştirilmiştir. Dinamik olaylara nasıl tepki verileceği kararı alınırken gözden geçirilmiş çizelgenin yanı sıra gözden geçirme neticesinde oluşan bozulmalar da düşünülmelidir. Fayda ve dengelilik ölçüleri uygulanacak eylem noktasında yardımcı olur. *Fayda, belirli yeniden çizelgeleme stratejisini takip ettiğimizde elde edeceğimiz kazancı ölçer.* Gelen gerçek zamanlı olaya bağlı olarak orijinal (hareketsiz kalma) stratejiyle, gerçek zamana gelen cevaptan sonraki geliştirilen

strateji sonrasındaki tamamlanma süreleri farkına göre fayda ortaya çıkar. Dinamik çizelgeleme sistemlerindeki beklenmeyen olayların yarattığı bozulmadan ötürü *dengeliklik* ölçüsü konur. Keza denge de orijinal ve gözden geçirilen çizelge arasındaki başlangıç ve bitiş zamanları değişimi gözetilerek belirlenir. Makalede fayda ve dengeye farklı ağırlıklar verilerek benzetimle çeşitli stratejiler sistemin dört farklı tepkisini belirlemek için denenmiştir. Bu fikirler gerçek zamanlı ve bilgisayar kontrollü ortamlarda devamlı metal dökümünde kullanıldığında genelde bahsedilen dört stratejiden tamir veya yeniden çizelgelemeye dayanan stratejiler uygulandığı görülmüştür.

Pfeiffer ve diğ (2007) sistemde online çizelgeden farklı bir yaklaşım olan *kestirimci-reaktif çizelge tekniği* kullanılmıştır. Bu çizelge statik bir problemi düşünür ve mevcut çizelgeyi değişen koşullara uymak için sürekli günceller. Geliştirilen yapı imalat sistemiyle koordine çalışır. Tek makinede *periyodik çizelge* işlenmiş ve yeniden çizelge aralığı arttıkça dengenin arttığı fakat çizelge etkinliğinin azaldığı yani akış süresinin devamlı arttığı görülmüştür. *Denge* yeniden çizelge sonucunda farklılaşan iş sırasının mümkün olduğunca az olmasıdır. Birden fazla makinede ise düşük çizelge eşiğinin sistem performansını iyileştirirken dengeliliği düşürdüğü gözlemlenmiştir. Makine bozulması durumunda bozulma çıkış zamanına göre izlenen strateji değişir. Sonuçta istenen etkinlik derecesine göre çizelge eşiği seçilebilir. Önerilen modeli endüstriyel bazda denemek için bir atölyede vaka çalışması yapılmış ve sonuç olarak kayıp operatörün ciddi bir negatif etkiye neden olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışan deneyiminin performans ölçütlerine olumlu yansıdığı gözlemi yapılmıştır.

Sabuncuoglu ve Hommertzheim (1992) çalışmasında, makineler ve otomatik materyal taşıma araçlarının oluşturduğu esnek imalat sistemlerinde kuyruk durumu göz önüne alınarak sistemdeki değişikliklere göre kendini düzenleyen on-line çizelge için yollama algoritması geliştirilmiştir. Performans ölçütleri olarak sistem tepkiselliği göstergesi olan *ortalama akış süresi* ve *ortalama gecikme* tanımlanmıştır. Geliştirilen algoritma SPT/LQS (shortest processing time/largest queue size) ve SPT/SDT (shortest processing time/shortest distance travelled) yollama kurallarıyla kıyaslanır. *Ortalama akış süresine* göre geliştirilen algoritma makine kullanımı arttıkça daha iyi sonuç vermiş bunun yanında kuyruk kapasitesi azaltıldığında diğer kurallara olan baskınlığı bariz bir şekilde görülmüştür. *Ortalama gecikmede* ise aynı

teslim günü sıklığında kuyruk kapasitesinin düştüğü veya atölye yükleme seviyeleri yükseldikçe algoritmanın diğerleriyle arasındaki performans farkının belirginleştiği gözlenmiştir.

Shnits ve Sinreich (2006) atölye durumu, üretim ihtiyaçları ve sistem önceliklerini göz önüne alarak atölyenin baskın operasyon kriterini seçen mekanizmayı işlemektedir. Mekanizmada iyi çizelge kuralı seçmenin yanında her çizelge kuralı performansına uygun karar kriteri seçimi de önemlidir. Bu yüzden bu çalışma esnek üretim sisteminde kontrolü sağlamak için çoklu kriter ve dinamik ortamla baş etmede her karar noktasında iki aşamalı kontrol şeması kullanır. Bu şemaya göre ilk olarak üretim emir ihtiyaçları, atölye durumu ve sistem önceliklerine göre baskın seçim kriterleri ve buna bağlı çizelgeleme ve performans kriterleri seçilir. İkinci aşamada ise en iyi çizelge kriteri seçilir ve Esnek Üretim Sistemi bunu gelecek periyotta iş emirlerinin sevkiyatı için kullanır. Şema tamamlandıktan sonra performans değerlendirmesi yapılır. Sonrasında önerilen metodoloji literatürdeki 10 tane çizelge kuralıyla, DEA (data envelopment analysis) kullanılarak dinamik üretim çevresindeki kabiliyetini ölçmek için karşılaştırıldığında, önerilen metodoloji iyi sonuç vermiştir. Ayrıca bu metodoloji tek kriteri kullanan adapte olabilen mekanizmasıyla karşılaştırıldığında, gerekli performans kriterinin seçiminde metodolojinin daha dengeli davrandığı görülmüştür.

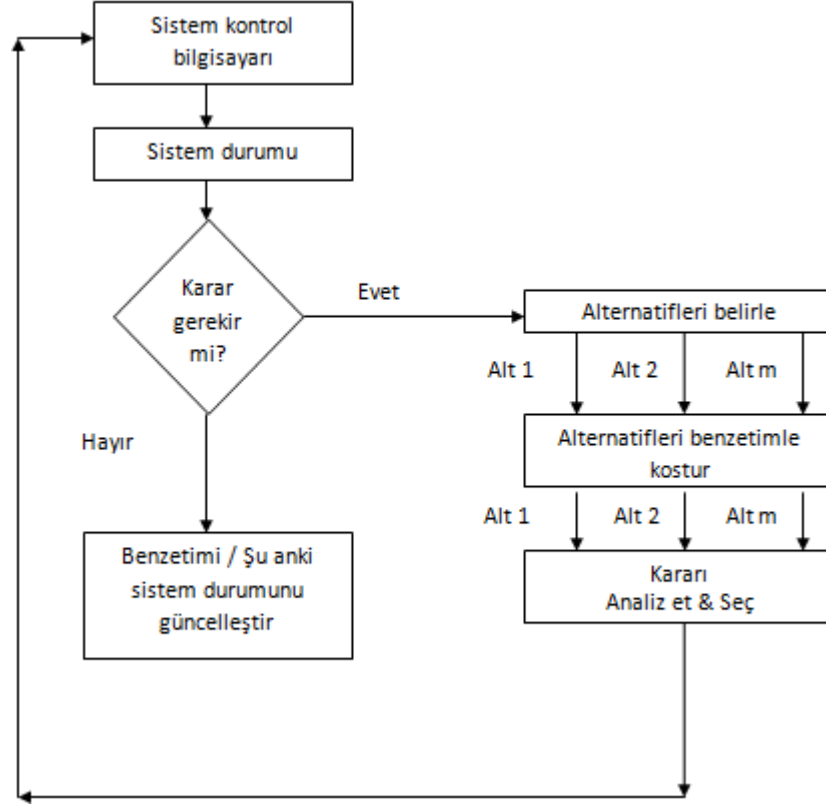
Ishii ve Muraki (1997) makalesinde geniş yelpazedeki bilinmezliklerle baş edebilmek için dışsal çizelgeleme algoritmaları kullanılarak generic on-line çizelgeleme ve kontrol çerçevesi tanımlanmıştır. Çerçevede, değişen koşullara karşı uygun çizelge modifiye seviyesinde çalışan ve uygun çizelge aralıklarında uygulanan algoritmaları belirten temel yapılar ortaya konmuştur. Bu yapı her yığın işlemi ve çizelgeleme koşulunda adapte edilebilir. Getirilen yaklaşım sayesinde sistem geliştirme süresi azalır. Ek olarak sistemin değerlendirmesi dışsal çizelgeleme algoritmalarının güncellenmesiyle mümkündür. Makalenin ana kalbi bu generic yapıda geliştirilen ve FOSS (Framework for On-line Scheduling and control System) sistemidir. Üretim planlama bilgisi, çizelgeleme için ana veri ve on-line işleme verisine göre FOSS dışsal çizelge algoritmasını seçer ve kısa-dönemli çizelgeyi çizelgeleme periyodu boyunca performans kriterini optimize edebilmek için ya düzeltir ya da yeniden düzenler. FOSS yapısını denemek için farklı koşullar içeren dört tane senaryo verilmiştir. Bu senaryolar *toplam gecikme* performans ölçütü

alınarak üstte bahsedilen yapısal mekanizma tarafından uygulanır. Uygulama sonucunda her senaryoya özgü bir çizelge çıkarılmıştır. Burada dikkate alınması gereken sistemin en uygun stratejiyi seçmesi, bunun yanında yeniden çizelgelemeden kaçınarak süreden tasarruf etmesidir. Sonuç olarak FOSS'un değişkenliklere uyum gösterdiği kanıtlanmıştır.

Sun ve diğ (2004) çalışmalarında değişik bir yaklaşım sunmuşlardır. Literatürdeki bazı kalıpsal matematiksel modelleme ve yollama kurallarının aksine *Yinelemeli Öğrenen Çizelge* adı verilen mekanizma tanımlanmıştır. İlk adım olarak atölye yöneticilerinin ilgisi ve hayati derecede önemli performans ölçütü baz alınarak bir amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. İkinci adımda ise çizelge kuralı etkin kontrolden yoksun olduğundan, kontrol önlemini sağlamak ve global bilgiyi de kullanmak ve böylece performansları optimize etmek için iş ve makine parametresi gibi ayarlanabilir parametreler eklenmiştir. Önceki benzetim periyodundan elde edilen global performansa göre gelecek çizelge periyodunda çizelge amaç fonksiyonunu en küçükleme için parametreler güncellenir. Deney çalışması için üç yollama kuralı verilip bunlara dayanarak ve ayarlanan parametrelerin de yardımıyla kombine bir değer ortaya konur ve çizelge bu değere göre yapılır. Yinelene çizelge her bir yollama kuralı sonuçları karşılaştırıldığında, makine kullanımı haricinde teslim gecikmesi amacı alanında çok iyi performans verdiğinden yollama kurallarına üstün geldiği sonucuna varılmıştır.

Bu konuda yapılan çalışmaları Harmonosky (1995) derlemiştir. İstisnai veya sürekli olarak karar verildiğinde sistem durumuna dair veriler ilk benzetim koşullarını günceller. Karar alternatifleri varsa, her biri simule edilir ve en iyisi seçilir veya benzetim gelecek problemleri tahmin etmek için yürütülür. Durumun özeti Şekil 1.1'de görülebilir. Çizelge kavramlarıyla ilgili yapılan incelemede çeşitli çizelge türleri ele alınmıştır. Türlerden ilki olan *Sürekli gerçek zaman çizelgelemede, hangi görevin çizelgeleneneğiyle ilgili durumlarda, fiziksel sistemde zaman olarak ilerlerken karar verilir. Yerel çizelgeleme, görev üretme ve karar aracı gibi kavramlar bu sisteme girer. İstisnai gerçek zamanlı çizelgeleme ise gerçek zamanlı çizelge kararı, makine bozulması veya parça eksikliği gibi durumlarda verilir.* Ele alınan diğer kavramlara bakarsak periyodik görüntüleme ve ileriye bakma (look-ahead) gibi kavramlar da göze çarpar. Periyodik görüntülemede orta aralıktaki görüntüleme, periyot uzunlukları ve toleransları, ortalama akış süresi ve ortalama

gecikmeyi geliştirmede istatistiksel olarak en iyi etkiye sahiptir. İleriye bakme penceresi (ing: Look-ahead window) uzunluğu ise gerçek zaman karar noktasında farklı alternatifleri değerlendiren benzetimin potansiyel gerçek–zamanlı uygulamasına doğrudan etki eder.



şekil 1.1 : Fiziksel sistemle benzetimin arayüzü (Harmonosky, 1995).

1.2.4.2 Yollama kuralları

Yollama kuralları makine tamponunda servis bekleyen işlerden sırada hangisinin işleneceğine karar vermek için kullanılan kurallardır. Makine boşaldığında makine kuyruğunda bekleyen işlerin önceliği yollama kuralı tarafından belirlenir ve en yüksek önceliğe sahip iş boş makinede işlenir. Sezgisel kurallardır. Tek geçişli öncelik kuralıdır yani kuralı uygulama kararı verildiğinde alternatif eylemler düşünülmez. Sistem temellidir ve genelde amaç ölçütü tarafından belirlenir (Donghai 2008, Büyükköprü, 2005).

Yollama kuralları çeşitli durumlara göre ikiye ayrılır. İlki dayandıkları bilgiye göre dir. *Yerel kural* işin beklediği kuyruğa veya işin kuyrukta olduğu makineye bağlıdır. *Global kural* ise rotadaki başka makinenin işlem süresi gibi diğer bilgileri de içerir. İkincisi ise zamana göre dir. *Statik kurallar* sadece makine veya işle ilgili

verilerin bir fonksiyonu olup zamandan bağımsızdır. *Dinamik kurallar* ise MS (Minimum Slack) gibi zamana bağlı kurallardır. Bu kural zamana bağlı olduğundan önceki bir zamanda kuraldan dolayı önceliğe sahip olan bir iş daha sonra diğer işle aynı öncelikte olabilir. Böylece kuralın duruma göre önceliği farklı bir işe verdiği sonucuna varabiliriz. *Kompozit kurallar* ise birkaç parametreyi göz önüne alarak daha karmaşık amaç fonksiyonlarına gönderme yapan, bazıları birkaç temel yollama kuralının birleşiminden oluşan daha detaylı yollama kuralıdır (Pinedo, 2012).

Buraya kadar yollama kurallarıyla ilgili genel bir giriş yapılmıştır. Sonraki aşamalarda literatürdeki çalışmalar incelenecektir.

Literatürde genelde teslim gecikmesi performans ölçütü olarak alınırken erkenlik önemsizdir. Fakat Jiang ve Cheng (1998) için erkenlik de teslim gecikmesi kadar önemlidir. Bu yüzden çalışmada yeni bir yaklaşım getirilerek *kaçırılmış teslim günü performansını* temsil etmek için mutlak ortalaması gecikme sapması ve mutlak gecikme sapmasının karesi gibi performans ölçütleri tanımlanmıştır. Bu ölçütleri en iyilemek ve dinamik atölye bilgilerini de akış süresiyle birleştirmek için DTWK (Dynamic Total Work Content) ve DPPW (Dynamic Processing Plus Waiting Time) metodları tanımlanmıştır. Teslim gününden bağımsız ve bağımlı kurallar denenmiştir. Sonuçlara bakıldığında, atölye yükü arttığı zaman değişkenliğin artmasından dolayı sistem dengesi bozulur. Bu durum ağır atölye yükünde sistem performansının kötüleşmesinden anlaşılabilir. Ayrıca teslim gününe bağlı kurallar bağımlı olmayanlara göre daha iyi sonuç vermiş ve dinamik teslim günü atama modellerinin statik karşıtlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm bunlar göz önüne alınırsa en iyi *kaçırılmış teslim günü* performansı, dinamik teslim-günü modeliyle uygun teslim günü temelli yollama kuralının birleşimi sayesinde elde edilir.

Vinod ve Sridharan R. (2011) teslim günü atama metodlarıyla çizelgeleme kurallarının ilişkisinin benzetim temelli deneysel çalışmasını tipik atölye tipi üretim sisteminde inceler. Üç tane içsel teslim günü (güncel iş trafiği seviyesi, imalat sistem kapasitesi ve iş içeriği) ve bir tane dışsal metodlarından (müşteri bazlı) ikisi Jiang ve Cheng (1998)'den alınan DPPW ve DTWK kurallarıdır. Analizlere göre çeşitli teslim günü ve çizelge kuralları iyi performans vermiş olsa da toplamda işlem süresi ve operasyon başına beklenen bekleme süresini baz alan DPPW ve dinamik teslim günü faktörüyle iş yapan DTWK gibi teslim günü ayarlama metodlarıyla SPT (Shortest

processing time) , CRSPT (Combination of critical ratio and shortest processing time) , PTWINQSL (processing time plus work in queue of next operation) ve SLRPT (Slack per remaining processing time and shortest processing time) yollama kurallarının kombinasyonu en iyi sonucu verir. Makalede ilgi çeken diğer nokta ise benzetim sonuçlarıyla metamodel denilen bir çoklu regresyon modeli kurularak gerçek sistem performansı tahmin edilmiş ve böylece ek benzetimlerin doğuracağı maliyetlerden kazanç sağlanmıştır.

Choi ve You (2006) makalesinde her işin bitiş günü olan ve çok seviyeli rota yapısına sahip *one-of-a-kind* üretimi pafta-kalıp fabrikasında uygulanmaktadır. Bu yapıda bitmiş, makineye yüklenmiş, yüklenmeye aday ve kalan operasyonlar bulunur. Kalan operasyonlar göz önüne alınarak çeşitli nümerik ölçüler belirlenmiştir ve bunlar temel alınarak yollama kuralları tanımlanmıştır. Gerekli benzetim deneyi atölyenin normal kuşulu %10 az ve %10 fazla yüklendiği durumlarda denenmiş, geciken işler ve gecikme performans ölçütü olarak ele alınmıştır. Sonuçta literatürden gelen LSD (Least significant difference) kuralı uygun olarak görülse de değişik ağırlıklar verilerek yapılan performans değerlerinde makalede tanımlanan Refined-LSD en iyi sonucu vermiştir.

Literatürdeki çoklu seviyedeki işlerin ele alındığı montaj atölye tipi yerlerde erkenlik, gecikme ve akış maliyetlerini göz önüne alan bir çalışma rastlanmamaktadır. Maliyet kapsamında çizelge kurallarını deneyen Thiagarajan ve Rajendran (2003) farklı yapısıyla göze çarpmaktadır. Performans ölçütlerimiz birincil ve ikincil olmak üzere ayrılmıştır. Sipariş tipi üretim yapan bir atölyede çoklu montaj yapısında envanter tutma ve iş gecikme maliyetlerini göre ağırlıklandırılan kurallar geliştirilip ve açık atölye yapısında denenmiştir. Thiagarajan ve Rajendran (2005) de buradaki mantığın devamı gibidir. Bu sefer makale iki adımda incelenmiş, ilk adımda ağırlıklı olmayan kurallar (Ağırlıklı gecikme/erkenlik) faktörüne göre çevrilmiş ve ikinci adımda ise buna ağırlıklı akış faktörü eklenmiştir. Her iş merkezinde iki makineden oluşan 10 iş merkezli açık atölye düzenlemesi olan *Hipotetik montaj atölye modeli* tanımlanmıştır. Benzetim sonunda ilk adım için ortalama erkenlik ve gecikme toplamını en aza indiren (TWKR-BY-TIS) kuralı olmuştur. Maksimum erkenlik ve gecikme toplamını azaltmada gecikme şansı olan işlere daha çok önem veren LBE+LBF kuralı etkili olmuştur. İkinci adımda ortalama toplamı azaltmada TWKR kuralı en iyi rolü

oynamıştır. Toplam en büyük erkenlik, geçlik ve akış süresi küçültmede (LBE + LBT + LBF) kuralı rol oynar. Performans ölçütlerinin varyansını en küçüklemeye ise (TWKR-BY-TIS) ve (LBE + LBT + LBF) kuralları en etkin kurallardır.

Chan ve diğ (2003) çalışmasında 5 makine ve 1 tane ortak kullanım alanından oluşan bir FMS sistemi tanımlanmıştır. Ortalama akış süresi, ortalama gecikme, ortalama erkenlik gibi performans ölçütleri altında uygun çizelge kuralları seçilecektir. Kurallar seçilirken normalde ölçütü minimum yapan değerler seçilir fakat çalışmada karar verirken performansı kötü olana öncelik verilmektedir. Sistem benzetimi iki koşul altında yapılmıştır. Makine bozulması olmadan yapılan deneylerde statik kurala göre olan karşılaştırma performansı sonuçlarına göre dinamik sistem çok sık değişim altında kötü performans göstermektedir. Bu yüzden çizelge kuralı belli sayıda çıktıdan sonra değiştirilmelidir. Makine bozulması göz önüne alınırsa bozulmalar arası süre kritiktir ve bu süre arttıkça sistemin sürekli iyileştiği gözlemlenebilir. Karar veren kişinin kişinin tercihlerini performansa yansıtmak için karar değişkenleri belli ağırlıklarla çarpılırsa, toplam operasyon süresinin belli performans kriterlerine yönelimi değişebilir. Deneyler sonucunda görülmüştür ki ağırlığı tek bir kriter yerine 3 kritere de dengeli dağıtmak toplam sistem performansında gözle görülür bir iyileşme sağlayacaktır.

Esnek imalat sistemini konu alan makalelerden bir diğeri de Abou-Ali ve Shouman (2004)'tür. Makalede 8 makine ve makine önü depolama alanı olan, bir adet yükleme/boşaltma alanından oluşan, kaynak olarak taşıyıcı robotun ele alındığı parça yüklenip indirilebilen bir esnek imalat sistemi tanımlanmıştır. Çizelgeleme kurallarının her bir kısa periyot için uygulanmadan önce seçildiği ileriye bakma (look-ahead) yöntemi uygulanmaktadır. Eğer parçalara gelen talepler deterministik günlerde değişiyorsa, ara noktalarda seçilecek çizelgeleme kuralları *statiktir*. Aksi halde gelen talepler deterministik olmayan günlerdeyse, çizelge kuralları *dinamik* olarak seçilir. Kurallar planlı ve plansız durumlar altında denenmiştir. Planlı durumda benzetim senaryosu değişmemiş fakat plansız durumda proses aşaması arttıkça benzetim tekrarı artmıştır. Bunun dışında planlı benzetim sistem arasında ara noktalar konmadan uygulanmıştır. Tanımlanan 12 kuraldan yalnızca dördü en iyi sonucu vermektedir. Ama planlı veya plansız durumlarda bir kural birden fazla aşamada uygun olabilir. Makine ve kaynak kullanımı sonuçları ve performans ölçütlerine göre dinamik yöntemin statige üstünlüğü, makine ve kaynak

kullanımlarının en iyi çizelge kuralları performansına yakınlığı ve tüm performans ölçütlerine göre planlı modelin plansızdan daha iyi olduğu görülmüştür.

Holthaus (1999) makine bozulmaları altındaki dinamik atölyelerde çizelgeleme için yollama kurallarının benzetim temelli analizini ele alır. Amaç akış süresi ve teslim-günü amaçlarına yönelik olarak sistemi denemektir. Denerken sistemde varsayımlara bağlı tahminler yapılmıştır. Amacımız için yaygın kurallar, güncel kurallar ve yazarların önerdiği kurallar sunulmuştur. Verilen amaçlara göre sistemi denemek için iki ana bozulma parametresi tanımlanmıştır. İlki makine bozulma yüzdesi olan bozulma seviyesidir. İkinci parametre tamir için geçen ortalama süredir. Bunların yanında teslim gecikmesi için yapılacak analizler için sıkı ve gevşek teslim günleri belirlenmiştir. Deneyler aşamasında bozulma parametrelerinin etkilerini ayrı ayrı gözlemlemek için bir parametre sabit tutulurken diğeri denenmiştir. Sonuçlar iki seviyede analiz edilmiştir. İlki akış süresi temelli analizdir. Bozulma parametrelerinden hiçbir seviyede etkilenmeyen ve iki ayrı bozulma parametresi altında da aynı sonucu veren yollama kuralları en iyisi olarak almıştır. İkinci analizimiz teslim gecikmesi analizidir. Burada birinci analizde ek olarak teslim-günü sıklığı ve gevşekliği de incelenmiştir. İlk analizin tersine burada teslim-günü performans ölçütleri bozulma parametreleri karşılaştırıldığında akış süresine göre daha çok etkilenmiştir. Farklı deney parametrelerine göre amaçlarda farklı yollama kurallarının öne çıkması ele alınan kuralların bozulma seviyesi ve ortalama tamir süresine olan duyarlılığının bir göstergesidir.

Holthaus ve Rajendran (1997) *açık atölye* yapısında üretilen yeni çizelge kurallarının literatürde belli amaçları en iyileyen statik çizelge kurallarıyla karşılaştırmasını ele almaktadır. Bu yeni kurallar literatürdeki tek amaca yönelik kurallardan kombinasyon veya ekleme yoluyla türetilmişlerdir. Ayrıca burada bu kuralların uygulanması sırasında ortaya çıkacak anormalliklere karşı da üretilen kurallar vardır. Bunlar dışsal ve içsel teslim günlerinde, iki farklı makine seviyesinde ve dört farklı teslim günü ayarında deneye sokulmuştur. Deney sonucuna göre beş farklı performans ölçüsüne göre genelde PT+WINQ kuralı ortalama akış süresi, maksimum teslim gecikmesi, maksimum akış süresi gibi performans ölçütlerinde en iyi performansı vererek bir adım öne çıkmıştır.

Selladurai ve diğ (1995) atölye tipi imalat sistemi tasarımı ve analizi için benzetim kullanmıştır. Bu makaledeki optimizasyon problemi, açıklanacak olan performans

değerlerini tatmin eden makine merkezlerinde işlenen parça sırasını bulmaktır. Modelin davranışını açıklamak için sunulan iki senaryodan ilki bütün parçaların normal halinde akmasıdır. İkinci senaryoda ise acil işler devreye alınmaktadır. Burada işler iki farklı kurala göre yapılır. İlki *non-preemptive*'dir yani normal geçişi göz önüne alır. HRN adlı yeni bir kural önerilmiştir. İkincisi ise *pre-emptive resume* kuralıdır yani yapılan iş kesilir ve yeni gelen iş öne alınır. Sonuçta HRN sadece makine kullanımında iyi performans vermiş diğer performans ölçütlerinde genelde SPT kuralı göze çarpmıştır.

Vinod ve Sridharan (2009) tipik esnek dinamik atölye üretim sistemini çizelgelemek için çizelge kurallarının benzetim temelli analizine dayanmaktadır. Atölyenin dinamik olması işlerin aralıklı olarak istatistiksel dağılımla gelmesine dayanır. Bir makine birden fazla işi yaptığından dolayı imalat sistemi esnektir. Ama atölyede işler esas birinci makineye sonra diğer makinelere yöneldiğinden sistem kısmi esnek bir yapıdadır. İki tip problem araştırılmıştır. İlk problem olan makine problemleri için makine atama kuralları verilmiştir. İkinci problemse asıl araştırdığımız iş çizelgeleme problemidir. Bu problem içinse literatür kuralları, dinamik esnek atölye kuralları ve makalede önerilen farklı kurallar denenmiştir. İş teslim tarihi TWK (Total Work Content) metoduna göre yapılmıştır. Teslim süresi ve akış süresine dayanan performans ölçütlerinde makine seçiminde EFTA, iş seçiminde önerilen kuralların performans ölçütlerini gerçekleştirmede daha iyi olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Moon ve Christy (1998) özel hibrit/atölye sistemi olan kaynak atölyesi düşünülmüştür. Sistemin hibrit olması bazı parçaların atölyede tekrar işlenmesinden kaynaklanmaktadır. Gelen bir sipariş birden fazla parça içerebilir ve her parçanın sipariş boyutu kesikli dağılımla belirlenen kanban kartları sayısı tarafından belirlenir. Sistemde O_2 , CO_2 , punto, robot ve dikişli olmak üzere 5 kaynak istasyonu vardır. Benzetim için 4 performans ölçütü için 10 tane çizelge kuralı verilmiştir ve bunlardan biri makale tarafından önerilen MSLACK kuralıdır. Benzetimin ilk aşamasında atölyede iş yükü oluşturmak için dört farklı durum tanımlanmıştır. Bu iş yükleri ve yollama kuralları sabit bir salma süresinde denendiğinde özellikle teslim günü bağlamında MSLACK öne çıkar. İş yükü oluşturmak için denenen kanban sayısı artışı durumu atölyeyi, geliş sıklığının azaltılmasından daha fazla etkilemiştir. Bu negatif etkiyi düzgünleştirmek için denenen salma süreleri iş yükünü belli zamana

yayan kurallar çerçevesinde geliştirilip denenmiş ve TWBR (Total Work Load Based Rule) kuralı sipariş sayısı, parça yapısı ve makine iş merkezindeki makine sayısını baz aldığından, diğerlerine nazaran daha iyi bir performans göstermiştir.

Makinelerin ve işçilerin daha verimli çalışmasını sağlayan destekleyici ekipmanlara yardımcı kaynaklar denir. Yardımcı kaynağın da yer aldığı problemler tek kaynağa göre daha karmaşık olur. Makalede her karar noktasında global bilgiyi kullanan look-ahead dispatching (ileriye yönelik yollama) ve yardımcı kaynak atama kuralları birleşiminin yerel çizelgeden ve yardımcı kaynak atama birleşiminden daha iyi sonuç vereceği hipotezi kurulmuştur. Bunun yanında zamanın herhangi bir noktasında, yani kritik kaynağa göre makinede bekleyen işleri veya yardımcı kaynak bekleyen makineleri çizelgeleyen CBS (Contingency based Scheduling) algoritmasının belli bir zamanda kaynaktaki bilgiye dayanan yerel çizelgeden daha iyi hipotezi ortaya atılmıştır. Makine kullanım seviyesi, yollama kuralı tipleri olan ileriye yönelik, yerel sıralamalar ve gelen kaynağa makine atama kuralları altında sistem denenmiştir. Makine kullanım seviyesi artışına paralel olarak CBS performansı artmış ve ileriye dönük yollama kuralları bazen iyi sonuç verse de genelde hipotezin dışında sonuç vermiştir. Bu sonucun çıkmasında CBS kuralının değişikliklere duyarlı olmasının payı büyüktür. Ancak gene de CBS kuralı yüksek atölye yüklemesinde iyi performans verdiği için kullanımı önerilmiştir (Gargeya ve Deane, 1999).

Gargeya ve Deane (1996) eserlerinde farklı kaynak kısıtlarıyla ilgili genel bir çalışma yapmıştır. İşçi kısıtları genelde iş merkezinin tam işçi kapasitesiyle çalışmadığında meydana gelir. Fazla işçi esnekliği azaltıp sistem performansını arttırırken düşük işçi kapasitesi ise atölyenin kaynaklarını daha iyi kullanıp esneklik yeteneğini arttırır. İşçi kısıtları olduğu durumlar için çekme ve itme atama kuralları diye kurallar da geliştirilmiştir. İşçi kısıtı da genelde makine kısıtıyla düşünüldüğünde ikili kısıt durumu söz konusu olur. İkili kısıtta az sayıda kaynak, çok sayıda kaynağa göre kaynak atama ve yollama kurallarındaki değişikliklere daha hassastır. Gargeya ve Deane (1999) makine ve yardımcı kaynak ikili kısıtlarını denemişlerdir. Literatürde az da olsa üçlü kaynak kısıtına rastlanır fakat bu durumlar çok fazla incelenmemiştir.

Sıra bağımlı hazırlık koşulu

Konunun anlaşılması için öncelikle hazırlık süresi kavramına değinilmelidir. Hazırlık, ürünlerin parçaları veya çevrim için makine, işlem veya tezgahı hazırlamak için yapılan işi içerir (Oswald, 1992’de atıfta bulunulduğu gibi). Hazırlık problemi partisel veya partisel olmayan diye ikiye ayrılır. *Partisel hazırlık süresi, parça tipleri partiler/ürün aileleri şeklinde gruplanmış ve farklı partilere ait olan parça tipleri değiştirildiğinde maruz kalınan büyük ölçekli hazırlık süresidir.* Partisel olmayan hazırlık süresinde ise aynı ürün ailesinde/partide parça tiplerinin değişiminden kaynaklanan küçük ölçekli hazırlık söz konusudur. Sıra-bağımlı hazırlık işlenecek parçaya ve önceki parçaya bağlıdır. Sıra bağımsız hazırlık sadece işlenecek parçaya bağlıdır başka bir şey içermez (Allahverdi ve diğ, 1999).

Sıra bağımlı ve bağımsız hazırlık süreleri partisel veya partisel olmayan hazırlıklarda da olabilir. İncelenen makaleler çizelgeleme, benzetim ve sıralama kavramlarını bir arada işleyen çalışmaları ele alınmaktadır. Bu makaleler farklı konuları ve problemleri içerse de temel olarak hepsi *sıra-bağımlı hazırlık* içermektedir. Makalelerin hepsinde problem çözümü belli bir metodolojiyle ortaya konulmuş ve benzetimle problemlere çözüm aranmıştır. Problemler gerek incelenen fabrika sistemi türleri gerekse çözüm metodları ve amaçları bakımından çeşitli benzerlik ve farklılıklara sahiplerdir. Amaç, aralarındaki ilişkiyi ortaya koyup bu alanda yapılmış çalışmaları daha yalın bir şekilde ifade etmektir.

Sivakumar (2001) IC imalat sürecindeki testler sıra-bağımlı yapıdadır. Bunun haricinde test aşaması karmaşık olduğundan kolaylık açısından her karar noktasında seçim yapmak suretiyle alt problemlere bölünerek çözülür. Birbiriyle çelişen üç amaç olduğundan çok amaçlı optimizasyon önem kazanır. Her üç amaç fonksiyonu farklı parametrelere göre en küçüklenir. Geliştirilen teknik, EDD ve SPT ile iş sayısı, sıralı-bağımlı hazırlık süresi, hazırlık süresi, işlem süresi ve teslim günü olmak üzere beş faktöre dayalı benzetim sonuçları karşılaştırıldığında, SPT ve EDD’de hazırlık süresi değişimleri göz önüne alınmadığından çizelgelerde çok fazla hazırlık süresi değişimine rastlanır. Fakat önerilen metodda hazırlık maliyet faktörü (Sıra bağımlı hazırlık süresi/Yığının sırada bekleyen işlerinin sürelerinin toplamı) vasıtasıyla aynı parça ailesinin uygun yığınları seçilerek hazırlıkların performans azaltıcı etkisinin önüne geçilmiş olur.

Tek makinede dinamik çizelgeleme, sıralı bağımlı hazırlıklar kapsamında çok amaçlı çizelgeleme olarak ele alınmıştır. Sivakumar (2001)'in farklı bir versiyonu olan bir teknikle ele alınmıştır. Farklı amaç fonksiyonları olduğundan toplu şekilde bütün performans kriterlerini en iyileyecek bir yollama kuralı üzerinde çalışılmıştır. Literatürde var olan kurallar farklı lot tipleri, değişik işlem süreleri ve sıklık faktörleri altında denenmiştir. Benzetim analizleri sonucunda her performans ölçütünü iyileyen birden fazla kural bulunmuştur. Elde edilen kurallar birtakım istatistiki testten geçirilerek elenmiştir fakat bir amaç için SSU (Smallest Setup) ve SSU+ (Smallest Setup modified) kuralları arasında bir fark görülemediğinden eleme sonucunda elde edilen diğer amaç fonksiyonlarını iyileyen kurallar (FIFO çevrim sapması, CR gecikme sapma) da dikkate alınarak MOFCS ve MOFCS+ adlı iki grup oluşturulmuştur. Her bir amaç fonksiyonuna çeşitli ağırlıklar verilerek grupların birbirine göre baskın olup olmadığı analizi yapılmıştır. Sonuçta MOFCS+'da bulunan SSU+ grubu diğer gruba basın geldiğinden ötürü SSU+, SSU'dan daha verimlidir (Ang ve diğ, 2009).

Vinod ve Sridharan (2009) yazmış olduğu sipariş tipi çalışan atölyelerde sıralı bağımlı hazırlıklar bağlamında benzetim temelli yollama kurallarına odaklanır. Sistemde on farklı iş tezgahlara dağıtılırken işlerin teslim günü olarak TWK (the total work content) metodu uygulanır. Klasik yollama kuralları ve hazırlık süresine dayanarak türetilen kurallar farklı senaryolar altında sisteme ortalama geliş zamanı, hazırlık oranı (Hazırlık/İşleme süresi) ve teslim günü sıklık faktörü gibi etkenler altında hazırlık, gecikme ve tedarik süresi bazlı performans kurallarını iyilemek için verilmiştir. Benzetim sonucunda ortalama akış süresi ve gecikme de SSPT, ortalama hazırlık süresi SIMSET (Similar Setup) ve en az hazırlık olaraksa CR göze çarpar. Bu üç sonuç değişik hazırlık oranlarıyla birlikte çoklu regresyon testine tabi tutulduğunda benzetim sonuçlarından bir farkı olmadığı meydana çıkmıştır. Böyle bir yapının avantajı ise ek benzetim maliyetlerinden kurtulunmasıdır.

Kia ve diğ (2009) yazmış oldukları makalede dinamik esnek akış hattı sisteminde sıra-bağımlı hazırlık süreleri koşullarındaki çizelgelemeyi incelemişlerdir. Çalışmada literatürde yer alan kuralların yanı sıra farklı bir yaklaşımla çevrim sezgiselleri (cyclic heuristic), bilinen kurallarla birleştirilip hibrit sezgiselleri adı verilen yeni kurallar bulunmuştur. Farklı hazırlık süresi ve makine kullanım

seviyeleri altında benzetim kuralları denenmiştir. Sonuçta ortalama sürede HLWKRCH ve ortalama gecikme süresinde HW&ICH kuralları en iyi performansı vermektedir. Böylece hibrit sezgiseller normal kurallardan daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca Vinod ve Shidharan (2009)'deki Metamodel yaklaşımı kullanılarak sistemin iyi bir tahmini yapılmıştır.

Mohanasundarama ve diğ (2002) çok seviyeli işlerin (alt montaj) olduğu dinamik atölyede etkin yollama kurallarını bulmaya çalışmışlardır. Temin süresini baz alarak önerilen iki kural, literatürde bu tip problemlerde en iyi sonucu veren TWKR-RRP kuralıyla; teslim süresi bazlı amaçlar için önerilen iki kural da etkin olduğu bilinen JDD (Job Due Date) kuralıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma farklı alt montaj seviyelerinde üç tip iş ve iki farklı makine kaynak kullanımı altında yapılmaktadır. Benzetim sonuçlarına göre ortalama akış süresi ve kuyruktaki gecikme ölçütlerinde TWKR-RRP en iyi sonucu vermekte; kuyrukta bekleme ve akış sürelerini dikkate alan sahneleme gecikmelerini indirmede LF-ECT en iyi performansı verir. Teslim günü bazlı performans ölçümü aşağıdaki grafiğe bakacak olursak görülecektir ki koşullu gecikme , % geciken iş ve mutlak gecikmeyi en küçükleyen sonuç LFD-JDD dir.

Son olarak işlenecek makale olan Parthanadee ve Buddhakulsomsiri (2010) yollama kurallarını kutu meyve endüstrisinde benzetim tekniğini üretim çizelgeleme için kullanmıştır. İncelenen problemde sekiz ayrı konserve kutusu vardır ve ürün tipinin kullanıldığı konserve kutularına göre atanan fırınlar, fırınlardaki hazırlık süresi, işleme süreleri ve operasyonel teslim süreleri etkilenir. Üretim prosesi sonucunda son istasyon olan paralel fırınların kuyruğunda bekleyen işlerin hangi sıraya göre ele alınacağı, ortalama akış süresi, ortalama geciken işler ve ortalama gecikmeyi de içeren gecikme bazlı performans ölçütleri altında 9 yollama kuralı için test edildi. Farklı performans ölçümleri için farklı kurallar iyi sonuç verdiği için çok kriterli karar verme tekniği olan TOPSIS uygulanmış ve her bir performans kriterine göre çeşitli ağırlıklar verilmiştir. Bu ağırlıklar sonucunda yapılan sıralamada MDD (Modified due date) en iyi kural olarak çıkmıştır. Makalede öncekilerden farklı olarak duyarlılık analizi de yapılarak SPT kuralının da ortalama akış süresine ağırlık verildiğinde en iyisi olduğu sonucuna varılmıştır.

1.3 Literatür Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Atölyelerdeki çizelgeleme problemi çok boyutlu bir problemdir. Hele ki sürekli yeni işlerin geldiği dinamik bir atölye yapısında çizelgeleme işlemi daha bir karmaşık hal almaktadır. Buna istinaden bu tip atölyeler için yapılan çalışmalar önceki bölümlerde özet şekilde incelenmiştir. Fakat literatürü daha net analiz edebilmek ve büyük resmi görmek için matris şeklinde toparlayıcı bir yapıya ihtiyaç vardır. Bu noktadan hareketle oluşturulan ve şu ana kadar yapılmış çalışmaların genel bir fotoğrafını veren şema Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1’de yapılan çalışmalar yazarların adı baz alınarak yazılmış, makalelerin yayınlanma tarihlerine göre sıralanmıştır. Çizelge problem tipi, çözüm yöntemi, süreç özellikleri, deney parametresi ve performans ölçütleri adı verilen ana başlıklardan oluşmaktadır. Çizelgenin alt başlıkları ilgili makalede işlenmişse, bu “x” işaretiyle belirtilmiştir. Ishii ve Muraki (1997) makalesini ele alındığında, işaretli alt başlıklardan yazarların, jenerik bir sistemi problem olarak alıp, ele alınan ortamda toplam teslim gecikmesi performansı amacına ulaşabilmek için geliştirilen yeni bir algoritma sayesinde benzetimle çeşitli stratejileri deneyerek sistem değişikliklerine göre çalışan ve dinamik çizelgeleme yapabilen bir uzman sistem aracılığıyla sonuca ulaşmayı çalıştığı söylenebilir.

Matristeki sütunda ilk bakışta anlaşılmayan başlıklar olabilir. Bunu açıklayacak olursak öncelikle problem tipi makalenin ele alındığı ortama göre oluşturulmuştur. *Dinamik Atölye* sütununda genel olarak klasmana konamayan ama işlerin ve süreçlerin rassal şekilde ele alındığı atölye sistemleri kastedilmiştir. Çözüm yöntemi ana başlığındaki *çok amaçlılık* konusundaysa makalede birden fazla amacı en iyileyecek algoritmalar ya da yollama kuralının sonuç analizi sırasında kullanılan yöntem bildirilmektedir. Metamodel ise çok değişkenli regresyonun literatürde önerilen diğer adıdır. Süreç özelliklerinde işlenen *Çoklu Kaynak* alt başlığı ise makineler dışında başka kaynakların da dikkate alınıp alınmadığını belirtir. *Çizelge Kriteri* çizelgenin fayda, denge veya sağlamlık gibi ölçütlerini gösterir. Son olarak *Uzman Sistem* alt başlığı sistemin kendiliğinden işlemesini ve olaylara anında tepki vermesini sağlayan yapılara verilen toplu bir addır.

Genel olarak hangi etkenlerin daha sık işlendiğine göz atılırsa, problem tipinde değişken olan dinamik atölye ve sipariş tipi üretim yapan atölyeler göze çarpar. Uygulanan çözüm yöntemi açısından bakıldığında benzetim tekniği daha ön plana çıkmaktadır. Benzetim tekniği kullanılan makaleler incelendiğinde ise, gerek uzman sistemlerin kendi içinde gerekse sadece benzetimle, bütün çizelgeleme periyodu içinde yollama kuralları dinamik çizelgelerde bolca kullanılmıştır. Süreç özelliği olarak bozulma etkilerinin göze çarpma nedeni genelde sistemlerin çeşitli tezgah bozulmalarına karşı yeniden çizelgeleme yaklaşımı ya da başka geliştirilen stratejilerle tepki vermeye çalışmasından kaynaklanır. Ayrıca sıra bağımlı hazırlık içeren makaleler de bozulma etkilerinin hemen ardından göze çarpmaktadır. İncelenen deney parametrelerindeyse teslim günleri ve atölye yüklemesi en sık incelenen değişkenler olarak göze çarpar. Son olarak performans ölçütlerine göz gezdirildiğinde ortalama akış süresi, ortalama teslim gecikmesi süresi, geciken iş sayısı, geciken iş yüzdesi, akış süresi varyansı ve teslim gecikmesi süresi varyansı iyilenmek istenen amaçlar olarak dikkat çekmektedir.

Çizelge 1.2’de yollama kurallarının geçtiği makaleler ve Çizelge 1.3’te hangi amaç fonksiyonlarında iyileştirme yaptığı verilmiştir. Verilen kurallar makalelerdeki kuralların iyileştirilen performans kriterine göre sadeleştirilmiş halidir. Özellikle kompozit kurallar bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Kurallar statik, dinamik ve kompozit diye ayrılmıştır. Statik kurallar ilgili makalelerin literatür kısmından alınmış ve hangi ölçütlerde iyi performans verdiği araştırılmıştır. Dinamik ve kompozit kurallar ise genelde ilgili makalede iyilenen performans ölçütüne göre verilmiştir. Uygulama aşaması için kurallar seçilirken yukarıda iyilenmek istenen farklı amaçlar, kuralların o amaçlara göre verdiği sonuçlar ve kuralların uygulanacağı hipotetik atölye yapısı göz önüne alınmıştır. İlk bakışta bakıldığında SPT kuralı dikkat çekmektedir. Bunun dışında referans kural olduğundan EDD, FIFO ve Critical Ratio kuralları da uygulamaya alınacaktır. COVERT kuralı da referans kural olduğundan eklenecek diğer bir kuraldır. Sayılanlar haricinde modifiye edilmiş teslim günü bazlı kurallarda MDD kuralı EMOOD ve EMDD’ye göre daha baskındır. MSLACK ve iki makalede iyi performans gösteren CR+SPT, iki yazarın adını içeren ve literatürde sıkça iyi performans verdiğine rastlanan RR, temel performans değerlerinde iyi sonuç veren PT+WINQ ve düzgün akışı sağlamaya çalışan ölçütlerde verim alınan AT-RPT gibi kompozit kurallar incelenmesi gereken diğer kurallardır.

Bölüm 2’de ise genel olarak çizelgeleme kavramı hakkında gerekli bilgiler verilerek konunun daha geniş çerçevede anlaşılması için teorik bir zemin ortaya konulacaktır.

Çizelge 1.2 : Yollama kuralları literatür matrisi.

Yazarlar	Statik										Dinamik										Kompozit																										
	SPT	EDD	JDD	FIFO	AT	ECT	ODD	Least Slack Rule	TTS	Critical Ratio	SLACK	COVERT	RR	WINQ	TWKR	ATC	MOD	EMDD	MSLACK	EMODD	MDD	PT+WINQ+SL	PT+WINQ	PT+WINQ+AT	PT+WINQ+AT+SL	AT-RPT	R-LS	ALL+CR+SPT	TWKR-RRP	LF-ECT	LFD-JDD	SIMSET	TWKR-BY-TS	LBE+LBT	SSPT	LBE + LBT + LBF	SSU+	HLWKRCH	HW&ICH	CR+SPT	SLRPT	AT+2PT+2RPT+NOPS					
Rajendran ve Holthaus (1997)	X	X						X	X	X	X	X	X	X																																	
Holthaus ve Rajendran (1997)	X												X										X																								
Cheng ve Jiang (1998)																					X																										
Moon ve Christy (1998)																				X																											
Holthaus (1999)	X				X				X				X										X																								
Mohanasundarama ve diğ (2002)																																															
Thiagarajan ve Rajendran (2003)																																															
Thiagarajan ve Chansarajendran (2005)	X		X	X		X									X	X																															
Choi ve You (2006)																																															
Ang ve diğ (2009)										X																																					
Vinod ve Sridharan (2009)									X	X																																					
Kia ve diğ (2010)																																															
Parthanadee ve Buddhakulsomsiri (2010)	X																																														
Vinod ve Sridharan (2011)							X														X																										

2. ÇİZELGELEME İNCELEMESİ

2.1 Çizelgeleme

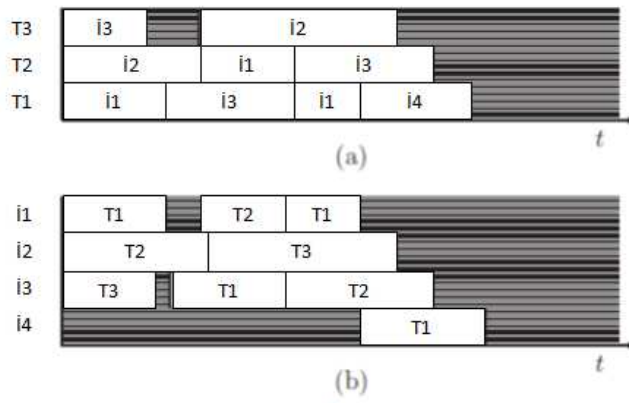
Üretim çizelgeleme kavramından önce çizelge kavramını açıklamak gerekir. Çizelgeleme faaliyetlerin kısıtlı kaynaklara, zaman dikkate alınarak atanmasına karar verme süreci olarak tanımlanmaktadır (Tekbaş, 2011). Bir başka tanım da şu şekilde verilebilir (T'kindt ve Billaut, 2006):

“Çizelgeleme işlerin işlemlerini kaynakları görevlere ve başlangıç zamanlarını sabitleyerek tahmin etmektir. [...] Çizelgeleme probleminin farklı bileşenleri görevler, potansiyel kısıtlar, kaynaklar ve amaç fonksiyonudur. [...] Görevler belli bir amacı optimize etmek için programlanmalıdır[...] Tabiki, pratikte birkaç kriteri düşünmek gerçek anlamda daha akılcı olacaktır”

Bu tanımlardan hareketle çizelgelemenin hangi sorunlarla ilgilendiği şu gibi maddelerle yazılabilir (Aladağ, 2010):

- Hangi iş merkezi hangi işi yapacak?
- Bir işlem/iş ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?
- İş hangi donanımla, kim tarafından yapılacaktır?
- İşlemlerin/işlerin sıralaması ne olacaktır?

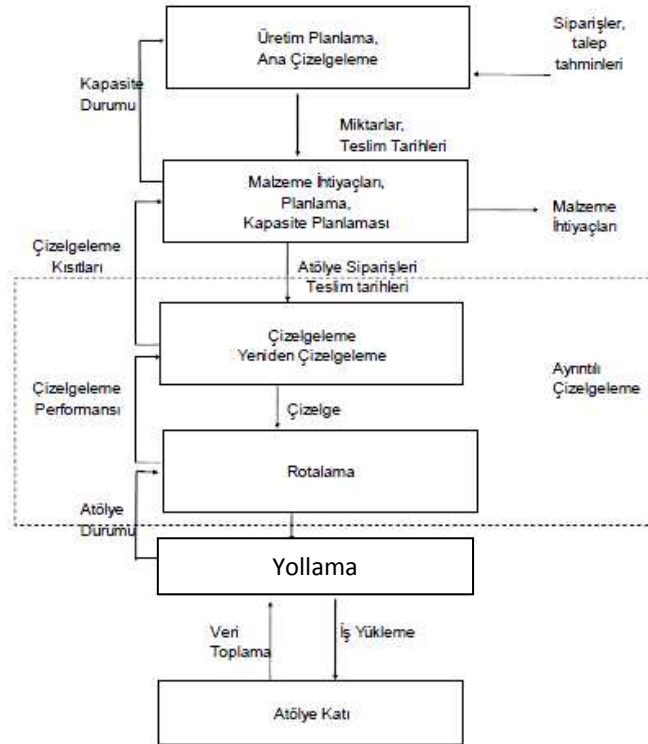
Çizelgeler Gantt Grafikleriyle gösterilebilir. Gantt Grafikleri tezgah temelli (Şekil 2.1(a)) veya iş temelli (Şekil 2.1(b)) olabilir.



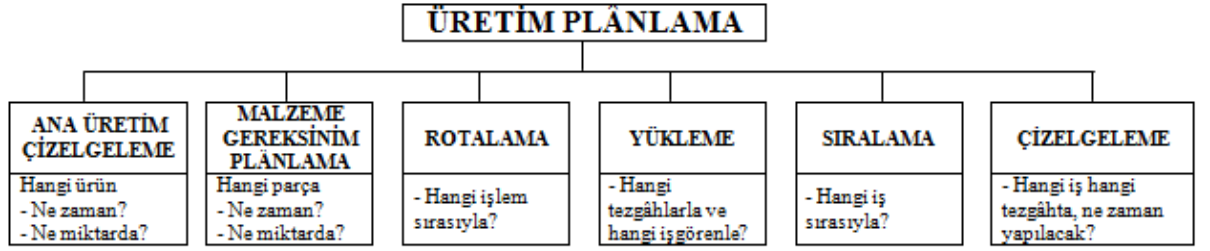
Şekil 2.1 : Tezgah ve iş temelli Gantt grafikleri (Brucker, 2007).

Üretim çizelgeleme ise ana üretim çizelgesi çerçevesinde yapılacak işlerin sırasını ve bu işe ayrılacak en müsait kaynakları belirleyen bir çalışmadır. Çalışmada bir hafta ile bir ay aralığında kısa dönemli kararlar esas alınmıştır. Ana üretim çizelgeleme ile üretim çizelgesi birbiriyle bağlantılıdır (Baskak, 2011). Bu bağlantı Şekil 2.2’de görülebilir.

Planlama süreci Ana Üretim Çizelgelemeyle başlar. *Ana Üretim Çizelgeleme* hangi ürünün ne zaman ve ne miktarda yapılacağını belirler. Sonra buna uygun hangi parçadan ne kadar alınması gerektiğini *Malzeme Gereksinim Planlaması* tespit eder. Sonrasında eldeki işlerin operasyon planını belirlemek gerekir. İşte bu da işin hangi işlem sırasıyla yapılacağını belirten *rotalama* sayesinde olur. Rotalanan işlerin hangi tezgaha gitmesi gerektiği ise *yükleme* yoluyla tespit edilir. Yükleme sonrasında aynı tezgahta birden fazla iş birikir. Böylece bu işlerin sıralanması problemi ortaya çıkar. İşte *Yollama* bu probleme çözüm belirlemeye yarar. Gelen siparişler belirli öncelik değerlerine göre tezgahta sıraya sokulur. En son çizelgeleme aşamasıyla işlerin tezgahlarda ne zaman işleneceği belirlenir (Baskak, 2011). Şekil 2.3’te bu süreç özet halinde görülebilir.



Şekil 2.2 : İmalat sistemindeki bilgi akış diagramı (Pinedo, 2012).



Şekil 2.3 : Üretim planlamanın temel işlevleri (Baskak, 2011).

2.2 Çizelgeleme Sınıflandırması

Çizelgeler çeşitli bakış açılarına göre sınıflandırılabilir. Çizelge; makine ortamı, diğer etmenler ve performans ölçütü olarak üçe ayrılmıştır.

2.2.1 Makine ortamı

2.2.1.1 Tezgah sayısı

Atölyedeki makine sayısının bir tane veya birden fazla olmasına göre iki tür yapıdan söz edilebilmektedir:

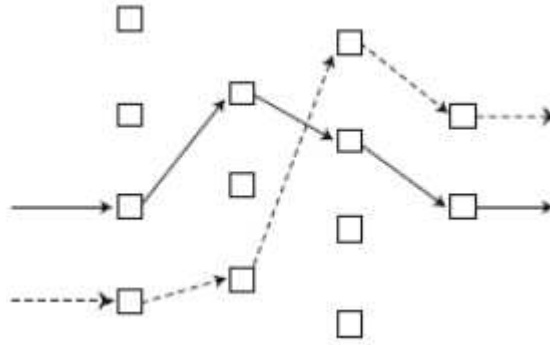
Tek Makineli Atölye: Tüm makine ortamlarının en basit halidir ve diğer daha karmaşık makine ortamlarının özel bir durumudur. Çok karmaşık yapıya sahip olan, çok makineli ortamları anlayabilmek için tek makineli modelleri iyi bilmek gerekir (Aladağ, 2010). Eğer üretim sisteminde darboğaz olursa, darboğaz olan makine önem kazandığından karmaşık yapılarda ayrıca dekompozisyon gibi yöntemlerde kullanılır (Pinedo, 2005).

Çok Makineli Atölye: Atölyede birden fazla makinenin bulunduğu atölyedir. Bu makineler seri veya paralel olabilir. Seri tezgâhlarda işler farklı işlem gören ilgili tezgâhlarda yapılır (Baskak, 2011). Elektrikteki seri bağlamaya benzer. Paralel makineler ise daha farklı yapıdadır. Paralel sistemlerde iş tek makinedeki gibi bir işlemde oluşur. Temel paralel makine probleminde makineler özdeş ve işler ilişkisizdir (Baker ve Trietsch, 2009). Bazen de paralel makineler tamamen özdeş olmayabilir. Bazı makineler daha yaşlı olup daha yavaş çalışabilir; veya bazı makineler daha iyi korunup yüksek kalitede iş çıkarma kabiliyetinde olabilir (Pinedo, 2005).

2.2.1.2 Akış şekline göre

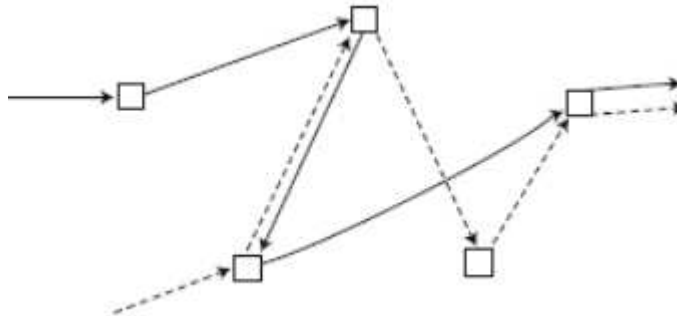
Akış Tipi: Bu sistemlerde tek bir ürün veya birbirine benzeyen birkaç ürün vardır. İş merkezleri, ürünün üretimi için gerekli işlemlere göre oluşturulmuştur. Özel amaçlı donanımlar üretim akışına göre sıralanmış olup, oldukça düzgün ve hızlı bir ürün akışı vardır. İşlerin bütün makinelerdeki işleme sırası birbirinin aynıdır (Aladağ, 2010). Bütün kuyruklar FIFO disiplinine göre işler. Yani iş kuyrukta beklerken öbür işi geçemez (Pinedo, 2012). Akış tipine her bir işin kendi rotasına sahip olduğu atölye tipi de denebilir (Pinedo, 2005).

Esnek akış tipi atölye: Her bir kademede paralel makinelerin olduğu bir atölyedir. Her kademede iş paraleldeki herhangi bir makinede işlenebilir (Pinedo, 2005).



Şekil 2.4 : Esnek akış tipi atölye (Pinedo, 2005).

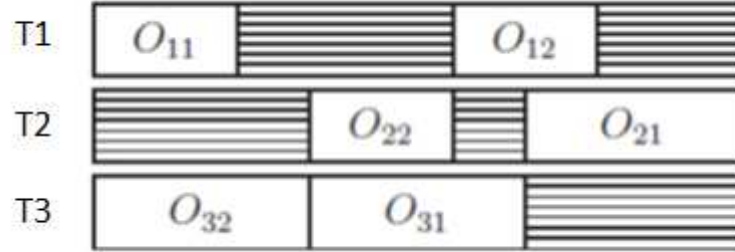
Atölye (Sipariş) Tipi: Atölyede birkaç makine tipi vardır. Her iş kendi rotasına sahiptir (T'kindt ve Billaut, 2006). Atölye tipindeki ayırım genelde her bir işin her makineyi bir veya birden fazla ziyaret edip etmemesine göre yapılır (Pinedo, 2012).



Şekil 2.5 : Sipariş tipi atölye (Pinedo, 2005).

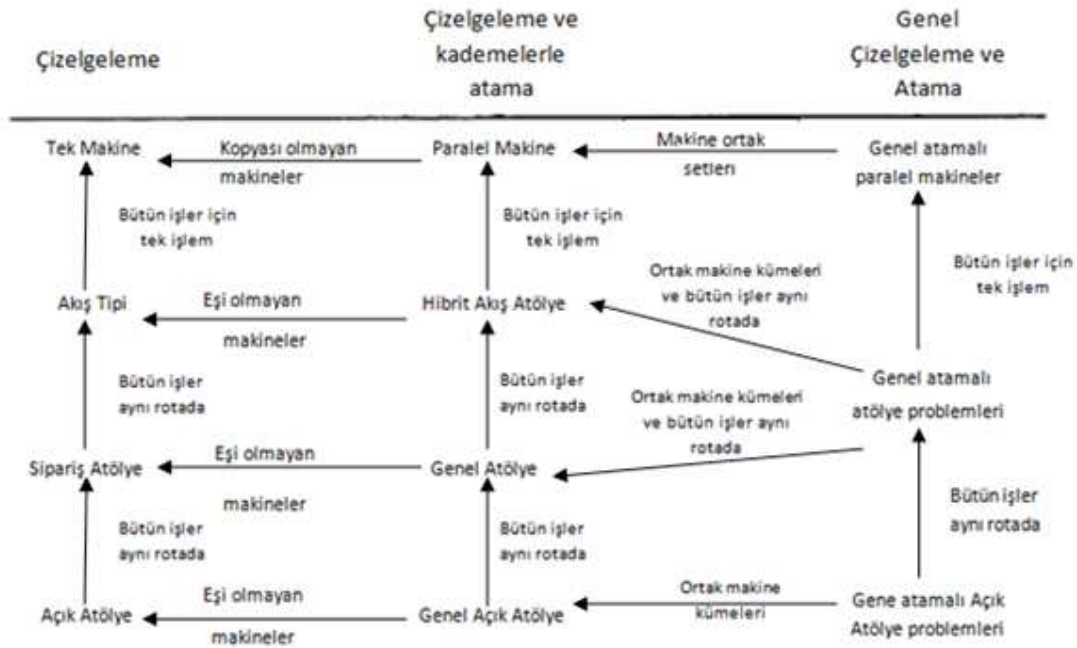
Esnek sipariş tipi atölye: İş merkezlerinin çoklu paralel makinelere sahip olması durumudur. Esnek atölye tipinde işin çevrim halinde olması kombinatöryel açıdan en karmaşık makine ortamlarından biridir (Pinedo, 2005).

Açık Atölye: Atölyeye gelen işler atölyedeki makinelerde herhangi bir sırada işlenebilir. İşler için bir rotalama kısıtı söz konusu değildir (Aladağ, 2010). Şekil 2.6’da Açık Atölye’de bir çizelgeleme örneği görülebilir.



Şekil 2.6 : Açık atölye için fizibil çizelge (Brucker ve Knust, 2012).

Yukarıda değinilenlerin dışında daha kapsamlı atölye tipleri de vardır. Çizelgelemenin yapıldığı makine ortamına göre nasıl değiştiği Şekil 2.7’de açıkça görülebilir.



Şekil 2.7 : Çizelge ve makine ortamı ilişkisi (T’kindt ve Billaut, 2006).

2.2.2 Diğer etmenler

2.2.2.1 Statik ve dinamik çizelge

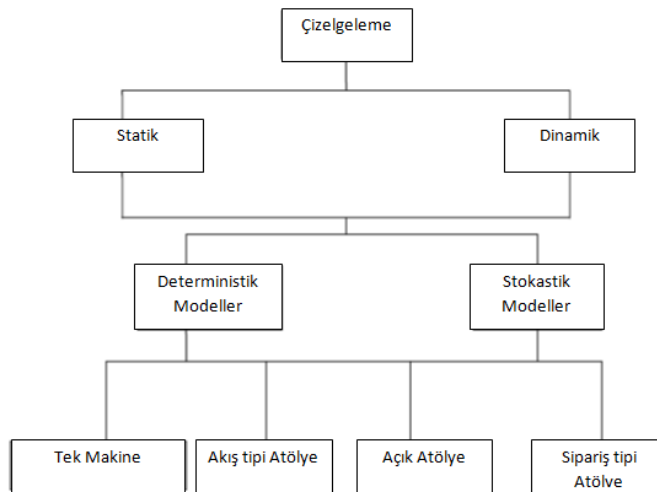
Statik atölye çizelgeleme problemleri bütün bilgilerin en baştan bilindiği ve zaman içinde değişmeyeceği durumlarda kullanılır (Pfeiffer, 2007). Belirli bir dönem için iş listesi bilinmektedir ve bu liste genellikle değişmez. İşler, boş olan bir atölyeye

hemen işlenmek üzere düzenli olarak gelirler. Bu tip problemlerde genel amaç, işlerin tezgâhlardan geçiş sırasını bulmaktır (Baskak, 2011). Statik çizelgede çizelgeye bağlı olmayan statik veriler kullanılır. Bu veriler de işlem süresi, geliş günü, teslim günü ve işin önemini gösteren ağırlıklardır (Pinedo, 2005). Dinamik modeller pratikte daha önemli gibi görünse de statik modeller dinamik sistemlerin temelini yakaladığından dinamik durumlarda faydalıdır. Genelde de daha çözülebilir olduğundan dinamik durumlara göre daha çok işlenmektedir (Baker ve Trietsch, 2009).

Gerçek sistemlerde işler sürekli geldiğinden yani iş seti farklılaştığından dinamik çizelgeleme ortamı oluşur (Pfeiffer, 2007). Dinamik çizelgeleme, üretim esnasında eklenen işleri dikkate alır. Bu yüzden iş listesi rastgele değişebilir. Dinamik çizelge statik çizelge kurallarından farklı olarak başlangıç zamanı ve bitiş zamanı gibi değişken dinamik verileri kullanır. Önceki bölümde işlenen statik yollama kuralları ve dinamik yollama kuralları farkı bu konuda önemli bir örnektir. Gerek statik gerek dinamik çizelgelemede deterministik veya rassal özellikler kullanılabilir (Baskak, 2011, Pinedo, 2005, Büyükköprü, 2005).

2.2.2.2 Deterministik ve stokastik modeller

Stokastik ve deterministik modeller arasındaki fark, olayların ve zamanların rastgele olmasıdır. Stokastik modellerde makine bozulmaları, beklenmeyen siparişler, rassal işleme süreleri ve iş kesme dikkate alınırken deterministik modelde bu gibi olasılıksal durumlara yer yoktur ve koşullar kesin olarak bilinir (Büyükköprü, 2005). Hem makine ortamı hem de diğer etmenlerin genel bir klasmanı Şekil 2.8'deki gibi



Şekil 2.8 : Çizelge hiyerarşisi (Büyükköprü, 2005).

2.2.3 Performans ölçütü

Çizelgeleme probleminin türü, atölyede eniyilenmesi istenen başarı ölçütüne göre değişir. Atölye başarısını değerlendirmek için kullanılan ölçütler, çizelgeleme problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Aşağıda literatürde incelenen belli başlı performans ölçütlerinin gösterimi verilecektir (Aladağ, 2010, Baskak, 2011):

Yayılma Süresi (M) : Sistemdeki n adet işin tamamlanması ve sistemi terk etme zamanları $C_j = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ ile gösterilecek olursa, sistemi en son terk eden işin tamamlanma zamanı en küçüklenmeye çalışılır. Bu da yüksek makine kullanım oranı demektir.

Akış Süresi (F_j) : Kriter olarak işlerin sisteme girdiği an ile sistemi terk ettiği an arasındaki zaman farkı olarak tanımlanabilecek işlerin sistemde kalış süresi (F_j) esas alınır.

Geç Kalma Süresi (L_j) : İşlerin teslim zamanları ile tamamlanma zamanları arasındaki farkı ifade eder. Geç Kalma Süresi planın teslim tarihinden sapmasını kontrol eder. Eğer pozitifse iş gecikmiş ve teslim zamanında yetiştirilememiş, negatifse iş teslim zamanından önce bitirilmiş demektir.

$$L_j = C_j - d_j \quad (2.1)$$

Teslim Gecikmesi (T_j) : İşler teslim zamanında bitirilememişse, ne kadar süre geciktiğini ifade eder.

$$T_j = \max(0, L_j) \quad (2.2)$$

Geciken İş Sayısı (N) : Teslim edilmesi gereken tarihte teslim edilemeyen iş sayısı da başarı ölçütü olabilir.

Ortalama teslim gecikmesi süresi (T^*) : Toplam gecikme süresinin yapılan iş sayısına bölünmesiyle bulunur. Literatürde önemlibir performans ölçütü olarak göze çarpar.

$$T^* = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (2.3)$$

Gevşek süre (ST_i) : Teslim gününe ne kadar sürenin kaldığını ifade eder.

$$ST_i = d_i - F_i \quad (2.4)$$

Yukarıdaki ölçütler temel alınarak ve bazılarına ek olarak aşağıda diğer performans ölçütleri sıralanmıştır (Tekbaş, 2011):

- Siparişin/işin tamamlanma zamanının enküçüklenmesi
- Ortalama tamamlanma zamanının enküçüklenmesi
- Ortalama ağırlıklı tamamlanma zamanının enküçüklenmesi
- Ortalama bekleme süresinin enküçüklenmesi
- Ortalama gecikme veya teslim gecikmesi süresinin enküçüklenmesi
- Ortalama ağırlıklı gecikme veya teslim gecikmesi süresinin enküçüklenmesi
- En büyük gecikme veya teslim gecikmesi süresinin enküçüklenmesi
- Ara stok düzeyinin enküçüklenmesi
- Erken teslim mâliyetinin enküçüklenmesi
- Geciken iş sayısının enküçüklenmesi
- Ağırlıklı geciken iş sayısı toplamının enküçüklenmesi
- Tezgâh ve işgücü kullanım oranlarının enbüyüklenmesi
- Kritik makine yükünün enküçüklenmesi
- Toplam makine yükünün enküçüklenmesi
- Siparişin/işin akış süresinin enküçüklenmesi
- Ortalama akış süresinin enküçüklenmesi

2.2.4 Çizelge problemlerinin gösterimi

Çizelge problemleri incelenirken kolaylık olması için sınıflandırılma ihtiyacı duyulmuştur. Bu ihtiyacı gidermek için $\alpha/\beta/\gamma$ temsili kullanılmaktadır. α makine ortamını, β iş karakteristiklerini, γ ise enküçüklenmeye çalışılacak amaç fonksiyonunu gösterir. α , β ve γ 'nın alabileceği değerler, Çizelge 2.1'de görülmektedir. Temsili olarak $FF| r_j| \sum w_j T_j$ gösterimi, işlerin serbest kalma zamanlarının dikkate alındığı (r_j) esnek akış tipi üretim ortamında (FF) işlerin ağırlıklı teslim gecikmesi süreleri toplamının enküçüklenmek ($\sum w_j T_j$) istendiğini gösterir (Tekbaş, 2011).

Çizelge 2.1 : Literatürde problemleri anlatmak için kullanılan Graham gösterimi.

α	Açıklaması	β	Açıklaması	γ	Açıklaması
1	Tek makina	prec	Öncelik ilişkili	C_{max}	Yayıma süresi
P_m	m adet özdeş paralel makina	d	Teslim tarihli	L_{max}	Maksimum gecikme süresi
Q_m	m adet farklı hızlı paralel makina	r	Serbest kalma zamanlı	T_{max}	Maksimum teslim gecikmesi süresi
R_m	m adet ilişkisiz paralel makina	brkdown	Makina arızası	$\sum(w_i)C_i$	Ağırlıklı tamamlanma zamanı toplamı
F_m	m makinalı akış tipi üretim	bloc	Bloklaama etkisi	$\sum(w_i)T_i$	Ağırlıklı teslim gecikmesi süresi toplamı
FF	Esnek akış tipi üretim	nwt	Beklememe kısıtlı	$\sum(w_i)U_i$	Ağırlıklı geciken iş sayısı toplamı
J_m	m makinalı sipariş tipi üretim	prmp	İş kesmeli	$\sum s_{ij}$	Toplam hazırlık süresi
FJ	Esnek sipariş tipi üretim	recrc	Yeniden girişli	Π	Hazırlık ve toplam elde bulundurma maliyeti
O_m	m makinalı serbest dolaşimli atölye	s_{jk}	Hazırlık süreli		
		f_{mfs}	ürün ailelerine göre gruplama		

Bir sonraki bölümde, buradaki simgelerle ifade edecek olursak; $J_m/d/F^*$, T^* , varf, vart, %TJ tipi kabaca formüle edilebilecek ama bazı yerlerde özdeş paralel makineleri ve bir atölyesinde de hazırlık süresini içerecek olan hipotetik bir tekstil atölyesinde yollama kuralları denenecektir.

3. YOLLAMA KURALLARININ PERFORMANSININ SINANMASI

3.1 Giriş

Bu bölüme kadar verdiğimiz bilgilerle yapılacak uygulamanın teorik alt yapısını oluşturmuştuk. Uygulama aşamasında ise seçilen kurallar, hipotetik atölye sisteminde denenecektir. İlk olarak seçilen yollama kuralları anlatılacaktır. Sonrasında ise benzetim deneyi için yapılması gerekenler tüm ayrıntılarıyla açıklandıktan sonra benzetim modeli hipotetik sistemle paralel bir şekilde anlatılacaktır. Sonrasında ise benzetim sonuçları istatistiksel olarak analiz edilip en iyi performans gösteren yollama kuralları ve deney faktörlerinin bu kurallara etkisi gibi sorular cevaplandırılacaktır.

3.2 Yollama Kuralları

Literatürdeki kurallardan neden sadece 11 kuralın seçildiğini daha önce belirtilmişti. Bu başlık altında seçilen kuralların formülasyonu verilecek ve literatüre göre gerekli açıklamalar yapılacaktır. Ayrıca, yeni geliştirilen altı kuralın formülasyonu da verilecektir.

3.2.1 Statik kurallar

EDD: Earliest due date (Erken Teslim Günü) (Parthanadee ve Buddhakulsomsiri, 2010)

$$\min_i d_i \quad (3.1)$$

Maksimum teslim gecikmesini en küçükleyen kuraldır (Pinedo, 2012). Fakat bu durum atölye yüklemesinin az olduğu durumlarda geçerlidir. Atölye yüklemesi arttıkça bu kuralın performansı düşebilir (Holthaus ve Rajendran, 1997).

SPT: Shortest processing time (En Kısa İşlem Süresi) (Parthanadee ve Buddhakulsomsiri, 2010)

$$\min_i p_{ij} \quad (3.2)$$

SPT kuralı toplam tamamlanma süresini minimum yapar. Tek makine ve özdeş paralel makine ve akış tipi üretimde etkilidir (Pinedo, 2012). Rajendran ve Holthaus (1997) ‘ye göre de yüksek atölye yüklemesinde ortalama teslim gecikmesi süresi ve geciken işleri de küçüklemeye iyidir.

FIFO: First in first out (İlk Gelen İlk Yapılır) (Ang ve diğ, 2009)

$$\min a_i \quad (3.3)$$

En çok bilinen referans kuralıdır. Makineye gelen ilk iş işleme alınır.

3.2.2 Dinamik kurallar

COVERT: Cost Over Time (Süre üzerine maliyet) (Moon ve Christy, 1998)

$$\max \left\{ \max \left\{ \frac{bxRPT_i - \max (d_i - RPT_i - T_{now}, 0)}{b \times RPT_i \times p_{ij}} \right\} \right\} \quad (3.4)$$

T^* ‘ı azaltmada başarılıdır. Performansı dinamik boşluğa bağlıdır. Optimal tamsayı b değeri tekrarlayan deneyler sonucunda bulunur (Holthaus ve Rajendran, 1997).

MSLACK: Modified Slack (Değiştirilmiş Gevşek Süre) (Moon ve Christy, 1998)

$$\min (d_i - p_{ij} - \sum_{k \in C_{ij}} p_{ik} \sum_{k \in C_{ij}} V_{ik}) \quad (3.5)$$

Geciken teslim gecikmesi yüzdesinde atölye yüklemesine göre performansı değişen MSLACK kuralı ortalama teslim gecikmesi süresinde iyi performans göstermektedir (Moon ve Christy, 1998).

MDD: Modified Due Date (Değiştirilmiş Teslim Günü) (Parthanadee ve Buddhakulsomsiri, 2010)

$$\min_i \{ \max (d_i, T_{now} + p_{ij}) \} \quad (3.6)$$

Karar verici en büyük gecikme süresini en küçükleyen çizelgeyi bulmayı amaçlar (Pinedo, 2012).

CR: Critical Ratio (Kritik Oran) (Ang ve diğ, 2009)

$$\min (d_i - T_{now})/RPT_i \quad (3.7)$$

Kural işlerin teslim gününe kalan süreyi kalan işlere bölerek aciliyet derecesini ölçer (Baker ve Trietsch, 2009). *CR* aynı zamanda ortalama teslim gecikmesi ve teslim gecikmesi sapmasını en azlamıştır (Ang ve diğ, 2009).

3.2.3 Kompozit kurallar

CR+SPT: Combination of critical ratio and shortest processing time (Kritik oran ve en kısa işlem süresinin birleşimi) (Vinod ve Sridharan, 2011)

$$\min\{\max\{(CR \times p_{ij}), P_{ij}\}\} \quad (3.8)$$

Ortalama gecikme ölçütü için işin teslim günü üzerinde esnek ve verimli bir kontrol sağlar (Cheng ve Jiang, 1997).

AT-RPT: Arrival time minus remaining processing time (Geliş zamanı eksi kalan işlem süresi) (Holthaus, 1999)

$$\min (r_i - RPT_i) \quad (3.9)$$

FIFO'ya göre akış süresi varyansı ve en büyük akış süresini en küçüklemeye işe yarar (Holthaus, 1999)

RR: *Raghu* ve Rajendran (Holthaus ve Rajendran, 1997)

$$\min\left\{\frac{s_i x e^{(-n)} x p_{ij}}{RPT_i} + e^{(n)} x p_{ij} + W_{nxt}\right\} \quad (3.10)$$

$$s_i = d_i - \tau - \sum_{q=j}^{\theta(i)} p_{iq} \quad (3.11)$$

RR kuralı iki yazarın geliştirdiği bir kuraldır. Rajendran ve Holthaus (1997) makalesinde sıkı teslim günleriyle birlikte ve Holthaus (1999)'da gevşek veya orta seviyede bozulmalarda da teslim günü bazlı amaçlarda en etkin performansı gösterdiği gözlenmiştir.

PT+WINQ: Processing Time + Work in Next Queue (İşlem Süresi + Bir Sonraki Kuyruktaki İş) (Hornig, 2006)

$$\min(p_{ij} + W_{nt}) \quad (3.12)$$

Bu kural F^* için SPT kuralından daha iyi sonuç verir (Holthaus ve Rajendran, 2010).

3.2.4 Geliştirilen kurallar

Kompozit kurallara benzer, sezgisel şekilde geliştirilmiş kurallardır. Makalelerin çoğunda farklı tipteki kurallar birden çok amaç fonksiyonunu en küçüklemek için birleştirilmiştir. Aşağıda geliştirilen kurallar da aynı mantıkla oluşturularak her bir bileşenin etkisinden yararlanılarak yeni bir kural oluşturulmuştur.

WINQRPT: Work in Next Queue + Remaining Processing Time (Bir Sonraki Kuyruktaki İş + Kalan İşlem Süresi)

$$\min(W_{nt} + RPT_i) \quad (3.13)$$

Bir sonraki operasyonlara göre sıralama yapabilen kuraldır. Global olarak düşünülmüştür. Makine kuyruğundan ziyade sonraki makine kuyruğu ve parçanın kalan işlem süresi dikkate alınarak sonraki makinede bekleyen işlerin en azlanması amaçlanmıştır.

WINQRPT/TIS: Combination of Work in Next Queue and Remaining Processing Time / Time in System (Bir Sonraki Kuyruktaki İş ve Kalan İşlem Süresi Birleşimi / Sistem İçindeki Süre)

$$\text{Eğer} \quad T_{now} - r_i = 0; \min(W_{nt} + RPT_i) \quad (3.14)$$

$$\text{Değilse} \quad \min(W_{nt} + RPT_i) / (T_{now} - r_i) \quad (3.15)$$

Geliştirilen WINQRPT kuralının sistemde geçirilen süre baz alınarak değiştirilmiş versiyonudur. Sistemde geçirilen süre arttıkça öncelik artar.

WINQ+RPT/TIS: Work in Next Queue + Remaining Processing Time/Time in System (Bir Sonraki Kuyruktaki İş / Sistem İçindeki Süre)

$$\text{Eğer} \quad T_{now} - r_i = 0; \min(W_{nt} + RPT_i) \quad (3.16)$$

$$\text{Değilse} \quad \min W_{nt} + RPT_i / (T_{now} - r_i) \quad (3.17)$$

Bu kural da WINQRPT kuralından türetilen başka bir kuraldır. Eğer gelecekteki kuyruk aynıysa kalan sürenin sistemde geçirilen süreye oranına bakarak sistemde geçirilen süresi fazla olan ve az işlem süresi kalana öncelik tanır.

PT+WINQ+AT-RPT: Process Time + Work in Next Queue + Arrival time - Remaining Processing Time (İşlem Süresi + Bir Sonraki Kuyruktaki İş + Geliş Zamanı - Kalan İşlem Süresi)

$$\min(p_{ij} + W_{nt} + r_i - RPT_i) \quad (3.18)$$

PT+WINQ ve AT-RPT kuralının kombinasyonudur. Sonraki makinedeki ortalama bekleme ve şimdiki işlem sürelerini dikkate almasının yanında önce gelen yapılacak işlem süresi fazla olan parçaları öne almayı amaçlamaktadır.

PT+WINQ+AT+RPT: Process Time + Work in Next Queue + Arrival time + Remaining Processing Time (İşlem Süresi + Bir Sonraki Kuyruktaki İş + Geliş Zamanı + Kalan İşlem Süresi)

$$\min(p_{ij} + W_{nt} + r_i + RPT_i) \quad (3.19)$$

PT+WINQ'dan türetilen ve bir önceki kuraldan sadece işlerin kalan işlem süresi kısmıyla farklılaştığı bir kuraldır.

PT+WINQ+MDD: Process Time + Work in Next Queue + Modified Due Date (İşlem Süresi + Bir Sonraki Kuyruktaki İş + Değiştirilmiş Teslim Günü)

$$\min(p_{ij} + W_{nt} + \max(d_i, T_{now} + p_{IJ})) \quad (3.20)$$

İşlem süresi ve bir sonraki makinedeki ortalama beklemenin yanı sıra değişen teslim günü özellikleri de ele alınır. Böylece daha kapsamlı düşünülerek birden fazla amaç en küçüklenmeye çalışılır.

3.2.5 Teslim günü belirleme

Gelen siparişlerin teslim gününün belirlenmesi önemli bir konudur. Özellikle *tam zamanında üretim* yaklaşımını içeren durumlarda erkenlik en az geç bitirme kadar

önem kazanmıştır. Bu nedenle çeşitli problemler için teslim günü çizelgeleme metodları belirlenmiştir (Brucker, 2007). Teslim günleri içsel veya dışsal olarak belirlenebilir. Dışsal teslim günü günü müşteri tarafından saptanan tarihlerdir. Fakat tezde hipotetik bir atölye ele alındığından, içsel teslim günü belirleme daha uygun bulunmuştur. İçsel teslim kuralına örnek olarak işlerin tahmini bitiş süresine dayanan DPPW, TWK metodunun güncellenmiş hali olan ve atölyenin durumuna göre güncellenen teslim günü faktörünü içeren olan DTWK gösterilebilir (Vinod ve Sridharan, 2008). Fakat genel olarak Vinod ve Sridharan (2011), Horng (2006)'de bahsedilen ve teslim günü atamasında yaygın olarak kullanılan TWK (Total Work Content) metodu çalışma için seçilmiştir. Vinod ve Sridharan (2008)'e göre aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$d_i = r_i + c(p_i + n_i\mu_s) \quad (3.21)$$

3.3 Hipotetik Atölye Sistemi

Hayali bir fabrika ele alınmıştır. Bu fabrika tekstil endüstrisinde hizmet vermektedir. Fabrikada birçok triko üretilmektedir fakat en önemli 5 sipariş tipi dikkate alınacaktır. Ele alınan tekstil atölyesi Greasley (2008)'in makalesinde ele aldığı atölye sistemi esas alınarak modellenmiş fakat gelen sipariş sayısı, makine sayıları, atölyeler arası taşıma gibi bazı koşullarında değişiklik yapılmıştır. Sistem ayarları şu başlıklar altında ele alınacaktır:

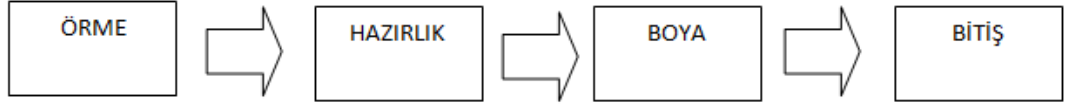
3.3.1 İş bilgileri

Sisteme gelen sipariş adedi her sipariş tipi için sabittir. *Hazırlık* *uf* ve *tf* işlemlerini yapan makineler kısmi esnektir. (Bir makine birden çok işin tüm işlemlerini değil ama birçok işlemini yapabilir). Bunun haricinde her operasyon için bir makine tipi görevlendirilmiştir. Atölye sipariş tipi üretim yapmakta olup her siparişin farklı rotası vardır. Rotalamada bir işin aynı makineye tekrar uğramamasına dikkat edilmiştir. 5 farklı iş sisteme sürekli gönderilmektedir. Gelen işlere üç farklı adette (Siyah, kırmızı, mavi) boya rengi eşit yüzdeyle atanmaktadır.

3.3.2 Sistemin açıklanması

Bu bölümde sistemin üretim akışı ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır. Üretim sistemindeki atölyelerde yapılan işler gelen parçaların rotalarıyla birlikte detaylı bir

şekilde açıklanacaktır. Üretim sistemine gelen parçaların hangi atölyelerden geçtiği Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Tekstil üretim sürecindeki ana aşamalar (Greasley, 2008).

3.3.2.1 Örme süreci

Örme süreci, aynı zamanda halkalı iplik eğirme olarak da bilinir. Depodan iplikler alınıp 25kg ruloluk giysiler halinde paralel makinelerde örülür. Örmeden sonra, 25kg lık rulolar kalite kontrol işçileri tarafından kontrol edilmektedir. Kalite kontrolden sonra makinelerden çıkan ürünler hazırlık atölyesine doğru yol alır.

3.3.2.2 Hazırlık süreci

İplik, 25kg lık ruloluk malzemeler halinde örüldü. Hazırlık aşamasında ise bu ayrı rulolar grup olarak tanımlanmış şeritlerde boyanmak için dikilir. Çizelge 3.1’de ürünlerin uğradığı makineler görülebilir.

Çizelge 3.1 : Hazırlık atölyesi ürün rotası.

Ürün Tipi	Sperotto	Hazırlık TF	Hazırlık UF	Ayarlı Germe Kurutma	Monti-Tuber	Kuru Depolama
1		x		x		x
2			x	x		x
3			x	x	x	x
4		x				x
5	x	x				x

Sperotto ters çevirme işlemini yapar. Hazırlık TF ve UF işlemleri dikmeyi gerçekleştiren tek tip makinelerde yapılır. Germe kurutması yapılan ürünlerin monti-tuber makinesinde kenarları tüp şeklinde dikilir. Farklı makinelerden gelen ürünler boya atölyesinden önce beklemek üzere kuru depolama alanına gönderilirler. Bekleme sonrasında hazır olan ürünler toplu olarak boya atölyesine gönderilir.

3.3.2.3 Boyama süreci

Boyama atölyesine gelen giysi yerel büyük çamaşır makinesine benzeyen boya makinesinde 3 tane tondan birine boyanır (koyu, orta, açık). Farklı yükleme

kapasitelerine sahip 3 çeşit boya makinesi vardır (3 şerit, 4 şerit ve 5 şerit). Şerit sayısı makinenin aynı anda alacağı parça sayısını ifade eder. Örneğin 3 şeritli bir makineye aynı anda 3 adet parça yüklenebilir. Her makine için parti ve şerit büyüklükleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Hazırlık atölyesi ürün rotası

Ürün Tipi	Şerit	Parti Miktarı
1	5	10
2	5	10
3	3	12
4	4	16
5	3	12

Bu atölyede ürünlere boya renklerine göre hazırlık süresi konur. Makinelerdeki hazırlık süreleri sıra – bağımlı yani bir önceki boyanan parçanın rengine bağlıdır. Boyanan parçalar toplu halde parti miktarınca birleştirilerek bitirme atölyesine gönderilir.

3.3.2.4 Bitirme süreci

Bitirme atölyesinde parçalar kurulanır ve gerekirse şekil verilir. Rota Çizelge 3.3’teki gibidir.

Çizelge 3.3 : Bitirme atölyesi ürün rotası

Ürün Tipi	Kesici	Kurulayıcı	Germe	Sıkılaştırıcı	Bitiş Kontrol
1	x	x	X	x	x
2	x	x	X	x	x
3	X	x	X		x
4	x		X		x
5	x		X		x

Kesici makinesi tüpler halinde gelen grubu açarak boyaya yardım için katlanmış maddenin uzunluğuna şekil verir. Kesiciden gelen bazı ürünler kurulamayı atlayarak bazılarıysa atlamadan germe makinesine geçer. Bu makine malzemenin son genişliği ve ağırlığını belirler ve gereken kimyasal cilaları yapar. Sıkılaştırıcı makinesine uğrayan bazı ürünlerle birlikte bütün ürünler parti halinde kontrol edilip, kutulanmış koliler halinde bitmiş ürün deposuna yani üretim sistemi dışına yollanır.

3.4 Deney Tasarımı

Hipotetik atölye sisteminde yapılacak olan bu tasarımda bir tarafta girdiler öbür tarafta çıktılar yer almaktadır. Sistemin girdileri şu şekildedir:

1. Teslim günü sıklık faktörü (sıkı, gevşek)
2. Gelişlerarası süre (yakın, uzak)
3. Yollama Kuralları: AT-RPT, COVERT, CR, CR+SPT, EDD, SPT, FIFO, MDD, MSLACK, PT+WINQ, PT+WINQ+AT-RPT, PT+WINQ+AT+RPT, RR, WINQRPT, WINQRPT/TIS, WINQ+RPT/TIS, PT+WINQ+MDD

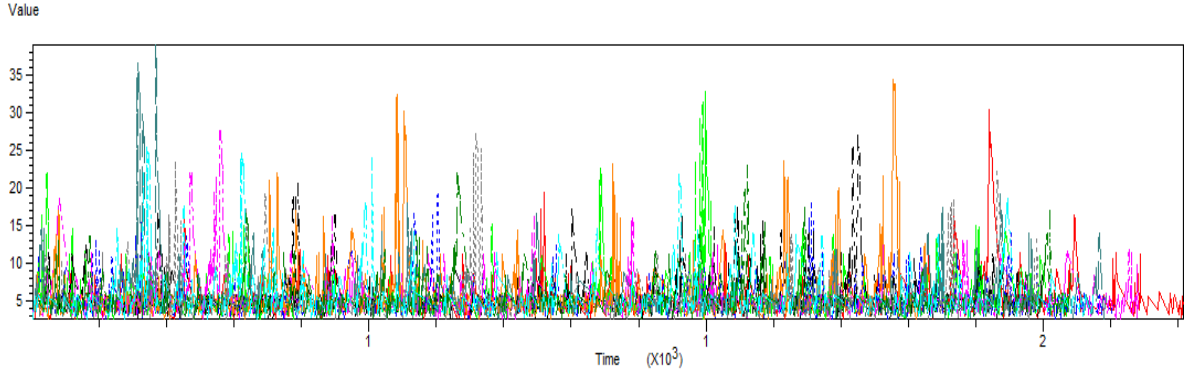
Sistemin çıktıları yani performans ölçütleri olacaktır:

1. Ortalama Akış Süresi
2. Ortalama Teslim Gecikmesi
3. Teslim Gecikmesi Varyansı
4. Akış Süresi Varyansı
5. % Teslim Gecikmesi

Girdilerden istenilen çıktıları almak için her bir yollama kuralı için benzetim modeli kurulacaktır. 17 yollama kuralı, her kural için 2 gelişler arası süre ve 2 teslim günü sıklık faktörü ve her durum için on benzetim koşumu yapılacağından dolayı toplamda $17 \times 2 \times 2 \times 10 = 680$ adet benzetim koşumu yapılacaktır.

3.4.1 Isınma periyodunun belirlenmesi

Benzetimde genelde sistemler çalıştırıldığında bir geçiş periyodu yaşanır. Çıktı performans değerleri baz alınarak yapılan bu analizde, hareketli ortalama grafiğinin belli bir geçiş sürecinden sonra bir düzeye yaklaştığı gözlemlenmektedir (Vinod ve Shidharan, 2008). İşte bu noktaya kadar olan periyot, ısınma periyodu olarak ele alınır. Çalışmada 17 yollama kuralı da $gas = 8$, $c = 2$ parametreleri altında ve sadece tek bir benzetim koşumu altında denenip *Kalış Süresi* performans ölçütüne göre grafiğe dökülmüştür. Şekil 3.2’de CR+SPT yollama kuralının grafiği örnek olarak verilmiştir. Diğer kuralların grafiği birbirine benzediğinden bu grafiğin verilmesi yeterlidir.



Şekil 3.2 : CRSPT kalış süresinin hareketli ortalama grafiği.

Şekilden de görüldüğü kadarıyla sistem çok kısa bir süre içinde dengeye ulaşmaktadır. Bu yüzden yollama kuralları için denenen benzetim koşumlarının uzunluklarının %5'i sıralanmış ve bu uzunlukların en büyüğü ısınma periyodu olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan süre 86 saattir ve bu süre ısınma periyodu olarak ele alınacaktır. Benzetim uzunluğu olaraksa genelde literatürde ele alınan, benzetimin denge anında 1000 işin sistemden çıkması uygulanacaktır.

3.4.2 Varsayımlar

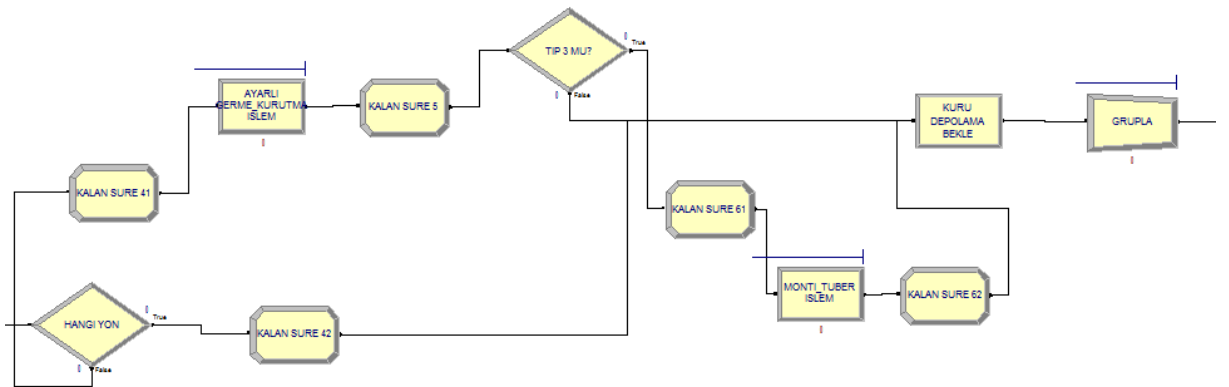
- İş kesme yoktur.
- Bütün işler makineleri sadece birer kez ziyaret eder.
- Makineler her zaman uygundur. Yani makine bozulmaları dikkate alınmamıştır.
- Kaynak olarak makineler ve kalite kontrol elemanları ele alınmıştır. Atölyeler arası taşıma süreleri ihmal edilmiştir.
- Makineler aynı zamanda sadece tek iş yapabilir.
- Kaynaklarda kuyruk kapasitesi yoktur. Sonsuz kuyruk oluşabilir.
- Boya atölyesinde sıra-bağımlı hazırlık süreleri vardır.
- Makine süreleri deterministiktir.
- Atölyeye gelişler ve işlerin boya renginin belirlenmesi rassal dağılımlara uyar.
- Tekrar parça işleme yoktur.
- Örme atölyesi ve hazırlık atölyelerinde özdeş paralel makineler vardır. Hazırlık makineleri iki farklı işi birden yapabildiklerinden esnek makine olarak sayılabilir.
- Partiler makinelere bölünebilir.

3.4.3 Benzetim modelinin kurulması

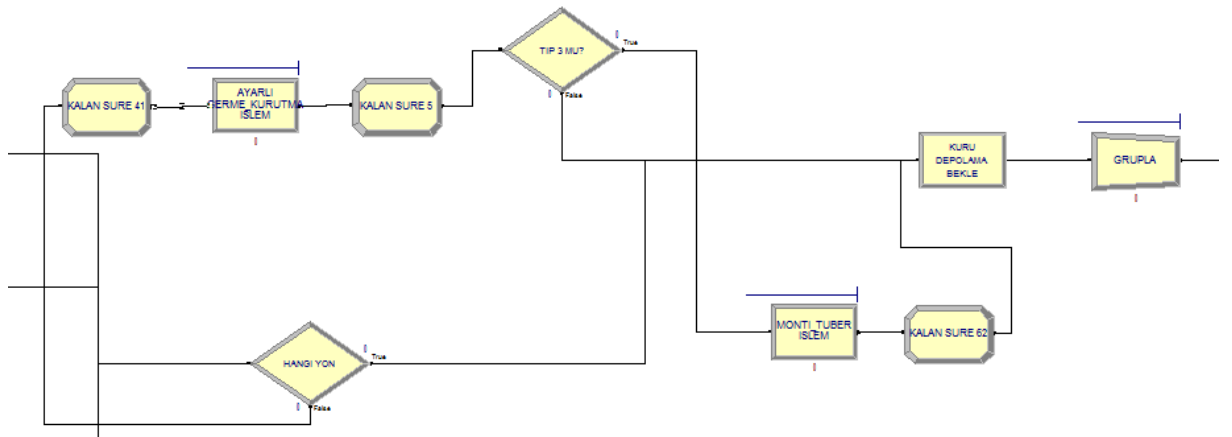
Benzetim ARENA 11.0 ile modellenmiştir. Yollama kurallarıyla benzetimin farklılıkları gösterildikten sonra ve temsili bir yollama kuralı ele alınarak benzetim modellemesi ele alınacaktır.

3.4.3.1 Yollama kuralı modelleme farklılıkları

Bütün yollama kuralları için ayrı benzetim modelleri yapılmıştır. Çünkü statik kurallar haricinde her yollama kuralı makinelerden önce kuralın gerektirdiği amacı gerçekleştirmek için atanmaktadır. Yollama kurallarının dört farklı yapıya bölünmesi ve her birinin ayrı notasyonlara sahip olması farklı benzetim modelleri kurmanın diğer bir nedenidir. Bunun yanında bazı yollama kuralları benzer notasyonlara sahip olduğundan genel blok görünümleri aynı olabilir. Örnek olarak RPT_i notasyonu ortak olan COVERT ve RR kuralları örnek verilebilir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te bu yapıya ait bir örnek görülmektedir.

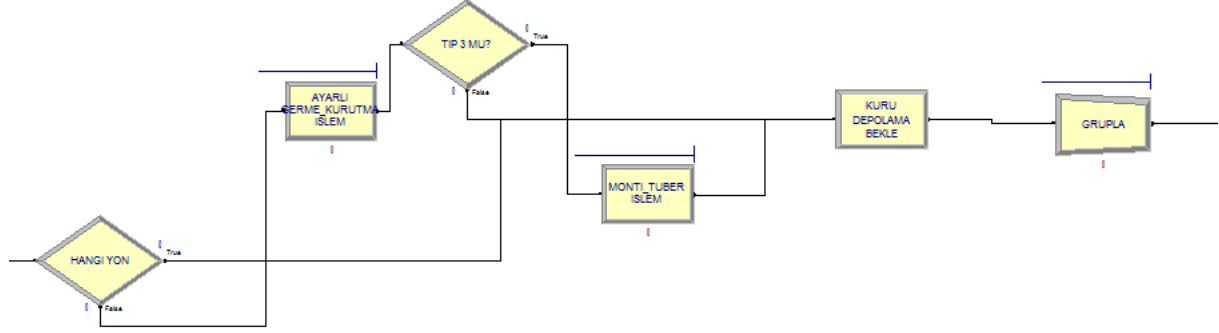


Şekil 3.3 : COVERT kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.



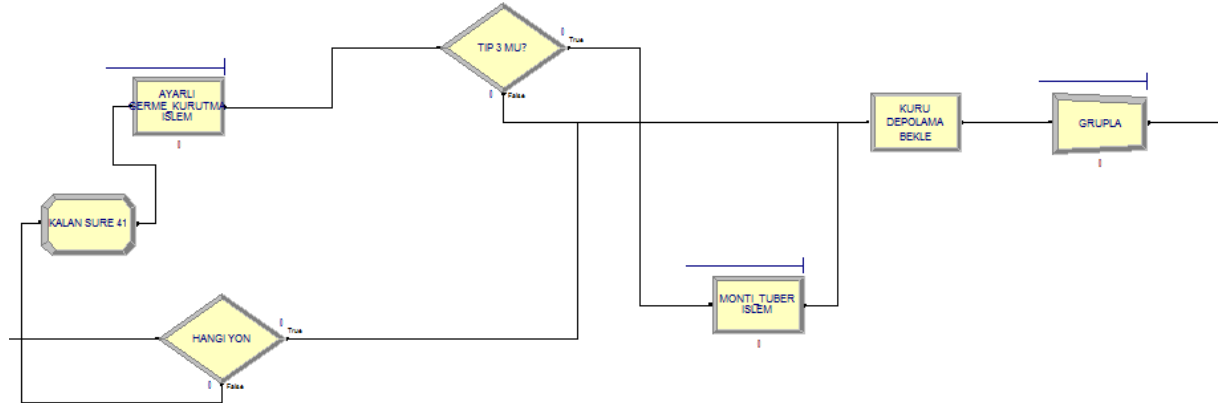
Şekil 3.4 : RR kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.

Fakat yukarıda belirttiğimiz gibi kurallar da kendi aralarında farklılaşmaktadır. Statik kurallar ve kompozit kurallar da kendi aralarında farklılaşmaktadır. Statik kurallar sistem durumuna bağlı olmadığından ilgili özellik başta atanır. O yüzden makinelerden önce tekrar atama bloğu koymaya gerek yoktur. Şekil 3.5'te bu durum net bir şekilde görülebilir.



Şekil 3.5 : FIFO kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.

Yukarıdaki iki tip yollama kuralı modellemesinin dışında Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'e benzeyen fakat atama bloğunun yeri bakımından farklılaşan modeller de vardır. Bu tip kurallarda modellemede klasik yaklaşım yani sadece yollamanın yapılacağı makineden önce atamaların yapılması yeterlidir. Çünkü RPT_i gibi bir notasyonun bulunması gerekmez. Aşağıdaki şekilde PT+WINQ kuralı için oluşturulan model bizim için önemli bir göstergedir.



Şekil 3.6 : PT+WINQ kuralı, hazırlık atölyesinin bir bölümü.

3.4.3.2 Örnek yollama kuralı üzerinden modelleme

Yollama kurallarındaki farklılıklardan bahsetmiştik. Ancak modeller dikkatli bir şekilde incelendiğinde RPT_i parametresi bulunmak istendiğinden COVERT gibi

modellerde daha fazla blok kullanıldığından dolayı anlatılacak model bu kuralı esas alacaktır. COVERT kuralında bulunması istenen b parametresi bu çalışmada yapılan denemeler sonucunda 1000 olarak bulunmuştur ve ona göre yollama kuralı hesaplaması yapılmıştır.

Sistemin genel modeli

Gelen siparişlerin sisteme aynı anda geldiği varsayılmaktadır. O yüzden GELIS modülünden gelen tek bir entity TIP AYIR modülüyle 5 farklı entityye ayrılmaktadır. Sonrasında ATAMA modülüne gelen entityye attribute olarak şu özellikler atanır:

- Parça tipi
- Entity temsili için resim
- Parti miktarı
- Kesikli dağılıma uyan boya tipi ataması
- Teslim günü ataması
- COVERT yollama kuralı formülü

GELEN SIFIRLA modülü TIP numarasını ayarlamak için konmuş bir modüldür. SIPARIS COGALT modülü ise gelen tek entityyi parti miktarı adedince çoğaltır. Böylece sisteme parti miktarı adedince parça salınmış olur. Buradan sonra parçalar Örme – Hazırlık – Boya – Bitiş atölyelerinin hepsini ziyaret edecek ve sistemden çıkacaktır. Sistemin genel modeli Şekil F.1’de görülmektedir.

Örme atölyesi modeli

Örme atölyesinde 4 adet paralel örme makinesi süreci vardır. Buradaki makineler özdeştir. Atamada ise önce makinenin boş olup olmadığına bakılacak eğer doluysa en az kuyruğa sahip olan örme süreci seçilecektir. Yani gelen parti bölünecektir. Örme sürecinden sonra çıkan parçalar kalite kontrol işçisi tarafından kontrol edilir ve işlenen parçalar bir sonraki atölye olan hazırlık atölyesine geçer. Örme atölyesi ARENA modeli Şekil F.2’den görülebilir.

Hazırlık atölyesi modeli

Hazırlık atölyesi modeli büyük olduğundan 4 parçada anlatılacaktır. İlk parçada SPEROTTO makinesine gidecek işlerin seçimi yapılmıştır. SPEROTTO ISLEM sürecinin önüne atama bloğu koyulmasının nedeni makine öncesindeki karar anında

her bir iş için yollama kuralının o anki değerini saptamaktır. Makinelardan sonra konulan blokların nedeniyse RPT_i parametresini hesaplarken işin o ana kadar işlem gördüğü makine sürelerinin toplamını hesaplamaktır. Böylece bir sonraki makineye gelmeden önceki atama bloğunda RPT_i , parçanın işleneceği toplam işleme süresinden o ana kadarki süre çıkarılarak bulunur. Hazırlık süreçlerine atama ise örme süreci gibidir. Makineler gene özdeştir. Fakat buradaki makineler Hazırlık TF ve Hazırlık UF işlemlerinin ikisini de yapabilen esnek makinelerdir. Hazırlık sürecinden çıkan parçalar rotalarına göre makinelere dağılırlar. İlgili makinelerde işlem gören parçalar boyama öncesi kuru depolama alanında bekler ve gruplanarak boya atölyesine taşınır. Şekil F.3'ten de bu durum görülebilir.

Boya atölyesi modeli

Gruplanan yani kolilenen parçalar KOLI AYIR modülüyle makinelere ürün rotalarına göre dağıtılır. HAZ ORT isimli modüllerse TWK yani teslim günü değerinin bulunması için makinenin ortalama hazırlık süresini tutar. ATAMA modülleriyle sıra bağımlı hazırlık süresini bulmada yardımcı olur. Sıra bağımlı hazırlık süresi makineden çıkan parçanın boya tipine bağlı olduğundan dolayı makineden çıkan parçaların boya tipi kayıt altına alınır. Böylece parçaya uygulanacak hazırlık süresi f (*Çıkan tip, Giren tip*) fonksiyonuna göre önceden sürelerin belirlendiği tablodan okunarak tespit edilir. BOYA TIPI AYARI modülleri benzetimin ilk çalıştırıldığı anda çıkan boya tipi olmadığından ve parçalar makinelerde işlenirken hazırlık süreleri f (*Çıkan tip, Giren tip*) fonksiyonuna göre tanzim edildiğinden ötürü benzetimde çıkabilecek hataları engellemek için konulmuştur. SAYDIRMA modülünün işlevi de BOYA TIPI AYARI modülünün işlevi gibi hata engellemek üzere konulmuştur. Bunun yanında hazırlık atölyesinde belirtildiği gibi yollama kuralını en küçükleyici hesaplamalar da yapılır. Şekil F.4'ten boya atölyesi modeli ayrıntılı olarak görülebilir.

Bitiş atölyesi modeli

Bitiş atölyesine gelen koliler ayrılır. İşler rotalarına göre ilgili makinelere gider. Süreç öncesinde ve sonrasında konulan atama modülleri hazırlık atölyesinde belirtilen amaçlara uygun şekilde konulmuştur. Bitiş atölyesindeki farklılık, performans ölçütlerini belirlemek için kullanılan modüllerdedir. CIKAN,

TARDINESS vs gibi modüller aracılığıyla performans ölçütleri tespit edilir. Şekil F.5'ten ARENA modeli ayrıntılı olarak görülebilir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kurulan benzetim modeline göre 17 yollama kuralı denendi ve deney tasarımı da belirtildiği gibi iki deney faktörü altında toplamda 680 benzetim koşumu yapıldı. Bu bölümde iki soruya cevap aranacaktır:

1. Denenen 17 yollama kuralı hangi performans ölçütü ve hangi deney parametresi kombinasyonunda iyi sonuç vermiştir?
2. İlgili deney parametreleri yollama kuralı performansını nasıl etkilemiştir?

Soruların cevapları incelenecek, böylece literatür için faydalı bir çıkarıma varılacaktır. Soruların cevabı ayrı başlıklar halinde verilecektir.

3.4.4 Performans ölçütlerine göre yollama kurallarının karşılaştırılması

Deney parametrelerine benzetim esnasında çeşitli değerler verilmiştir. Gelişlararası süre *gas* kısaltmasıyla tanımlanmıştır. TWK metodundaki teslim günü sıklık faktörü adı verilen *c* parametresi diğer deney faktörüdür. Deney faktörlerinin ikili kombinasyonları Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 : Deney faktörleri ikili birleşimi.

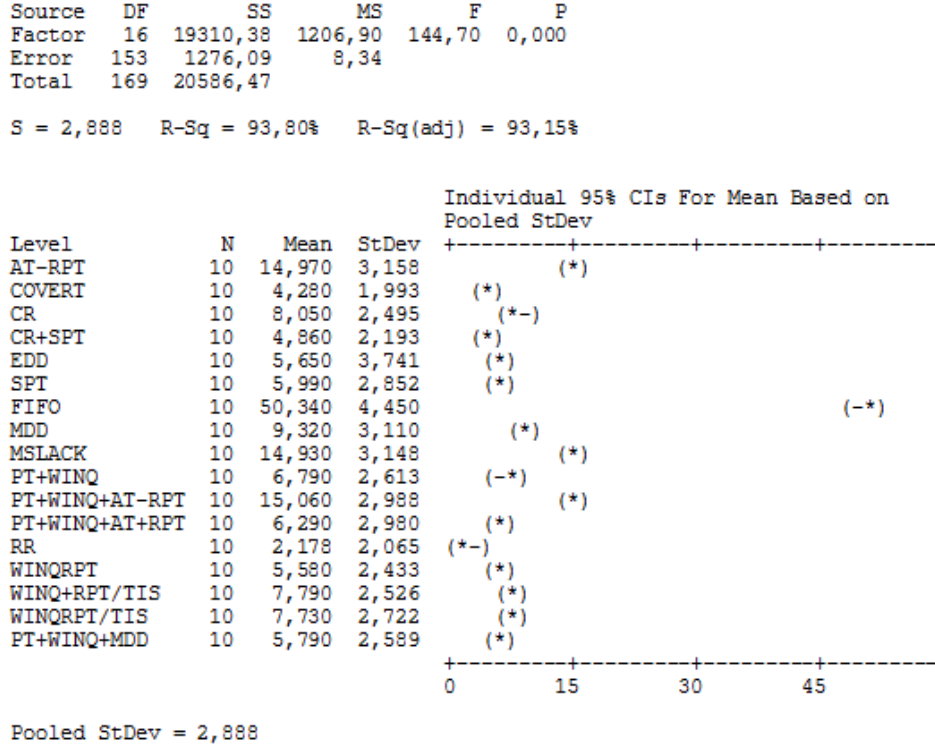
	c	
Gas	2	4
2	2,2	2,4
8	8,2	8,4

Deney faktörlerinin açıklaması şöyledir:

$$c \left\{ \begin{array}{l} 2, \text{ sıkı teslim günü} \\ 4, \text{ gevşek teslim günü} \end{array} \right. , \quad gas \left\{ \begin{array}{l} 2, \text{ yakın} \\ 8, \text{ uzak} \end{array} \right.$$

Çizelge 3.4'teki gibi her bir kombinasyon altında ve her kural için 10 benzetim koşumu yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirilirken her performans ölçütü için yollama kurallarının yukarıdaki dört adet kombinasyonu altındaki performans sonuçları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığı karşılaştırılmıştır. Uygulamada Minitab 16 kullanılmış ve tek yönlü varyans testi $\alpha = 0.05$ olacak şekilde

uygulanmıştır. Örnek olarak %TJ performans ölçütündeki 8,2 deney parametresi kombinasyonu ele alınmıştır. İlgili analizin sonucu Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9’da gösterilmiştir.



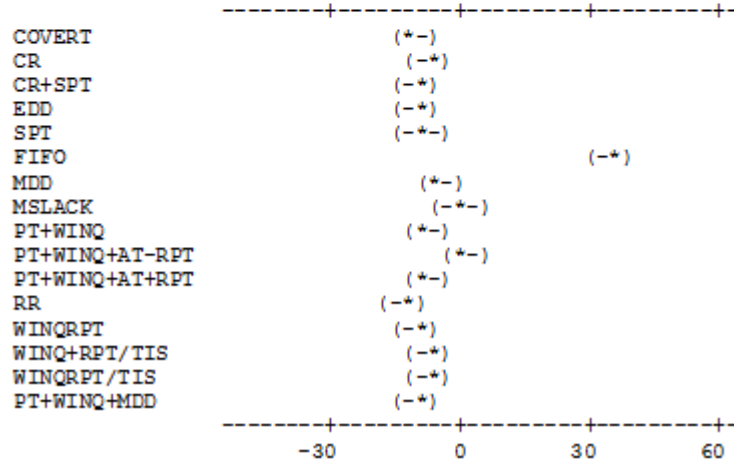
Şekil 3.7 : %TJ performans ölçütü ve 8,2 deney parametresi için Anova testi sonucu

Grouping Information Using Tukey Method			
	N	Mean	Grouping
FIFO	10	50,340	A
PT+WINQ+AT-RPT	10	15,060	B
AT-RPT	10	14,970	B
MSLACK	10	14,930	B
MDD	10	9,320	C
CR	10	8,050	C D
WINQ+RPT/TIS	10	7,790	C D
WINQRPT/TIS	10	7,730	C D
PT+WINQ	10	6,790	C D
PT+WINQ+AT+RPT	10	6,290	C D E
SPT	10	5,990	C D E
PT+WINQ+MDD	10	5,790	C D E
EDD	10	5,650	C D E
WINQRPT	10	5,580	C D E
CR+SPT	10	4,860	C D E
COVERT	10	4,280	D E
RR	10	2,178	E

Şekil 3.8 : %TJ performans ölçütü ve 8,2 deney parametresi için Tukey testi sonucu.

AT-RPT subtracted from:

	Lower	Center	Upper
COVERT	-15,238	-10,690	-6,142
CR	-11,468	-6,920	-2,372
CR+SPT	-14,658	-10,110	-5,562
EDD	-13,868	-9,320	-4,772
SPT	-13,528	-8,980	-4,432
FIFO	30,822	35,370	39,918
MDD	-10,198	-5,650	-1,102
MSLACK	-4,588	-0,040	4,508
PT+WINQ	-12,728	-8,180	-3,632
PT+WINQ+AT-RPT	-4,458	0,090	4,638
PT+WINQ+AT+RPT	-13,228	-8,680	-4,132
RR	-17,340	-12,792	-8,244
WINQRPT	-13,938	-9,390	-4,842
WINQ+RPT/TIS	-11,728	-7,180	-2,632
WINQRPT/TIS	-11,788	-7,240	-2,692
PT+WINQ+MDD	-13,728	-9,180	-4,632



Şekil 3.9 : AT-RPT kuralının diğer kurallarla ikili karşılaştırması.

Hipotez testi şöyle kurulmuştur:

H_0 = Yollama kuralları arasında anlamlı fark yoktur

H_1 = Yollama kuralları arasında anlamlı fark vardır

Test sonucunda $F^* = 144,70 > F_{0,05, 16, 153} = 1,718$ çıkmıştır. Bu durum da yollama kuralları arasında istatistiksel açıdan ciddi derecede fark olduğunu ortaya koyar. Aynı sonuca p değerine bakılarak da varılabilir. $P\{F(0,05,16,153) > 144,70\} = 0$ ifadesi $P \leq \alpha$ olduğundan dolayı kesin olarak H_0 hipotezinin reddi olan H_1 hipotezinin doğruluğunu kanıtlar.

Ancak kuralların istatistiksel açıdan farklı olması yeterli değildir. Çalışmada esas merak edilen hangi kuralın ya da kuralların sınanan koşulda en iyi sonucu verdiğidir. Bu nedenle kuralların birbirinden tek tek farklılığını bulmak için Tukey testi yapılır. Tukey testi sayesinde kurallar ikili olarak karşılaştırılır ve istatistiksel manada aralarında fark olmayan kurallar aynı sınıfta yer alır. Şekil 3.14'te sadece AT – RPT

kuralının güven aralığı diğer kuralların güven aralıklarıyla kıyaslanmıştır. Tukey testine göre eğer güven aralığı farkı sıfırı içeriyorsa karşılaştırılan iki kural aynı istatistiksel sınıfta yer alır. Kıyaslamada AT-RPT güven aralığı diğer kuralların güven aralığından çıkarıldığında PT+WINQ+AT-RPT ve MSLACK kurallarının güven aralığının sıfırı içerdiği fakat diğer kuralların güven aralığının sıfırın dışına düştüğü görülebilir. Bu durum da AT-RPT kuralının sadece PT+WINQ+AT-RPT ve MSLACK kurallarıyla aynı istatistiki klasmanda olduğunu fakat diğer kurallarla istatistiki açıdan aynı sınıfta yer aldığını belirtir. AT-RPT ve MSLACK kıyaslaması matematiksel gösterimle şöyle gösterilir:

$$-4,588 \leq \mu_{MSLACK} - \mu_{AT-RPT} \leq 4,508 \quad (3.22)$$

Bütün performans ölçütleri ve deney parametreleri için yapılan Tukey testlerinin sonuçları Çizelge 3.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 : Yollama kurallarının Tukey testi sonuçları.

Parametreler			Yollama Kuralları		Performans Ölçütleri											
gas	c		F*		T*		% TJ		VART		VARf					
			Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma				
8	2	AT-RPT	6,029 ^a	2,099	0 ^b	0	14,97 ^b	3,158	11,639 ^a	8,657	24,047 ^{a,b}	12,14				
		COVERT	5,796 ^a	1,748	0 ^b	0	4,28 ^{d,e}	1,993	2,709 ^b	2,508	11,928 ^{b,c}	5,352				
		CR	6,407 ^a	1,881	0 ^b	0	8,05 ^{c,d}	2,495	5,561 ^{a,b}	3,94	14,33 ^{a,b,c}	6,224				
		CR+SPT	5,517 ^a	1,297	0 ^b	0	4,86 ^{c,d,e}	2,193	2,513 ^b	2,345	12,311 ^{b,c}	5,447				
		EDD	5,578 ^a	1,797	0 ^b	0	5,65 ^{c,d,e}	3,741	0,35 ^b	0,294	9,376 ^c	2,508				
		SPT	5,436 ^a	1,446	0 ^b	0	5,99 ^{c,d,e}	2,852	1,441 ^b	1,227	10,144 ^c	3,859				
		FIFO	5,935 ^a	1,373	0,4813 ^a	0,8609	50,34 ^a	4,45	5,587 ^{a,b}	2,385	9,104 ^c	2,746				
		MDD	4,507 ^a	2,098	0 ^b	0	9,32 ^c	3,11	7,49 ^{a,b}	6,06	26,879 ^a	11,422				
		MSLACK	6,029 ^a	2,099	0 ^b	0	14,93 ^b	3,148	11,525 ^a	8,587	23,914 ^{a,b}	12,076				
		PT+WINQ	6,005 ^a	1,509	0 ^b	0	6,79 ^{c,d}	2,613	4,161 ^{a,b}	3,415	15,41 ^{a,b}	6,943				
		PT+WINQ+AT-RPT	5,989 ^a	2,1	0b	0	15,06 ^b	2,988	11,409 ^a	8,311	23,653 ^{a,b}	11,659				
		PT+WINQ+AT+RPT	5,398 ^a	1,807	0 ^b	0	6,29 ^{c,d,e}	2,98	11,449 ^a	8,315	23,722 ^{a,b}	11,665				
		RR	6,357 ^a	1,715	0 ^b	0	2,18 ^e	2,065	2,178 ^b	2,065	11,839 ^{b,c}	5,024				
		WINQRPT	5,279 ^a	1,848	0 ^b	0	5,58 ^{c,d,e}	2,433	4,877 ^{a,b}	4,887	18,54 ^{a,b,c}	9,111				
		WINQ+RPT/TIS	6,188 ^a	1,985	0 ^b	0	7,79 ^{c,d}	2,526	4,985 ^{a,b}	4,296	13,211 ^{b,c}	6,516				
		WINQRPT/TIS	6,211 ^a	1,98	0 ^b	0	7,73 ^{c,d}	2,722	5,49 ^{a,b}	4,948	13,766 ^{b,c}	7,017				
		PT+WINQ+MDD	5,458 ^a	1,87	0 ^b	0	5,79 ^{c,d,e}	2,589	3,142 ^b	2,746	16,148 ^{a,b,c}	6,856				

Çizelge 3.5 (devam): Yollama kurallarının Tukey testi sonuçları.

Parametreler		Yollama Kuralları	Performans Ölçütleri									
gas	c		F*		T*		% TJ		VARt		VARf	
			Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma
8	4	AT-RPT	5,266 ^a	0,975	0 ^a	0	2,79 ^{c,d}	1,772	2,487 ^b	2,959	22,284 ^{a,b}	10,307
		COVERT	6,261 ^a	2,825	0 ^a	0	4,38 ^{b,c}	1,957	2,501 ^b	2,365	11,48 ^{b,c}	4,974
		CR	6,015 ^a	1,678	0 ^a	0	0,75 ^{d,e}	0,636	0,426 ^b	0,588	11,021 ^{b,c}	4,538
		CR+SPT	7,141 ^a	2,625	0 ^a	0	0,40 ^e	0,535	0,206 ^b	0,389	11,68 ^{b,c}	5,14
		EDD	5,812 ^a	1,93	0 ^a	0	0,14 ^e	0,35	0,001 ^b	0,002	12,021 ^{b,c}	4,005
		SPT	6,293 ^a	1,831	0 ^a	0	0,39 ^e	0,7	0,045 ^b	0,108	10,066 ^c	4,307
		FIFO	6,482 ^a	1,681	0 ^a	0	6,15 ^b	3,315	1,376 ^b	1,721	9,85 ^c	4,203
		MDD	6,516 ^a	3,447	0,1368 ^a	0,4325	8,61 ^a	2,32	6,984 ^a	6,173	25,285 ^a	10,958
		MSLACK	5,272 ^a	0,983	0 ^a	0	2,78 ^{c,d}	1,792	2,489 ^b	2,96	22,223 ^{a,b}	10,374
		PT+WINQ	5,947 ^a	1,713	0 ^a	0	0,58 ^{d,e}	0,661	0,687 ^b	1,141	14,881 ^{a,b,c}	6,636
		PT+WINQ+AT-RPT	6,058 ^a	1,771	0 ^a	0	2,74 ^{c,d}	1,632	2,372 ^b	2,725	21,936 ^{a,b}	6,694
		PT+WINQ+AT+RPT	5,309 ^a	1,74	0 ^a	0	0,49 ^e	0,769	2,393 ^b	2,747	22,016 ^{a,b}	9,743
		RR	5,98 ^a	1,732	0 ^a	0	0,38 ^e	0,529	0,12 ^b	0,236	11 ^{b,c}	4,854
		WINQRPT	4,919 ^a	1,702	0 ^a	0	0,67 ^{d,e}	0,646	0,622 ^b	0,823	17,114 ^{a,b,c}	7,113
		WINQ+RPT/TIS	6,2 ^a	3,467	0 ^a	0	1,02 ^{d,e}	0,864	0,982 ^b	1,227	12,399 ^{b,c}	5,733
		WINQRPT/TIS	6,196 ^a	3,469	0 ^a	0	0,93 ^{d,e}	0,83	0,863 ^b	1,114	12,004 ^{b,c}	5,461
		PT+WINQ+MDD	5,294 ^a	1,731	0 ^a	0	0,60 ^{d,e}	0,706	0,388 ^b	0,712	15,973 ^{a,b,c}	7,176

Çizelge 3.5 (devam): Yollama kurallarının Tukey testi sonuçları.

Parametreler			Yollama Kuralları												Performans Ölçütleri					
gas	c		F*		T*		% TJ		VART		VARf									
			Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma								
2	2	AT-RPT	331,77 ^a	40,86	318,46 ^{a,b}	41,57	98,83 ^a	1,43	9156 ^{b,c}	1452	9140 ^{b,c}	1459	9140 ^{b,c}							
		COVERT	5,96 ^c	2,6	0 ^d	0	3,48 ^e	1,95	3 ^f	3	11 ^f	6	6							
		CR	137,04 ^{b,c}	147,67	126,58 ^{c,d}	147,33	73,65 ^c	9,38	8153 ^{b,c}	6774	8230 ^{b,c,d}	6800	6800							
		CR+SPT	203,97 ^{b,c}	58,75	192,55 ^{b,c}	59,31	99,84 ^a	0,47	2879 ^{d,e,f}	1309	2883 ^{e,f}	1303	1303							
		EDD	340,27 ^a	38,06	328,74 ^{a,b}	37,45	100,00 ^a	0	7882 ^{b,c}	1424	7948 ^{b,c,d}	1429	1429							
		SPT	125,37 ^{b,c}	199,46	117,04 ^{c,d}	197,75	44,88 ^e	10,92	7334 ^{b,c,d}	2686	7529 ^{b,c,d}	2757	2757							
		FIFO	354,06 ^a	92,27	347,93 ^a	92,5	100,00 ^a	0	11598 ^b	2161	11641 ^b	2167	2167							
		MDD	5,26 ^c	2,26	0 ^d	0	8,01 ^e	2,9	7 ^f	7	24 ^f	12	12							
		MSLACK	337,34 ^a	33,85	323,77 ^{a,b}	34,18	99,49 ^a	0,9	9053 ^{b,c}	1459	9033 ^{b,c,d}	1464	1464							
		PT+WINQ	59,22 ^{b,c}	92,48	50,34 ^{c,d}	90,6	55,25 ^d	7,83	8306 ^{b,c}	3514	8629 ^{b,c,d}	3603	3603							
		PT+WINQ+AT-RPT	350,2 ^a	63,24	337,04 ^{a,b}	64,92	98,96 ^a	1,32	9089 ^{b,c}	1449	9073 ^{b,c,d}	1455	1455							
		PT+WINQ+AT+RPT	307,25 ^a	52,96	296,21 ^{a,b}	51,98	95,12 ^{a,b}	2,16	8306 ^{b,c}	3514	9066 ^{b,c,d}	1449	1449							
		RR	45,12 ^c	78,71	45,12 ^d	78,71	45,26 ^e	8,35	9444 ^{b,c}	7067	5048 ^{c,d,e}	4255	4255							
		WINQRPT	10,66 ^c	7,93	3,38 ^d	4,5	19,30 ^f	1,63	1560 ^{e,f}	1463	1707 ^{a,f}	1521	1521							
		WINQ+RPT/TIS	149,83 ^{b,c}	155,12	138,23 ^{c,d}	154,6	73,71 ^c	8,94	5231 ^{c,d,e}	3793	5296 ^{c,d,e}	3805	3805							
		WINQRPT/TIS	109,34 ^{b,c}	148,56	97,95 ^{c,d}	148,22	73,8 ^c	9,9	4661 ^{c,d,e,f}	2577	4723 ^{d,e}	2584	2584							
		PT+WINQ+MDD	306,74 ^{a,b}	100,38	293,88 ^{a,b}	100,23	88,66 ^b	5,2	17043 ^a	2331	17491 ^a	2265	2265							

Çizelge 3.5 (devam): Yollama kurallarının Tukey testi sonuçları.

Parametreler			Performans Ölçütleri														
Yollama Kuralları			F*			T*			% TJ			VART			VARf		
gas	c		Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	Ort	St sapma	
2	4	AT-RPT	366,07 ^a	55,5	341,1 ^a	59,5	98,34 ^a	1,23	8854 ^{b,c}	1307	8839 ^{c,d,e}	1293					
		COVERT	5,96 ^d	2,6	0 ^d	0	3,39 ^g	1,3	2 ^e	2	10 ^f	4					
		CR	137,04 ^{c,d}	147,67	80 ^{c,d}	117,4	57,57 ^c	12,25	16648 ^a	7821	17287 ^{a,b}	7956					
		CR+SPT	203,97 ^{b,c}	58,75	166 ^{b,c}	53,6	98,75 ^a	2,45	2635 ^{d,e}	541	2637 ^{a,f}	524					
		EDD	340,27 ^{a,b}	38,06	324,6 ^a	25,8	100,00 ^a	0	7589 ^{b,c,d}	1214	7735 ^{c,d,e}	1233					
		SPT	125,37 ^{c,d}	199,46	101,7 ^{c,d}	208,8	27,94 ^e	5,74	8810 ^{b,c}	2493	9555 ^{c,d}	2667					
		FIFO	354,06 ^a	92,27	336,2 ^a	100,8	100,00 ^a	0	11671 ^{a,b}	2174	11759 ^{b,c}	2185					
		MDD	5,26 ^d	2,26	0 ^d	0	7,58 ^{f,g}	2,14	5 ^e	4	21 ^f	8					
		MSLACK	337,34 ^{a,b}	33,85	323,8 ^a	48	99,29 ^a	0,91	8660 ^{b,c,d}	1263	8628 ^{c,d,e}	1264					
		PT+WINQ	59,22 ^d	92,48	114,8 ^{c,d}	130,6	44,59 ^d	6,15	9282 ^b	7816	10311 ^c	8194					
		PT+WINQ+AT-RPT	358,6 ^a	49,4	333,5 ^a	52,4	98,38 ^a	1,17	8792 ^{b,c}	1292	8776 ^{c,d,e}	1285					
		PT+WINQ+AT+RPT	319,81 ^{a,b}	56,56	295,7 ^{a,b}	51,9	95,39 ^{a,b}	1,79	8791 ^{b,c}	1289	8776 ^{c,d,e}	1282					
		RR	45,12 ^d	78,71	95,6 ^{c,d}	204,7	38,08 ^d	9,71	8656 ^{b,c,d}	5013	9526 ^{c,d}	5311					
		WINQRPT	27,93 ^d	73,53	21,4 ^{c,d}	67,7	13,53 ^f	1,59	2846 ^{c,d,e}	2206	3373 ^{d,e,f}	2448					
		WINQ+RPT/TIS	36,89 ^d	35,44	18,1 ^{c,d}	31,6	44,80 ^d	7,44	8799 ^{b,c}	6938	9291 ^{c,d}	7122					
		WINQRPT/TIS	41,5 ^d	40,61	24 ^{c,d}	36	43,59 ^d	6,46	6895 ^{b,c,d}	4880	7347 ^{c,d,e}	5016					
		PT+WINQ+MDD	380,31 ^a	149,15	355,2 ^a	147,5	88,83 ^b	5,07	17081 ^a	2693	18019 ^a	2562					

Çizelge 3.5 incelendiğinde çizelgenin, deney faktörlerinin ikili kombinasyonlarına göre oluşturulduğu görülmektedir. Toplam dört kombinasyon olduğundan dört adet çizelge verilmiştir. Yollama kurallarının her bir performans ölçütü için ortalaması ve standart sapması verilmiştir. Ortalama değerler üzerindeki alfabetik harfler o kuralın hangi istatistiksel gruba girdiğini göstermektedir. Örneğin (2,4) kombinasyonunu sağlayan dördüncü tabloda EDD kuralının benzetim koşum sonucu, Tukey testi sonucunda F^* performans ölçütü için hem a hem de b grubuna girmiştir. Aynı performans ölçütü için AT-RPT kuralının sadece a grubuna girdiği de dikkati çeken diğer bir noktadır.

Türetilen benzer kuralların karşılaştırması yapıldığında değişik durumlar göze çarpmaktadır. İlk benzer grup olan PT+WINQ+AT+RPT ile PT+WINQ+AT-RPT kuralları karşılaştırıldığında genelde aynı sonuçları verdiği fakat PT+WINQ+AT+RPT kuralının %TJ performans ölçütü için (8,2) ve (8,4) deney kombinasyonlarında diğer kurala baskın geldiği gözlemlenmiştir. Ancak Çizelge 3.6'dan da gözlendiği gibi hem türetildiği PT+WINQ kuralından daha kötü sonuç vermiş hem de genel olarak tüm performans ölçütleri göz önüne alındığında düşük performans göstermişlerdir. İkinci benzer grup olan WINQRPT/TIS ve WINQ+RPT/TIS kuralları Çizelge 3.5'e göre birebir kıyaslandığında performansları arasında anlamlı bir fark olmadığı aynı zamanda performanslarının da türetildikleri WINQRPT kuralından da daha aşağıda olduğu Çizelge 3.5 ve 3.6'ya göre açıkça görülmektedir.

Çizelgelere bakıldığında alfabetik olarak birçok istatistiksel grup göze çarpar. Bu gruplardaki sonuçlardan en iyisi alfabetik olarak en son sırada olan Tukey testi grubudur. Mesela (2,4) kombinasyonu olan dördüncü tabloda %TJ performans ölçütü altında a'dan g'ye kadar istatistiksel grup tanımlanmıştır. Verilenler arasında sondaki grup olan g istatistiksel grubunu paylaşan MDD ve COVERT kuralları bu performans ölçütü altında en iyi sonucu veren kurallar kümesini paylaşmaktadır. Çizelge 3.6'da en iyi istatistiksel grupta yer alan kurallar tablo halinde verilmiştir. Dikkatli bir şekilde incelendiğinde, en iyi kurallar kümesi olarak en fazla x işaretine sahip olan COVERT ve WINQRPT kuralları net bir şekilde görülebilir. Bu kuralları MDD, RR, CR+SPT ve SPT kuralları izlemektedir. Bu ikinci grubu sırasıyla CR, PT+WINQ, WINQ+RPT/TIS, WINQRPT/TIS, EDD ve PT+WINQ+MDD kuralları izlemektedir. En zayıf performans gösteren grup olarak da iyiden kötüye

PT+WINQ+AT+RPT, FIFO PT+WINQ+AT-RPT, MSLACK ve AT-RPT kuralları gözlemlenmiştir.

Çizelge 3.6 : Tukey testine göre en iyi sonuç veren kurallar.

Yollama Kuralları	F*				T*				%TJ				Vart				VarF			
	8,2	8,4	2,2	2,4	8,2	8,4	2,2	2,4	8,2	8,4	2,2	2,4	8,2	8,4	2,2	2,4	8,2	8,4	2,2	2,4
AT-RPT	x	x			x	x								x						
COVERT	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CR	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x			x	x		
CR+SPT	x	x			x	x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
EDD	x	x			x	x			x	x			x	x			x	x		
SPT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x		
FIFO	x	x				x							x	x			x	x		
MDD	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		x	x			x	x
MSLACK	x	x			x	x								x						
PT+WINQ	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x				x		
PT+WINQ+AT-RPT	x	x			x	x								x						
PT+WINQ+AT+RPT	x	x			x	x			x	x				x						
RR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x			x	x		
WINQRPT	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
WINQ+RPT/TIS	x	x		x	x	x	x	x		x			x	x			x	x		
WINQRPT/TIS	x	x		x	x	x	x	x		x			x	x			x	x		
PT+WINQ+MDD	x	x			x	x			x	x			x	x			x	x		

3.4.5 Deney parametre etkisinin incelenmesi

Deney parametreleri olarak seçilen *gas* ve *c* değerlerinin yollama kurallarının performans değerlerine etkileri farklıdır. Bunun dışında bazı durumlarda *gas* ve *c* arasında da ilişki olabilir. Bu iki durumu da ayrıntılı bir şekilde incelemek için Minitab 16.0'da çift yönlü varyans analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları uzun olduğundan temsili olarak en büyük F değerini veren analiz üzerinden yorum yapılacaktır. Test için yollama kurallarının ilgili performans ölçütü altındaki bütün deney parametresi kombinasyonlarının sonucu yani 40 koşumun tamamı dikkate alınmıştır. Yapılan test sonucu Şekil 3.10'da verilmiştir.

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	51488	51229	51229	6656,27	0,000
c	1	4906	4857	4857	631,12	0,000
gas*c	1	4857	4857	4857	631,12	0,000
Error	36	277	277	8		
Total	39	61529				

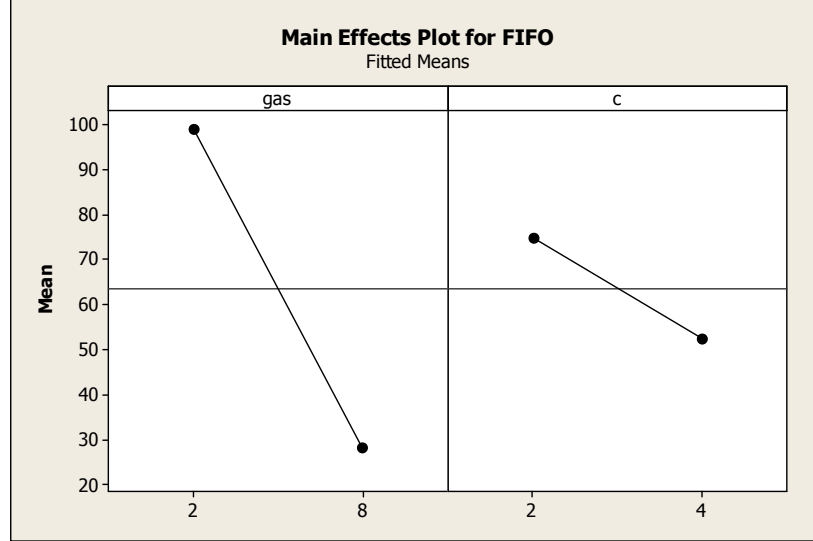
S = 2,77423 R-Sq = 99,55% R-Sq(adj) = 99,51%

Şekil 3.10 : Deney parametrelerinin etki analizi.

Şekilden de görüldüğü gibi %TJ performans ölçütü altında, FIFO yollama kuralı analiz sonucunda en büyük F değerini vermiştir. Testte şu üç koşul için hipotez testi yapılmıştır:

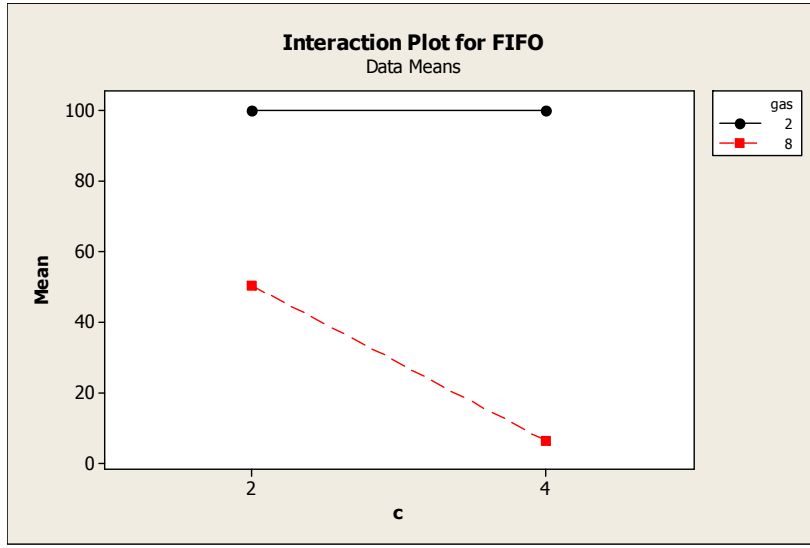
1. *gas*: Gelişler arası sürenin değiştirilmesi yollama kuralının performansına etki eder mi?
2. *c*: Teslim günü sıklık faktörünün değiştirilmesi yollama kuralının performansına etki eder mi?
3. *gas*c*: Gelişler arası süre ve teslim günü sıklık faktörü arasında bir ilişki var mıdır?

Üç koşulun F testi sonucu $F_{0,95, 1, 36} = 4,11$ 'den çok büyük ve bütün *P* değerleri 0 olduğundan dolayı yukarıdaki üç sorunun da cevabı olumludur. Yani *gas* ve *c* parametreleri performansa çok büyük oranda etki etmektedir. Ayrıca yine *gas* ve *c* arasındaki ilişki ciddi derecede anlamlıdır. Bu analiz grafiksel olarak da desteklenebilir. Minitab'de *gas* ve *c* faktörlerinin yollama kuralı performansı etkisi üzerine gerekli grafikler çizdirilmiştir. Şekil 3.11'de *gas* ve *c* arttıkça teslim gecikmesi oranı düşmektedir.



Şekil 3.11 : Deney parametrelerinin FIFO kuralı performansına etki grafiği.

İki parametre aynı etkiyi yaptığından dolayı bu ikisi arasındaki ilişkinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3.12'de verilmiştir. Şekle göre *gas* = 2 ise *gas*'ın FIFO kuralına etkisi *c* değişiminden etkilenmez. Ancak *gas* = 8 olduğunda *c*'nin düşmesi teslim gecikmesi ortalamasını düşürür ve FIFO kuralının performansı olumlu manada etkilenir. Bu durum da iki faktör arasındaki ilişkinin net bir göstergesidir.



Şekil 3.12 : FIFO kuralı için deney parametreleri arasındaki ilişki.

Ek kısmında çift yönlü varyans testinin bütün sonuçları F ve P değerlerine bakılarak dikkate alındığında;

- Ortalama kalış süresi: WINQ+RPT/TIS
- Ortalama teslim gecikmesi yüzdesi: AT-RPT, CR+SPT, EDD, SPT, FIFO, MSLACK, PT+WINQ+AT-RPT, PT+WINQ+AT+RPT, WINQRPT, WINQRPT/TIS, PT+WINQ+MDD
- Ortalama teslim gecikmesi süresi: WINQ+RPT/TIS
- Akış süresi varyansı: CR, SPT, RR, WINQRPT/TIS
- Teslim gecikmesi varyansı: CR

kurallarının performansını iki parametre arasındaki ilişki belirlemiştir. Bu bilgiyi Çizelge 3.7’deki gibi genelleylebiliriz.

Çizelge 3.7 : Deney parametrelerinin performans ölçütlerine etkisi.

Performans Ölçütleri	Deney parametresi		
	gas	C	gas*c
F*	x		
T*	x		
% TJ	x	X	X
VAR _t	x		
VAR _f	x		

Çizelgede net bir şekilde görüldüğü gibi sadece %TJ performans ölçütünde arada birkaç istisna da olsa bütün deney parametreleri etki etmiş onun dışında deney parametreleri etkisi genelde *gas* ile sınırlı kalmıştır. Böylece deney parametrelerinden *gas*ın performans değerlerine esas etkiyi yaptığı *c* parametre değişimininse performansı etkilemede etkin bir rol oynamadığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada ilk başta dinamik çizelgeye duyulan ihtiyacın nedeni, siparişlerin dinamik olarak geldiği atölye koşullarına statik çizelgenin yanıt verememesi dolayısıyla dinamik çizelgelemeye duyulan ihtiyaç olarak açıklanmıştır. Dinamik çizelgelemenin uygulanmasında ne gibi tekniklerin kullanıldığına dair literatür araştırması sonucunda sürekli sipariş gelişlerinin olduğu dinamik bir atölye ortamında benzetim tekniği kullanılmasının doğru bir karar olduğu düşünülmüştür. Literatürde birçok benzetim tekniğini kullanan çalışma olmasına rağmen yollama kurallarının kullanılmasının nedeni olarak bu kuralların uygulanmasının basit ve gerektirdiği hesaplama süresinin kısa olması olarak belirtilmiştir. Literatürde yollama kurallarını kullanan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalardan yollama kuralları, deney faktörleri gibi hipotetik atölyenin benzetimle denenmesi için gereken sistem girdileri ve yollama kuralları performansını belirlemek için çeşitli performans ölçütleri gibi çıktılar tespit edilmiştir. Sonrasında çizelgeleme kavramı ve literatürde işlenen çizelge problem tipleri teorik bir şekilde açıklanmıştır. Literatürden seçilen yollama kurallarına ek olarak benzetimle performansı sınanmak üzere yeni yollama kuralları da önerilmiştir. Benzetimin kullanılacağı hipotetik atölye sistemi ise tekstil atölyesinin benzetimle modellenmesini konu alan bir makaleden derlenmiş fakat literatürde görülen paralel makineler, esnek makine gibi makine ortamına bağlı yapılar eklenmiş ve zaten var olan hazırlık süresi gibi özellikler çalışmaya göre sıra – bağımlı hazırlık olacak şekilde biraz değiştirilerek çeşitli varsayımlar altında ARENA 11.0 ile modellenmiştir. Her bir yollama kuralı için ayrı bir benzetim modeli tanımlanmış ve bu modeller deney parametrelerinin ikili kombinasyonları altında benzetimle çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Minitab 16.0 kullanılarak her performans ölçütü altında ikili deney kombinasyonlarına göre yollama kurallarının arasında istatistiksel fark olup olmadığı incelenmiş, ikili istatistiksel karşılaştırma sonucunda istatistiksel açıdan aralarında fark olmayan kuralların bir arada bulunduğu çeşitli gruplar oluşturulmuştur. Bu gruplar arasında istatistiksel olarak en iyi sonucu

veren kurallar performans ölçütlerine göre her bir deney kombinasyonun konulduğu bütünsel bir tabloda işaretlenmiş ve sonuç olarak WINQRPT ve COVERT yollama kuralları en iyi performansı gösteren kurallar kümesinde yer alarak diğerleri arasından sıyrılmıştır. Önerilen kurallardan olan WINQRPT kuralı, etkin performans gösteren kurallar arasında yer aldığından dolayı literatüre kazandırılmıştır. Bunun yanında diğer kurallar da gösterdikleri performanslara göre gruplara ayrılmışlardır. Ayrıca geliştirilen kurallardan benzer olanları birbirleriyle ve türetildikleri kurallarla kıyaslandığında, benzer olanların birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farkları olmadığı ve türetildikleri kurallardan daha kötü performans gösterdikleri gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca iki deney parametresinin yollama kurallarının hipotetik sistemdeki performanslarına etkisi incelenmiştir. Minitab 16.0'da her bir performans ölçütü altında bütün deney kombinasyonları sonuçları (4 kombinasyon x 10 benzetim koşumu = 40) çift yönlü varyans testine tabi tutulduğunda, *gas* parametresinin yollama kuralı performansına etkisi bütün performans ölçütlerinde karşılık bulurken *c*'nin ve iki deney parametresi arasındaki etkileşimin etkisinin birkaç küçük istisna çıkarıldığında genelde geciken teslim yüzdesi performans ölçütüyle sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Böylece *gas* parametresinin yollama kuralı performansını etkileyen asıl etken olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2 Tezin Literatüre Katkısı

Tezin literatüre katkısı olarak şu maddeler sıralanabilir:

- Tekstil atölyesinde yollama kuralları denenmiştir.
- Literatürdeki en etkili yollama kuralları ve makalede geliştirilen kurallar aralarında yarıştırlarak en iyi kuralların içinden daha etkin olan yollama kuralları tespit edilmiştir.
- WINQRPT kuralı literatüre kazandırılmıştır.

4.3 Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Yapılan çalışmada literatürdeki yollama kuralları ve çalışmada geliştirilen kurallardan belli deney ölçütleri altında en iyi performans verilen kurallar bulunmuştur. Fakat bu performans sadece oluşturulan hipotetik tekstil atölyesi sistemi için geçerlidir. Özellikle bu çalışmada önerilen kural olan WINQRPT kuralı farklı deney parametrelerini ve makine ortamlarını konu alan çalışmalarda

denenmelidir. Makine sürelerinin olasılıksal olması, tezgah veya sistem bozulmalarının yaşanması, acil siparişlerden kaynaklanan iş kesmenin yapılabilmesi, sıra-bağımlı hazırlık süresinin bir atölyede değil tüm atölyelerde uygulanması, sadece makine değil malzeme taşımalarının da göz önüne alınması, işçi veya yardımcı kaynak kısıtının olması, esnek makinelerin yaygın olması, rotaların rastgele dağıtılması, çeşitli makine süreleri veya parti miktarları gibi varsayımlarda dikkate alınmayan özelliklerden biri veya birkaçı ele alınarak tezdeki kurallar denenebilir. Ayrıca aynı kurallar çalışmada ele alınmayan maliyet, hazırlık süresi oranı, çevrim süresi, makine aylıklığı gibi performans ölçütleri dikkate alınarak denenebilir. Bütün bunların yanında tekstil atölyesinin yarısında belli bir yollama kuralı diğer yarısında başka türlü yollama kuralı kullanılıp tezde değinilen tek geçişli yollama kurallarıyla kıyaslanabilir. Son olarak çalışmada aynı klasmana giren 2 yollama kuralı uzman görüşüne başvurularak çok kriterli seçim yöntemlerinden olan TOPSIS’le çözülüp en etkin yollama kuralı bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Abou-Ali, M.G. ve Shouman, M.A.** (2004). Effect of dynamic and static dispatching strategies on dynamically planned and unplanned FMS, *Journal of Materials Processing Technology*, **148**, 132–138
- Aissani, N., Beldjilali, B. ve Trentesaux, D.** (2009). Dynamic scheduling of maintenance tasks in the petroleum industry: A reinforcement approach, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **22**, 1089–1103
- Aladağ, A.** (2010). *Tekrar işlemeli esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay bağışıklık sistemi ile bir çözüm yaklaşımı*, (yüksek lisans tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir
- Allahverdi, A., Gupta, J.N.D. ve Aldowaisan, T.** (1999). A review of scheduling research involving setup considerations, *Omega, Int. J. Mgmt Sci*, **27**, 219-239
- Ang, A.T.H., Sivakumar, A.I. ve Chao, Q.** (2009). Criteria selection and analysis for single machine dynamic on-line scheduling with multiple objectives and sequence-dependent setups, *Computers & Industrial Engineering*, **56**, 1223–1231
- Baker, K.R. ve Trietsch, D.** (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons
- Baskak, M.** (2011). *Üretimde sıralama ve çizelgeleme*, (ders notu), İTÜ, İstanbul
- Brucker, P.** (2007). *Scheduling Algorithms*, Fifth Edition, Springer
- Brucker, P. ve Knust, S.** (2012). *Complex Scheduling*, Second Edition, Springer
- Büyükköprü, E.** (2005). *Flexible job shop scheduling via simulation under sequence dependant setup times*, (yüksek lisans tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- Chan, F.T.S, Chan, H.K., Lau, H.C.W. ve Ip, R.W.L.** (2003). Analysis of dynamic dispatching rules for a flexible manufacturing system, *Journal of Materials Processing Technology*, **138**, 325–331
- Choi, B.K. ve You, N.K.** (2006). Dispatching rules for dynamic scheduling of one-of-a-kind production, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **19:4**, 383-392
- Cowling, P. ve Johansson, M.** (2002). Using real time information for effective dynamic scheduling, *European Journal of Operational Research*, **139**, 230–244

- Donghai, Y.** (2008). *Dynamic planning and scheduling in manufacturing systems with machine learning approaches*, (doktora tezi), The University of Hong Kong, Hong Kong, Çin
- Gargeya, V.B. ve Deane, R. H.** (1996). Scheduling research in multiple resource constrained job shops: a review and critique, *International Journal of Production Research*, **34:8**, 2077-2097
- Gargeya, V. B. ve Deane, R.H.** (1999). Scheduling in the dynamic job shop under auxiliary resource constraints: A simulation study, *International Journal of Production Research*, **37:12**, 2817-2834
- Greasley, A.** (2008). Using simulation for facility design: A case study, *Simulation Modelling Practice and Theory*, **16**, 670–677
- Harmonosky, C.M.** (1995). Simulation-based real-time scheduling review of recent developments, *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*
- Holthaus, O.** (1999). Scheduling in job shops with machine breakdowns: an experimental study, *Computers & Industrial Engineering*, **36**, 137-162
- Holthaus, O. ve Rajendran, C.** (1997). Efficient dispatching rules for scheduling in a job shop, *Int. J. Production Economics*, **48**, 87-105
- Holthaus, O. ve Rajendran, C.** (2000). Efficient jobshop dispatching rules, *Production Planning and Control*, **11:2**, 171-178
- Horng, H.C.** (2006). Comparing Steady-state Performance of Dispatching Rule-pairs in Open Shops, *International Journal of Applied Science and Engineering*, **4:3**, 259-273
- Ishii, N. ve Muraki, M.** (1997). A generic framework for an on-line scheduling and control system in batch process management, *Computers chem. Engng* **vol. 21, No. 11**, pp. 1291-1310
- Jiang, J. ve Cheng, T.C.E.** (1998). Job shop scheduling for missed due-date performance, *Computers&IndustrialEngineering* **Vol. 34, No. 2**, pp. 297-307
- Jiang, J.C., Chen, K.H. ve Wee H.M.** (2008). A dynamic scheduling model of parallel-machine group for weapon production, *Int J Adv Manuf Technol*, **36**, 1202–1209
- Julien, F.M., Magazine, M.J ve Hall, N.G.** (1997) Generalized preemption models for single-machine dynamic scheduling problems, *IIE Transactions*, **29**, 359-372
- Kia, H. R., Davoudpour, H. ve Zandieh, M.** (2010). Scheduling a dynamic flexible flow line with sequence-dependent setup times: a simulation analysis, *International Journal of Production Research*, **48: 14**, 4019 - 4042
- Kunnathur, A.S, Sundararaghavan, P.S ve Sampath, S.** (2004). Dynamic rescheduling using a simulation-based expert system, *Journal of Manufacturing Technology Management*, **15, 2**; ABI/INFORM Global, pg. 199

- Kutanoglu, E. ve Sabuncuoglu, I.** (2001). Experimental Investigation of Iterative Simulation-Based Scheduling in a Dynamic and Stochastic Job Shop, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 20/No. 4, 264- 279
- Li, L. ve Jiang, Z.** (2007). Self-adaptive dynamic scheduling of virtual production systems, *International Journal of Production Research*, 45:9, 1937-1951
- Masin, M., Pasaogullari, M.O. ve Joshi, S.** (2007) Dynamic scheduling of production-assembly networks in a distributed environment, *IIE Transactions*, 39:4, 395-409
- Mohanasundaram, K.M., Natarajan, K., Viswanathkumar, G., Radhakrishnan, P. ve Rajendran, C.** (2002). Scheduling rules for dynamic shops that manufacture multi-level jobs *Computers & Industrial Engineering*, 44, 119–131
- Moon, D.H. ve Christy, D.P.** (1998). A simulation study for dynamic scheduling in a hybrid assembly/job shop considering the JIT context, *Production Planning&Control*, Vol. 9, No. 6, 532-541
- Ouelhadj, D., Petrovica, S., Cowling, P.I. ve Meisels, A.,** (2004). Inter-agent cooperation and communication for agent-based robust dynamic scheduling in steel production, *Advanced Engineering Informatics*, 18, 161–172
- Parthanadee, P. ve Buddhakulsomsiri, J.** (2010). Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules: A case study in canned fruit industry, *Computers and Electronics in Agriculture*, 70, 245–255
- Pfeiffer, A., Ka'da'r, B. ve Monostori, L.** (2007). Stability-oriented evaluation of rescheduling strategies, by using simulation, *Computers in Industry*, 58, 630–643
- Pinedo, M.L.** (2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer
- Pinedo, M.L.** (2012). *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, Fourth Edition, Springer
- Sabuncuoglu, I. ve Hommertzheim, D.L.** (1992) Dynamic dispatching algorithm for scheduling machines and automated guided vehicles in a flexible manufacturing system, *International Journal of Production Research*, 30:5, 1059-1079
- Selladurai, V., Aravindan, P., Ponnambalam, S.G. ve Gunasekaran, A.** (1995). Dynamic simulation of job shop scheduling for optimal performance, *International Journal of Operations&Production Management*, Vol. 15, No. 7, pp. 106-120
- Shnits, B. ve Sinreich, D.** (2006). Controlling flexible manufacturing systems based on a dynamic selection of the appropriate operational criteria and scheduling policy, *Int J Flex Manuf Syst*, 18, 1–27

- Sivakumar, A.I.** (2001). Multiobjective dynamic scheduling using discrete event simulation, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **14:2**, 154-167
- Sun, J. ve Xue, D.** (2001). A dynamic reactive scheduling mechanism for responding to changes of production orders and manufacturing resources, *Computers in Industry*, **46**, 189-207
- Sun, R.L, Ding, H., Xiong, Y. ve Du, R.** (2004). Iterative learning scheduling: a combination of optimization and dispatching rules, *Journal of Manufacturing Technology Management, Volume 15, Number 3*, pp 298 – 305
- T'kindt, V. ve Billaut, J-C.** (2006). *Multicriteria Scheduling Theory, Models and Algorithms*, Second Edition, Springer
- Tekbaş, H.** (2011). *Esnek sipariş tipi üretim sistemlerinde müşteri siparişlerinin çizelgelenmesi*, (doktora tezi), İTÜ, İstanbul
- Thiagarajan, S. ve Rajendran, C.** (2005). Scheduling in dynamic assembly job-shops to minimize the sum of weighted earliness, weighted tardiness and weighted flowtime of jobs, *Computers & Industrial Engineering*, **49**, 463–503
- Thiagarajan, S. ve Rajendran, C.** (2003). Scheduling in dynamic assembly job-shops with jobs having different holding and tardiness costs, *International Journal of Production Research*, **41:18**, 4453-4486
- Vinod, V. ve Sridharan, R.** (2008). Scheduling a dynamic job shop production system with, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **24**, 435–449
- Vinod, V. ve Sridharan, R.** (2009). Development and analysis of scheduling decision rules for a dynamic flexible job shop production system: a simulation study, *Int. J. Business Performance Management*, Vol. **11**, Nos. ½
- Vinod, V. ve Sridharan, R.** (2009). Simulation-based metamodels for scheduling a dynamic job shop with sequence-dependent setup times, *International Journal of Production Research*, **47 (6)**, 1425–1447
- Vinod, V. ve Sridharan, R.** (2011). Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system, *Int.J.Production Economics*, **129**, 127-146
- Xiang, W. ve Lee, H.P.** (2008) Ant colony intelligence in multi-agent dynamic manufacturing scheduling, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **21**, 73–85
- Ying, K.C ve Cheng, H.M.** (2010) Dynamic parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times using an iterated greedy heuristic, *Expert Systems with Applications* **37**, 2848–2852
- Zandieh, M. ve Gholami, M.** (2009) Integrating simulation and genetic algorithm to schedule a dynamic flexible job shop, *J Intell Manuf*, **20**, 481–498

EKLER

EK A: Ortalama kalış süresi Anova testi sonuçları

EK B: Ortalama teslim gecikmesi yüzdesi Anova testi sonuçları

EK C: Ortalama teslim gecikmesi süresi Anova testi sonuçları

EK D: Akış süresi varyansı Anova testi sonuçları

EK E: Teslim gecikme süresi varyansı Anova testi sonuçları

EK F: ARENA modelleri

EKA

Factor	Type	Levels	Values
gas	fixed	2	2; 8
c	fixed	2	2; 4

Analysis of Variance for AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1178369	1178369	1178369	991,25	0,000
c	1	2812	2812	2812	2,37	0,133
gas*c	1	3073	3073	3073	2,59	0,117
Error	36	42796	42796	1189		
Total	39	1227050				

S = 34,4785 R-Sq = 96,51% R-Sq(adj) = 96,22%

Analysis of Variance for COVERT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	0,047	0,047	0,047	0,01	0,931
c	1	0,539	0,539	0,539	0,09	0,769
gas*c	1	0,539	0,539	0,539	0,09	0,769
Error	36	221,138	221,138	6,143		
Total	39	222,264				

S = 2,47845 R-Sq = 0,51% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for CR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	171154	171154	171154	15,69	0,000
c	1	0	0	0	0,00	0,995
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,995
Error	36	392586	392586	10905		
Total	39	563741				

S = 104,428 R-Sq = 30,36% R-Sq(adj) = 24,56%

Analysis of Variance for CR+SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	390615	390615	390615	226,03	0,000
c	1	7	7	7	0,00	0,951
gas*c	1	7	7	7	0,00	0,951
Error	36	62213	62213	1728		
Total	39	452841				

S = 41,5709 R-Sq = 86,26% R-Sq(adj) = 85,12%

Analysis of Variance for EDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1119373	1119373	1119373	1541,94	0,000
c	1	0	0	0	0,00	0,989
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,989
Error	36	26134	26134	726		
Total	39	1145508				

S = 26,9434 R-Sq = 97,72% R-Sq(adj) = 97,53%

Analysis of Variance for SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	142810	142810	142810	7,18	0,011
c	1	2	2	2	0,00	0,992
gas*c	1	2	2	2	0,00	0,992
Error	36	716159	716159	19893		
Total	39	858972				

S = 141,044 R-Sq = 16,63% R-Sq(adj) = 9,68%

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1209998	1209998	1209998	284,15	0,000
c	1	1	1	1	0,00	0,990
gas*c	1	1	1	1	0,00	0,990
Error	36	153300	153300	4258		
Total	39	1363299				

S = 65,2559 R-Sq = 88,76% R-Sq(adj) = 87,82%

Analysis of Variance for MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	0,631	0,631	0,631	0,10	0,759
c	1	10,090	10,090	10,090	1,52	0,225
gas*c	1	10,090	10,090	10,090	1,52	0,225
Error	36	238,468	238,468	6,624		
Total	39	259,280				

S = 2,57373 R-Sq = 8,03% R-Sq(adj) = 0,36%

Analysis of Variance for MSLACK, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1100201	1100201	1100201	1915,74	0,000
c	1	1	1	1	0,00	0,960
gas*c	1	1	1	1	0,00	0,960
Error	36	20675	20675	574		
Total	39	1120878				

S = 23,9645 R-Sq = 98,16% R-Sq(adj) = 98,00%

Analysis of Variance for PT+WINQ, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	28346	28346	28346	6,63	0,014
c	1	0	0	0	0,00	0,999
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,999
Error	36	153989	153989	4277		
Total	39	182336				

S = 65,4024 R-Sq = 15,55% R-Sq(adj) = 8,51%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1213669	1213669	1213669	752,99	0,000
c	1	179	179	179	0,11	0,741
gas*c	1	173	173	173	0,11	0,745
Error	36	58025	58025	1612		
Total	39	1272047				

S = 40,1472 R-Sq = 95,44% R-Sq(adj) = 95,06%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	949720	949720	949720	632,07	0,000
c	1	389	389	389	0,26	0,614
gas*c	1	400	400	400	0,27	0,609
Error	36	54092	54092	1503		
Total	39	1004601				

S = 38,7628 R-Sq = 94,62% R-Sq(adj) = 94,17%

Analysis of Variance for RR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	15168	15168	15168	4,89	0,033
c	1	0	0	0	0,00	0,992
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,992
Error	36	111575	111575	3099		
Total	39	126745				

S = 55,6715 R-Sq = 11,97% R-Sq(adj) = 4,63%

Analysis of Variance for WINQRPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	2015	2015	2015	1,47	0,233
c	1	714	714	714	0,52	0,475
gas*c	1	776	776	776	0,57	0,456
Error	36	49276	49276	1369		
Total	39	52782				

S = 36,9971 R-Sq = 6,64% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for WINQ+RPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	75985	75985	75985	12,00	0,001
c	1	31881	31881	31881	5,03	0,031
gas*c	1	31895	31895	31895	5,04	0,031
Error	36	228008	228008	6334		
Total	39	367769				

S = 79,5837 R-Sq = 38,00% R-Sq(adj) = 32,84%

Analysis of Variance for WINQRPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	47915	47915	47915	8,07	0,007
c	1	11511	11511	11511	1,94	0,172
gas*c	1	11501	11501	11501	1,94	0,172
Error	36	213614	213614	5934		
Total	39	284540				

S = 77,0307 R-Sq = 24,93% R-Sq(adj) = 18,67%

Analysis of Variance for PT+WINQ+MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1143441	1143441	1143441	141,49	0,000
c	1	13469	13469	13469	1,67	0,205
gas*c	1	13589	13589	13589	1,68	0,203
Error	36	290941	290941	8082		
Total	39	1461440				

S = 89,8982 R-Sq = 80,09% R-Sq(adj) = 78,43%

EK B

Factor	Type	Levels	Values
gas	fixed	2	2; 8
c	fixed	2	2; 4

Analysis of Variance for AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	80470	80470	80470	19318,56	0,000
c	1	401	401	401	96,35	0,000
gas*c	1	342	342	342	82,02	0,000
Error	36		150	150	4	
Total	39		81363			

S = 2,04094 R-Sq = 99,82% R-Sq(adj) = 99,80%

Analysis of Variance for COVERT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	8,010	8,010	8,010	2,41	0,129
c	1	0,000	0,000	0,000	0,00	0,993
gas*c	1	0,090	0,090	0,090	0,03	0,870
Error	36	119,657	119,657	3,324		
Total	39	127,758				

S = 1,82313 R-Sq = 6,34% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for CR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	37467	37467	37467	612,12	0,000
c	1	1367	1367	1367	22,33	0,000
gas*c	1	193	193	193	3,15	0,084
Error	36	2203	2203	61		
Total	39	41229				

S = 7,82353 R-Sq = 94,66% R-Sq(adj) = 94,21%

Analysis of Variance for CR+SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	93441	93441	93441	33072,31	0,000
c	1	77	77	77	27,26	0,000
gas*c	1	28	28	28	10,05	0,003
Error	36	102	102	3		
Total	39	93648				

S = 1,68088 R-Sq = 99,89% R-Sq(adj) = 99,88%

Analysis of Variance for EDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	94294	94294	94294	26718,65	0,000
c	1	76	76	76	21,51	0,000
gas*c	1	76	76	76	21,51	0,000
Error	36	127	127	4		
Total	39	94573				

S = 1,87860 R-Sq = 99,87% R-Sq(adj) = 99,85%

Analysis of Variance for SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	11035,7	11035,7	11035,7	274,25	0,000
c	1	1270,1	1270,1	1270,1	31,56	0,000
gas*c	1	321,5	321,5	321,5	7,99	0,008
Error	36	1448,6	1448,6	40,2		
Total	39	14075,9				

S = 6,34350 R-Sq = 89,71% R-Sq(adj) = 88,85%

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	51488	51488	51488	6689,89	0,000
c	1	4882	4882	4882	634,31	0,000
gas*c	1	4882	4882	4882	634,31	0,000
Error	36	277	277	8		
Total	39	61529				

S = 2,77423 R-Sq = 99,55% R-Sq(adj) = 99,51%

Analysis of Variance for MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	13,689	13,689	13,689	1,95	0,171
c	1	3,249	3,249	3,249	0,46	0,500
gas*c	1	0,196	0,196	0,196	0,03	0,868
Error	36	252,370	252,370	7,010		
Total	39	269,504				

S = 2,64769 R-Sq = 6,36% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for MSLACK, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	81966	81966	81966	22203,78	0,000
c	1	381	381	381	103,29	0,000
gas*c	1	357	357	357	96,71	0,000
Error	36	133	133	4		
Total	39	82837				

S = 1,92133 R-Sq = 99,84% R-Sq(adj) = 99,83%

Analysis of Variance for PT+WINQ, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	21376,8	21376,8	21376,8	803,37	0,000
c	1	711,5	711,5	711,5	26,74	0,000
gas*c	1	49,5	49,5	49,5	1,86	0,181
Error	36	957,9	957,9	26,6		
Total	39	23095,7				

S = 5,15838 R-Sq = 95,85% R-Sq(adj) = 95,51%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	80587	80587	80587	21923,67	0,000
c	1	416	416	416	113,18	0,000
gas*c	1	345	345	345	93,74	0,000
Error	36		132	132	4	
Total	39			81479		

S = 1,91723 R-Sq = 99,84% R-Sq(adj) = 99,82%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	84392	84392	84392	19472,16	0,000
c	1	76	76	76	17,64	0,000
gas*c	1	92	92	92	21,25	0,000
Error	36		156	156	4	
Total	39			84716		

S = 2,08182 R-Sq = 99,82% R-Sq(adj) = 99,80%

Analysis of Variance for RR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	16314,4	16314,4	16314,4	386,99	0,000
c	1	201,5	201,5	201,5	4,78	0,035
gas*c	1	72,4	72,4	72,4	1,72	0,198
Error	36		1517,7	1517,7	42,2	
Total	39			18106,0		

S = 6,49288 R-Sq = 91,62% R-Sq(adj) = 90,92%

Analysis of Variance for WINQRPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1766,24	1766,24	1766,24	613,53	0,000
c	1	285,16	285,16	285,16	99,05	0,000
gas*c	1	1,85	1,85	1,85	0,64	0,428
Error	36		103,64	103,64	2,88	
Total	39			2156,88		

S = 1,69671 R-Sq = 95,20% R-Sq(adj) = 94,79%

Analysis of Variance for WINQ+RPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	30085	30085	30085	845,29	0,000
c	1	3183	3183	3183	89,42	0,000
gas*c	1	1225	1225	1225	34,43	0,000
Error	36		1281	1281	36	
Total	39			35775		

S = 5,96586 R-Sq = 96,42% R-Sq(adj) = 96,12%

Analysis of Variance for WINQRPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	29556	29556	29556	799,91	0,000
c	1	3424	3424	3424	92,68	0,000
gas*c	1	1370	1370	1370	37,08	0,000
Error	36		1330	1330	37	
Total	39			35680		

S = 6,07854 R-Sq = 96,27% R-Sq(adj) = 95,96%

Analysis of Variance for PT+WINQ+MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	73188	73188	73188	4887,58	0,000
c	1	63	63	63	4,21	0,048
gas*c	1	72	72	72	4,80	0,035
Error	36		539	539	15	
Total	39			73862		

S = 3,86966 R-Sq = 99,27% R-Sq(adj) = 99,21%

EK C

Analysis of Variance for AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1178369	1178369	1178369	991,25	0,000
c	1	2812	2812	2812	2,37	0,133
gas*c	1	3073	3073	3073	2,59	0,117
Error	36	42796	42796	1189		
Total	39	1227050				

S = 34,4785 R-Sq = 96,51% R-Sq(adj) = 96,22%

Analysis of Variance for COVERT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	0,047	0,047	0,047	0,01	0,931
c	1	0,539	0,539	0,539	0,09	0,769
gas*c	1	0,539	0,539	0,539	0,09	0,769
Error	36	221,138	221,138	6,143		
Total	39	222,264				

S = 2,47845 R-Sq = 0,51% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for CR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	171154	171154	171154	15,69	0,000
c	1	0	0	0	0,00	0,995
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,995
Error	36	392586	392586	10905		
Total	39	563741				

S = 104,428 R-Sq = 30,36% R-Sq(adj) = 24,56%

Analysis of Variance for CR+SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	390615	390615	390615	226,03	0,000
c	1	7	7	7	0,00	0,951
gas*c	1	7	7	7	0,00	0,951
Error	36	62213	62213	1728		
Total	39	452841				

S = 41,5709 R-Sq = 86,26% R-Sq(adj) = 85,12%

Analysis of Variance for EDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1119373	1119373	1119373	1541,94	0,000
c	1	0	0	0	0,00	0,989
gas*c	1	0	0	0	0,00	0,989
Error	36	26134	26134	726		
Total	39	1145508				

S = 26,9434 R-Sq = 97,72% R-Sq(adj) = 97,53%

Analysis of Variance for SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	142810	142810	142810	7,18	0,011
c	1	2	2	2	0,00	0,992
gas*c	1	2	2	2	0,00	0,992
Error	36	716159	716159	19893		
Total	39	858972				

S = 141,044 R-Sq = 16,63% R-Sq(adj) = 9,68%

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1168420	1168420	1168420	249,67	0,000
c	1	373	373	373	0,08	0,779
gas*c	1	317	317	317	0,07	0,796
Error	36	168477	168477	4680		
Total	39	1337586				

S = 68,4100 R-Sq = 87,40% R-Sq(adj) = 86,35%

Analysis of Variance for MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	0,04677	0,04677	0,04677	1,00	0,324
c	1	0,04677	0,04677	0,04677	1,00	0,324
gas*c	1	0,04677	0,04677	0,04677	1,00	0,324
Error	36	1,68355	1,68355	0,04677		
Total	39	1,82385				

S = 0,216253 R-Sq = 7,69% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for MSLACK, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1048239	1048239	1048239	1208,01	0,000
c	1	0	0	0	0,00	1,000
gas*c	1	0	0	0	0,00	1,000
Error	36	31239	31239	868		
Total	39	1079477				

S = 29,4575 R-Sq = 97,11% R-Sq(adj) = 96,86%

Analysis of Variance for PT+WINQ, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	68158	68158	68158	10,79	0,002
c	1	10383	10383	10383	1,64	0,208
gas*c	1	10383	10383	10383	1,64	0,208
Error	36	227420	227420	6317		
Total	39	316343				

S = 79,4810 R-Sq = 28,11% R-Sq(adj) = 22,12%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1124016	1124016	1124016	646,35	0,000
c	1	32	32	32	0,02	0,894
gas*c	1	32	32	32	0,02	0,894
Error	36	62605	62605	1739		
Total	39	1186684				

S = 41,7016 R-Sq = 94,72% R-Sq(adj) = 94,28%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	875878	875878	875878	648,80	0,000
c	1	1	1	1	0,00	0,983
gas*c	1	1	1	1	0,00	0,983
Error	36	48600	48600	1350		
Total	39	924479				

S = 36,7424 R-Sq = 94,74% R-Sq(adj) = 94,30%

Analysis of Variance for RR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	44183	44183	44183	3,70	0,062
c	1	8489	8489	8489	0,71	0,405
gas*c	1	8489	8489	8489	0,71	0,405
Error	36	430029	430029	11945		
Total	39	491189				

S = 109,294 R-Sq = 12,45% R-Sq(adj) = 5,16%

Analysis of Variance for WINQRPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1535	1535	1535	1,33	0,256
c	1	813	813	813	0,71	0,406
gas*c	1	813	813	813	0,71	0,406
Error	36	41417	41417	1150		
Total	39	44577				

S = 33,9184 R-Sq = 7,09% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for WINQ+RPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	61111	61111	61111	9,82	0,003
c	1	36064	36064	36064	5,79	0,021
gas*c	1	36064	36064	36064	5,79	0,021
Error	36	224099	224099	6225		
Total	39	357339				

S = 78,8984 R-Sq = 37,29% R-Sq(adj) = 32,06%

Analysis of Variance for WINQRPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	37148	37148	37148	6,39	0,016
c	1	13688	13688	13688	2,35	0,134
gas*c	1	13688	13688	13688	2,35	0,134
Error	36	209371	209371	5816		
Total	39	273895				

S = 76,2618 R-Sq = 23,56% R-Sq(adj) = 17,19%

Analysis of Variance for PT+WINQ+MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1053259	1053259	1053259	132,42	0,000
c	1	9401	9401	9401	1,18	0,284
gas*c	1	9401	9401	9401	1,18	0,284
Error	36	286341	286341	7954		
Total	39	1358402				

S = 89,1847 R-Sq = 78,92% R-Sq(adj) = 77,16%

EKD

Analysis of Variance for AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	803951736	803951736	803951736	845,86	0,000
c	1	228983	228983	228983	0,24	0,627
gas*c	1	223681	223681	223681	0,24	0,631
Error	36	34216554	34216554		950460	
Total	39	838620954				

S = 974,915 R-Sq = 95,92% R-Sq(adj) = 95,58%

Analysis of Variance for COVERT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	17,59	17,59	17,59	0,68	0,415
c	1	7,29	7,29	7,29	0,28	0,599
gas*c	1	1,65	1,65	1,65	0,06	0,802
Error	36	932,67	932,67		25,91	
Total	39	959,20				

S = 5,08993 R-Sq = 2,77% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for CR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1624568558	1624568558	1624568558	59,32	0,000
c	1	204939744	204939744	204939744	7,48	0,010
gas*c	1	205239397	205239397	205239397	7,49	0,010
Error	36	985863871	985863871		27385108	
Total	39	3020611571				

S = 5233,08 R-Sq = 67,36% R-Sq(adj) = 64,64%

Analysis of Variance for CR+SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	75522461	75522461	75522461	153,06	0,000
c	1	151307	151307	151307	0,31	0,583
gas*c	1	149759	149759	149759	0,30	0,585
Error	36	17762559	17762559		493404	
Total	39	93586086				

S = 702,428 R-Sq = 81,02% R-Sq(adj) = 79,44%

Analysis of Variance for EDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	613278888	613278888	613278888	688,79	0,000
c	1	110607	110607	110607	0,12	0,727
gas*c	1	116240	116240	116240	0,13	0,720
Error	36	32053580	32053580		890377	
Total	39	645559314				

S = 943,598 R-Sq = 95,03% R-Sq(adj) = 94,62%

Analysis of Variance for SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	727967725	727967725	727967725	197,94	0,000
c	1	10261578	10261578	10261578	2,79	0,104
gas*c	1	10263164	10263164	10263164	2,79	0,103
Error	36	132395741	132395741	3677659		
Total	39	880888208				

S = 1917,72 R-Sq = 84,97% R-Sq(adj) = 83,72%

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1366689288	1366689288	1366689288	577,32	0,000
c	1	35590	35590	35590	0,02	0,903
gas*c	1	34705	34705	34705	0,01	0,904
Error	36	85223511	85223511	2367320		
Total	39	1451983094				

S = 1538,61 R-Sq = 94,13% R-Sq(adj) = 93,64%

Analysis of Variance for MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	108,7	108,7	108,7	0,96	0,335
c	1	54,2	54,2	54,2	0,48	0,494
gas*c	1	5,4	5,4	5,4	0,05	0,829
Error	36	4095,0	4095,0	113,7		
Total	39	4263,3				

S = 10,6653 R-Sq = 3,95% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for MSLACK, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	775702800	775702800	775702800	829,47	0,000
c	1	412496	412496	412496	0,44	0,511
gas*c	1	405656	405656	405656	0,43	0,514
Error	36	33666434	33666434	935179		
Total	39	810187386				

S = 967,046 R-Sq = 95,84% R-Sq(adj) = 95,50%

Analysis of Variance for PT+WINQ, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	893887588	893887588	893887588	44,62	0,000
c	1	7065163	7065163	7065163	0,35	0,556
gas*c	1	7074065	7074065	7074065	0,35	0,556
Error	36	721194502	721194502	20033181		
Total	39	1629221318				

S = 4475,84 R-Sq = 55,73% R-Sq(adj) = 52,04%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	792434107	792434107	792434107	840,87	0,000
c	1	222989	222989	222989	0,24	0,630
gas*c	1	217893	217893	217893	0,23	0,634
Error	36	33926221	33926221		942395	
Total	39	826801210				

S = 970,770 R-Sq = 95,90% R-Sq(adj) = 95,55%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	791721790	791721790	791721790	846,36	0,000
c	1	213159	213159	213159	0,23	0,636
gas*c	1	208207	208207	208207	0,22	0,640
Error	36	33676015	33676015		935445	
Total	39	825819172				

S = 967,184 R-Sq = 95,92% R-Sq(adj) = 95,58%

Analysis of Variance for RR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	529371787	529371787	529371787	45,72	0,000
c	1	50124101	50124101	50124101	4,33	0,045
gas*c	1	50161696	50161696	50161696	4,33	0,045
Error	36	416802326	416802326		11577842	
Total	39	1046459910				

S = 3402,62 R-Sq = 60,17% R-Sq(adj) = 56,85%

Analysis of Variance for WINQRPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	63629382	63629382	63629382	30,65	0,000
c	1	6924948	6924948	6924948	3,34	0,076
gas*c	1	6948692	6948692	6948692	3,35	0,076
Error	36	74737754	74737754		2076049	
Total	39	152240775				

S = 1440,85 R-Sq = 50,91% R-Sq(adj) = 46,82%

Analysis of Variance for WINQ+RPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	530058089	530058089	530058089	32,52	0,000
c	1	39893808	39893808	39893808	2,45	0,126
gas*c	1	39926263	39926263	39926263	2,45	0,126
Error	36	586764827	586764827		16299023	
Total	39	1196642987				

S = 4037,20 R-Sq = 50,97% R-Sq(adj) = 46,88%

Analysis of Variance for WINQRPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	362684873	362684873	362684873	45,56	0,000
c	1	17196434	17196434	17196434	2,16	0,150
gas*c	1	17242677	17242677	17242677	2,17	0,150
Error	36	286555842	286555842	7959885		
Total	39	683679827				

S = 2821,33 R-Sq = 58,09% R-Sq(adj) = 54,59%

Analysis of Variance for PT+WINQ+MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	3146618434	3146618434	3146618434	1076,16	0,000
c	1	695916	695916	695916	0,24	0,629
gas*c	1	696837	696837	696837	0,24	0,628
Error	36	105261793	105261793	2923939		
Total	39	3253272980				

S = 1709,95 R-Sq = 96,76% R-Sq(adj) = 96,49%

EKE

Analysis of Variance for AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	809601725	809601725	809601725	848,32	0,000
c	1	241730	241730	241730	0,25	0,618
gas*c	1	214110	214110	214110	0,22	0,639
Error	36	34357059	34357059		954363	
Total	39	844414624				

S = 976,915 R-Sq = 95,93% R-Sq(adj) = 95,59%

Analysis of Variance for COVERT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	0,682	0,682	0,682	0,11	0,745
c	1	2,676	2,676	2,676	0,42	0,520
gas*c	1	0,953	0,953	0,953	0,15	0,700
Error	36	227,887	227,887		6,330	
Total	39	232,198				

S = 2,51599 R-Sq = 1,86% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for CR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1536934213	1536934213	1536934213	57,43	0,000
c	1	180171633	180171633	180171633	6,73	0,014
gas*c	1	180607806	180607806	180607806	6,75	0,014
Error	36	963474163	963474163		26763171	
Total	39	2861187815				

S = 5173,31 R-Sq = 66,33% R-Sq(adj) = 63,52%

Analysis of Variance for CR+SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	75931798	75931798	75931798	151,52	0,000
c	1	150763	150763	150763	0,30	0,587
gas*c	1	145152	145152	145152	0,29	0,594
Error	36	18040710	18040710		501131	
Total	39	94268423				

S = 707,906 R-Sq = 80,86% R-Sq(adj) = 79,27%

Analysis of Variance for EDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	598377096	598377096	598377096	683,87	0,000
c	1	214277	214277	214277	0,24	0,624
gas*c	1	213256	213256	213256	0,24	0,625
Error	36	31499293	31499293		874980	
Total	39	630303924				

S = 935,404 R-Sq = 95,00% R-Sq(adj) = 94,59%

Analysis of Variance for SPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	651394197	651394197	651394197	194,03	0,000
c	1	5435101	5435101	5435101	1,62	0,211
gas*c	1	5455714	5455714	5455714	1,63	0,211
Error	36	120859117	120859117	3357198		
Total	39	783144129				

S = 1832,27 R-Sq = 84,57% R-Sq(adj) = 83,28%

Analysis of Variance for FIFO, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	1352840001	1352840001	1352840001	575,78	0,000
c	1	11840	11840	11840	0,01	0,944
gas*c	1	14915	14915	14915	0,01	0,937
Error	36	84584357	84584357	2349565		
Total	39	1437451113				

S = 1532,83 R-Sq = 94,12% R-Sq(adj) = 93,63%

Analysis of Variance for MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	14,85	14,85	14,85	0,43	0,514
c	1	13,50	13,50	13,50	0,39	0,534
gas*c	1	4,30	4,30	4,30	0,13	0,725
Error	36	1231,69	1231,69	34,21		
Total	39	1264,35				

S = 5,84925 R-Sq = 2,58% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for MSLACK, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	783135549	783135549	783135549	841,15	0,000
c	1	402391	402391	402391	0,43	0,515
gas*c	1	366956	366956	366956	0,39	0,534
Error	36	33517074	33517074	931030		
Total	39	817421970				

S = 964,899 R-Sq = 95,90% R-Sq(adj) = 95,56%

Analysis of Variance for PT+WINQ, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	772913533	772913533	772913533	42,10	0,000
c	1	2363158	2363158	2363158	0,13	0,722
gas*c	1	2397054	2397054	2397054	0,13	0,720
Error	36	660944060	660944060	18359557		
Total	39	1438617806				

S = 4284,81 R-Sq = 54,06% R-Sq(adj) = 50,23%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT-RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	798061870	798061870	798061870	846,82	0,000
c	1	233451	233451	233451	0,25	0,622
gas*c	1	206652	206652	206652	0,22	0,642
Error	36	33927362	33927362	942427		
Total	39	832429334				

S = 970,787 R-Sq = 95,92% R-Sq(adj) = 95,58%

Analysis of Variance for PT+WINQ+AT+RPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	729582614	729582614	729582614	208,28	0,000
c	1	565677	565677	565677	0,16	0,690
gas*c	1	609577	609577	609577	0,17	0,679
Error	36	126101474	126101474	3502819		
Total	39	856859342				

S = 1871,58 R-Sq = 85,28% R-Sq(adj) = 84,06%

Analysis of Variance for RR, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	818760256	818760256	818760256	43,62	0,000
c	1	1561409	1561409	1561409	0,08	0,775
gas*c	1	1545185	1545185	1545185	0,08	0,776
Error	36	675678975	675678975	18768860		
Total	39	1497545825				

S = 4332,30 R-Sq = 54,88% R-Sq(adj) = 51,12%

Analysis of Variance for WINQRPT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	48417963	48417963	48417963	27,63	0,000
c	1	4109556	4109556	4109556	2,35	0,134
gas*c	1	4164293	4164293	4164293	2,38	0,132
Error	36	63077944	63077944	1752165		
Total	39	119769757				

S = 1323,69 R-Sq = 47,33% R-Sq(adj) = 42,95%

Analysis of Variance for WINQ+RPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	491749082	491749082	491749082	31,46	0,000
c	1	31755276	31755276	31755276	2,03	0,163
gas*c	1	31898075	31898075	31898075	2,04	0,162
Error	36	562731480	562731480	15631430		
Total	39	1118133913				

S = 3953,66 R-Sq = 49,67% R-Sq(adj) = 45,48%

Analysis of Variance for WINQRPT/TIS, using Adjusted SS for Tests

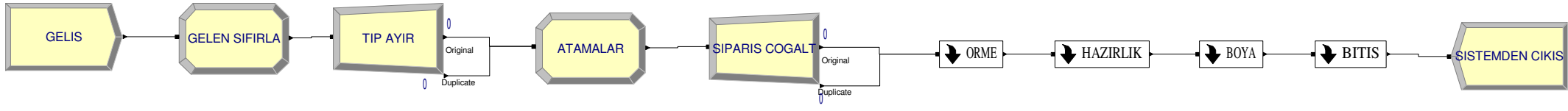
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	333481604	333481604	333481604	43,80	0,000
c	1	12416811	12416811	12416811	1,63	0,210
gas*c	1	12520150	12520150	12520150	1,64	0,208
Error	36	274077911	274077911	7613275		
Total	39	632496477				

S = 2759,22 R-Sq = 56,67% R-Sq(adj) = 53,06%

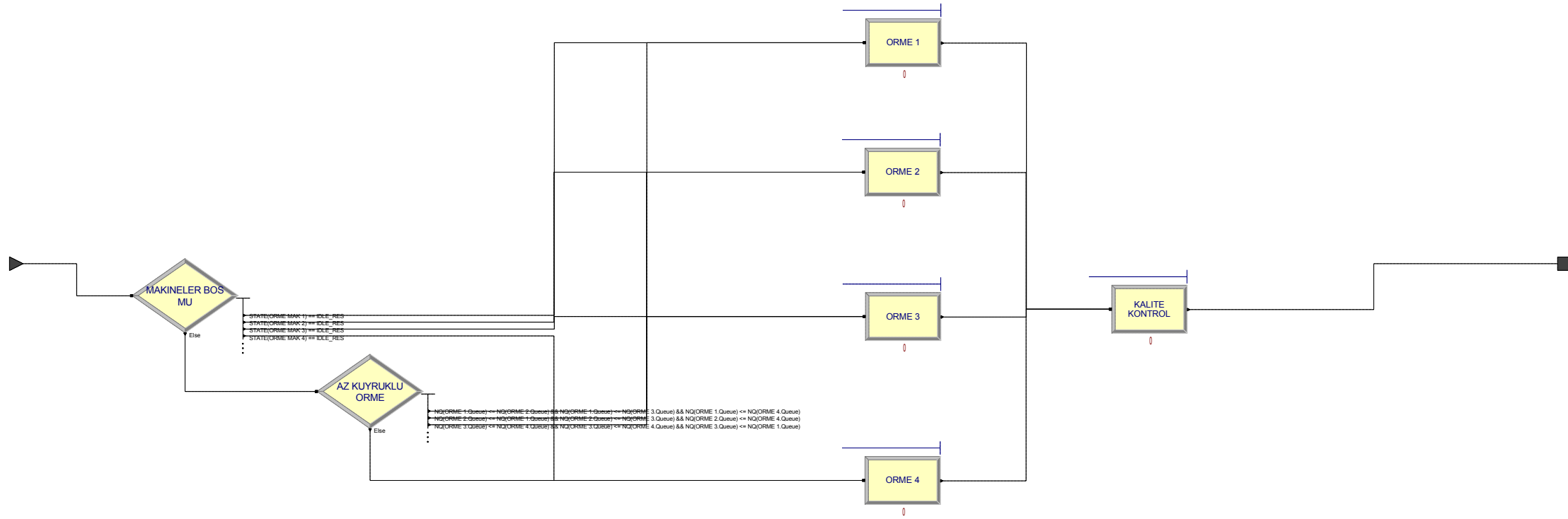
Analysis of Variance for PT+WINQ+MDD, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
gas	1	2910548927	2910548927	2910548927	917,98	0,000
c	1	2975	2975	2975	0,00	0,976
gas*c	1	4000	4000	4000	0,00	0,972
Error	36	114141547	114141547	3170599		
Total	39	3024697449				

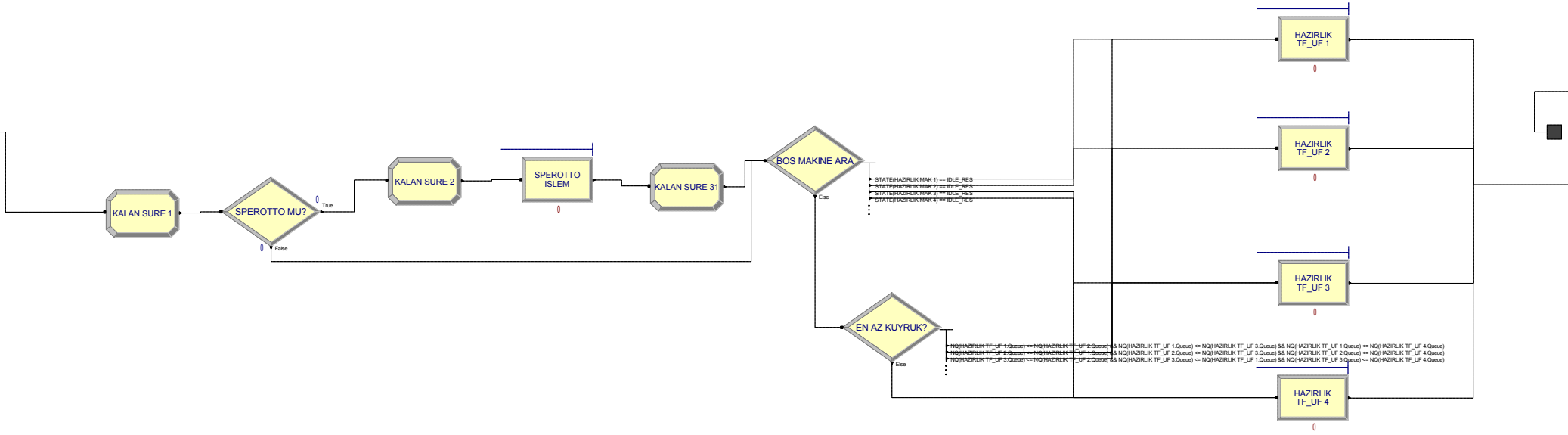
S = 1780,62 R-Sq = 96,23% R-Sq(adj) = 95,9



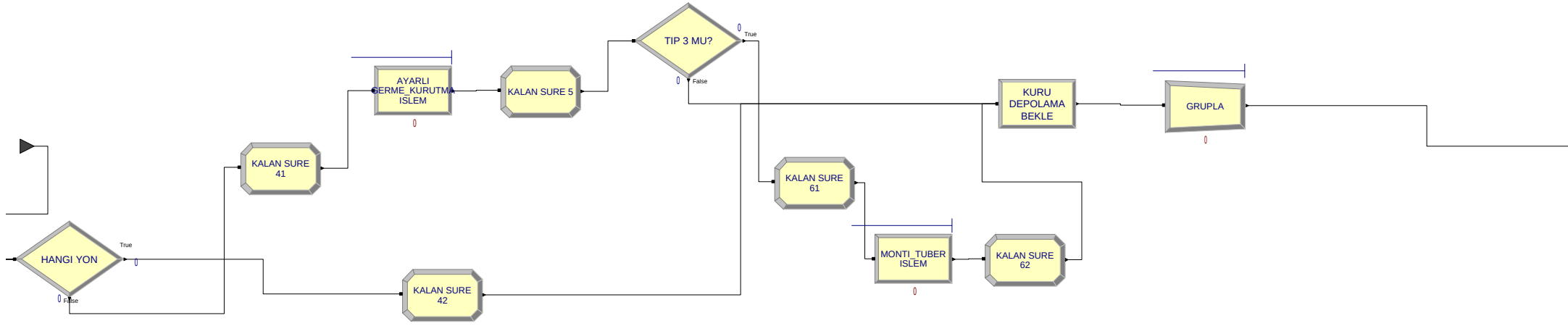
Şekil F.1 : Ana aşamanın modellenmesi.



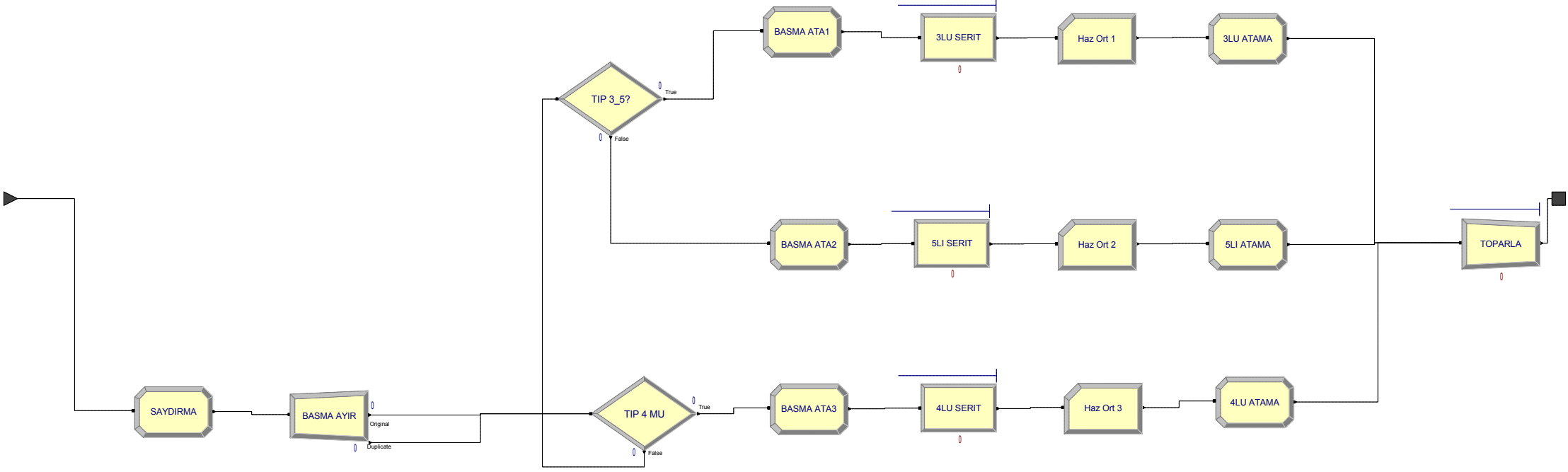
Şekil F.2 : Örne atölyesinin modellenmesi.



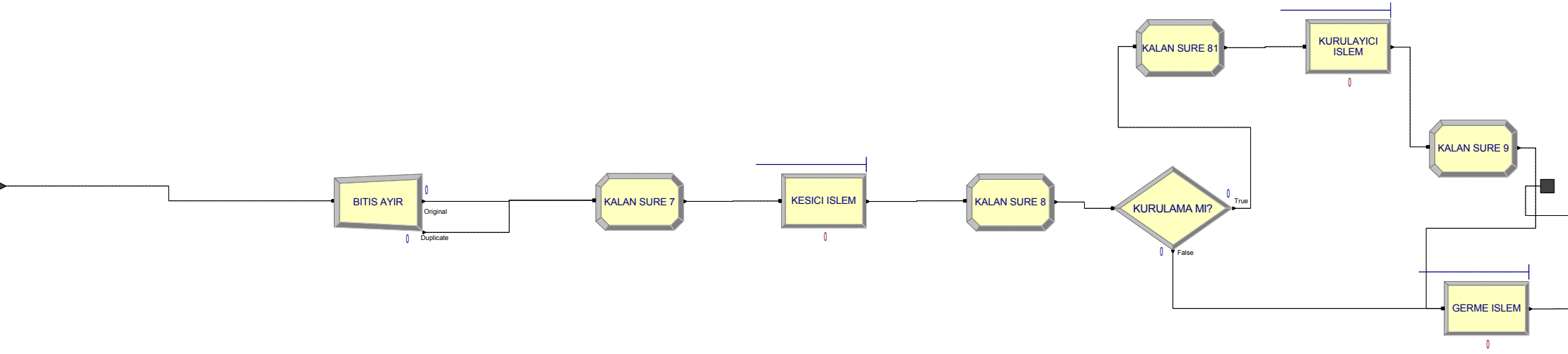
Şekil F.3 : Hazırlık atölyesinin modellenmesi.



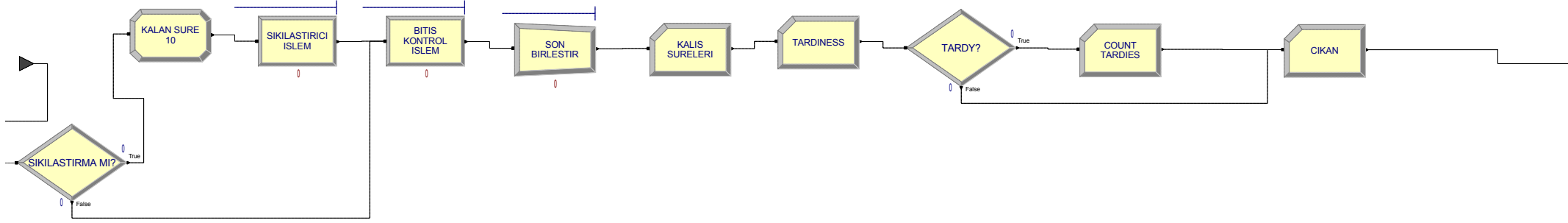
Şekil F.3 (devam): Hazırlık atölyesinin modellenmesi



Şekil F.4 : Boya atölyesinin modellenmesi



Şekil F.5 : Bitiş atölyesinin modellenmesi.



Şekil F.5 (devam): Bitiş atölyesinin modellenmesi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Murat Elhüseyini

Doğum Yeri ve Tarihi: 23/01/1988 - İstanbul

E-Posta: muratelhuseyni@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Elhüseyini M., Bozdağ C.E., Hipotetik bir tekstil atölyesinin dinamik çizelgelenmesinde yollama kurallarının benzetim tekniğiyle analizi, *YAEM 2012*, Vol. 1, Issue 1, pp 258, (2012)