

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR MOBİLYA FİRMASINDA
PAKETLEME ÖNCESİ ÜRETİM HATTININ
SİMÜLASYON İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra Nur ÖZÇETİN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Serhat DEMİR

OCAK 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR MOBİLYA FİRMASINDA
PAKETLEME ÖNCESİ ÜRETİM HATTININ
SİMÜLASYON İLE VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

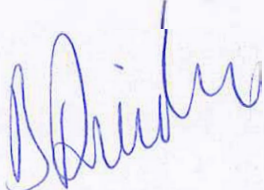
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra Nur ÖZÇETİN

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 18 / 01 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi
Berrin DENİZHAN
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
Alparslan Serhat DEMİR
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Celal ÖZKALE
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Kübra Nur ÖZÇETİN

18.01.2019

TEŞEKKÜR

Üniversite lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, çalışmanın tüm aşamalarında bana her türlü desteği sağlayan, beni yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alparslan Serhat DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Eskişehir Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği hocalarından Doç. Dr. Gürkan ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında desteğini her zaman yanımda hissettiğim ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Endüstri Mühendisleri Ayşenur ÜZÜMCÜ, Sena SARI, tez veri toplama aşamasında her türlü imkanı sunan ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim Endüstri Mühendisi Kerem GÜNAYDIN'a, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Yüksek Bilgisayar Mühendisi Mehmet YILMAZ ve Ramazan ÖZKUL ağabeylerime,

Dünyaya ilk gözümü açtığımdan bu zamana kadar hiçbir destek ve emeğini esirgemeyen, elimi hiç bırakmayan çok kıymetli annem, babam ve kardeşlerime en kalbi teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ÇİZELGELEME.....	7
2.1. Üretim Çizelgeleme	7
2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	13
2.2.1. Statik çizelgeleme	13
2.2.2. Dinamik çizelgeleme	14
2.3. Çizelgeleme Ortamlarının Sınıflandırılması	14
2.3.1. Tek makine çizelgeleme	15
2.3.2. Paralel makine çizelgeleme	16
2.3.3. Akış tipi üretim çizelgeleme	17
2.3.4. Atölye tipi üretim çizelgeleme.....	18
2.3.5. Esnek atölye tipi üretim çizelgeleme	19
2.3.6. Parti tipi üretim çizelgeleme	19
2.3.7. Hücresel imalat sistemlerinde çizelgeleme	20
2.4. Çizelgelemede Performans Kriterleri	20

2.4.1. Teslim zamanı hedefli performans ölçütleri	21
2.4.2. Stok ve tezgah kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri	22
2.4.3. Tamamlanma zamanı hedefli performans ölçütleri	22
2.5. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları	24
2.5.1. İlk giren ilk çıkar (İGİS)	24
2.5.2. Son gelen ilk çıkar (SGİS)	25
2.5.3. En kısa işlem süresi (EKİS)	25
2.5.4. En uzun işlem süresi (EUİS)	26
2.5.5. En erken teslim zamanı (EETZ)	26
2.5.6. En az kalan işlem sayısı (EAKİS)	27
2.5.7. En çok kalan işlem sayısı (EÇKİS)	27
2.5.8. En kısa kalan işlem süresi (EKKİS)	28
2.5.9. En uzun kalan işlem süresi (EUKİS)	28
2.5.10. Rassal Seçim (RS)	29
2.6. Çizelgeleme Teknikleri	29
2.6.1. Simülasyon ile çizelgeleme	29
2.6.2. Yapay zeka yöntemleri ile çizelgeleme	30
2.6.3. Kesin yöntemler ile çizelgeleme	31

BÖLÜM 3.

SİMÜLASYON VE KULLANIMI	33
3.1. Simülasyon Tanımı	33
3.2. Simülasyonun Başlangıcı	34
3.3. Simülasyon Uygulama Adımları	36
3.4. Simülasyon Çeşitleri	40
3.4.1. Sürekli simülasyon modelleri	40
3.4.2. Kesikli simülasyon modelleri	41
3.5. Simülasyon Modelleme Yaklaşımları	42
3.5.1. Proses artırımı simülasyon	43
3.5.2. Sabit zaman artırımı simülasyon	43
3.5.3. Olay artırımı simülasyon	43
3.6. Simülasyonun Kullanıldığı Alanlar	45

3.7. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları	46
BÖLÜM 4.	
UYGULAMA	49
4.1. Firmanın Tanıtımı	49
4.2. Uygulama Aşamaları	49
4.3. Mevcut Durum Analizi ve Problemin Tanımlanması	51
4.4. Verilerin Toplanması ve Analizi	55
4.5. Model Kurulması Aşamasında Yapılan Kabuller	59
4.6. Senaryolara Ait Açıklamalar	59
BÖLÜM 5.	
SONUÇ	77
5.1. Model Sonuçları	77
5.2. Model Sonuçlarının Test Edilmesi	83
5.3. Değerlendirme	88
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

EAKİS	: En az kalan işlem sayısı
EÇKİS	: En çok kalan işlem sayısı
EETZ	: En erken teslim zamanı
EKİS	: En kısa işlem süresi
EKKİS	: En kısa kalan işlem süresi
EUİS	: En uzun işlem süresi
EUKİS	: En uzun kalan işlem süresi
FIFO	: İlk giren ilk işlem görür
GA	: Genetik algoritma
İGİS	: İlk giren ilk servis alır
RS	: Rassal Seçim
SGİS	: Son giren ilk servis alır
S&OP	: Satış ve operasyon planlama
TA	: Tabu arama

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Makineye göre gantt şeması	12
Şekil 2.2. İşe göre gant şeması	12
Şekil 2.3. Tek makine çizelgeleme	16
Şekil 2.4. Paralel makine çizelgeleme	17
Şekil 2.5. Akış tipi üretim çizelgeleme	17
Şekil 2.6. Atölye tipi üretim iş akışı	18
Şekil 2.7. Parti tipi üretim	20
Şekil 2.8. Hücreli imalat sistemi	20
Şekil 3.1. Simülasyon modeli oluşturma akış şeması	39
Şekil 3.2. Sürekli simülasyon grafiği	41
Şekil 3.3. Kesikli simülasyon grafiği	41
Şekil 3.4. Olay artırımı simülasyon modeli.....	44
Şekil 4.1. Uygulama akış şeması	50
Şekil 4.2. Planlama akış şeması	52
Şekil 4.3. Dolap modülüne ait ürün ağacı	53
Şekil 4.4. Üretim iş akış şeması	54
Şekil 4.5. Aylık ortalama üretim adetleri	55
Şekil 4.6. Modüle ait parça işlem süreleri örneği	56
Şekil 4.7. Mevcut durum açıklama	61
Şekil 4.8. Senaryo – 1 açıklama	63
Şekil 4.9. Senaryo – 2 açıklama	65
Şekil 4.10. Senaryo – 4 açıklama	67
Şekil 4.11. Senaryo – 6 açıklama	69
Şekil 4.12. Senaryo – 7 açıklama	71
Şekil 4.13. Senaryo – 8 açıklama	73
Şekil 4.14. Senaryo – 10 açıklama	75

Şekil 4.15. Simülasyon modeli görseli	76
Şekil 5.1. Senaryoların tamamlanma süresi	78
Şekil 5.2. Paketleme önünde işlem görmeyi bekleyen ortalama parça türü sayısı	78
Şekil 5.3. Paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısı	79
Şekil 5.4. Paketleme önünde parça türü ortalama bekleme süresi	80
Şekil 5.5. Paketleme önünde ortalama paket bekleme süresi	81
Şekil 5.6. Simülasyon modeli %95 güven aralığında test grafiği	85
Şekil 5.7. Mevcut durum'a ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği ...	86
Şekil 5.8. Senaryo – 3'e ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği	86
Şekil 5.9. Senaryo – 7'ye ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği	87
Şekil 5.10. Senaryo – 13'e ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği ...	87

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Modüllerin paket ve parça sayıları	56
Tablo 4.2. Parçalara ait rotalar	57
Tablo 5.1. Modelde kullanılan çizelgeleme verileri	77



ÖZET

Anahtar kelimeler: Çizelgeleme, Mobilya, Optimizasyon, Simülasyon, Arena Rockwell.

Gelişen teknoloji ve rekabet koşulları firmaları karlılıklarını arttırabilmek için çeşitli süreç iyileştirme çalışmalarına yönlendirmektedir. Bu çalışmalardan üretim maliyetlerine önemli ölçüde etki edenlerin başında çizelgeleme uygulamaları gelmektedir. Başarılı bir çizelgeleme birim zamanda üretilen çıktı miktarının artmasına, makine/işgücü gibi kaynakların etkin kullanımına, teslim tarihlerinden önce siparişlerin yetişmesine, süreçte bekleyen iş yükü miktarının azaltılarak tesis alanının etkin kullanımı gibi faydalar sağlamaktadır.

Bu çalışmada uluslararası mobilya üretimi yapan bir firmanın paketleme sahasında bekleyen işlerin azaltılması problemi ele alınmıştır. Üretim esnasında yüzlerce ürüne ait binlerce parça farklı rotalardan hareket ederek paketleme önüne gelmekte ve bu esnada uzun kuyruklar meydana getirmektedirler. Mühendisler tarafından kuyrukta bekleyen bazı işlere müdahaleler yapılmakta, bu durum o işleri hızlandırır da başka işlerin gecikmesine yol açmaktadır. Çalışmada ilk olarak üretim sistemi analiz edilip, ürünlerin rotaları, işlem süreleri bilgileri elde edilmiştir. Yapılan ABC analizi ile sık üretilen ürünler belirlenerek simülasyon ile modelleme aşamasına geçilmiştir. Modelleme aşamasında Arena Rockwell 14.7 simülasyon programından yararlanılmıştır. Belirlenen dört ürüne ait 171 parça, 51 rota ve 43 tezgahtan oluşan üretim sistemi çalışma prensipleri dikkate alınarak simülasyon ortamına aktarılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında 7'si literatürde yer alan, 6'sı firmaya özgü olan toplam 13 adet sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Fabrika bu sezgiseller ile simülasyon ortamında bir ay çalıştırılarak çeşitli performans göstergeleri açısından mevcut durum ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların istatistiksel açıdan tutarlılığı için modeller 500 kez tekrarlanarak uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde geliştirilen sezgisellerin mevcut durumdan ve literatürdeki tekniklerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. En iyi sezgisel metot dikkate alındığında mevcut duruma kıyasla paketleme bölümünde ortalama bekleme süresini %37 oranında azaltmıştır. Bu da aylık çalışma günü açısından %5, üretilen paket sayısında ise %7'lik kazanca denk gelmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde elde edilen sezgisel algoritmanın büyük ölçekli mobilya üretim firmalarında kullanılması durumunda önemli kazançlar elde edilebileceği görülmektedir.

EFFICIENCY IMPROVEMENT IN FURNITURE MANUFACTURING INDUSTRY USING SIMULATION METHOD

SUMMARY

Keywords: Scheduling, Furniture Industry, Optimization, Simulation, Arena Rockwell.

Developing technology and competitive conditions lead firms to various process improvement studies to increase their profitability. One of the best studies scheduling that have a significant impact on production cost. Successful scheduling provides benefits such as machinery/labor, completing orders before delivery dates, decreasing the amount of workload waiting in the process and effective use of the facility.

In this study, the problem of reducing the operation waiting in the process in the packaging area is discussed in domestic furniture manufacturing industry. During the production, thousands parts belonging to hundreds of products move from different routes and come to the front of packaging. There are some interventions in the queue by the engineers, these interventions causes the other operations be delayed although speed up that work. Firstly, the production system was analyzed and the operations of the products on the machines, routes and processing times were obtained. The products which are frequently produced have been determined and the modeling stage has been started with ABC analysis. At the modeling stage, Arena Rockwell 14.7 simulation program was used. The production system consisting of 171 parts, 51 routes and 43 machines belonging to the four products was transferred to the simulation program by considering the working principles. In the second part of the study, 13 heuristic algorithms, 7 of which are in the literature, 6 of which are belong to the company, were developed and transferred to simulation program. The factory was run in this simulation program for about one month and compared with the current situation in terms of various performance indicators. For statistical consistency of the results, the models were repeated 500 times.

When the obtained results are examined, it is seen that some of the developed heuristics give better results than the current situation and the techniques in the literature. When the best heuristic method is taken into consideration, it reduces the average waiting time by 37% compared to the current situation. This study of saving is an average of 5% on the working day per a month and 7% the number of packages produced. When the results are evaluated, it is seen that heuristic algorithm obtained in the study can achieve significant profit if used in large-scale furniture manufacturing industries.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte kişilerin konfor ve refahı sağlanırken, firmalar arasındaki rekabetin ivmesi artarak devam etmektedir. Rekabetin sürdürülebilir olması sadece mükemmel bir ürün tasarlamak ya da pazarlamaya yoğunlaşmakla yeterli olmamakla birlikte; en kaliteli ürünü en kısa sürede en az maliyetle yapabilir durumda olmak, firmalar için büyük kazançlar sağlamaktadır. Rekabet ortamında değişen koşullara hızlı uyum sağlayabilme yeteneği, firmalar açısından çok büyük önem arz etmektedir. Firmalar; müşteri taleplerine en kısa sürede cevap verebilmek için üretim akışlarındaki etkinliği sağlayabilecek ve rakiplerine karşı üstünlük kazandıracak doğru bir planlama yapmak durumundadırlar. Makine ve operatörlerin boş beklemelerinin ortadan kaldırılması, doğru parçanın doğru zamanda doğru makinede işlenebiliyor olması işletmelerde verimliliğin artmasında büyük rol oynarken, doğru planlama yapmanın da verimli üretim yapılmasında çok büyük etkisi olduğu görülmektedir. Planlamanın öneminin artması, firmaların iyi bir planlama yapmanın üzerine odaklanmasını beraberinde getirmekte ve böylece üretim maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılıp karlılıkların artırılabilir olması sağlanmaktadır. Kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasında iş çizelgeleme süreci hem üretim öncesinde hem de üretim aşamasında büyük önem teşkil eder. Küreselleşen pazarda firmalar kazançlarını arttırabilmek maliyetlerini azaltabilmek için doğru bir iş çizelgeleme yapabilmek zorundadırlar.

Doğru parçanın doğru zamanda doğru makinede işlenebilir olmasını sağlamak verimli bir çizelgeleme ile mümkündür. İyi bir çizelgeleme ile üretim esnasında makine ve operatörlerin boşta beklemesi, uzun süren gereksiz üretim süreçlerinin yaşanması, müşteriye verilen termin tarihlerindeki uyumsuzluklar gibi olumsuz olayların önüne geçilecektir. Müşteri taleplerinin gün geçtikçe değişmesiyle; ürün yelpazelerinde oluşan farklılıklar firmaların piyasada varlıklarını koruyup

karlılıklarını devam ettirebilmek için esnek üretim süreçlerine sahip olmaya zorlanmaktadır. Aynı hizmeti gören farklı ürünlerin çok fazla miktarda piyasada bulunması tüketiciyi içlerinden en ucuzu almaya yöneltmektedir. Bu durumda firmalar hem müşteri beklentisini en üst seviyede karşılamayı hem de ucuza satabilmek ve karlılığını arttırabilmek için maliyetlerini düşürmeye yönelik çalışmalar yapmak durumundadır. Bu sebeple; hammadde planlama, üretim planlama ve iş çizelgeleme konuları ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Fakat yapılan çalışmaların büyük kısmında çizelgeleme işlerinin statik olduğu kabul edilmektedir. Bu yüzden klasik çizelgeleme teorilerinin gerçek hayatta kullanılabilir olma durumu yok denecek kadar azdır.

Çizelgeleme; kaynakları faaliyetler arasında etkin bir şekilde dağıtıp sıralayarak üretimin zamanında ve düşük maliyetle gerçekleştirilmesini sağlar. Üretimler dinamik yapıya sahip olduğundan klasik metotlarla çizelgeleme işlemi gerçekleştirilememektedir. Üretim parkurlarına has çizelgeleme algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda dinamik çizelgeleme problemleri non-linear problem özelliklerine sahip olduklarından kombinatoryal optimizasyon problemlerinden biridir. Bu karmaşık ve zor problemleri çözebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Son dönemlerde yapay zeka uygulamalarının artmasıyla birlikte çözülmesi güç olan problemlerin optimum sonucu verecek yaklaşımlar yardımıyla çözümler elde edilmesi sağlanmıştır. Sistemin kendi özelliklerini dikkate alan ve karar verici özelliğe sahip olan algoritmalar vasıtasıyla optimum sonuçlar kazanılmaya başlanmıştır.

20. yüzyılın başında Frederick Taylor, yaptığı çalışma ile iş süreçlerinin bileşenlerini aşama aşama inceleyerek iş planlamasını daha öncesinde yapılan çalışmalara göre verimli hale getirmiştir. Taylor'ın çalışmalarından önce işçilerin daha uzun saatler boyunca daha yoğun çalıştırılarak verimliliğin arttırılabileceği düşünülmekteydi. Taylor; yaptığı çalışmayla birlikte standartlaştırılan iş süreçlerinin ve ölçülebilen performansların faydalarını vurgulamıştır.

Henry Gantt; Taylor'a ait bilimsel yönetim yaklaşımını benimseyerek çizelgelemede kullanılan Gantt Şemalarını uygulamaya başladı. Gantt şemaları mevcut süreçteki tüm işlere ait sıralama ve sahip oldukları süreleri görsel diyagram aracılığı ile daha anlaşılır olmalarını sağladı.

Henry Gantt ve Frederick Taylor tarafından çizelgeleme için temeller atıldıktan sonra 1954 yılında S. M. Johnson akış tipi çizelgeleme ile ilgili çalışmayı yapmıştır. Johnson yapmış olduğu çalışmada iki makineli sistemlerde işin tamamlanma zamanını en küçükleyecek bir algoritma sunmuştur (Yağmahan ve Yenisey, 2008:412). Böylece Taylor ile mevcut işler adımlarına ayrılıp, Henry ile gantt şemaları vasıtasıyla daha kolay anlaşılır hale getirilen üretim süreçleri Johnson algoritmasıyla üretim sürelerini azaltıcı yönde çizelgeleme çalışmaları yapılmasına doğru gelişme göstermiştir.

Yapılan bu çalışma algoritma zekası yönüyle literatürdeki diğer çalışmalardan farklılıklara sahiptir. Literatürdeki diğer çalışmalara bakıldığında makine önündeki optimum çizelgeleme işleminin yapılarak üretim çıktılarının artırılması hedeflenmektedir. Bu çalışmada ise tamamen Çilek Mobilya üretim şekline özgü sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Çilek Mobilya'da bir ürün birden fazla paket sayısına sahip olmakta ve bu paketlerin içine en az iki, en fazla 25 farklı parça yerleştirilmektedir. Yapılan çalışmada aynı pakete girecek olan parçaların paketleme hattı önünde birbirini bekleme süresini en aza indirecek makine önü parça işleme sırasını belirleyen sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu çeşit verimlilik hesabı yapan herhangi bir modele literatürde rastlanmamıştır.

2009 yılında Selahaddin Erdem Özkan tarafından yapılan “farklı kapasiteli paralel makinelerin dinamik çizelgelenmesi için sezgisel bir algoritma ve uygulaması” çalışmasında amaç; geciken siparişlerin miktarının azaltılması, üretimde makinelere ait hazırlık zamanlarının minimize edilmesi, makine kapasiteleri kullanımının artırılması ve paralelinde üretim içi stok seviyelerini en aza indirmektir (Özkan, 2009).

2013 yılında Nilsen Kundakcı tarafından yapılan “ Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi” konulu çalışmasında makine arızaları, yeni işlerin sisteme dahil olmaları ve işlem sürelerinde yaşanabilecek değişikliklerin dikkate alındığı dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemini çözmek için Tabu Arama ve Genetik Algoritma temelli yeni yöntemler geliştirmiştir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak genetik algoritma ile elde edilen çözümleri iyileştirmek ve çözümün daha kısa sürede elde edilmesini sağlayabilmek için GA’da başlangıç pozisyonunu oluşturmak için yeni bir sezgisel geliştirilerek öncelik kurallarından da faydalanılmıştır. Önerilen TA yönteminde de başlangıç çözümleri oluşturulmuş ve içlerinden en iyi uygunluk değerine sahip olan ile çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerin çözümü için GA ve TA tabanlı yöntemler geliştirilmiştir (Kundakcı, 2013).

2014 yılında Cihan Çörekçi “Atölye Tipi Üretimde Simülasyon Teknikleri ile Dinamik Çizelgeleme ve Atölye Simülasyonu” çalışmasını yapmıştır. Çalışmada atölye tipi üretim sistemlerinde sorun teşkil eden üretim planlama ve üretim içi iş çizelgeleme için simülasyon aracılığı ile zamana duyarlı, dinamik olarak sürekli kendini yenileyen bir model geliştirilmiştir. Sisteme 50 farklı ürün üretebilecek ve içerisinde özdeş 4’er adet aynı işleri yapabilen makine bulunan, 4 ayrı iş merkezli hayali bir atölye kurgulanmıştır. Bu atölye 25 farklı senaryo ile Arena ortamında modellenerek çalıştırılmıştır. Modelde atölye içi ve dışı olmak üzere 2 noktada işlerin sıralanması belirlenmiştir. Böylece dinamik olarak gelen siparişlerin anlık olarak sıralanması ve üretilmesi sağlanmıştır (Çörekçi, 2014).

2015 yılında Engin Sirkeci “Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemi için Çözüm Yaklaşımları: Savunma Sanayinde Bir Uygulama” adlı çalışmayı yapmıştır. Çalışmada işlerin ve işlere ait operasyonların makinelere atanması ve son işin tamamlanma zamanını minimize etmek amacıyla makinelerde sıralanması probleminin çözüm üretmeye yönelik yaklaşımlar sunulmuştur. Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminin çözümü için matematiksel modelleme, yerel arama yöntemi ve tabu arama yöntemleri tercih edilmiştir. Çalışmanın sonucunda karar verilen

yöntemle problemin çözülmüş ve yeni durumla birlikte kazanç elde edildiği tespit edilmiştir (Sirkeci, 2015).

Bu çalışma ile hedeflenen; atölye tipi üretim sistemine sahip bir mobilya firmasında tamamlanma zamanını, toplam akış zamanını ve parçaların birbirini bekleme zamanını minimum yapacak şekilde iş sıralamasının sezgisel yöntemler vasıtasıyla yapılmasıdır. Mobilya üretimi çok sayıda farklı ve çeşitli özellikteki parçanın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Ürün çeşitliliğinin fazla olması ve ürünü meydana getiren parçaların farklı yapıdaki operasyonlara dahil olması makine çizelgelemelerinin yapılması açısından büyük zorluklara neden olmaktadır. Üretilen her bir ürüne modül ismi verilmektedir. Bir modül farklı sayıda paketlerden oluşabilir. Bu paketler de farklı özellikteki parçaların bir araya gelmesinden meydana gelmektedir. Bu şekildeki üretim sürecinde klasik metodlarla çizelgeleme çalışması yapılamayacağından; sezgisel yöntemler kullanılarak firmanın üretim süreci simülasyon programında modellenerek çeşitli senaryolar denenmiştir. Bu senaryolarda paketleme öncesi parçaların birbirini bekleme süresini en aza indirecek ve en kısa sürede ürünlerin çıkmasını sağlayacak makine çizelgelemelerinin oluşturulması hedeflenmiştir. Hangi parça hangi makinede hangi sırada işleneceğinin kararını veren bir yapay zeka oluşturulmuştur. Yapılan çalışma firmanın üretim sürecine özgü farklı sezgisel modeller ve karar verici yapılara sahip olması yönünden diğer uygulamalardan farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

Tezin ikinci bölümünde; çizelgeleme kavramı tanımlanmış ve çizelgelemenin öneminden bahsedilmiştir. Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması, çizelgelemenin özellikleri ve performans kriterleri ifade edilmiştir. Çizelgelemede kullanılan yöntemler ve öncelik kuralları açıklanmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde; simülasyon kavramı tanımlanmıştır. Simülasyon yöntemiyle modelleme süreci hakkında bilgi verilmiştir. Simülasyonun özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanlarına yer verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde; çalışmanın uygulamasına yer verilmiştir. Uygulamanın yapıldığı mobilya firması hakkında bilgi verilmiş, problemin tanımı, uygulama adımlarından bahsedilerek elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

Sonuç kısmında ise; yapılan uygulama ile elde edilen sonuçlar tartışılmış ve çalışma ile ilgili değerlendirmelere yer verilmiştir.



BÖLÜM 2. ÇİZELGELEME

2.1. Üretim Çizelgeleme

Üretim çizelgeleme; üretim planlama ile entegre çalışarak imalat süreçlerinin etkinlik ve verimliliklerini belirleyen önemli bir karar verme organizasyonlarıdır. Çizelgeleme; kıt kaynakların matematiksel ve sezgisel yöntemler yardımıyla belirlenen zaman dilimleri içinde, tespit edilen amaç fonksiyonuna uygun ilgili makineler işlerin atanması olarak tanımlanabilir. İşlerin kaynaklara uygun olarak atanması, işletmelerin hedeflerine daha verimli ulaşmalarını mümkün kılmaktadır.

Çizelgeleme, belirli bir zaman sürecinde kaynakların işlere tahsisi ile ilgilidir ve bir ya da daha çok hedefin optimizasyonunu amaçlayan, üretim ve hizmet sektörlerinin birçoğunda düzenli olarak kullanılan bir karar verme sürecidir (Pinedo, 2008: 1). Çizelgeleme en genel anlamda, bir üretim sisteminde belirli bir dönemde yapılacak işlerin sıralarının ve zamanlarının belirlenmesi ve buna uygun olarak gerekli kaynakların tahsis edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Mutlu, 1993: 3). Üreticilerin hangi malzemeyi, hangi sürede, hangi makinede ve ne miktar üretileceği çizelgelerde detaylandırılır (Özkan, 2009: 4). Çizelgeleme ile amaç fonksiyonunu en iyileyecek şekilde, hangi makinelerde hangi işlerin hangi sırada işlenmesi gerektiği belirlenir ve etkin kaynak kullanımı sağlanarak üretim sistemleri başarıya ulaştırılmaya çalışılır (Cihanlı, 2010: 12).

Çizelgeleme, bir üretim organizasyonunda gerçekleşen tüm operasyonların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesidir. Çizelgeleme ile birlikte, mevcut durumlar incelenerek iş gücü, makine kapasiteleri, ekipman gibi faktörlerde yapılacak değişiklikler tespit edilmiş olur.

Çizelgelemede birçok işin belirlenen sırada gerçekleşmesi için sıralama yapılır ve bu program vasıtasıyla belirli kriterler ve kısıtlar altında tespit edilen performans ölçütlerinin en iyilenmesi sağlanır. Çizelgeleme işleminde temel amaç, işlerin minimum kaynaklarla ve en az üretim süresinde hedef kriterlere uyacak biçimde problem çözümlerinin elde edilmesidir (Erdem, 2008: 4) ve bu yönüyle çizelgeleme, verimlilik ve etkinlik sağlamak için önemli bir işletme fonksiyonudur (Aydemir, 2009: 5).

Çizelgelemede üretim, malzeme ve zaman olmak üzere üç temel unsur söz konusudur. Bu unsurlar dikkate alındığında, çizelgeleme ile işlerin yapılmasını sağlamak için hangi kaynakların, hangi makinede, ne zaman ve hangi sırada kullanılacakları belirlenir. Verimli bir çizelgeleme ile üretim faaliyetleri minimum ekipman kullanarak mümkün olan kısa zamanda yapılabilme çözümleri tespit edilebilmektedir (Seçme, 2006: 4).

Çizelgeleme, otobüs hareket saatleri, ders giriş-çıkış saatleri, uçak kalkış-iniş saatleri gibi basit uygulama örnekleri ile günlük yaşantıda sıkça karşılaşılan ve hayatı kolaylaştıran bir kavramdır (Akçay, 2009: 5). Çizelgeleme problemleri ile ekonomik faaliyetlerin büyük çoğunluğunda da karşılaşmaktadır. Örneğin; klasik atölye iş çizelgeleri, iş gücü ve hizmet planlama, montaj hattı dengelemeden, lojistik dağıtım/toplatım ağı çizelgeleri gibi bir çok farklı alanda yer almaktadır. Atölye tipi çizelgeleri klasik olarak iş kümeleri ve makineleri içerir. Makinelerin her birine belirli zaman dilimlerinde belirlenen işler atanır. Ve bu işlerin hepsi belirlenen sırada belirlenen makinelerde operasyonları tamamlanır. Amaç; işlemlerin makineler için uygun zaman aralıklarına atanması ve bütün işlerin olası en kısa zamanda tamamlanmasıdır (Büyüksünetçi, 2006: 1).

Çizelgeleme; bir ya da daha çok performans ölçütünü optimize etme amacı ile kısıtlı kaynakların faaliyetlere amaç fonksiyonunu en iyilenmesini sağlayacak şekilde dağıtmaya çalışır. Mevcut durumda kaynaklar ve faaliyetler birçok farklı şekilde ele alınabilir. Faaliyetler ise; çeşitli üretim süreçlerindeki tüm işlemler, bir filodaki otobüslerin gidiş ve geliş saatleri vb. olabilir. Aynı zamanda bu tarz o

çizelgelerde optimize edilecek çok fazla performans ölçütü bulunmaktadır. Bir örnek vermek gerekirse; amaç çizelgelemenin sahip olduğu maksimum tamamlanma zamanının minimum yapılması ya da tamamlanma süresi geciken işlerin minimum adede indirilmesi olabilir (Leung, 2004: 1).

Çizelgeleme; son yıllarda şirketlerin karlılık oranlarını arttırmak istemesinden kaynaklı üretim ve hizmet sektörlerinde çok büyük öneme sahip olmuşlardır. Bir işletmede çizelgeleme aracı, matematiksel yöntemler ya da sezgisel araçlar aracılığı ile sahip olunan ekipmanların kullanım sırası belirlenir ve böylece kaynakların doğru şekilde atanmasıyla işletmenin hedeflerine en iyi şekilde ulaşması sağlanır (Öztuncel, 2007: 2). Çizelgeleme ile birlikte hangi iş hangi makinede hangi sırada yapılacağı tam olarak tespit edildiğinden ürünlerin termin tarihleri verilebilmekte ve uyum içinde çalışıldığında teslim tarihlerinde sapmaların yaşanmaması sağlanmaktadır. Çizelgelemede kaynaklar; malzemeler, fason iş yaptırılan tedarikçiler, iş gücü, makineler, fabrikayı besleyen enerji kaynakları gibi üretim şekline kısıt oluşturabilecek her şey olabilir. Çizelgeleme vasıtasıyla planlamacılar her ekipman için iş sırasını, iş sırasına göre ihtiyaç duyulacak malzemelerin tedarik edilmesi gereken zamanları, ve üretimin tahmini başlangıç ve bitiş tarihlerini belirler. Böylece hangi malzemeye üretimde ne zaman ihtiyaç duyacağım, hangi tarihlerde ürünlerin depomda yer alacağı tespit edilmiş olunur. Bu durumun, mevcut sistemin iş yoğunluğuna, makinelerin kapasitesi ve stok miktarlarına göre nasıl düzenleneceği, hangi işlemin hangi makineye atanacağı, işlemlerin hangi sırada gerçekleştirileceği çizelgeleme kapsamına girer (Boray, 2007: 1). Çizelgelemenin ilgilendiği sorunlar şu şekilde sıralanabilir (Aladağ, 2010: 8):

- Hangi makine veya ekipman hangi işlemi gerçekleştirecek?
- Makineye atanan işin başlama zamanı ne olacak?
- Atanan iş hangi ekipman ile hangi operatör tarafından yapılacak?
- Atanan işlerin makine önü sıralaması nasıl olacak?

Karmaşık yapıya sahip olmasından dolayı çizelgeleme; problemin çözümü ve problemin yapısı olarak değerlendirilmelidir. Problem çözümü açısından incelendiğinde; çizelgeleme çalışmaları her açıdan eniyileme problemleridir. Elde

edilmek istenen çıktılar doğrultusunda amaç fonksiyonunu kısıtlara bağlı olarak çoğunlukla sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmektedir. Çizelgeleme karar verme açısından değerlendirildiğinde bir uzmanın vermesi gereken bir karar olarak görülmektedir. Çizelgeleme yapan uzmanlar genellikle gayri resmi ve resmi bilgileri kullanarak çok çeşitli faaliyetleri yerine getirir. Çizelgeleme yapan uzmanların sahip olması gereken en önemli özellikler; belirsizlikleri vurgulamak, darboğazları yönetebilmek ve insanların neden olduğu problemleri önceden sezerek alternatif çözüm yolları geliştirmektir. Kurumsal açıdan bakıldığında çizelgeleme, üretim planlama ve kontrol sistemindeki karmaşık bilgi akışı ve karar verme akışının bir parçasıdır (Aladağ, 2010: 8-9).

Çizelgeleme problemlerinde genellikle makinelerin sahip oldukları kapasite kısıtları ve üretim gelişmişlik kısıtları olmak üzere iki çeşit kısıt vardır. Çizelgeleme problemlerinin çözümünde bahsedilen iki kısıtın birbirine bağlı ve uygun çözüm oluşturacak teknikleri araştırılır. Sonuç olarak hangi işin hangi makinede hangi işten sonra yapılacağını gösteriyorsa işletmeye fazlasıyla fayda sağlayacaktır. Bundan dolayı, bir çok çizelgeleme problemi kısıtlara bağlı olarak kurulan optimizasyon problemleri gibi ele alınmaktadır (Ceran, 2006: 11). Aynı zamanda, çizelgeleme problemleri; parametrelerin matematiksel olduğu durumdan, belirsiz olduğu duruma, tek makine çizelgelemeden çok makineli çizelgeleme yöntemlerine, geliş sürecinin belirgin, değişken olduğu çeşitli problem örneklerini kapsamaktadır (Öztuncel, 2007: 2).

Çizelgeleme problemlerinde optimizasyon yapılırken üç ana amaç etrafında çözüm üretilmeye çalışılır. Bu amaçlardan birincisi müşteri teslim tarihidir ki müşteri memnuniyeti üzerinde en fazla etkisi olan maddelerden biridir. İkinci amaç; üretim işlem sürelerinin en aza indirilmesidir. Üçüncü amaç ise; üretim tesislerinin yani makine, ekipman, teçhizat ve iş gücü açısından yüksek verimlilikle çalışabilir olmasının sağlanmasıdır.

Çizelgelemede verimli sonuçlar elde edebilmek için özellikle dikkate alınması gereken parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Kapasite: İşletme kapasitesinin tam olarak hesaplamalarının yapılmış ve biliniyor olması gerekmektedir. Kapasite değişen bir kavramdır. Üretilen ürünlerin, ekipmanların ve çalışan değişikliğiyle doğru orantılı olarak artma ya da azalma eğilimi göstermektedir.

Yeterlilik: Elimizde bulunan kaynakların verimli ve hızlı olma eğilimleri birbirlerinden farklı olabilir. Çizelgeleme yapılırken tüm bu özellikler göz önünde bulundurulmaları gerekmektedir.

İşin gereksinimleri: Üretilen ürün/hizmet için kalite ve maliyet standartlarının belirlenmesi, işlerin termin zamanları ve hangi sıra ile yapılması bilgileri bilinmelidir.

Ölçüm standartları: Zaman, maliyet, kapasite, iş gücü yeterliliği ve kalite hakkında elde edilebilen tüm veriler için standartlar oluşturulmalıdır.

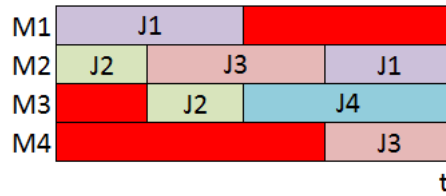
Çizelgelemenin temel amaçları şu şekilde ifade edilebilir:

- Üretimde sahip olunan tüm ekipmanların en verimli şekilde değerlendirilmesi
- Gelen ürün taleplerine en kısa sürede cevap verilmesi
- Planlanan işlerin belirlenen tarihlerden geç bitmesinin önüne geçilmesi
- Üretim içi stoklarının minimize edilmesi
- Mevcut mesai çalışma saatlerinin verimli kullanılması (Boray, 2007: 5)

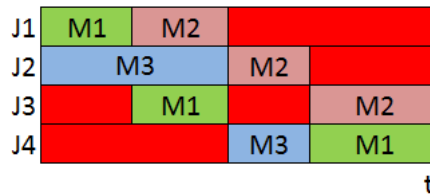
Çizelgeleme problemleri, genellikle mevcut kriterler üzerinden birçok kısıtlarla meydana geldiğinden oldukça karmaşık yapılara sahiptirler. Mevcut işlerin öncelik koşulları, eş zamanlı hareket etmesi gereken işler, birbirini tetikleyen farklı süreçler problemlerde kısıtları meydana getirmektedir. Çizelgeleme problemlerinde çözüm kümeleri elde etmek oldukça zor bir çalışmadır. Sürecin karmaşık olması, çözüm süreçlerinde kısa bir zamana sahip olunmasından dolayı matematiksel yöntemleri destekleyecek biçimsel yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Biçimsel yöntemler mevcut problemi görsel olarak ortaya koyduğundan sorunların tespit edilmesi, ihtiyaçların görülmesi ve duruma çözüm üretilmesi açısından büyük fayda

sağlamaktadır. Günümüzde herkes tarafından anlaşılması kolay olan gantt şemaları modelleri tercih edilmektedir. En temel şekliyle gantt şemaları, kaynakların zaman içindeki dağılımını göstermektedir (Baker ve Trietsch, 2009: 2). Gantt şemaları; mevcut kaynakların zaman içindeki dağılımlarının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca gantt şemaları incelendiğinde; toplam üretim süresi, makinelerin boş kalma süreleri, iş bekleme süreleri gibi verilere ulaşılmasını sağlamaktadır. Gantt şemaları mevcut durumun resmini ortaya koyduğundan süreçle ilgili herhangi bir iyileştirme meydana getirmemektedir. Analizci, iyileştirilmiş bir çizelge elde edebilmek için kendi sezgisel yöntemlerini kullanmak mecburiyetinde kalmaktadır (Seçme, 2006: 5).

Yaygın olarak kullanılan gantt şeması, bir zaman çizgisi boyunca planlanan tüm işlerin ve gerçekleşme süreleri ile birlikte şemaya yerleştirilerek başlangıç ve bitiş zamanları bulunur. Üretim kaynakları (makine, iş gibi) yukarıdan aşağıya, zaman skalası ise soldan sağa doğru sıralanmaktadır. Aşağıda Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de makine ve işe göre hazırlanmış gantt şemaları görülmektedir.



Şekil 2.1. Makineye göre gantt şeması



Şekil 2.2. İşe göre gantt şeması

Gantt şemaları herhangi bir zaman diliminde hangi işlemin gerçekleşmesi gerektiğini, çizelgenin ilerleyişini anlık olarak ifade edebilir. Bununla birlikte

gereken zamanda düzeltici ya da önleyici faaliyetlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlar.

Gantt şemalarının faydaları;

- Üretime ait süreçlerin planlaması
- İşlemlerin performans sıralarının dikkate alınması
- Çizelge için ihtiyaç duyulan zamanın ortaya çıkarılması
- Makine veya iş yoğunluklarının görülebilir olması

Gantt şemasının eksik yönleri ise;

- Çizelgeleme problemlerinde mevcut durumu ortaya çıkardığından herhangi bir optimizasyon gerçekleştirmez
- Makineler veya işler arasındaki zayıflıkları göstermez
- İhtiyaç duyulan kaynakları koordine etmez
- Anlık yaşanan değişimlerde alternatif yollar üretmez.

2.2. Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Çizelgeleme; hem üretim sektöründe hem de hizmet sektöründe rahatlıkla uygulanabilen bir yöntemdir. Çizelgeleme problemlerinde tek bir üretim şekline veya hizmet ortamına göre genelleme yapılması yanlış olur. Problem çeşidine göre sahip olduğu parametreler doğrultusunda farklılık gösterir. Çizelgeleme problemleri sınıflandırılacak olursa; makineye iş geliş zamanlarının önceden bilinip bilinmemesi, problemde kullanılan parametrelerin kesin veya olasılıklı olması durumu, iş sayısının değişken olup olmaması seçeneklerine göre kategorize edilebilir. Çizelgeleme problemleri ile ilgili yapılan sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir.

2.2.1. Statik çizelgeleme

Çizelgeleme problemlerinde yapılacak işlerin sayısı ve makineye alınacak zamanının önceden hesaplanabiliyor ve sabit ise bu tür çizelgeleme problemleri statik çizelgeleme problemleri olarak adlandırılır. Statik çizelgeleme problemlerinde işler sabit olduğu için iş sayısı değişmez. Statik modellerin gelişen teknolojiyle birlikte

artan ürün çeşitliliği ve ürün üretim şekillerinde değişikliklerden kaynaklı yeterli olmadığından sezgisel yaklaşımların gelişmesinin temelini oluşturmuştur.

Çizelgemesi yapılacak işlere ait tamamlanma zamanları ve ihtiyaç duyulan tüm parametreler önceden biliniyor ve sabit kalıyor ise bu tür problemler deterministik olarak tanımlanır. Çizelgemesi yapılacak işlerin işlem zamanları ve kullanılacak diğer parametrelerin belirsiz olduğu çizelgeleme ortamlarına ise stokastik çizelgeleme denir. Diğer bir adı olasılıklı çizelgelemedir. Olasılıklı sistemler gerçek sistem denemelerinde deterministik sistemlere göre çok daha verimli sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Baker, 2009).

2.2.2. Dinamik çizelgeleme

Çizelgenecek işler zaman içerisinde değişiklik gösteriyorsa bu tür çizelgeleme problemlerine dinamik çizelgeleme denir (French, 1982). Belirli bir zaman dilimi içinde işlerin gelişleri rassallık gösterir. Dinamik modeller, statik modellere göre değişkenlik fazla olduğundan daha zor kontrol edilebilir yapıya sahiptirler. Dinamik modelleme iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar; deterministik ve olasılıklı yapıya sahip modellerdir.

2.3. Çizelgeleme Ortamlarının Sınıflandırılması

Çizelgeleme problemi modellenirken çözüme en yüksek oranda etki eden maddelerden biri çizelgeleme yapılacak ortamın çeşididir. Çizelgeleme ortamının sahip olduğu özellikler çizelgeleme modelini doğrudan etkilemektedir. Çizelgelemede makine sayısı, işleme şekilleri, iş akışları ve işlerin sayısı gibi parametreler çizelgeleme ortamının türünü belirlemektedir. Morton ve Pentico (1993) üretim ortamlarına göre çizelgeleme türlerini 10 sınıfta incelemiştir (Özkazanç, 1999).

- Akış tipi üretim
- Atölye tipi üretim
- Açık atölye tipi üretim

- Parti tipi üretim
- Parti/Akış tipi üretim
- İmalat hücresi
- Montaj atölyesi
- Montaj hattı
- İletim hattı
- Esnek iletim hattı

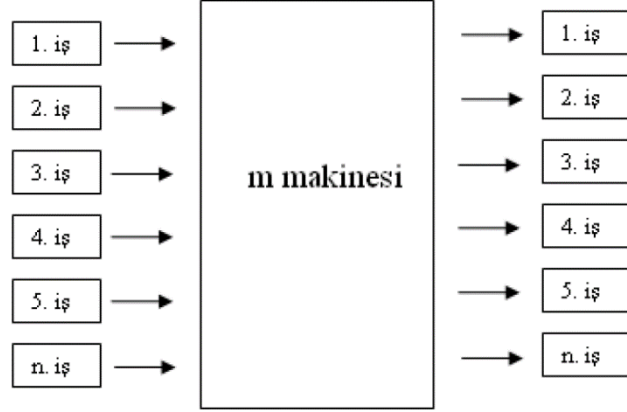
Akış tipi üretim ve atölye tipi üretim, üretim sistemlerinin iki uç noktasını oluşturmaktadır. Diğer üretim tipleri bu iki uç arasındaki çeşitli bileşimlerin uygulamalarıdır(Seçme, 2006).

Üretim sahalarında belirtilen çizelgeleme ortamlarının bire bir uygulamasının bulunması mümkün değildir. Mevcut tesis imkanları, ürünü meydana getiren malzemeler, makine/ekipman özellikleri, Pazar ihtiyaçları, müşteri talepleri gibi sebeplerden ötürü çizelgeleme ortamlarının kesin net kurallarla birbirinden ayırmak ve sınıflandırmaya uygun hale dönüştürmek imkansızdır. Çoğu işletmede yukarıda belirtilen çizelgeleme türlerinden birkaçının birleşiminden oluşmuş çizelgeleme ortamlarının olduğu görülmektedir. Firma sahipleri firma hedefleri doğrultusunda, hızlı, ekonomik ve kalite gereksinimlerini en iyi karşılayacak ortamlarda üretim yapmaktadırlar.

2.3.1. Tek makine çizelgeleme

Bir kaynak veya makinenin bulunduğu, tüm işlem zamanlarının belirli olduğu en basit çizelgeleme yöntemlerinden biridir. Tek makine çizelgeleme yöntemleri basit bir yapıya sahip olmalarına rağmen diğer çizelgeleme problemlerinin anlaşılmasına temel oluşturduğundan önemli bir yere sahiptir. Bu çizelgeleme türünde elde edilen bulgular, daha karmaşık çizelgeleme problemlerinin dayandırıldığı temel kısmını inşa etmektedirler.

Örnek bir üretim sistemi için tek makine çizelgeleme problemlerinin yapısı Şekil 2.3.'te görüldüğü gibidir. Örnekte bir makine ve bu makinede işlenecek n adet iş bulunmaktadır. Bütün işler tek ve aynı makinede işleminden geçmektedir. Bu durumda basit bir tek makine çizelgelemede $n!$ adet farklı çözüm bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Tek makine çizelgeleme

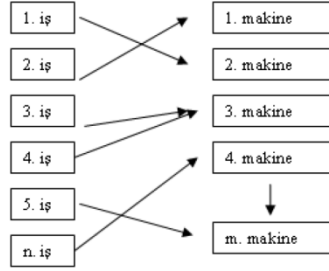
Jackon (1955) ve Smith (1956) yaptıkları çizelgeleme çalışmaları ile tek makine çizelgeleme problemlerinin çözüm yaklaşımlarında büyük katkılar sağlamışlardır. Daha karmaşık olan diğer çizelgeleme problemlerinin çözümü için alt yapıyı oluşturmuşlardır. Biskup (1999), Sidney (1977), Kuo ve Yang (2006)'da tek makine çizelgeleme problemlerini konu alan çalışmalar yapmışlardır.

2.3.2. Paralel makine çizelgeleme

Paralel olarak sıralanmış makineler kümesi teorik açıdan önemli olduğu kadar pratik hayat açısından da önem taşımaktadır. Paralel makine sistemleri ele alındığında tek makine sistemlerinin genelleştirilmiş hali olduğu görülmektedir. Gerçek hayatta ise paralel makinelerin varlıkları birçok firmada mevcuttur. Ayrıca çok basamaklı sistemlerin ayrıştırılmasında da paralel makine çevreleri için kullanılan yöntemlere başvurulur (Pinedo, 2008).

Paralel makine sistemlerinde, mevcut işler tek bir operasyondan oluşur. Birçok paralel makinenin varlığı durumunda ise bir operasyondan oluşan işlerin çizelgeleme

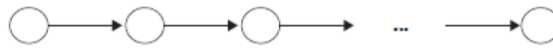
probleminin genel yapısı Şekil 2.4.'te görüldüğü gibidir. n iş başlangıç zamanında operasyona girmek için hazır durumdadır. Aynı zamanda m makine de başlangıç zamanında işlem yapabilmek için hazır durumdadır. n adet iş m adet makineye dağıtılarak işlemler gerçekleştirilir. Genel paralel makine çizelgeleme durumunda makineler paralel ve işler birbirinden bağımsız kabul edilir (Baker ve Trietsch, 2009).



Şekil 2.4. Paralel makine çizelgeleme

2.3.3. Akış tipi üretim çizelgeleme

Makinelerin birbiri ardına seri olarak sıralandığı yerleşim düzenine akış tipi yerleşim denir (Pinedo, 2008). Akış tipi üretimde yapılacak her bir işlem farklı bir makineye atanmıştır. Akış tipi üretim uygulaması yapılan ortamlarda başlangıç makinesinde işleme başlanır ve ard arda sıralanmış makinelerden malzemeler geçerek final noktasında nihai halini elde etmiş olur. Akış tipi üretim ortamlarında her bir iş işlemlerine ayrılmıştır, mevcut işlemlerin hepsi farklı makinelerde yapılmaktadır. İşler arasında tespit edilen öncelik sırasına göre akış yönetimi gerçekleştirilir. Şekil 2.5.'te akış tipi üretim modeli gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Akış tipi üretim çizelgeleme

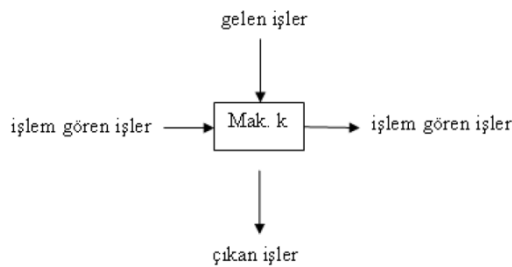
Akış tipi üretimde her bir işlemden önce bir işlem, mevcut işlemden sonra ise kendisini tamamlayıcı başka bir operasyon noktası bulunmaktadır. Bu nedenle her bir işin tamamlanabilmesi için işlemlerin belirli bir sırada gerçekleşmesi gerekir (Baker ve Trietsch, 2009).

Akış tipi çizelgeleme birbirinden farklı m makine ve n işten oluşan bir sisteme sahiptir. n tane işin her biri aynı sıra ile m adet makineden geçiyor ise bu duruma saf akış tipi denir. Eğer n tane iş farklı başlangıç makinelerinden başlayarak farklı sıralardaki makinelerde işlemleri tamamlanmış oluyorsa genel akış tipi yerleşim denir. Örneğin; 1. Makineye giren iş, 2. ve 3. Makineye uğramadan 4. Makinede işlem görebilmekte, veya 2. Makinede işlem gören iş 3. Makineye uğramadan diğer makinelerde işlem görerek operasyon sürecini tamamlıyorsa genel akış tipine sahip üretim denir.

Akış tipi üretimin temel amacı; yüksek miktarlardaki üretimleri en az maliyetle gerçekleştirmektir. Akış tipi üretime otomotiv, beyaz eşya üretimi gerçekleştirilen tesislerdeki montaj hatları örnek olarak gösterilebilir.

2.3.4. Atölye tipi üretim çizelgeleme

Atölye tipi üretimi akış tipi üretimden ayıran en önemli nokta iş akışlarının tek yönlü olmamasıdır (Baker ve Trietsch, 2009). Atölye tipi üretim çizelgeleme problemleri m tane makine ve n tane işten meydana gelmektedir. Akış tipi üretimde olduğu gibi atölye tipi üretimde de işler, daha öncesinde tespit edilen öncelik sıralamasına yönelik biri dizi operasyondan meydana gelmektedir. Her iş mevcut durumuna göre m işlemde meydana gelmekte ve bu işlemlerin her biri bir makinede işlem görür. Bir iş bir makineye birden fazla uğrayabilir ya da hiç uğramadığı makineler olabilir. Akış tipi üretimde de olduğu gibi sadece bir işin birinci işlemini yapan bir makine veya sadece bir işin son işlemini yapan farklı bir makine bulunmaz. İş akışı tek yönlü olmadığından her makine için girdi ve çıktılarını ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşağıda Şekil 2.6.'da örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Atölye tipi üretim iş akışı

Atölye tipi üretim; n adet iş m adet makinede farklı başlangıç ve bitiş makinelerinde operasyonlarını tamamlayarak gerçekleştirilen bir üretim çeşididir. Bu üretim tipinde bir üründen yüksek miktarlarda olmayan düşük lot değerlerinde üretim gerçekleştirilebilir. Bu yüzden üretim çeşitliliği yüksektir. Ürün yelpazesinde esneklik ve çeşitlilik sağlarken, bu ortama uyum sağlayabilecek tecrübeli çalışanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak; plastik üretimi, metal ve ağaç işleri endüstrilerinde yaygın olarak görülen bir üretim tipidir.

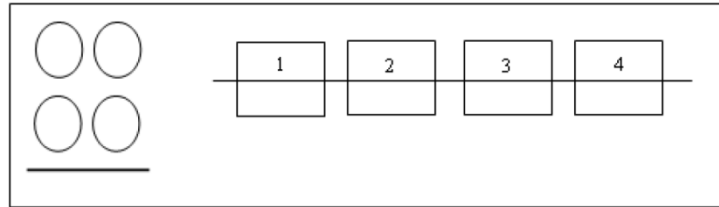
2.3.5. Esnek atölye tipi üretim çizelgeleme

Esnek atölye tipi üretim, atölye tipi üretimin bir çeşididir. Esnek atölye tipi üretimi atölye tipi üretimden ayıran en önemli özellik bir işe ait bir operasyon birden fazla makinede işlem görebilir. Esnek atölye tipi üretim makine kısıtlarını ortadan kaldırırken çözüm uzayının da genişlemesini sağlar. Çözüm uzayı genişledikçe n adet farklı işin m adet makinede çizelgeleme işlemi daha karmaşık bir yapıya dönüşür. Bir işlem aynı makineye birden fazla kez operasyon için uğruyorsa bu işe geri dönüşlü iş denir. Bir iş bir makineye birden fazla kez uğrayabildiğinden; hem işlerin hangi makineye uğrayacağı ve gideceği makinede hangi sırada işleme alınacağı ile ilgili optimizasyon yapılması durumu ortaya çıkmaktadır.

2.3.6. Parti tipi üretim çizelgeleme

Endüstride örneklerini gördüğümüz parti tipi üretim; ürünün çok yüksek miktarlarda üretilmesi demektir. Amaç; üretim esnasında üretim miktarlarının yüksekliğinden kazanç elde etmektir. Üretim akışı önceden tespit edilen partilerin yapılması doğrultusunda gerçekleştirilir. Partideki son iş tamamlandıktan sonra ancak parti üretimi tamamlanmış kabul edilir (Pinedo, 2008). Parti tipi üretimde her ürün her makinaya uğrayıp operasyona maruz kalacak diye bir kural söz konusu değildir. Bazı ürünler bazı makinelerde işlem görmemesi gerekiyorsa o makineye uğramadan akışını tamamlamış olur. Ancak tüm ürünler fabrikaya tanımlanmış genel akışa uygun hareket etmeleri zorunludur. Birinci parti üretimini tamamlamadan ikinci partinin üretimi başlatılamaz. Parti tipi üretim çizelgelemede dikkate alınması

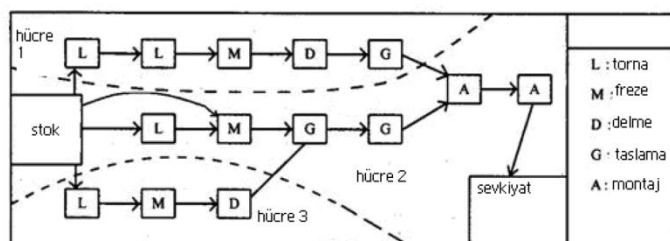
gereken noktalar; darboğaz oluşumları, parti adetleri ve parti büyüklüklerinin ne olacağıdır. Hedeflerden biri de hazırlık sürelerini minimize edebilmektir. Parti tipi üretim çizelgelemeye Şekil 2.7.'de örnek verilmektedir.



Şekil 2.7. Parti tipi üretim

2.3.7. Hücresel imalat sistemlerinde çizelgeleme

Hücresel imalat; makinelerin ve işlenecek parçaların özelliklerini baz alarak farklı algoritmalara göre gruplandırılmasını sağlar. Atölye tipi üretimin üretim çeşitliliği avantajını, seri üretimin verimlilik avantajını bünyesinde bulunduran bir üretim çeşididir. Oluşturulan üretim hücresi; içerisinde akışın sağlandığı birçok makinenin bir araya getirilmesi, malzeme taşıma ve aktarma sisteminin kurulması ve bu ikisini ahenkle yöneten merkezi kontrol ünitesini kapsamaktadır. Benzer üretim süreçlerine sahip olan parçalar tespit edildikten sonra bu üretimi gerçekleştirebilecek küçük bir istasyon oluşturulması gerekmektedir. Hücresel imalatın esas çıkış noktası; etkin ve kolay kontrol edilebilir olması küçük bir sistemin fabrikanın büyük sistemine olumlu etki oluşturacaktır. Örnek Şekil 2.8.'de verilmektedir.



Şekil 2.8. Hücresel imalat sistemi

2.4. Çizelgelemede Performans Kriterleri

Çizelgeleme problemlerinde verimlilik elde edebilmek için ölçütlerin titiz ve doğru çalışmalar sonucu belirlenmesi gerekir. Ancak bu ölçütleri belirlemek problemlerin değişkenlerinin çok fazla olması, karmaşık olması ve çözüm esnasında birbirleriyle çakışma durumlarının olmasından dolayı oldukça zordur. Bu yüzden performans ölçütleri belirlenirken amaç fonksiyonu ve kısıtlar detaylı bir şekilde incelenmeli ve elde edilmek sonuçlar doğrultusunda tespit edilmelidir.

Performans ölçütleri genel olarak üç başlık altında özetlemek mümkündür. Bahsedilen başlıklar işletmelerin ihtiyaçları doğrultusunda meydana gelmiştir. Bunlar; teslim zamanı hedefli performans ölçütleri, tezgah ve stok kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri ve sık bir şekilde işletmelerde karşılaştığımız tamamlanma zamanı hedefli performans ölçütleridir.

2.4.1. Teslim zamanı hedefli performans ölçütleri

Mevcut yapılacak işlerin teslim zamanından önce veya sonra bitirilmesi işletme açısından planların aksamasına neden olmaktadır. Bir sonra veya bir önceki planlarda malzeme temini veya makine dolulukları ile ilgili aksaklıklara sebebiyet verir. Aynı zamanda süreç içi stokların veya bitmiş ürün stoklarının artmasıyla birlikte maliyet olarak kayıplar yaşanmasına neden olacaktır.

Geciken iş sayısı; n_t

Ortalama gecikme; $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$

En büyük gecikme; $T_{enb} = \text{Enb} (T_1, T_2, \dots, T_n)$

Ortalama terminden sapma; $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$

En büyük terminden sapma; $L_{enb} = \text{Enb} (L_1, L_2, \dots, L_n)$

Çizelgelemede yapılan kurguya göre cezalandırma ya da ödüllendirme sistemleri kullanılabilir. Örneğin; çizelgelemedeki senaryoya göre ortalama terminden sapma ve en büyük terminden sapma minimum değeri aldığı anda, yani ürünler bitmesi gereken zamanda veya en az gecikmeyle tamamlandığında erken tamamlanan işler için ödüllendirme sistemi kullanılabilir.

2.4.2. Stok ve tezgah kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleri

İşletmelerin genel hedeflerinden biri de stok ve tezgah kullanım maliyetlerini en aza indirmektir. Bu amaç doğrultusunda ürün stokları minimum yapılmaya çalışılırken, tezgahların da etkin bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır.

İşlenmek üzere makinelerde bekleyen ortalama iş sayısı; \bar{N}_Q

Tamamlanmamış ortalama iş miktarı; \bar{N}_U

Bitmiş ortalama iş miktarı; \bar{N}_C

Süreçteki ortalama iş miktarı; \bar{N}_P

Ortalama makine boş süresi; \bar{I}

En büyük makine boş kalma süresi; \bar{I}_{enb}

Tamamlanmamış ortalama iş miktarı ve bitmiş ortalama iş miktarı ölçütleri süreçteki stok miktarlarını etkilediğinden stok maliyetleriyle doğrudan ilişkilidirler. \bar{N}_C ölçütünü minimum değerine getirmemiz bitmiş ürünlerin stok maliyetini en küçükler. Eğer amaç tezgahların verimli kullanımı olacak ise \bar{N}_P değerini maksimum yapan veya \bar{I} ve \bar{I}_{enb} değerlerini minimum yapan çizelgelerin seçilmesi gerekmektedir.

2.4.3. Tamamlanma zamanı hedefli performans ölçütleri

Bir çizelgeleme çalışmasında etkinliğin artırılabilmesi için aşağıda ifade edilen ölçütlerin minimuma getirilmesi gerekmektedir.

En büyük akış süresi; $F_{enb} = \text{Enb} (F_1, F_2, \dots, F_n)$

Ortalama akış süresi; $\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j$

En büyük tamamlanma zamanı; $C_{enb} = \text{Enb} (C_1, C_2, \dots, C_n)$

Ortalama tamamlanma zamanı; $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n C_j$

Toplam ağırlıklı tamamlanma zamanı; $\sum_{j=1}^n w_j C_j$

En büyük akış süresinin minimuma yaklaştırılması, atölyede en fazla kalan işin süresinin azaltılarak maliyetin düşürülmesi anlamına gelmektedir. En büyük tamamlanma zamanına sahip olan makinelerdeki işlerin ilgili kaynaklara yönlendirilmesi ile gerçekleşen maliyetler ile bağlantılıdır. İşin atölyeye geliş zamanı sıfırda bu iki kriter birbirine eşdeğerdir. Ortalama tamamlanma ve ortalama iş akış sürelerini minimuma düşürüldüğünde, işlerin üretimde kalma zamanları da paralelinde minimuma düşeceğinden zamanında önce bitirmenin kazanç getireceği uygulamalarda performans ölçütü olarak kullanılabilir.

Genel olarak tüm çizelgeleme problemlerinde yapılması gereken operasyonlar veya operasyonlar kümesi ve bu operasyonları yapabilmek için ihtiyaç duyulan kaynaklar yapısını içermektedir. Çizelgelemede yapılacak işlerin rota ve sürelerinin bilinmesi gerektiği gibi mevcut kaynakların kapasitelerinin de bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca bu yapılar içerisinde herhangi teknolojik veya işlevsel olarak kısıtlar varsa hepsinin tanımlanması gerekmektedir. Çizelgeleme problemlerinde kullanılacak tanımlar ve açıklamaları genel olarak aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

İşlem süresi (processing time); P_{ij} parametresi; j . İşinin i . tezgahta ki işlem süresini ifade etmektedir. İşlem süresinin tezgahlara bağlı olmadığı yani özdeş tezgahların kullanılması durumunda işlem süresi p_j olarak gösterilebilir (Pinedo,1995).

Hazır olma zamanı (release time); r_j parametresi ile gösterilir. j . işe ait sisteme dahil olma zamanı ile en erken işleme başlanabilecek zamanı ifade eden değerdir (Pinedo,1995).

Ağırlık (weight); w_j olarak gösterilen ağırlık kavramı özet olarak j . işin diğer işlere göre ne derece öneme sahip olduğunu göstermektedir. Üstünlük parametresi olarak da ifade edilebilir. w_j parametresi örnek olarak j . işin sistemde bulunma maliyeti olarak ya da üretiminden elde edilebilecek kazancı ifade etmek için kullanılabilir (Pinedo, 1995).

Tek tezgah (single machine); En basit makine ortamıdır. Tüm karışık tezgah ortamlarının temel halidir (Pinedo, 1995).

Özdeş paralel tezgahlar (identical machines in parallel): P_m ile gösterilir. m adet özdeş tezgahın bulunduğu bu ortamda, j . iş tek bir operasyona gereksinim duyar ve m tezgahtan herhangi birinde işlem görebilir (Pinedo, 1995).

Tamamlanma zamanı (completion time); C_j simgesi ile ifade edilmektedir. Ve j . işin tamamlandığı zamanı ifade etmektedir (Pinedo, 1995).

Akış süresi (flow time): F_j ile gösterilir ve j . işin sistemde geçirdiği süreyi, yani hazır olma zamanı ile tamamlanma zamanı arasındaki süreyi ifade etmektedir. $F_i = C_i - r_i$ eşitliğinde gösterilir. Eğer tüm işlerin hazır olma zamanları sıfır kabul edilirse akış süresi tamamlanma zamanı ile aynı değeri göstermektedir (Pinedo, 1995).

Gecikme/Sapma (lateness); L_j ile ifade edilmektedir. j . işin tamamlanma zamanı ile teslim zamanı arasında oluşan sapmayı ifade etmektedir. L_j pozitif veya negatif değer duruma göre alabilmektedir. $L_j = C_j - d_j$ şeklinde gösterilir (Alpay, 2003).

Erkenlik (earliness); E_j ile ifade edilir. j . işin teslim zamanından önce tamamlandığını göstermektedir. $E_j = \max\{0, -L_j\}$ olarak gösterilir (Alpay, 2003).

Pozitif gecikme (tardiness); T_j ile gösterilir ve j . işin teslim zamanından sonra tamamlandığını göstermektedir. $T_j = \max\{0, L_j\}$ olarak ifade edilir (Alpay, 2003).

Geciken İş: U_j , j . işin gecikip gecikmediğini ifade etmektedir ve 0-1 değerlerini almaktadır. $C_j > d_j$ ise $U_j = 1$, diğer durumlarda ise $U_j = 0$ olarak gösterilir.

2.5. Çizelgelemede Kullanılan Öncelik Kuralları

2.5.1. İlk giren ilk çıkar (İGİS)

İlk giren ilk çıkar kuralında; sisteme ilk dahil olan iş ilk önce çizelgelenir. Bu şekilde bir sıralama yapılması sistemde parçaların İGİS kuralına uygun bir şekilde işlenmesini sağlar. Sistem başlangıcı ilk sipariş iken sistemin tamamlanması son siparişin sistemi terk etmesiyle gerçekleşir.

2.5.2. İlk giren son çıkar (SGİS)

Çizelgelemede son gelen işin tüm makinelerde ilk sırada işlenmesi kuralına denir. Bu şekilde bir çizelgeleme işlerin geliş sıraları dikkate alınır ve sisteme son dahil olan sipariştten başlanılarak sisteme ilk dahil olan siparişe kadar belirlenen sırada (SGİS) çizelgelenir.

2.5.3. En kısa işlem süresi (EKİS)

Minimum işlem süresine sahip olan işlem sistem içinde seçilir ve bu öncelik kuralı ile sisteme ait toplam akış süre süresinin minimuma indirilmesi amaçlanır. Bu kuralda, işlemler sürelerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır ve en kısa süreye sahip olan sipariş ilgili makineye atanır. En kısa işlem süresine ait izlenecek adımları şu şekilde özetleyebiliriz.

Adım-1: Her siparişe ait ilk işlemlerin işlem sürelerine bakılarak, tüm işler arasında en kısa işlem süresine sahip işlem ilgili makineye atanır. Eğer planda en kısa işlem süresine sahip birden fazla iş varsa; sıralama rassal olarak ya da çizelgelemeyi yapan kişinin belirleyeceği bir kuralla da seçim yapılabilir.

Adım-2: Bir sonraki çizelgeleme de sıraya alınan işlem sipariştten çıkarılır. i. sipariş için takip eden işlemler ve diğer siparişlerin ilk işlemleri sıralamaya alınır. Eğer ardışık işlemler aynı iş istasyonunda ise iş istasyonları arasında Hazırlık Süresi oluşmaz. Tüm siparişler tamamlanıncaya kadar Adım 1 ve Adım 2 tekrarlayacaktır.

Adım-3: Her bir iş istasyonunun kullanım oranlarının elde edilebilmesi için siparişlerin tamamlanma zamanı (akış zamanı) ile o zaman aralığı boyunca işlemde

geçen süreler tespit edilir. İşlemden Geçen Süreler / Akış Zamanı ile her bir iş istasyonu için kullanım oranları elde edilmiş olur.

2.5.4. En uzun işlem süresi (EUIS)

Çoğu zaman paralel makinelerde iş dengeleme yapabilmek için kullanılır. En uzun işlem süresine sahip olan işlerin en önce işlenmesi için uygulanan öncelik kuralına denir. Bu algoritma yapısında işlemler sürelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır, ardından en uzun işlem süresine sahip olan ilgili makineye işlenmek üzere gönderilir. İzlenecek adımlar;

Adım-1: Tüm işlerin ilk işlem sırasındaki operasyonların işlem sürelerine bakılır ve en uzun olan süre seçildikten sonra ilgili makineye seçilen işlem gönderilir. Eğer sistemde birden fazla aynı süreye sahip işlem varsa çizelgeleme yapanın belirlediği algoritmaya göre ya da rastgele seçim yapılarak devam edilir.

Adım-2: Çizelgelemesi tamamlanan işler listeden çıkarılır, takip eden diğer işlerin işlem süreleri büyükten küçüğe yeniden sıralanır ve içinden en uzun işlem süresine sahip olan makineye atanır. tüm işlemlerin işleri makinelere atanana kadar Adım-1 ve Adım-2 tekrar edilmeye devam edilir.

2.5.5. En erken teslim zamanı (EETZ)

En erken teslim zamanı kuralında; işler teslim süresi en erken olandan en geç olana doğru sıralanır ve en kısa temin süresine sahip olandan itibaren makinelere atanır. Bu kuralı uygulayabilen firmalar müşterilerine zamanında ürünlerini teslim edebilmektedirler.

Adım-1: Teslim zamanı en kısa olandan en uzun olana doğru işler sıralanır ve makinelere atamaları gerçekleştirilir. Eğer aynı teslim zamanına sahip farklı iki iş var ise aralarında rassal olarak ya da çizelgelemeyi yapan kişi tarafından belirlenebilir.

Adım-2: En erken teslim süresine göre seçilmiş olan işler; iş akış sıralarına göre atanan makinelerde operasyonları gerçekleştirilir. Tüm plan tamamlanıncaya kadar Adım-1 ve Adım-2 tekrar edilmeye devam edilir.

2.5.6. En az kalan işlem sayısı (EAKİS)

Kalan işlem sayısı en az olan işler sistem içerisinden seçilir. Her bir iş için kalan işlem sayısı en az olan işler ilk sırada işlenecek şekilde sıralanır. Bu şekilde işlem sayısı daha az olan parçalar önce işlem görür, aynı zamanda toplam iş tesliminin daha fazla olması beklenir. Sıralama kuralının çalışma mantığı;

Adım-1: Üretimi gerçekleştirilecek her bir iş için mevcut işlem sayıları tespit edilir.

Adım-2: İşlem sayısı en az olan iş için akışa göre birinci operasyondan itibaren üretime başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelemeye başlanır. Ardından tüm kalan işler için yeniden kalan işlem sayıları tespit edilir.

Adım-3: Henüz işleme alınmamışlar arasında kalan işlem sayısı en az olanın sıradaki ilk işlemini çizelgelenir. Eğer kalan işlem sayısı aynı olan işler varsa rastsal olarak ya da çizelgeleme yapan kişinin belirlediği sıralama doğrultusunda işleme devam edilir. Döngü tamamlanıncaya kadar Adım-2'den devam edilir.

2.5.7. En çok kalan işlem sayısı (EÇKİS)

En çok kalan işlem sayısı kuralı incelendiğinde; sistemde bulunan işlerin geriye kalan işlem sayıları en fazla olandan en az olana doğru sıralama gerçekleştirilir. Özetle; işlem sayısı en fazla olan ilk işleme alınacak şekilde sıralama yapılır. Bu şekilde kapasite kullanım oranının yüksek olması beklenmektedir. Sıralama algoritmasının adımları;

Adım-1: Her bir işe ait mevcut işlem sayıları hesaplanır.

Adım-2: İşlem sayısı en fazla olan iş; üretim akışına göre ilk işleminden itibaren başlama zamanları dikkate alınarak sıralama yapılır. Ardından çizelgelenmemiş işler için yeniden kalan işlem sayıları tespit edilir.

Adım-3: Çizelgelenmemiş işler arasından kalan işlem sayısı en fazla olan tespit edilir ve sıradaki ilk işlemi çizelgelenir. Eğer aynı sayıda kalan işleme sahip iş olursa aralarında rastsal olarak seçim yapılır. Ve tüm işlemler tamamlanana kadar Adım-2 tekrar edilir.

2.5.8. En kısa kalan işlem süresi (EKKİS)

En kısa kalan işlem süresi kuralında; tüm zaman dilimlerinde her bir işin kalan işlemlerinin toplam işlem süresi en kısa olan önce çizelgelenir. EKKİS ile yapılan çizelgelenmelerde son işin sistemi terk etme zamanı ve tüm sistemin tamamlanma zamanının en küçük olması hedeflenmektedir. Bu algoritmaya ait adımlar;

Adım-1: İlk olarak tüm işlerin tamamlanma zamanı hesaplanır.

Adım-2: Toplam işlem süresi en kısa olan işin birinci işleminden itibaren başlama zamanları dikkate alınarak çizelgelenmeye başlanır. Ardından tüm işler için kalan işlerin toplam süresi hesaplanır.

Adım-3: Kalan tüm işlem süresi en kısa olan iş, sıradaki ilk işleminden itibaren çizelgelenir. Eğer aynı işlem süresine sahip işler varsa aralarından rastsal bir seçim yapılır. Tüm işler çizelgelene kadar Adım-2'ye devam edilir.

2.5.9. En uzun kalan işlem süresi (EUKİS)

En uzun kalan işlem süresi kuralıyla birlikte; sistemde bulunan işlerin geriye kalan işlem sürelerinin uzunluğu çizelgelenmede alacakları sırayı belirlemektedir. Özetle; geriye kalan işlerinin toplam süresi en uzun olan çizelgelenmede en ön sırayı

almaktadır. Böylece işlem süresi uzun olan işler ilk önce yapılacağından kapasite kullanımının yüksek olması beklenir. Bu algoritmaya ait adımlar;

Adım-1: Her iş için toplam işlem süreleri hesaplanır.

Adım-2: Toplam işlem süresi en uzun olan işe ait akışa göre işlemlerinin başlama zamanları dikkate alınarak çizelgeleme yapılır. Ardından; tüm işler için kalan işlem süreleri yeniden hesaplanır.

Adım-3: Kalan tüm işlem süresi en uzun olan iş, sıradaki ilk işleminden itibaren çizelgelemeye devam edilir. Eğer kalan işlerin toplam süresi aynı olan işler var ise aralarında rassal seçim yapılarak çizelgelemeye dahil edilir. Ve tüm işlemler tamamlanana kadar Adım-2 tekrarlanır.

2.5.10. Rassal seçim (RS)

Çizelgelemesi yapılacak tüm siparişlerin sayısı k olduğunu kabul edelim. $[1,k]$ aralığında rassal olarak üretilecek bir sayı ile hangi işle çizelgelemeye başlanacağı belirlenmiş olur. Tespit edilen işe ait ilk işlem ile çizelgelemeye başlanır. Her bir adımda rassal olarak iş seçimi yapıldıktan sonra işlemlere ait çizelgeleme işi son işin son işlemine kadar tekrarlanmaya devam eder.

Özetle; çizelgeleme işlemleri sırasında öncelik kuralları büyük önem taşımaktadır. Hangi işin hangi makinede hangi sırada yapılacağı bilgisinin istenen kazançlar doğrultusunda belirlenmesi firmaların rekabet ortamında maliyetlerini en aza indirmesinde yardımcı olurken müşteri memnuniyetlerinin de artmasını sağlamaktadır.

2.6. Çizelgeleme Teknikleri

2.6.1. Simülasyon ile çizelgeleme

Atölye tipi üretime sahip sistemlerde işin akış şekline ya da ürüne göre yerleştirilmiş makine parkurları bulunmaktadır. Atölye tipi üretim sistemleri; ürün çeşitliliği fazla ancak üretim miktarları düşüktür. Üretilecek her parça üzerine yapılacak operasyon çeşitlerine göre belirlenmiş bir rotaya sahiptir. Ancak üretim esnasında mevcut makinelerin dolu ya da boş olma durumlarına göre alternatif rotalardan geçme olayları yaşanmaktadır.

Üretim planlama ve çizelgeleme problemleri deterministik ve kısıt bazlı modellerle çözmek çok zordur. Bu aşamada simülasyon yöntemi atölye tipi üretim sistemlerinde çizelgelemede çözüm faktörü olarak kullanılabilir. Stokastik veriler olarak bahsettiğimiz işlem süreleri, hammadde kalitesindeki belirsizlikler, kullanılan kaynak miktarları, öncelikli olarak üretilmesi gereken malzemeler gibi şartlı işlemlerin olduğu durumlarda sisteme tanımlanması simülasyon aracılığı ile sağlanabilmektedir. Hazırlanan simülasyon modeli üretim veri tabanına bağlanmasıyla birlikte güncel verilerle hesaplama yapılabilir.

Çizelgeleme modelleri farklı senaryolarla ayrıntılı modellerde denenebildiğinden ve stokastik verilerin bilgisayar ortamına aktararak çözüm yöntemleri geliştirilmesinde fayda sağladığından simülasyon ile çizelgeleme tercih edilmektedir.

Süreçlerin planlama aşamasında, çizelge verilerinin analizinde, çizelgenin geliştirilmesinde ve devamındaki üretim planları için olabilecek durumlar hakkında bilgi verdiğinden tercih edilir. Simülasyon ortamında mevcut durum oluşturulduktan sonra çizelge performansına göre alternatif sistemler ve çizelgeler geliştirilebilir. Simülasyon aracılığı ile mevcut durum ve gelecek durumlar simüle edilebildiğinden olabilecek aksaklıklar ve eksiklikler önceden tespit edilmektedir.

2.6.2. Yapay zeka yöntemleri ile çizelgeleme

Çizelgeleme ve sıralama problemlerinde karmaşıklık, boyut ve kısıtlar arttıkça çözüm şekilleri de zorlaşmaktadır. Bunlara bağlı olarak çözüm süresi de üstel olarak artmaktadır. Problemlerin sahip oldukları boyutlar ve etkili çözüm şemalarının

olmaması yapay zeka tekniklerine olan ihtiyaçları arttırmıştır. Yapay zeka yöntemleri en iyi çözümü bulmayı garantileyemezler ancak, en iyiye yakın bir çözümün elde edilmesini sağlarlar. Literatürde yapay zeka yöntemlerine meta-sezgisel yöntemler de denilmektedir. Yapay zeka yöntemleri; tavlama benzetimi, tabu arama algoritması, genetik algoritmalar, karınca kolonisi eniyileme algoritması, yapay bağışıklık sistemi algoritması, yapay sinir ağları ve parçacık sürüsü eniyileme algoritmalarından oluşmaktadır.

Tavlama benzetimi; rassal olarak belirlenmiş başlangıç çözümüyle başlar. Ardından adım adım mevcut çözümün komşu çözümleri uygun komşuluk yapılarından yararlanılarak çoğaltılır. Üretilen komşu çözümler başlangıç çözümün amaç fonksiyon değeriyle karşılaştırılarak en iyi çözümü bulana kadar devam edilir.

Tabu arama algoritması; bu çözüm yöntemiyle; aramanın yerel bir en iyi çözümünde kısır döngüde kalmaması için daha önce denenmiş çözümlerden herhangi bir kısıttan dolayı bir daha gidilmesi istenmiyorsa; tabu adı verilen listede tutulur. Ve algoritma belirlenen süre içerisinde bu çözüm şekillerini denemesini engeller.

Genetik algoritmalar; ortam koşullarına uyumlu olarak yaşamayı başaran nesiller bir sonraki nesilleri karakteristik özelliklerini aktarabilirler. Ortama uyum sağlayamayanlar ise ölerken nesiller geçtikçe sahip oldukları özellikler gen havuzundan silinir. Bu teknik matematiksel modellerin kurulamadığı, çözüm uzayının çok geniş olduğu, problemi etkileyen faktörlerin çok fazla olduğu problem çeşitlerinde kullanılmaktadır.

Yapay sinir ağları; sahip oldukları öğrenme, kayıt yapabilme ve veriler arasındaki ilişkinin tespit edilmesi özelliğine sahiptir. Algoritmada öğrenme; tüm verilerin işlenebilmesi özetle eğitime algoritmasının oluşturduğu ilgili noktalar ile sağlanır. Çözüm elde edilene kadar eğitime algoritması çalışmaya devam eder.

2.6.3. Kesin çözüm yöntemleri ile çizelgeleme

Kesin olarak en iyi çözümü bulabilen tekniklerdir. Ancak problemlerin karmaşık ve kısıtların fazla olması durumunda pratikte uygulanması zor tekniklerdir. Bu sebeple yalnızca küçük boyutlu problemlerde kullanılabilir.

Jackson Algoritması: Algoritma Johnson algoritmasıyla optimum çözümü elde edebilmek için geliştirilmiştir. Johnson algoritmasıyla iki makineli atölye tipi çizelgeleme problemine çözüm üretilmiştir. Makineleri ziyaret durumuna göre işleri küme oluşturarak listeler. İki makineyi ziyaret eden işleri Johnson algoritmasına göre sıralar. Yalnızca bir makineyi ziyaret eden işleri rastgele sıralar. Ve bu tüm sıralamaları farklı kombinasyonlarla minimum değeri bulana kadar denemeye devam eder.

Dal ve Sınır Algoritması: Doğrusal programlama problemlerine yeni kısıtlar ekleyerek problemler çözülmeye çalışılmıştır. Bu yöntemle en iyi çözüm yolu belirlendikten sonra çözüm kümesi daraltılarak amaç fonksiyonunu eniyileyecek değerin bulunmasını sağlar. Dal olarak adlandırılan bölgeler bir ağaç yapısı altında yerleştirilir. Çözüm sonucu en iyi olan dal seçilir ve o daldan iterasyonlar yenilenerek devam edilir. Her dal için alt ve üst sınırlar belirlenir ve bunu sağlayan çözüm dalından optimum elde edilene kadar devam edilir.

Matematiksel Programlama: Problemler doğrusal programlama yöntemleriyle modellenerek çözüm elde edilebilir. Ancak firma üretim yapılarındaki karmaşık süreçler için bu yöntemi uygulamak oldukça zordur. Doğrusal programlamada temel amaç maksimum ya da minimum değeri bulmaktır. Dinamik programlama ve tam sayılı programlama örnek olarak gösterilebilir. Dinamik programlama kesin çözüme ulaşmadan önce küçük alt problemleri önce çözer ve sondan başa doğru çalışarak çözüm üretir. Tam sayılı programlama ise; değişkenlerin hepsinin veya bir kısmının asla negatif olmadığı bir çözüm tekniğidir. Kısıtları sağlayan tamsayı değeri bulunana kadar çözüm iterasyonlarına devam edilir.

BÖLÜM 3. SİMÜLASYON VE KULLANIMI

3.1. Simülasyonun Tanımı

Simülasyon kelimesi; 14. yüzyıldan beri Latince’de kullanılmakta olan “simülere” kelimesinden türetilmiştir. Simülasyon terimi “benzer, taklit” anlamına gelmektedir. 20. yüzyılda globalleşen dünya ile birlikte bu terim teknik bir anlam kazanmıştır. Simülasyon teriminin diğer bir karşılığı olan benzetim; mevcut sistemde yapılacak değişikliklerin etkilerini daha önceden görebilmek veya yeni oluşturulacak bir yapının verimliliğini herhangi bir yatırım ya da maliyet harcamadan önce tahmin edebilmek için kullanılan analiz ve tasarım aracıdır. En kısa tanımıyla simülasyon; gerçek bir sistemin davranışını taklit etme yetisidir (Çörekçi, 2014).

Benzetim; tasarlanmış veya mevcut bir sistemin, bilgisayar ortamında çeşitli simülasyon programları aracılığı ile modellenmesinin ardından, bu yapı ile mevcut sistemde hedeflere yönelik verileri anlamlandırabilmek veya analizi yapılmak istenen farklı stratejiler için deneylerin incelenmesi, modellenen bu sistemlerin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığı ile araştırılmasını sağlayan bir tekniktir (Aydemir, 2009:5).

Karmaşık çözülmesi zor problemlerin çözümünde güçlü bir araç olarak simülasyonun kullanıldığı görülmektedir. Başlıca sebeplerinden biri; karmaşık sistemlerin daha sistematik ve analitik bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır. Ayrıca; sistemlere yeni parametreler, stratejiler ve farklı çalışma koşullarının eklenmesini kolaylaştırarak, yeni oluşacak sistemin performansını, verimliliğini herhangi bir yatırım yapmadan önce tüm detaylarıyla incelenmesine olanak sağlar. Model üzerinde farklı senaryoların uygulanmasını sağlayarak birbiri içinde karşılaştırılma imkanları oluşturur (Soykan ve Erol, 2015).

Diğer bir ifade ile simülasyon; sistem içerisinde birbirinden bağımsız olarak görünen, ancak bir bütün olarak çalışan tüm bileşenlerin arasında var olan bağlantıyı, sistemin hangi parametrelere daha çok duyarlı olduğunu, sistem girdi verilerinde yapılabilecek değişikliklerle nasıl sonuçlar elde edilebileceği herhangi bir yatırım maliyeti oluşturmadan önceden tahmin ve analiz edebilme imkanı sunmaktadır. Malzeme kaynakları, iş gücü ve teknoloji bakımından birbirine benzer firmaların rakipleri arasından büyük fark ile öne geçmelerini sağlayan bir analiz aracıdır. Bununla birlikte simülasyon; fiili olarak sistem üzerinde denemeler yapılmasına gerek kalmadan, yapılması muhtemel alternatif çalışmaların sonuçlarını bilgisayar ortamında görmeyi sağlayabilen ve bilişim teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte kişiler tarafından kullanımı kolay yazılımlar geliştirebilen bir tekniktir.

Simülasyon, bir olayın gerçekleştirilemediği durumlarda ya da gerçekleştirildiğinde tehlikeli sonuçlara neden olabilecek durumlarda kullanılır. Tespit edilen problemlerin çözümünde ve sistemlerin analiz edilmesinde fazlasıyla kolaylık sağlayan simülasyonun çeşitli zorlukları da bulunmaktadır. Bahsedilen zorlukların başında simülasyon modellerinin geliştirilmesinin zor ve maddi yükümlülüklerinin fazla olması gelmektedir. Aynı zamanda simülasyon ne kadar detaylı yapılmış olsa da gerçek sistem tam anlamıyla modellenememekte ve sistem hakkında ancak tahminde bulunmayı sağlamaktadır. Modellerin bilgisayar ortamında yapılıyor olması çalışmaların uzun sürmesine ve maliyetlerinin yüksek olmasına yol açmaktadır. Simülasyon aracının ülkemizde çok uzun bir geçmişi olmamasına rağmen, özellikle savunma sanayinde ciddi çalışmalar yapılmakta ve dünya çapında bu işle uğraşan diğer kuruluşlarla rekabet edecek ürünler ortaya çıkmaktadır.

3.2. Simülasyonun Başlangıcı

Simülasyon uygulamalar tarihte 5000 yıl öncesinde görülmeye başlanmıştır. Tarihte ilk Çin savaş oyunları olan “WEICH” adıyla görülmektedir (Mıdık ve Kartal, 2010). Savaş oyunları olan bu simülasyon yapıları ordu ve donanma stratejilerinin gelişimini sağlamak amacıyla da kullanılmıştır. Bu durum 1780’lerin sonunda Prussian’ların ordularında mevcut bulunan trenlerde kullanana kadar devam

etmektedir. Bununla birlikte; genellikle askeri birlikler tarafından simüle edilen uygulamalarda deneylerin gerçekleştirilebilmesi için savaş oyunları tercih edilmiştir.

Simülasyon tarihindeki ikinci büyük adım 1929 yılında Edward Link tarafından geliştirilen uçak simülatörü ile atılmıştır (Patrik, 2002). İkinci Dünya Savaşı sırasında bir matematikçi olan John Van Neumann atom bombası geliştirme çalışmaları sırasında rassal sayı üzerine yaptığı uygulamalarda geliştirerek devam etmiştir. 1949 yılında Edward Link'in yaptığı simülatör ücretli eğlence sürüşleri için kullanılırken, ardından ordu ve ticari havacılık alanında eğitim ve analizlerde kullanılmaya başlanmıştır. Monte Carlo simülasyon tekniği; askeriyeden ve operasyonel oyunlardan geliştirilmiştir. Simülasyon, manuel veya gerçek modellerle test edilmesi karmaşık ve yüksek maliyetli olan problemleri çözmek amacıyla Van Neumann ve Los Alamos Scientific Laboratuvarlarında nötronlar üzerinde çalışılırken kullanıldı. Nötronların sahip oldukları rassal yapıları ihtimallerle uğraşılmasında rulet kuralı uygulanması önerildi. Oyun özelliği ile Van Neumann Kanunların Değişimi uygulaması, Monte Carlo simülasyonu olarak isimlendirilir. 1950 yılında çalışma ortamlarında bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile simülasyon bir yönetim aracı olarak geliştirildi (Mıdık ve Kartal, 2010).

1950'lerin sonu ve 1960'larda gelişen bilgisayar dilleri, parametreleri fazla olan problemlerin verimli bir şekilde değerlendirilmesi için üretildi. Çoğunlukla büyük firmalar tarafından büyük sermayeler gerektiren çalışmaları analiz etmek amacıyla kullanılmıştır (Patrik, 2002).

1990'lı yıllarda simülasyon kullanım artışındaki hız, simülasyon tekniğini kullanmayı bilen endüstri mühendisleri artışıyla doğru orantılıdır. Modellerde kullanılan animasyon tekniği, kullanım kolaylığı, gelişmiş bilgisayarlar, simülasyon dillerinin interaktif kullanımı ve girdi çıktı analizi yeteneklerine sahip olması, en iyileme çalışmaları için sunulan hazır modüller yardımıyla daha kolay uygulanması, özel yapıdaki sistemler için simülatörlerin geliştirilmesi simülasyon kullanımını üretim ve hizmet sektöründe arttıran önemli etkenlerdir.

Son 10 yılda yapılan geliştirme çalışmaları ile birlikte optimizasyon, veri analizi, ergonomik çalışma analizleri, animasyon, robotik simülatörler, yerleşim çalışmaları analizleri gibi analitik araçların simülasyon yazılımlarına entegre edildiğini görmekteyiz. Gelişen teknoloji ile birlikte simülasyon uygulamalarının her sektörde yaygın olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

3.3. Simülasyonun Uygulama Adımları

Simülasyon modeli oluşturulurken; ilk olarak problem tanımının yapılması gerekmektedir. Problem tanımı yapılırken, etkinliği yüksek bir çalışma yapabilmek için, sistem parçalarının belirlenmesi ve incelenmesi gerekir. Mevcut sistemde tespit edilen problemlere yönelik çözümler üretilebilmesi için sistemin bileşenlerinin eksiksiz tespit edilmelidir. Yapılacak çalışmanın amacının ne olduğu net bir şekilde ifade edilmelidir. Böylece; modelleme sürecinde faaliyetlerin organizasyonu sırasında herhangi bir faaliyetin göz ardı edilmesinin ya da gereksiz yere modele dahil edilmesinin önüne geçilebilir. Ardından simülasyonun modellemesine yönelik daha detaylı ve kontrollü bir çalışma yapılabilmesi için çalışma planının hazırlanması gerekmektedir. Ardından sisteme ait verilerin toplanması gerekmektedir (Çörekçi, 2014).

Simülasyonu oluşturulacak model için ihtiyaç duyulan veriler mevcut sistem üzerinde yapılacak analizler sonucunda elde edilir. Bu aşamada sisteme ait çok sayıda veri toplanması gerekmektedir. Verilerin toplanmasıyla modele ait giriş parametreleri ile daha sonraki geliştirme çalışmalarında kullanılacak parametrelerin temeli oluşturulur. Verilerin toplanması aşaması modelleme aşamalarında kullanılacak detaylı verilerin elde edilmesini kolaylaştırmaktadır. Sistemin içerisindeki yapılar ile ilgili ayrı ayrı gözlemler yapılarak veriler kayıt altına alınmalıdır. Deterministik yapıya sahip sistemler ile ilgili veri toplamak kolay iken sistem rassal yani stokastik verilere sahip ise anlamlı sayıda fazla veri toplanması gerekmektedir. Stokastik verilerin anlamlı hale getirilmesi ve simülasyon yapısında kullanılabilmesi için en makul yöntem verilerin olasılık dağılımlarına uygun hale

getirilmesidir. Simülasyonu yapılacak modele ait verilerin toplanmasının ardından modelleme aşamasına geçilir.

Modelleme süreci kavramsal modelin kurulmasıyla başlamaktadır. Sisteme ait detaylı bilgilerin eklenmesiyle ikinci adım oluşturulur. Kavramsal model, sistemin mantığını yansıtmaktadır ve sistemde gelişen durumlar arasındaki bağlantıları ifade eder. Sistemin yapısı hakkında varsayımların toplanması, modelin girdi parametrelerinin değerleri hakkında hipotez kurma işlemi gerçekleştirilir. Ardından genel amaçlı bir programlama dili ile veya simülasyon programları yardımıyla kodlamalar yapılarak sistem bilgisayar üzerinde kurulur. Mevcut sistemin yapısının soyut olarak düşünülmesi başarılı olduğu vakit kurulan modelden en yüksek değerde verimlilik elde edilir. Simüle edilen model; başta belirlenen amaçlar doğrultusunda çalışıyorsa yazılan kodların doğruluğu teyit edilmiş olur.

Model doğrulamasının yapılma amacı; kurulan simülasyon modelinin mevcut durumu doğru olarak yansıttığından emin olmaktır. Modelin güvenilirliğinin sağlanmasında iki aşama bulunmaktadır. Bunlar; doğrulama ve değerlendirmedir.

Modelin doğrulama aşaması; hazırlanan simülasyonun çalıştırılması ve gerçekleşen işlemlerin incelenmesiyle yapılabilir. Başlangıç olarak küçük boyutta yapılan modelin girdi parametrelerinde yapılacak küçük değişiklikler ile modelin çıktısının duyarlılığı test edilir. Deneme amaçlı kurulan simülasyon modellerinin çalıştırılmasıyla elde edilen veriler ile gerçek sistemden toplanan veriler istatistiksel metotlar yardımıyla karşılaştırılır. Yapılan incelemeler sonucu anlamlı bir farklılık tespit edilmez ise kurulan modelin gerçek sistemi yansıttığı söylenebilir. Eğer doğruluk sağlanamadıysa yapılacak gerekli düzenlemeler ile model yeniden kurulmalıdır. Doğrulama aşaması boyunca modelleme işini gerçekleştiren kişi; model verileri ve mantığı ile ilgili yapılan hataları tespit etmeye ve tespit edilen hataları düzeltmeye çalışmalıdır. Çok sayıda model doğrulama tekniği bulunmaktadır. Örnek verilecek olursa; model kodunun gözden geçirilmesi, kabul edilebilir çıktılarının kontrol edilmesi, modele bağlı olarak çalışan animasyonun izlenmesi, izleme (trace) ve hata ayıklama (debug) işlemlerinin kullanılması, ticari simülasyon programlarının kullanılması, programın yapısal kısmının baştan sona irdelenmesidir. Çalışmaya ait

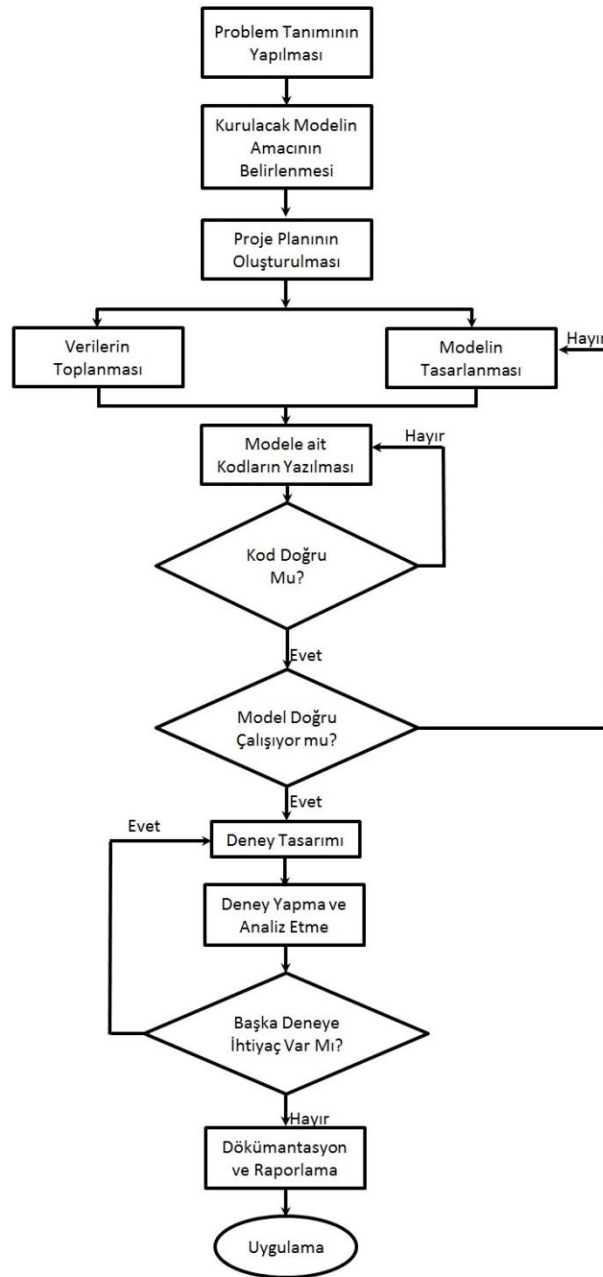
belirlenen amaçlar ile paralel çıkan simülasyon sonuçları modelin doğrulandığını gösteren en önemli kanıttır. Doğrulama araçlarının en uzun süreni modele ait her adımın izlenmesi olan trace işlemidir. Arena Rockwell simülasyon programı, modele ait trace sonuçlarını bir dosyaya kaydeder. Trace dosyaları sisteme ait tüm bilgileri içerdiğinden dolayı bu kayıtlar çok dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

Değerlendirme aşamasına gelindiğinde ise; kurulan simülasyon modelinin gerçek durumu yansıtip yansıtmadığı incelenir. Sisteme ait parametrelerden karşılaştırma yapılabilir olanlar tespit edilerek değişiklikler yapılır ve sistem üzerindeki etkileri incelenir. Gerçek durumla aynı sonuçları verip vermediği incelenir. Değerlendirme yollarından bir diğeri ise; oluşturulan senaryolar içinden bir kaçını seçilerek değerlendirme aşamasında kullanılacağına karar verilir ve bu seçilen modeller üzerinde parametre değerleri değiştirilerek karşılaştırma yapılır. Ayrıca modellerin çalışma süreleri ve deneyin tekrarlanma sayısı belirlenerek çalıştırılır. Senaryoların çalıştırılması ile elde edilen sonuçların istatistiksel analizi yapılır. Simülasyon modelinin kurulması, değerlendirilmesi ve sonuçlarının elde edilmesinden sonra tüm bilgiler analistler ile paylaşılır.

Kurulan simülasyon modeli için oluşturulan farklı senaryo sonuçlarının hepsinin ayrı ayrı kaydı yapılmalıdır. Standart raporlara ek, yapılacak detaylı bir kayıt model kurucunun hangi çözümün daha verimli sonuç elde etmesine ilave olarak, farklı çözümler oluşturulmasını sağlayacak yeni bakış açılarının ortaya çıkmasına zemin hazırlayacaktır. Bazı durumlarda, tespit edilen iyileştirmenin belirli güven aralığında gerçekleştiğini ifade edebilmek için Replications diye ifade edilen tekrarlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Simülasyon modelini kuran kişi, modellenen alternatif senaryoların, kullanılan kabuller ve elde edilen sonuçların bir kaydını oluşturur. Simülasyon programları çoğunlukla model sonuçlarını tablolar halinde oluşturmaktadır. Animasyon ve çıktı grafikleri simülasyon sonuçlarının sayısal olarak ifade edilebilmesi açısından oldukça önemli araçlardır. Simülasyonu yapılan modelin görsel etkisi de dikkate alınmalıdır. Simülasyon modelinin oluşturulması ile uygulama aşaması başlatılmış

olur. Geniş çaplı çalışmalarda, iyileştirmelerin sağlanması, takip edilen adımların uygunluğuna bağlıdır. Oluşturulan model; sistemin başka parçalarını içine alacak şekilde geliştirilmesiyle birlikte başka modellere de entegre edilerek sürekli iyileştirme çalışmalarının bir parçası haline getirilebilir. Bu aşamada sürekli iyileştirme çalışmalarındaki gelişme adımlarının detaylı takip edilebilmesi için tüm deneme sonuçlarının saklanması gerekmektedir. Simülasyon modelini oluşturma akış şeması Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Simülasyon modeli oluşturma akış şeması

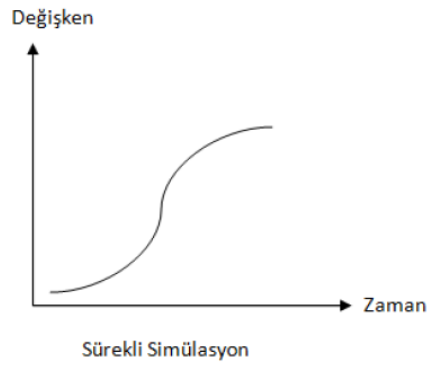
3.4. Simülasyon Çeşitleri

Benzetim; karmaşık sistemlerin analizi ve bilgisayar ortamında tasarlanabilmesi için kullanılan en güçlü analiz araçlarından birisidir. Diğer bir ifadeyle benzetim; gerçek hayattaki süreçlerin ve operasyonlarının zamana göre taklit etme sanatıdır. Benzetim modelleri, durum parametrelerinin zaman içinde yaşayacağı değişikliklere ilişkin formüllerin yazılım ortamında oluşturulduğu analog modellerdir.

Günümüzde simülasyonlar, gerçek sistem davranışlarının zamanın bir fonksiyonu olduğu düşüncesine sahip Monte Carlo yöntemine dayandırılmaktadır. Monte Carlo simülasyonu, çoğu araştırmacı tarafından süre akışının önemsenmediği deterministik veya olasılıksal problemlerde çözüm elde edilmesinde rassal sayılar kullanılarak oluşturulan bir model olarak tanımlanmaktadır. Statik karakterli bir yapıya sahip olan Monte Carlo simülasyon modeli, en çok bilinen ve çoğunlukla kullanılan bir simülasyon modeli olmakla birlikte, parametrelerin olasılık dağılımlarıyla modellenebileceği hipotezine dayanmaktadır. Sistem değişkenleri değişiminin zamana göre incelenebilmesi için iki tip simülasyon modeli vardır. Bunlar; kesikli ve sürekli modellerdir. Kesikli ve sürekli simülasyon modelleri uygulamada önemli araçlar olmakla birlikte kesikli simülasyon modeli, yöneylem araştırması konularında daha çok yer edindiğinden yaygın olarak kullanılmaktadır (Taha, 2000).

3.4.1. Sürekli simülasyon modelleri

Sürekli simülasyon modelleri; durum değişkenlerinin zamana göre sürekli olarak değiştiği yapıdır. Sürekli simülasyon modelleri çoğu zaman, sistemin farklı bileşenleri arasındaki etkileşimin farklı diferansiyel denklemlerle ifade edildiği modellerdir. Sürekli sisteme barajdaki su yüksekliği örnek olarak gösterilebilir. Barajın yağmur gibi etkenlerle su dolması sebebiyle su baskınım kontrolünün gerçekleştirilmesi ve elektrik üretebilmesi için suların barajdan çekilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda buharlaşma durumu da su yüksekliğini azaltacaktır. Bu etkiler altında sürekli bir değişim olduğundan örnek olarak ifade edilebilir. Sürekli simülasyon modellerine ait süre geçiş grafiği Şekil 3.2.'de verilmiştir.

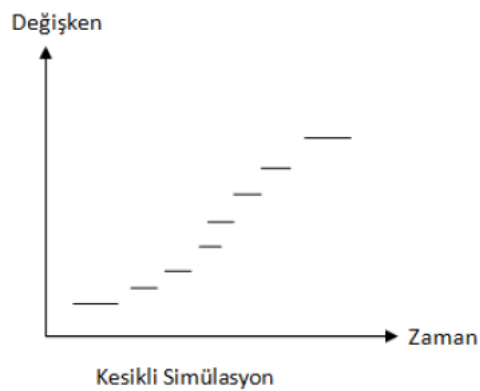


Şekil 3.2. Sürekli simülasyon süre grafiği

3.4.2. Kesikli simülasyon modelleri

Kesikli simülasyon modellerinde; dikkate alınan parametre verileri zamanın belirli anlarında değişmektedir. Bu çeşit modeller, sistemlerin davranışlarındaki değişimleri sadece belirtilmiş olan zaman noktasında izleyen modellerdir.

Kesikli sistemlerde sistem durumu olaylar gerçekleştiğinde değişmektedir. Örnek olarak; bir makine önünde ortalama kuyruk bekleme süresi ve kuyruk uzunluğunun tahmini gösterilebilir. Sistemin o an ki durumu sadece bir parça sisteme girdiğinde ya da bir parça sistemi terk ettiğinde değişir. Sistemde değişiklik olduğu anda modeldeki olaylar tanımlanmış olmaktadır (örneğin; parçaların sisteme dahil olması veya terk etmesi). Bu tip olaylar kesikli noktalarda meydana geldikleri için kesikli olay simülasyonu olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Kesikli simülasyon süre grafiği

Kesikli benzetimin temel kavramları; belirlenen durum değişkenleri, olaylar ve olayların zaman içerisindeki sırasal yapısıdır. Kesikli yapıdaki simülasyon modellerinde değişkenlerin değeri sürekli değil belirli zaman aralıklarında değişmektedir. Kesikli olay benzetiminin temel unsurları aşağıdaki gibidir.

Varlık (Entity): Modeli kurulan sisteme ait hareket eden/işlem gören birim yapılardır. Örneğin; hizmet almak için bekleyen birey.

Sistem Durumu: Herhangi bir zaman biriminin başlangıcında veya sonunda sistem veya sistem bileşenlerinin durumudur. Örneğin; bir makinede işlem gören ve işlem görmek için bekleyen parça sayısı.

İşlem: Model bileşenlerinin mevcut durumunu değiştiren operasyon veya operasyonlar bütünüdür.

Olay: Değişkenlerin değerlerini zaman içerisinde değiştiren her türlü etki, olay olarak adlandırılmaktadır. Tüm kesikli simülasyon modellerinde entity'lere ait giriş ve çıkışlar olmak üzere iki temel olay gerçekleşmektedir. Modelde gerçekleşen varlıkların giriş – çıkış hareketleri, sistemin istatistiğinde meydana gelebilecek değişim durumlarını tanımlamaktadır.

3.5. Simülasyon Modelleme Yaklaşımları

Benzetim modelinin durumuna göre statik ve dinamik olmak üzere incelenen olayın özelliğine göre iki yaklaşım çeşidi söz konusudur. Statik simülasyon modellerinde zaman boyutu bir önem arz etmemektedir. Dinamik simülasyon modellerinde ise olayların zaman içerisindeki değişimleri gözlenmektedir. Bu amaçla dinamik simülasyon modellerinde zamana bağlı rastgele değişkenler kullanılmaktadır.

Kesikli olay simülasyonu; sistemin zamana bağlı olarak modellenmesini ifade etmesinin yanı sıra dinamik ve stokastik bir modelleme yaklaşımı olma özelliğine sahiptir. Bu yüzden simülasyon zamanının modele tanımlanması ve her aşamada

bilinmesi gerekmektedir. Model çalıştırıldığı anda oluşturulacak bir yapı ile simülasyon zamanı arttırılmalıdır. Simülasyon zamanı kesikli benzetim modelleri için üç farklı yaklaşım kullanılarak ilerletilebilir. Bunlar; sabit zaman artırımlı simülasyon, proses artırımlı simülasyon ve olay artırımlı simülasyondur (Türker, 2011).

3.5.1. Proses artırımlı simülasyon

Her bir varlığın sistem içerisindeki işlemi bittikten sonra simülasyonu terk etmesiyle birlikte modele diğer bir varlık dahil olmaktadır. Bu varlığın dahil olmasıyla birlikte simülasyon saati yeni süreç başlama saatine getirilerek artar.

3.5.2. Sabit zaman artırımlı simülasyon

Model saati, sabit artım miktarları ile ilerletilir ve bu zamanlarda olay olup olmadığı kontrol edilir. Eğer herhangi bir olay gerçekleşmiş ise sistem ile ilgili güncellemeler yapılır ve bir sonraki zamana geçilir. Yeni zaman anında herhangi bir olay olmaması halinde bir sonraki zamana geçilir.

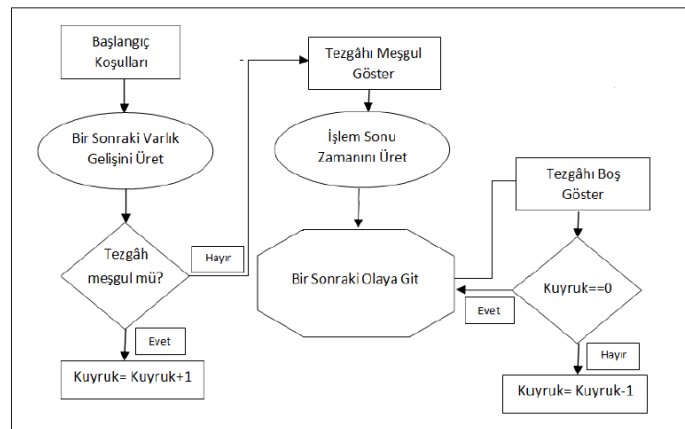
3.5.3. Olay artırımlı simülasyon

Sistem, olaylarının belirlenmesi ve her olayın gerçekleşmesinde sistemin durum değişikliklerini tanımlayan “olay kodlarının” yazılması ile modellenir. Bu metodun temeli; model saatini bir sonraki olayın zamanına arttırmaktır. Yaygın olarak bu model yapısı kullanılmaktadır.

Yaygın olarak çoğu simülasyon çalışmalarında olayların zaman sıralı olduğu sistemler ile ilgili olduğundan oluşturulan model, benzetim zamanı süresince ilerleyen bir yapıya sahip olmalıdır. Özetle; olaylar belirlenen zamanlarda oluşacak ve gerçekleşen olay zamanları arasında belirli zaman aralıkları olacak şekilde tasarlanmalıdır (Taha, 2000).

Olay artırımını mekanizması simülasyon modellerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Olay artırımını simülasyonun bir olaydan bir sonraki olaya ilerlemesini gerektirir. Böyle durumlarda genellikle zaman artırımları eşit değildir. Simülasyon “0” anında başlar ve tüm sistem bileşenlerinin çalışmalarından kaynaklanan olayların meydana geliş zamanları belirlenir. Simülasyon saati en yakın olan olay zamanına eşit olacak şekilde güncellenir. Hesaplanan zamana ilerleyen benzetim saati, sistemin yeni durumu ile karşılaştırılır ve yeni olayların gerçekleştiği sistem için takip eden olay zamanları belirlenir. Ardından benzetim takip eden bir sonraki olay zamanına ilerler ve benzetim boyunca süreç bu şekilde kendini tekrar eder (Taha, 2000).

Tek tezgahlı ve sonsuz kuyruk kapasiteli bir kuyruk sisteminin akış şeması Şekil 3.4.’te verilmiştir. Bir parça işlenmek üzere tezgaha geldiğinde, parça, operatöre atanmadan önce bir sonraki geliş zamanı üretilir ve bu parça gelişini kronolojik sıra göz önüne alınarak olay listesine eklenir. Ardından; eğer tezgah boş ise parça işlenmek üzere tezgaha gönderilir. Parça tezgaha ulaştığı anda tezgah dolu gösterilir ve işlem sonu zamanını olay listesine eklenir. Eğer tezgah parça geldiğinde dolu ise kuyruk uzunluğu bir arttırılır ve gelen parça işlenmek üzere tezgah önünde beklemek zorundadır. Tezgahtaki işlem bittiğinde tezgah meşgul durumundan çıkarılır, kuyruk kontrol edilir ve eğer kuyrukta işlenmek üzere bekleyen parça var ise, kuyruk bir azaltılır ve parça işlenmeye başlanır. Kuyrukta bekleyen parça yok ise simülasyon zamanı kronolojik listedeki bir sonraki olaya ilerletilir (Turner ve ark., 2006). Şekil 3.4.’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Olay artırımlı simülasyon modeli

3.6. Simülasyonun Kullanıldığı Alanlar

Simülasyon tekniği ilk defa nükleer patlamaların etkilerini tespit etmek amacıyla İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesi kapsamında yararlanılmıştır. Günümüzde ise birçok farklı alanda bu teknik kullanılmaktadır. Mevcut sistemlerin ya da süreçlerin gerçeğe oldukça benzer taklitlerinin yapılabilmesi, insan gücü ve zaman kullanımında tasarruf edilmesine, ekonomi yönünde kazançlar elde edilmesine ve oluşabilecek aksaklıkların önceden tespit edilerek önlem alınmasına yönelik çalışmalar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Gerçek yaşamda görülen olayların bir bilgisayar yazılımı ile modellenmesi, olası birçok durumun tecrübe edilmesi ve bu durumların gerçek yaşamda olması halinde, elde edilen kazanımlarla doğru karar verilmesini sağlar.

Aşağıda simülasyonun kullanıldığı alanlar ile ilgili örnekler verilmektedir.

Günümüzde bir çok ordu gerçek bir savaşta neler yaşanabileceğini askeri simülasyonlar vasıtasıyla; stratejik olarak alması gereken kararları ve alınan kararlar doğrultusunda yaşanabilecek sonuçları deneme ve analizlerini görme imkanına sahiptir. Böylece; farklı durumlar test edilebilmekte ve gerçek bir askeri operasyonda yaşanabilecek olaylar az maliyetle ve daha az riskle öğrenilmektedir. Askeri eğitimlerde simülasyonlardan da yararlanılmaktadır. Pilotların uçuş eğitimlerinde, yeni sürücü adaylarının sürüş eğitimlerinde ve kaptanlık eğitimlerinde gemi simülatörlerinden yararlanılmaktadır. Askeri taşıtların kullanımı öğrenen sürücüler simülasyon içinde test edilmekte ve öğrenim sırasında herhangi bir kaza riski oluşmamaktadır.

Politika ve ekonomide risk ve piyasa analizlerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöneticiler tarafından alınan politik bir kararın ülke ve dünya çapında sosyal, politik ve ekonomik etkileri test edilmek için kullanılır.

Biyoloji biliminde insan beyninin simülasyonu oluşturulmuştur. Böylece insan beyninin moleküler düzeyde detaylı bir şekilde analiz edilebilmesi gerçekleşmiştir.

Tıp biliminde vücuda yerleşen bir tümörün gelişim evrelerinin simülasyonu yapılarak etkili tedavi tekniklerinin bulunmasına yardımcı olmaktadır. Yeni teknoloji ameliyat yöntemlerinin simülasyon ortamında denenerek tıp dünyasında yeni ufuklar açılmasına yol açmaktadır.

Robotların dizayn edilmesinde, yeni bilgisayar yapılarının denenmesinde simülasyon yoluna başvurulmaktadır. Ayrıca hava durumu tahminleri, madde döngü analizleri ve çevre kirlilik analizleri gibi incelemeler için simülasyonlardan yararlanılmaktadır. Aynı zamanda bilgisayar oyunlarından en popüler olan strateji oyunları yapımında simülasyon tekniği kullanılmaktadır.

Üretim sistemlerinde kapasite ve yerleşim analizleri yapılmasında ve yapılması muhtemel değişikliklerin değerlendirilmesi, büyük çaplı dağıtım (lojistik) ve envanter kontrol sistemlerinin tasarımının geliştirilmesi için kullanılabilir. Ayrıca firma politikalarında olabilecek değişiklikler ve operasyonel olarak denenecek farklı tekniklerin değerlendirilmesi amacıyla simülasyon aracı kullanımı tercih edilmektedir.

3.7. Simülasyonun Avantaj ve Dezavantajları

Küreselleşen dünya düzeninde teknolojinin en iyi şekilde kullanılması, firmalara rekabet ortamında daha büyük karlar elde etmesine zemin hazırlamaktadır. Gereksiz veya yanlış yapılabilecek yatırımların önceden analiz edilmesi, yapılacak yatırımlar sonucunda alınması gereken önlemlerin tespit edilmesi daha büyük faydalar elde edilmesini sağlamaktadır. Deneme yanılma yöntemlerinin geride kalmasını sağlayan en büyük etkin araçlardan biri simülasyondur. Üretim ve hizmet sektöründe yapının karmaşık ve sisteme etki eden değişkenlerin fazla olması, mevcut durumda belirsizliklerin olması gibi nedenler sistemin analitik yaklaşımlarla modellenmesinde zorluklara neden olmaktadır. Bununla birlikte mevcut sistem üzerinde deneyler yapmak fazla maliyete neden olabileceğinden simülasyon tercih edilmektedir. Simülasyon kullanmanın avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır (Aydemir, 2009:5).

Avantajları;

- Simülasyon yöntemleri esnek bir yapıya sahip olduklarından istenildiği zaman değişiklikler yapılabilir.
- Sistemlerin sahip oldukları bir çok problem dinamik ve stokastik bir yapıya sahip olmasından dolayı matematiksel formülasyonu oluşturulamamaktadır. Çözüm elde edebilmek için simülasyon aracından yararlanılmaktadır.
- Sistemler üzerine değişiklikler yapılarak bilgilerin elde edilmesi maliyetli olduğundan simülasyon yöntemi kullanılır. Böylece maliyet kayıplarının önüne geçilerek zaman tasarrufu da sağlanmış olur.
- Simülasyon zaman parametresi üzerinde tam bir kontrol sağlamaktadır. Sistem zamanının değiştirilmesi ve zaman parametrelerindeki değişiklikler kolaylıkla kontrol edilebilir.
- Girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişkileri daha detaylı olarak tanımlanabilmesi nedeniyle, sistem yürütücüleri ve kullanıcıları için analitik modellere göre daha anlaşılırdır.
- Simülasyon sistemi, mevcut sistemin özelliklerini belirlenen amaçlar doğrultusunda istenilen ayrıntıda modellenebilmektedir. Analitik yaklaşımlarla çözüm oluşturulduğunda, birçok kabul yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırır.
- Model üzerinde yapılan deneyler vasıtasıyla sistemin verimliliğini etkileyen değişkenler tespit edilir. Tespit edilen değişkenlerin nasıl kontrol altına alınabileceğine yönelik farklı stratejiler uygulanır.
- Sistem işleyişini etkileyen önemli değişkenlerin belirlenmesi, sistem içindeki darboğazların tespit edilmesi model üzerinde yapılacak deneyler ile tespit edilebilir.
- Mevcut sistem üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan önerilen yeni stratejiler ve işletme politikaları test edilebilir. İncelenen senaryolarda performans ölçülerinin nasıl değişeceği analizler sonucunda görülebilir.
- Mevcut sistem üzerine yapılacak yeni yatırımların sonuçlarının neler olabileceği kurulan model aracılığı ile incelenerek elde edilebilecek kazanç ve kayıplar önceden tespit edilebilir. Firma tarafından doğru yatırım kararlarının alınmasını sağlar (Çörekçi, 2014).

- Analistler kontrolünde farklı deneyler yapılmasına imkan sağlar.
- Simülasyondaki girdi verileri değiştirilerek veya sabit tutularak diğer değişkenlerin kendi aralarındaki veya birlikte etkileşimlerini hesaplanmasını sağlar.
- Analitik çözümlerin doğruluğunun tespit edilmesinde kullanılır.
- Uygulamalı eğitim imkanı sağladığından etkili bir araçtır.
- Simülasyon değişik koşullar altında yapının nasıl tepki vereceği bilinmediğinde kullanılarak anlamlı çıktılar elde edilmesini sağlar.
- Simülasyon modeli oluşturulduktan sonra sayısız denemeler yaparak istatistiksel analiz aracı olarak kullanılabilir.
- Modellenen sistemin her yönüyle incelenmesi ile yapının daha iyi anlaşılması, problem ve eksiklerin tespit edilerek daha verimli bir sistemin geliştirilmesini sağlar (Çörekçi, 2014).

Dezavantajları;

- Kolay çözülebilecek küçük yapıdaki problemler simülasyon tekniği ile çözülmeye çalışıldığında zaman kayıplarına neden olabilmektedir.
- Simülasyon modelleri %100 gerçeği yansıtamamaktadırlar. Bazı durumlarda kabuller yapılması gerekebilir.
- Simülasyon yapabilmek kabiliyet ve tecrübe istemektedir.
- Simülasyonda kullanılan bazı parametre değerlerinin belirlenmesi zor, bazen imkansız olabilmektedir (Aydemir, 2009:5).
- Modeller kişiler tarafından kurulduğundan kişilerin sistemleri anlamasına yönelik olarak doğru ya da yanlış olabilmektedir.
- Her sistemin kendine has özellikleri bulunduğundan bir problem için üretilen çözüm tekniği başka bir problemin çözümünde kullanılmayabilir. Her problemin çözümü kendine özgüdür.
- Problem tanımından sonra doğru veri toplayıcılığı yapılmaz ise model yanlış sonuçlar verebilir (Çörekçi, 2014).

BÖLÜM 4. UYGULAMA

4.1. Firmanın Tanıtımı

Çilek A.Ş. 1999 yılında Bursa'nın İnegöl ilçesinde %100 aile şirketi olarak kurulmuştur. Çilek mobilya 0-25 yaş arası bebek, çocuk ve genç odaları ile aksesuar tasarım, üretim ve dünya çapında satışını gerçekleştirmektedir.

Yüksek çocuk güvenliği standartlarına göre tasarlanıp üretilen Çilek ürünleri, Avrupa Birliği standartlarına uygun kanserojen olmayan malzemeler kullanılarak 11.000 m²'lik üretim alanında ileri teknoloji ile üretilmektedir. Yalın üretim uygulamaları ile birlikte yalın yönetim felsefesini benimsemiş olan firma sürekli başarının ön koşulunun insana saygı ve sürekli eğitimden geçtiğini ifade eden ilkeleri özümsemiştir.

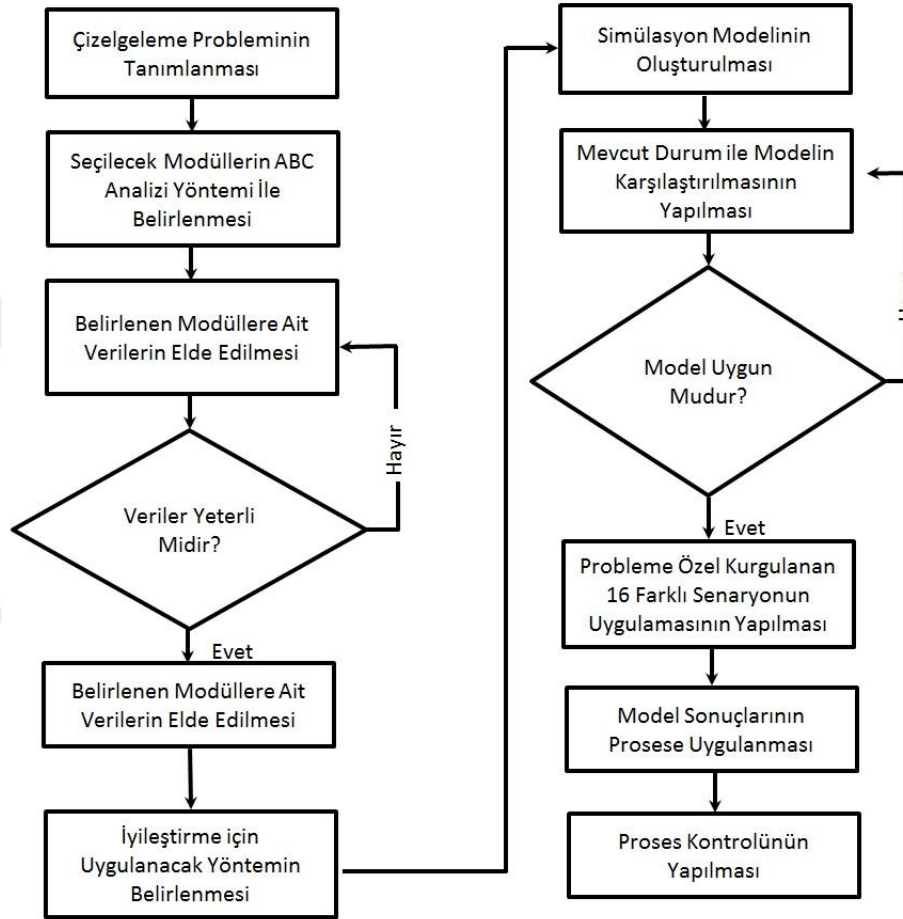
Çilek A.Ş. 5 kıta üzerinde bulunan 71 ülkede 500'ü aşkın satış noktasıyla dünya piyasalarına hizmet vermektedir.

4.2. Uygulama Aşamaları

Çilek firmasında; üretim hattında makine çizelgeleme problemi çözülmek üzere seçilmiş ve çözümünde simülasyon tabanlı modelleme yapılarak akıllı karar verici yapılarla desteklenip makine önündeki parça sıralamalarına çözümler üretilmiştir.

Uygulama aşamasında Şekil 4.1.'de olduğu gibi ilk olarak çizelgeleme probleminin tanımlaması yapılmıştır. Mevcut durumda planlama ve çizelgeleme kısmı nasıl yapılıyor tespit edilmiş ve probleme ait tüm veriler analiz edilmiştir. Paketleme hattı üretim çıktısını belirlediğinden dolayı darboğaz oluşumlarının önüne geçilmesini

sağlayacak paketleme öncesi hatlardaki makine önünde bekleyen parçaların sıralama işleminin nasıl yapılacağına dair senaryolar geliştirilmiştir. Tüm bu senaryolar Çilek Üretim sistemi için oluşturulan simülasyon modelinde denenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Uygulama akış şeması Şekil 4.1.'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Uygulama akış şeması

Sistemde iyileştirme yapabilmek için öncelikle sistem analizi çalışmaları yapılmıştır. Bu bağlamda üretim içi parça akışı, makine ve ekipmanlar ile proseslerde kullanılan iş gücü kaynaklarına ait veriler tespit edilmiştir. Yapılan çalışmadaki temel amaç; farklı rotalardan geçerek paketleme hattı önüne gelen ve aynı pakete girecek olan parçaların paketleme önündeki birbirini bekleme süresini en aza indirecek makine önündeki parça işleme sırasını belirlemektir. Probleme çözüm üretebilmek için uygun bir yöntem araştırılarak optimizasyon sonuçlarını hızlı bir şekilde

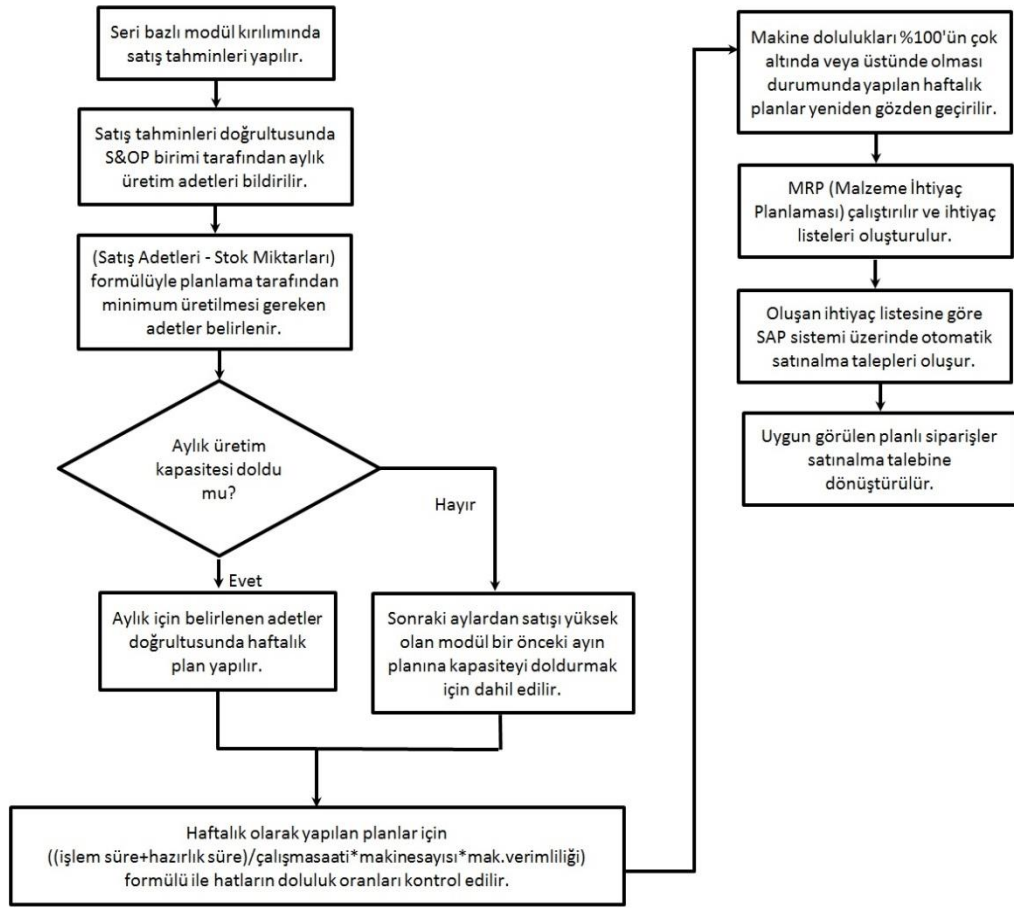
değerlendirebilmek ve daha geniş bir çözüm uzayı sağladığından Simülasyon-Benzetim tekniği kullanılmıştır.

Üretim sistemi simülasyon ortamında oluşturularak çizelgeleme için Çilek üretim sistemi için özel oluşturulmuş 16 farklı senaryo denenmiş ve en optimal çözümler üreten 2 senaryo içlerinden seçilmiştir. Son aşamada ise bu iki senaryonun mevcut durumla karşılaştırılmaları yapılarak üstün ve eksik yönleri tartışılmıştır.

4.3. Mevcut Durum Analizi ve Problemin Tanımlanması

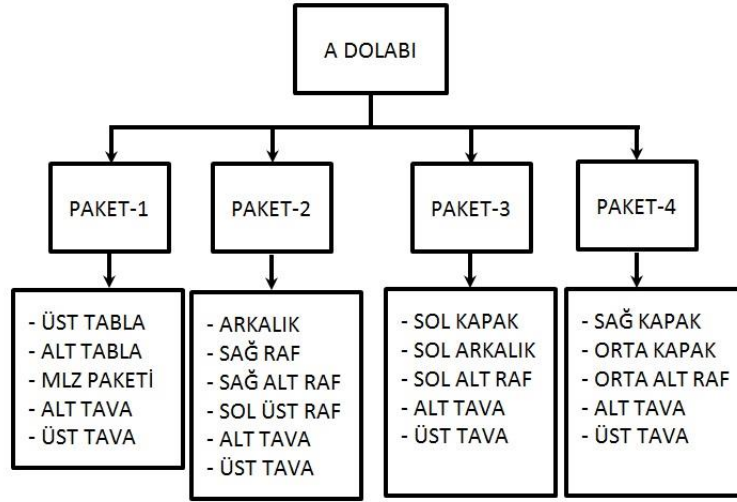
Satışta olan seriler için modül bazında talep tahminleri S&OP (Satış ve Operasyon Planlama) birimi tarafından yapılan araştırmalar ve analizler sonucu belirlenir. Planlama birimine bu talep tahminleri bildirilir ve planlama birimi tarafından her modül için belirlenebilecek üretim adedi olan “32-60-120”li adetlerden hangisi uygunsa seçilir ve günlük planlar oluşturulur. Bu planlar yapılırken hangi modülün hangi gün üretileceği makine doluluk raporuna göre tespit edilir.

Planlama süreci iş akış şeması detaylı olarak Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Planlama akış şeması

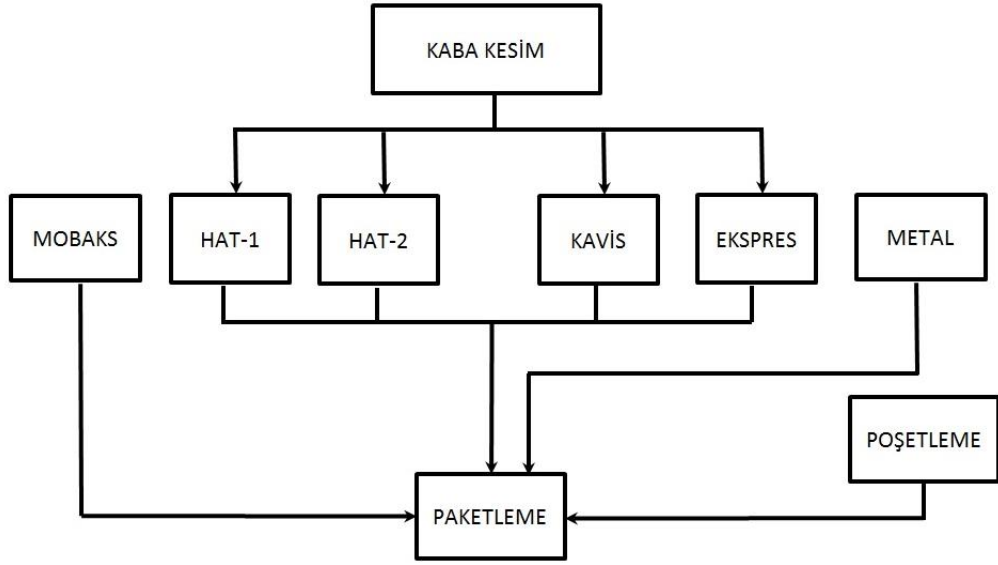
Üretilen her bir ürün modül ismini almaktadır. Komodin, çamaşırılık gibi ürünlerin işletme içindeki adı modül olarak geçmektedir. Bu modüller farklı sayıdaki paketlerden oluşmaktadır. Örneğin; bir korkuluk modülü tek paketten oluşabilirken, bir dolap beş farklı paketten oluşmaktadır. Herhangi bir modüle ait ürün ağacı Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Dolap modülüne ait ürün ağacı

Şekilde görmüş olduğumuz bir dolap modülüne ait paketler ve içlerinde bulunan parçalardır. İfade edilen her bir parça üzerine yapılacak delik işlemi, kanal işlemi, kalınlaştırma işlemi, baskı işlemi gibi operasyonlara bağlı olarak kendilerine özel oluşturulan üretim rotalarından geçerek nihai hale ulaşmaktadırlar. Her bir parçanın hazırlık ve işlem süreleri gitmiş olduğu hatta ve makineye göre farklılık göstermektedir. Aynı pakete giren parçalar paketleme öncesi stok raylarına ulaşana kadar birbirinin işleminin tamamlanmasını beklemektedir. Ve üretim çıktısını tamamlanan modül adedi belirlediğinden dolayı paketlerin de ya paralel zamanda ya da birbiri arkasından hemen sarılması gerekmektedir. Paketler tamamlanmadığı sürece modül oluşamayacağından üretim çıktıları da eksik kalacak ve verimlilik düşecektir.

Firmaya ait üretim akış şeması ise Şekil 4.4.'teki gibidir.



Şekil 4.4. Üretim iş akış şeması

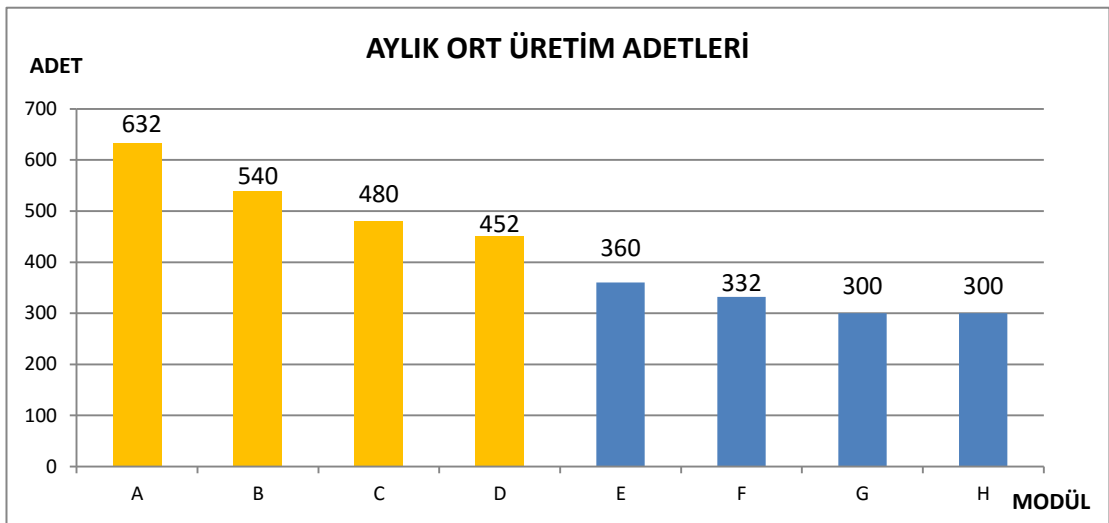
Kaba Kesim hattında sunta levhaları ebatlanarak modüllerin parçalarını meydana getirmeye başlar. Ardından parçalar önceden hazırlanmış kenar bant, kanal ve delik planlarına göre Hat-1 veya Hat-2 rotalarında işlenmeye devam ederler. Parçalar üzerinde tamamlanamamış delik, kalınlaştırma, lazer veya boya baskı işlemleri varsa Ekspres hattında işlenmek üzere rotalarını takip ederler. Eğer parçalar herhangi bir dairesel şekle sahip ise işlenmek üzere Kavis hattı rotasını takip ederler. Tüm işlemleri tamamlanmış sunta parçaları aynı pakete dahil olacak diğer parçaları beklemek üzere paketleme stok raylarında yerini alırlar. Modüllerde kullanılan çeşitli metal parçalar Metal bölümünde işlendikten sonra aynı pakete girecek diğer parçaları beklemek üzere paketleme stok raylarında istiflenir. Modüllerde kullanılan polistren malzemeler Mobaks hattında işlem gördükten, Ür-Ge tarafından pakete yerleştirilmesi uygun görülen montaj malzemeleri Poşetleme hattında ambalajlandıktan sonra diğer parçalar gibi aynı pakete girecek parçaları beklemek üzere paketleme stok raylarında stoklanır.

Planlama birimi bulunduğumuz günden itibaren ileriye dönük 45 günlük planları S&OP verileri doğrultusunda oluşturmaktadır. Üretim yönetim şekli olarak Yalın Üretim Felsefesi benimsendiğinden dolayı üretim içerisinde Kanban Sistemi yönetim aracı olarak kullanılmaktadır. Kanban sistemine göre makine önündeki parçalar FIFO kuralına göre işleme alınması gerekmektedir. Ancak atölye tipi üretim sistemine

sahip olduğundan tek parça akışı üretimi yapılamamaktadır. Modüle ait parçalar birbirinden bağımsız, sahip oldukları özelliklere göre farklı makinelerde farklı sürelerde işlem görmektedir. Aynı pakete ait sağ tabla FIFO kuralına göre paketleme stok rayına aynı modüle ait kapak parçasından 3 gün önce gelebilmektedir. Böyle bir durumda paketleme öncesi stok raylarında birbirini bekleyen istifler olduğundan stok alanı yetersiz kalmakta, parçalar stokta fazla bekleyerek zaman kayıplarına neden olmakta, üretim çıktısını paketleme hattındaki sarılan modül sayıları belirlediğinden üretim çıktıları düşmekte ve verimlilik azalmakta, paketleme bölümü üretim içindeki diğer hatlara göre 3 kat daha fazla operatör bulundurduğundan parçalar tamamlanamadığında operatörlerin boşa çıkma süreleri artmaktadır. Yapılan çalışma tamamen paketleme hattında yaşanan tüm verimsizlikleri ortadan kaldırmaya yönelik gerçekleştirilmiştir. Ayrıca planlama aşamasında mevcut durumda yapılamayan makine çizelgelemesi için yeni bir teknik geliştirilmiş ve planlarda herhangi bir değişiklik yapıldığında kar-zarar analizi için hesaplama yapılabilecek bir araç elde edilmiştir.

4.4. Verilerin Toplanması ve Analizi

Öncelikle modele dahil edilecek modüllerin belirlenmesi gerekir. Bu yüzden modüller arasında aylık ortalama üretim adetlerine göre ABC analizi yapılmıştır. Ve bu modüllerin aylık ortalama üretim adetleri Şekil 4.5.'teki gibidir.



Şekil 4.5. Aylık ortalama üretim adetleri

ABC analizinden yola çıkarak A – B – C ve D modülleri simülasyonda kullanılmak üzere seçilmiştir. Ve model tamamen bu modüllerin rotaları, işlem süreleri ve ürün ağaçlarına göre düzenlenmiştir. Modele ait ürün ağacı ve rotalarına ait görsel Şekil 4.6.'da verilmektedir.

Modül	Paket	Parça	İşyeri Adresi	Hazırlık Süre (sn)	İşlem Süresi (sn)	Makine Sayısı	Parça Sayısı
MODÜL -A	PAKET-1	PARÇA -1	H1010	90	5	1	1
			H1020	600	4,5	3	1
			EX040	600	4,5	1	1
			H2040	180	34	1	1
			H2040	180	15	1	1
		PARÇA -2	EX030	180	12	1	1
			H1010	180	6	1	1
			H1020	720	4,5	3	1
			H2040	180	34	1	1
			H2040	180	15	1	1

Şekil 4.6. Modüle ait parça işlem süreleri örneği

Modelde tanımlanan modüllere ait paketler ve o paketlerin içinde yer alan parçalara ait rotalar ve işlem süreleri tablodaki gibidir. Özetle modüllerin paket sayısı ve sahip oldukları parça sayısı aşağıdaki Tablo 4.1.'deki gibidir.

Tablo 4.1. Modüllerin paket ve parça sayıları

Modül Adı	Paket Sayısı	Parça Sayısı
Modül -A	5	54
Modül -B	4	40
Modül -C	4	34
Modül -D	6	43

Modüllerdeki bazı parçalar farklı olmasına rağmen aynı rotalarda hareket etmektedir. Bu bağlamda modele rotalar ortaklaştırılarak Tablo 4.2.'deki gibi yazılmıştır.

Tablo 4.2. Parçalara ait rotalar

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rota								
R1	H1010	H1020	EX040	H2040	H2040	EX030		
R2	H1010	H1020	H2040	H2040				
R3	H1010	H1020	EX040	H2040	H2040	EX030		
R4	H1010	H1020	EX070					
R5	H1010	H1020	EX020	EX030	EX041			
R6	P0020							
R7	P0030							
R8	EX062							
R9	H1010	H1020						
R10	H2010	H2010	H2020	KV010	EX041	EX063		
R11	MT010	MT051	MT070	MT080	MT090			
R12	EX061	EX062						
R13	H1010	EX020	EX030	EX020	EX030	EX040	EX041	EX063
R14	EX080	H2010	H2010	H2020				
R15	EX031	EX010						
R16	H1010	EX040	EX070					
R17	H1010							
R18	H1010	H1020	EX020	EX030	EX041			
R19	EX080	H2010	H2010	H2020	H2030			
R20	H1010	H1030						
R21	P0010							
R22	H1010	H1020	EX020	EX040	KV050			
R23	KV060	EX041						
R24	H1010	H1020	KV060					

Tablo 4.2. (Devamı)

R25	H1010	H1020	EX040	EX042	KV011		
R27	MB012	MB040	MB080				
R28	KV060	KV060	MB070	MB050			
R29	MT042	MT070	MT080	MT090			
R30	MB010						
R31	MB060						
R32	MB060	MB062					
R33	H1010	H1020	KV020				
R34	KK012						
R35	H2010	H2010	H2020	EX080	KV050		
R36	EX010						
R37	EX020	EX030	EX030	EX020	EX030	EX041	
R38	H1010	H1020	KV010	EX070			
R39	MA010						
R40	H1010	H1020	KV010	EX040			
R41	H2010	H2010	H2020	H2030			
R42	H1010	H1030	H1030				
R43	H1010	H1020	KV010				
R44	EX020	EX030	EX020	EX030	EX041		
R45	H1010	H1020	KV020	EX080			
R46	H1010	EX040	EX070				
R47	H1010	H1020	EX040				
R48	H2010	H2010	H2020	EX020	KV020		
R49	MT070	MT080	MT090				
R50	P0030	P0030					
R51	H1010	H1020	EX020	EX030	EX041	EX020	KV011

Firmanın üretim kuralına göre plana dahil edilen modüller ihtiyaca göre 32, 60 veya 120’li adetlerde üretilmelidir. Buna bağlı olarak modelde üretilen siparişler her biri %25 olarak üretimde yer alacağı kabul edilerek oluşturulan tüm siparişlerin üretim miktarları rastgele olarak 32,60 veya 120’li adetlerde oluşturulmuştur.

4.5. Model Kurulması Aşamasında Yapılan Kabuller

Modelin hazırlanması aşamasında optimal makine önü çizelgeleme oluşturulmaya çalışıldığından firmadaki planlayıcıların plan hazırlarken göz önünde buldukları varsayımlar model içerisinde de dikkate alınmıştır. Paketleme öncesi tüm üretim hattı modellenerek mevcut durumun birebir aynısı yapılmıştır. Ancak model kurulurken bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller;

- Bakım ve arıza kaynaklı duruşların olmadığı varsayılmıştır.
- Makinelere sağlanan hammaddelerin zamanında geldiği, hatlar arası malzeme taşıma süreleri ihmal edilmiştir.
- Tezgahlar önündeki stoklama (Buffer) alanlarının kapasitesi sonsuz olduğu varsayılmıştır.
- Operatörlerin tezgahlar arası geçiş süreleri ve ihtiyaç molası kaynaklı süre kayıpları ihmal edilmiştir.
- Fabrikada iş etüdü çalışmaları ile elde edilen süre bilgileri, rota bilgileri modele tanımlanmıştır.

4.6. Senaryolara Ait Açıklamalar

Benzetim yani simülasyon yönteminde öncelikle modelin bileşenleri tespit edilir ve bu bileşenleri mevcut durumda nasıl bir reaksiyon içerisinde oldukları analiz edilir. Oluşturulan bu modelin bir sistem gibi hareket etmesi beklenir. Model; mevcut durum bilgi ve yeteneklerine ne kadar yakın olursa o kadar iyi analiz, iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılabilir.

Bu çalışmada üretim sisteminin paketleme öncesine ait üretim hatları, bu hatlarda işlenecek olan seçilmiş dört modüle ait parçalar ve bu tezgahlarda çalışacak olan

işlerin modellenmesi yapıldı. Model oluşturulurken paketleme öncesi stok alanında aynı pakete girecek olan parçaların birbirini bekleme süresini minimum yapacak olan makine önü çizelgeleme senaryoları tasarlandı.

Mevcut durumda makine önü çizelgelemede FIFO kuralı uygulanmaktadır. Yapılan çalışma ile birlikte FIFO kuralına alternatif olarak; sisteme son giren ilk çıkar, işlem süresi en uzun olan parça sıralamada en öne geçer gibi farklı senaryolar Çilek üretim sistemine özel şekilde Arena Rockwell 14.7 simülasyon programında modellenmiştir. Senaryolara ait açıklamalar; pseudo code yardımıyla aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Firmada üretim sistemi olarak Yalın Üretim şekli benimsendiğinden makine önü iş sıralaması ilk giren ilk çıkar (FIFO) kuralına göre işlemektedir. Bu durumda üretime dahil edilen modüllere ait parçalar o günün tarihi sistemde kayıt altına alınarak üretim içinde dağılmaya başladığında plan açılma tarihi bazında makine önlerinde sıraya girerler ve işlemleri gerçekleştirilir. Hatlarda işlenmesi tamamlanan parçalar paketleme tezgahlarının önüne gelerek aynı pakete girecek diğer parçaları bekler ve hepsi tamamlandığında paketlenerek sistemi terk ederler. Mevcut duruma ait oluşturulan simülasyon modeline ait psuedo code yazılımı Şekil 4.7.'de verilmektedir.

```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgacıAdediOku
            (Parcalar[ ].miktar);
        }
    }
}
Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32,60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgacıAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {
        Fifo( Rotalar[ ] )
    }
}
Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}
Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.7. Mevcut durum

Mevcut duruma alternatif olarak 13 farklı senaryo model üzerinde denenmiştir. Bu senaryolar içerisinde literatürde yer alan makine önü çizelgeleme kurallarının yanında tamamen Çilek Mobilya üretim sistemine özel senaryolar geliştirilerek çalışmaya farkındalık kazandırılmıştır.

Geliştirilen Senaryo – 1’de tüm siparişlere ait tezgahlardaki toplam işlem süresi hesaplanıyor. Makine önünde bekleyen tüm parçaların toplam işlem süresi hesaplandıktan sonra en küçük işlem süresine sahip olan makine önünde ilk sıraya geçerek işlenmeyi beklemektedir. Bu senaryoya ait psuedo code Şekil 4.8.’de verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgacıAdediOku
            (Parcalar[ ].miktar);
        }
    }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32,60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgacıAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar)
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik)
{
    Function.SıraAta( )
    {
         $TS_{i,j,k} = HS_{i,j,k} + IS_{i,j,k} \times LB$ 
        MinSırala(TSi,j,k).Parcalar[ ]
    }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}

Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.8. Senaryo – 1 açıklama

Geliştirilen senaryo – 2’de ise tüm siparişlere bir sipariş numarası verilmektedir. Bir siparişe ait sipariş numarasının diğerlerinden küçük olması planlama birimi tarafından bu modülün daha önce planlandığı anlamına gelmektedir. Tüm parçalar sahip oldukları plan sıra numarasına göre tezgahlarda bir öncelik sahibi olurlar ve bu önceliğe göre işleme alınmaktadırlar. Senaryo – 2’ye ait psuedo code Şekil 4.9.’daki gibidir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgaciAdediOku
            (Parcalar[ ].miktar);
        }
    }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32,60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgaciAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {
        MinSırala.(Parcalar(i)[ ] )
    }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}

Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.9. Senaryo – 2 açıklama

Geliştirilen senaryo – 4’te ise; tüm tezgahlarda işlenecek parçalar tezgah önlerine geldiğinde parçalara ait makinelerdeki kalan işlem süreleri hesaplanmaktadır. Parçalara ait kalan tamamlanma süreleri kalan operasyon sayılarına bölünerek ortalama operasyon başına düşecek süre hesaplaması gerçekleştirilmektedir. Ardından parçalara ait mevcutta buldukları makinedeki toplam işlem süreleri hesaplanıyor. Elde edilen veriler ışığında bulunduğu tezgâhtaki işlem süresi kısa olan, ancak kalan operasyon başına düşen ortalama süresi büyük olan tezgahta işlenmek üzere en öne geçiyor ve makine önü sıralama işlemi gerçekleştirilmektedir. Senaryo – 4’e ait akış şeması Şekil 4.10.’da verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgacıAdediOku
            (Parcalar[ ].miktar);
        }
    }
}
Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32,60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgacıAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {

$$TAS_{(i)} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=i}^n \sum_{k=1}^m (HS_{(i,j,k)} + IS_{(i,j,k)} \times LB)$$


$$KS_{(i,j,k)} = TAS_{(i)} - TS_{(i,j,k)} \quad Gosterge1 = TS_{(i,j,k)} / (KS_{(i,j,k)} / KOS_{(i,j,k)})$$

        MinSiral(Gosterge1).Parcalar[ ] }
    }
Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}
Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.10. Senaryo – 4 açıklama

Geliştirilen bir diğer model ise senaryo – 6’dır. Senaryo – 6’da planlama birimi tarafından üretime dahil edilen parçalar işlenmek üzere rotalarında hareket etmeye başlamaktadırlar. Her bir parçaya ait kendi şekil ve desen özelliğine göre üretim içerisinde gitmesi gereken rotaları buna bağlı olarak operasyonları bulunmaktadır. Parçalar tezgah önüne işlenmek üzere geldiklerinde devamında gidecekleri farklı operasyonlara ait rotaları bulunmaktadır. Mevcut makine önüne geldiklerinde parçalara ait kalan operasyon sayıları hesaplanır. Hesaplanan bu değer doğrultusunda kalan operasyon sayısı en az olan parça makine önünde işlenmek üzere en öne geçer. Bu senaryoya ait akış Şekil 4.11.’de verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgaciAdediOku
            ( Parcalar[ ].miktar );
        }
    }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32, 60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgaciAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {
         $KOS_{(i,j,k)} = KTOS_{(i)} - GOS_{(i,j,k)}$ 
        MinSiral(KOS(i,j,k)).Parcalar[ ] }
    }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}

Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Simülasyon modeline ait geliştirilen diğer bir senaryo ise 7 nolu senaryodur. Bu senaryoda tüm parçaların sahip oldukları rotalar üzerinden yola çıkmıştır. Parçalar işlenmek üzere tezgah önüne geldiklerinde daha sonra gidecekleri operasyonların sayıları toplanır. Parçaya ait tamamlanmamış operasyon sayıları belirlendikten sonra en büyük kalan operasyon sayısına sahip olan parça makine önünde işleme sırasında en öne geçerek çizelgeleme işlemi tamamlanmış olur. Senaryo – 7’ye ait akış şeması Şekil 4.12.’de verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgaciAdediOku
            ( Parcalar[ ].miktar );
        }
    }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32,60,120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgaciAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {
         $KOS_{(i,j,k)} = KTOS_{(i)} - GOS_{(i,j,k)}$ 
        MaxSiralal( $KOS_{(i,j,k)}$ ).Parcalar[ ] }
    }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{
    ParcaSıra(YeniParcaSirasi)
}

Function.MakinedeIsle( )
Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.12. Senaryo - 7 açıklama

Model için geliştirilen bir farklı senaryo ise 8 nolu senaryodur. Tüm makinelerde işlenecek siparişlere ait parçalar tezgah önüne geldiğinde parçalara ait kalan tamamlanma süreleri hesaplanmaktadır. Toplam kalan operasyonlara ait tamamlanma süresi, kalan operasyon sayısına bölünerek kalan operasyonlara ait ortalama süre hesaplanmış olmaktadır. Hesaplanan ortalama operasyon tamamlanma süresi en küçük olan bulunduğu tezgahta en öne geçerek işleme alınmaktadır. Senaryo – 8’e ait akış şeması Şekil 4.13.’te verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
    Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
    for b:1 to Paketler[ ].count
    {
        ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
        for c:1 to Parcalar[ ].count
        {
            Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
            UrunAgaciAdediOku( Parcalar[ ].miktar );
        }
    }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random(32, 60, 120)
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgaciAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
    Function.SıraAta( )
    {

$$TAS_{(i)} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (HS_{(i,j,k)} + IS_{(i,j,k)} \times LB)$$


$$KOS_{(i,j,k)} = KTOS_{(i)} - GOS_{(i,j,k)}$$


$$Gostergel = TAS_{(i)} / KOS_{(i,j,k)}$$

        MinSiralal(Gostergel).Parcalar[ ] }
    }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{ ParcaSıra(YeniParcaSirasi) }

Function.MakinedeIsle( )

Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```

Şekil 4.13. Senaryo - 8 açıklama

Geliştirilen bir diğer senaryo ise 10 nolu senaryodur. Oluşturulan bu algorithmada parçalar üretim sistemine dahil edilmeden önce tüm tezgahlarda işlenmesiyle oluşacak toplam süresi hesaplanmaktadır. Yapılan hesaplama sonucunda üretim içerisinde toplam işleme süresi minimum olan parça, tezgahlarda ilk işlenecek parça olarak sıraya girmektedir. Aynı hesaplama vasıtasıyla tezgahlar önündeki parça sıralamaları belirlenmektedir. Senaryo – 10' a ait akış şeması Şekil 4.14.'te verilmektedir.



```

Moduller[ ] = Function.VtModulAl( )
for a:1 to Moduller[ ].count
{
  Paketler[ ] = VtPaketAl( Moduller[a] )
  for b:1 to Paketler[ ].count
  {
    ParcaAl[ ] = VtParcaAl( Paketler[b] );
    for c:1 to Parcalar[ ].count
    {
      Rotalar[ ] = VtRotaAl( Parcalar[c] );
      UrunAgacıAdediOku( Parcalar[ ].miktar );
    }
  }
}

Function.UretimPlanıOku( )
ModulSiparişMiktarı = Random( 32, 60, 120 )
ParcaSiparişMiktarı = ModulSiparişMiktarıx
UrunAgacıAdediOku( Parcalar[UretimPlanı].Miktar )
Function.ParcaSıra( MakineKuyrukOncelik )
{
  Function.SıraAta( )
  {

$$TOS_{(i)} = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m (HS_{(i,j,k)} + IS_{(i,j,k)} \times LB)$$

  MinSırala(  $TOS_{(i,j,k)}$  ).Parcalar[ ]
   $KS_{(i,j,k)} = TOS_{(i)} - TS_{(i,j,k)}$ 
   $TOS_{(i,j,k)} = KS_{(i,j,k)}$  }
}

Function.SiradakiParçayıIslemeAl( )
{ ParcaSıra( YeniParcaSirasi ) }

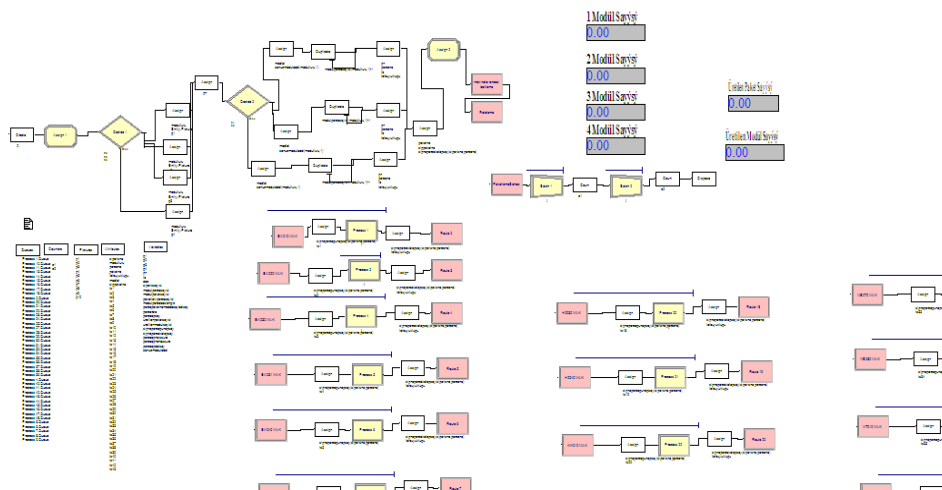
Function.MakinedeIsle( )

Function.ParcaBitenPaketlemeyeGonder( )

```


Modelde sadece Çilek firmasına özel olarak geliştirilmiş çizelgeleme senaryoları da bulunmaktadır. Çilek mobilya firmasının üretim şekline bağlı olarak paketleme önünde aynı pakete girmek için bekleyen parça sayıları, aynı modüle ait üretilmesi gereken paket çeşit sayıları gibi parametreler dikkate alınarak farklı çizelgeleme senaryoları geliştirilmiştir. Bu geliştirilen senaryoların her biri oluşturulan simülasyon modelinde uygulaması yapılarak veriler elde edilmiştir. Senaryolara ait sonuçlar uygulama bölümünde; Senaryo – 3, Senaryo – 5, Senaryo – 9, Senaryo – 11, Senaryo – 12 ve Senaryo – 13 olarak tanımlanmıştır.

Kurduğumuz model aracılığı ile varlıkların sistem içerisinde geçirdikleri zaman gibi verileri öğrenmekteyiz. Çözmek istediğimiz probleme yönelik olarak incelediğimiz diğer parametreler ise paketleme önünde bekleyen parça türü sayısı, paketleme önünde bekleyen paket türü sayısı, paketleme önünde bekleyen parça türü bekleme süresi (saat), paketleme önünde paket bekleme süresi (saat) şeklindedir. Bu veriler ışığında firma açısından en verimli senaryo tespit edilmiştir. Arena Rockwell 14.7 versiyonunda modellenmiş sisteme ait bir bölüm görsel Şekil 4.15.'deki gibidir.



Şekil 4.15. Simülasyon modeli görseli

BÖLÜM 5. SONUÇ

5.1. Model Sonuçları

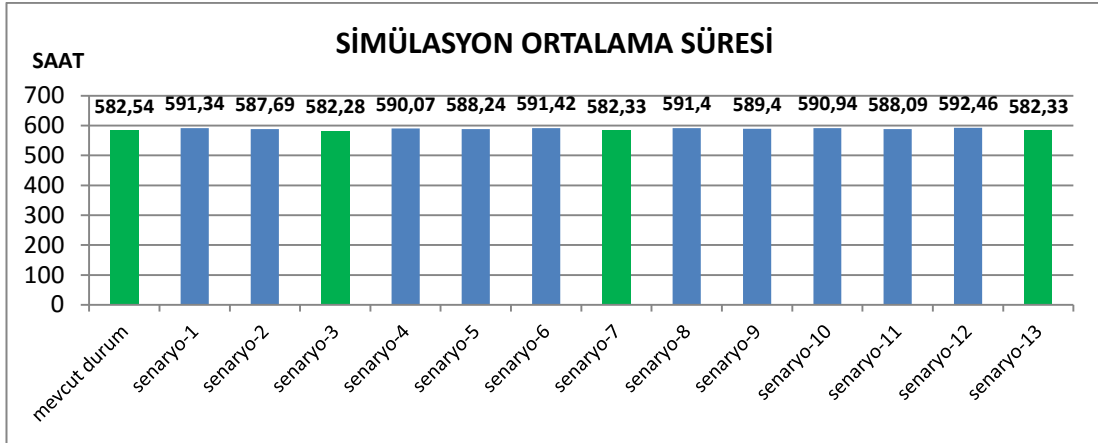
Mevcut durumda firmada kanban üretim sistemi kullanılmaktadır. Yani makine önüne ilk gelen parça ilk işlenir ve sistemi ilk olarak terk etmektedir. Ancak sistem içerisinde FIFO kuralının ihlal edildiği durumlar yaşanmaktadır. Sürekli manuel müdahaleler gerçekleştirildiğinden oluşabilen mali kayıplar hesaplanamamaktadır.

Mevcut durumun ve diğer sezgisellerin analizinde kullanılan üretim planı Tablo 5.1.'deki gibidir.

Tablo 5.1. Modelde kullanılan çizelgeleme verileri

MODÜL KODU	MODÜL İSMİ	MODÜL PAKET SAYISI	MODÜL PARÇA SAYISI	ÜRETİLEN SİPARİŞ SAYISI	ÜRETİLEN MODÜL ADET
A	3 KAPILI DOLAP	5	54	47	3248
B	ARABA YATAK	4	37	57	3968
C	2 KAPILI DOLAP	4	34	46	3732
D	BÜYÜYEN BEBEK KARYOLA	6	43	50	3456
Toplam Simülasyon Boyunca Üretilen Sipariş Sayısı				200	

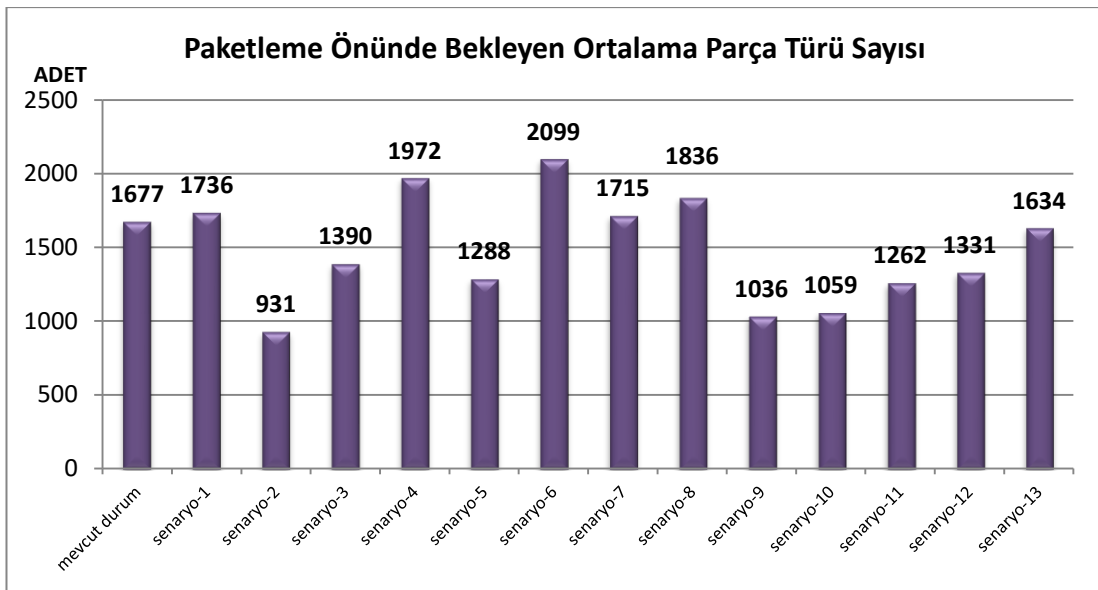
Firma için özel olarak üretilen 13 senaryo ve mevcut durum olan FIFO kuralı 500 replication sayısında model çalıştırılmıştır. Modele ait simülasyon ortalama tamamlanma süreleri Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Senaryoların tamamlanma süresi

Şekil incelendiğinde mevcut durumun 582,54 saatte üretim planını tamamladığı görülmektedir. Geliştirilen senaryolarda senaryo 3 – 7 – 13 nolu olanlar mevcut duruma çok yakın hatta biraz daha az olduğu tespit edilmiştir.

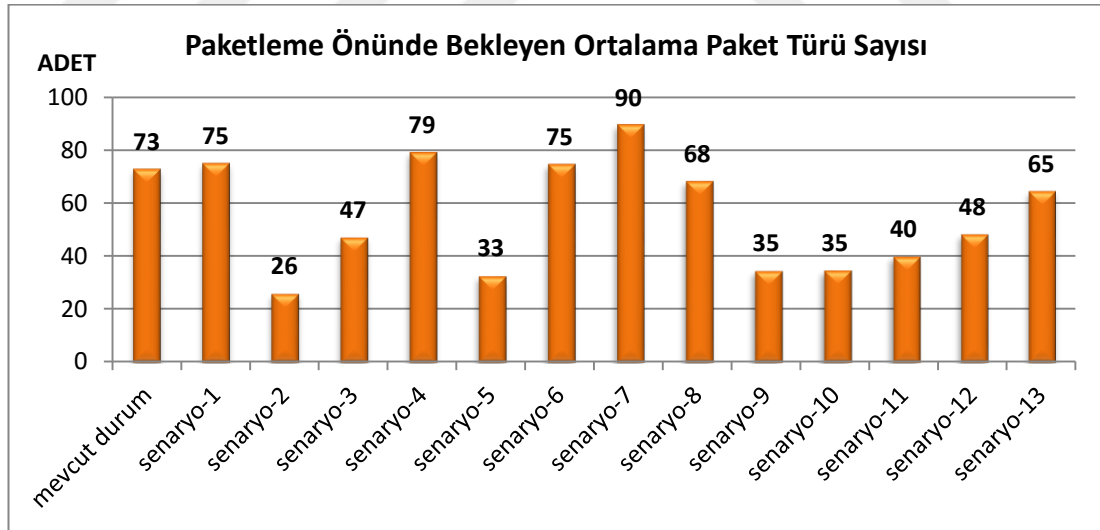
Problemin tanımını yaparken de bahsedildiği üzere; üretimde parça imalatı yapılmaktadır. Ancak üretim çıktısını belirleyen o parçaların oluşturduğu modül adetleridir. Bu amaçla modelde takip edilmesi gereken parametrelerden biri olarak paketleme önünde işlem görmeyi bekleyen ortalama parça türü sayısı belirlenmiştir. Mevcut durum ve tüm senaryolara ait değerler Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Paketleme önünde işlem görmeyi bekleyen ortalama parça türü sayısı

Şekil 5.2.'de görüldüğü üzere mevcut durumda paketleme önünde bekleyen ortalama parça türü sayısı 1677 adettir. Senaryolar içinde bu parametre için en iyi sonucu veren değer 931 adet ortalama parça türü adediyle 2 nolu senaryodur. Paketleme önünde bekleyen parça türü sayısının azalması üretim içi oluşan ara stoklarımızın azalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte; ara stoklama şeklimiz olan parça istiflemeye, aktarmalar yapılırken zorlanıldığından stok alanında yer kazanılması süreç içi parça taşımalarında zaman kazançları sağlamaktadır.

Modelde belirlenen diğer bir parametre ise paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısıdır. Mevcut durumda tüm üretimden gelen parçalar Ür-Ge bölümü tarafından belirlenmiş standartlar doğrultusunda tanımlandıkları paketlerin içine yerleştirilerek sistemi terk etmektedirler. Modül diye ifade edilen ürün birden fazla paketten oluşabilir. Örneğin bir karyolanın kurulabilmesi için öncelikle paketlerinin tamamlanması gerekmektedir. Pakete 1 ve 35 adet arasında farklı çeşitte parça yerleştirilebilmektedir. Geliştirilen senaryolar doğrultusunda Şekil 5.3.'te paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısı gösterilmektedir.

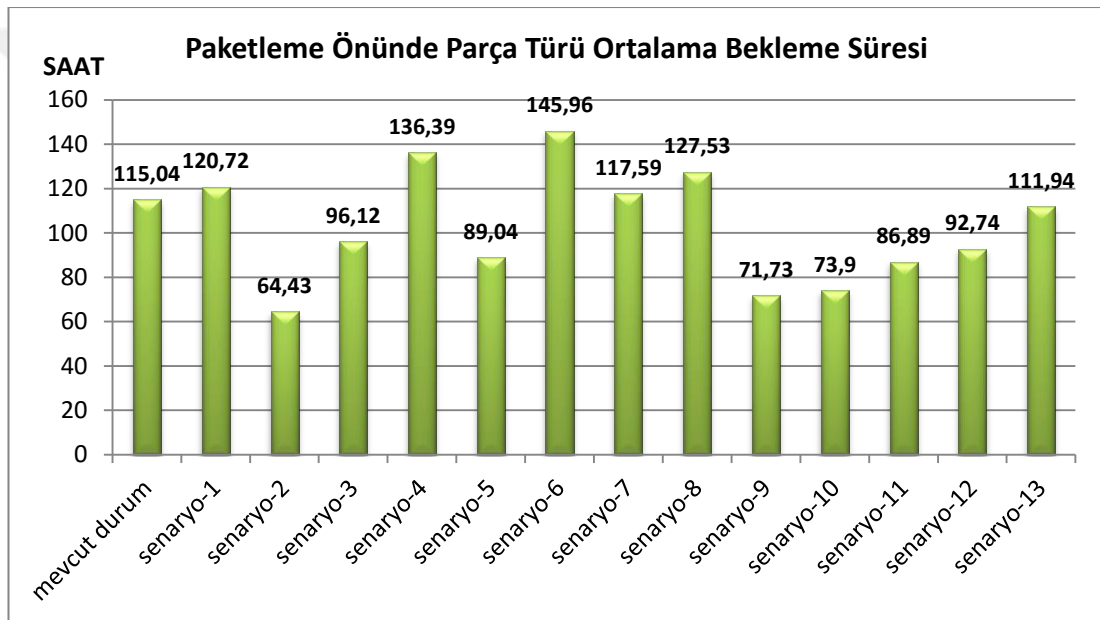


Şekil 5.3. Paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısı

Şekil 5.3.'te görüldüğü üzere mevcut durumda paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısı 73 adet iken senaryolar içerisinde karşılaştırma yapıldığında en iyi

sonucu 2 nolu senaryonun verdiği olduğu tespit edilmiştir. Senaryo-2 çalıştırıldığında paketleme önünde bekleyen ortalama paket türü sayısının 26 olduğu tespit edilmiştir.

Kurulan modelde analiz edilen diğer bir parametre ise paketleme önünde parça türü ortalama bekleme süresidir. Üretim içerisinde makine önündeki parçaların işleme sırasının belirlenmesi paketleme hattı önünde aynı pakete girecek parçaların birbirini bekleme süresini en aza indirecek şekilde olmalıdır. Bu amaçla modelde parçaların paketleme önündeki ortalama bekleme sürelerini en aza indirebilecek senaryolar araştırılmıştır. Analiz edilen senaryolara ait değerler Şekil 5.4.'te verilmiştir.

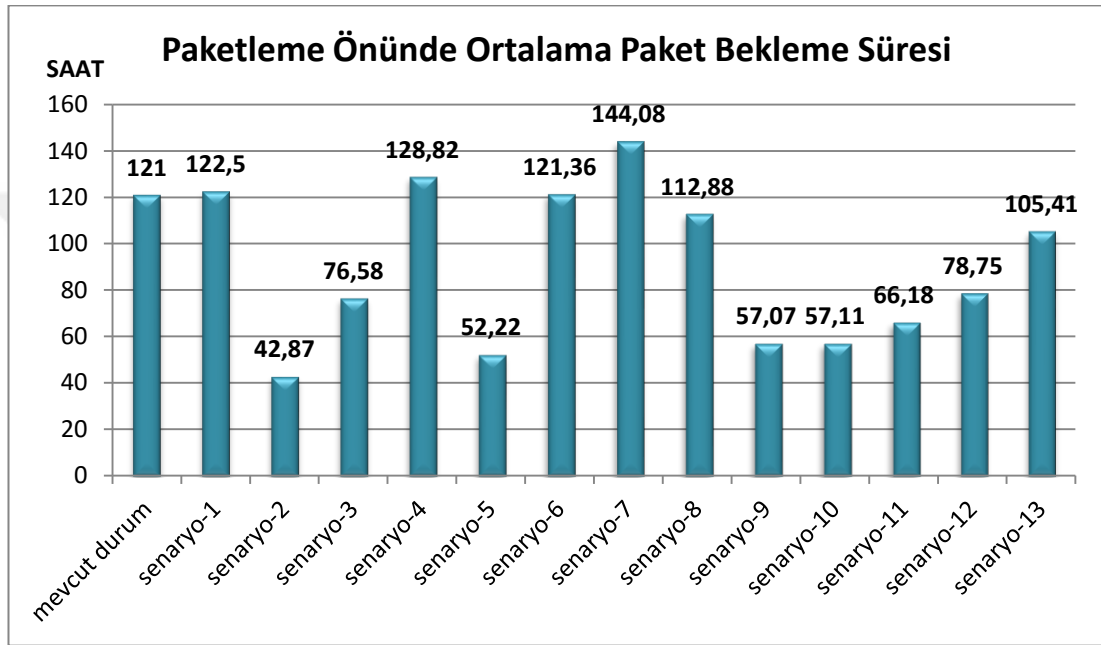


Şekil 5.4. Paketleme önünde parça türü ortalama bekleme süre

Mevcut durumda bir parça paketleme hattı önünde ortalama 115,04 saat beklediği tespit edilmiştir. Alternatif senaryolar analiz edildiğinde ise bu sürenin 64,43 saatlere kadar indirilebileceği görülmüştür. Makine önlerinde parça işleme sırasının doğru belirlenmesi doğrultusunda paketleme hattından paket çıkış adetleri birim zaman içerisinde artacak ve mevcutta bulunan stoklarda bekleyen parça çeşidi azalacağından stok alanlarından da kazanç sağlanacaktır.

Modelde analiz edilen son parametre ise paketleme önünde ortalama paket bekleme süresidir. Firmada parça imalatı yapılmasına rağmen daha önce de bahsedildiği gibi

üretim çıktısını belirleyen paket üretim adetleridir. Bu yüzden model tasarlanırken paketleme önünde paket bekleme sürelerini minimuma indirecek çözüm önerileri araştırılmıştır. Böylece hem üretim çıktılarının artması sağlanacak hem de üretim içerisindeki makine önünde bekleyen parçaların hangi sırada işleme alınması gerektiği karar verici sezgisel yöntemler aracılığı ile tespit edilecektir. Tüm senaryolar çalıştırıldığında Şekil 5.5.'teki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Paketleme önünde ortalama paket bekleme süresi

Mevcut durumda paketleme önünde paket bekleme süreleri ortalama 121 saat iken yapılan araştırmalar sonucu 42,87 saatlere kadar düşürüldüğü gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile Senaryo-2 daha avantajlı gibi gözükmektedir. Ancak tüm verilerin firma kazançlarını maksimum yapmaya yönelik fayda sağlaması amacımızın temelini oluşturmaktadır.

Üretim sisteminin 24 saat çalıştığı kabul edilerek, 27 günlük plan verileri analiz çalışmalarına yönelik kullanılmıştır. Mevcut durumda 500 replication sonucu simülasyon ortalama tamamlanma süresi 582,54 saattir. Diğer senaryolarda da simülasyon süresinin ortalama en fazla 582,54 saat olması beklenmektedir. Tabi ki bu değerlerin altında olması firma enerji giderlerinin de azaltılmasında büyük fayda

sağlayacaktır. Tüm senaryoların simülasyon süreleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Mevcut durumdan daha düşük sürede tamamlanan senaryo bulunmamaktadır. Ancak mevcut duruma eşit olarak Senaryo-3, Senaryo-7 ve Senaryo-13 simülasyon süresini tamamlamıştır. Bu senaryolara ait 4 parametre değeri değerlendirildiğinde; paketleme önünde ortalama paket bekleme süresi 76,58 saat ile Senaryo-3 olmuştur. Senaryo-13 aynı değer 105,41 saat, Senaryo-7'de 144,08 saat olarak tespit edilmiştir. Senaryo-2 paketleme önü ortalama paket bekleme süresini en az değer olan 42,87 saat olarak hesaplanmış olmasına rağmen simülasyon tamamlanma süresi 587,69 saat olarak tespit edilmiştir. Firmada kazanç kayıp maliyetleri açısından değerlendirme yapılmasının sonrasında aylık olarak 5,15 saat fazla çalışılması eğer kayıp oluşturmayacak ise Senaryo-2'de tercih edilebilir. Tamamen firma politikasına göre karar verilmesi gereken bir durumdur.

Uygulanan 13 sezgisel neticesinde tamamlanma zamanını arttırmadan Senaryo-3 ile paketleme önündeki bekleme süresi 121 saatten 76,58 saate çekilmiş, ilk modülün çıkış zamanı ise 111,02. saatten 23,38. saate indirilmiştir. Bu durum paketleme önündeki parça yığılmalarının önüne geçerek gereksiz beklemleri ortadan kaldırmaktadır. Paketleme tezgahlarının daha verimli kullanılmasıyla üretim çıktılarının artmasını sağlamaktadır.

Gelişen teknolojiyle birlikte firmalar küresel ortamda varlıklarını devam ettirebilmek için üretim maliyetlerini en aza indirme yönünde çalışmalar yapmaktadırlar. Ürün çeşitliliğinin artması tüketiciyi çoklu alternatiflere yönlendirmektedir. Bu sebeple piyasada ürün fiyatlarını düşürücü geliştirmelerin üretimde yapılmasını sağlamak rekabet ortamında kazançlarının artmasını sağlamaktadır. Firmalar yapacakları yatırımları ve aktivite sonuçlarını gerçekleştirmeden görmek istemektedirler. Bu durum hem zaman kazancı, hem de maliyet kayıplarının oluşmamasını sağlamaktadır.

Simülasyon aracı; sistem üzerinde kolaylıkla değişiklik yapılabilmesi açısından tüm senaryoların fiiliyatta uygulanmadan sonuçlarının bilgisayar ortamında görülmesini sağlamaktadır. Böylece karlılık sağlamayacak yatırımların önüne geçilmesini ortaya

çıkarmakla birlikte, kazanç elde edilebilecek yatırımların analizinin yapılmasının önünü açtığından karar verme mekanizmalarının daha sağlıklı çalışmasını sağlamaktadır.

Çalışmada Çilek Mobilya fabrikasının üretim simülasyonu yapılarak, paketleme hattı önünde bekleme sürelerini azaltmaya yönelik makine çizelgeleme çalışması yapılmıştır. ABC analizine göre satış miktarları en yüksek olan ürünlerden ilk 4'ü seçilerek, ürün ağaçları, sistem içerisinde dolaştığı rotalar ve bu rotalardaki işlem süreleri sisteme tanıtılmıştır. Ardından paketleme hattı önünde aynı pakete girecek parçaların birbirini bekleme süresini en aza indirecek makine önünde parça sıralamasını belirleyici çizelge algoritmaları oluşturulmuştur. Sonuçları değerlendirilen 13 senaryo içinden en verimli sonucu senaryo-3'ün verdiği görülmüştür. Paketleme bölümünden ilk modülün çıkış saati 111,02. saatten 23,38. saate düşmesi sağlanmıştır. Yapılan çizelgeleme sonucunda paketleme önünde bekleyen parça türü ortalama bekleme süresi 115,04 saatten 96,12 saate düşürülerek %16,4 oranında bir kazanç elde edilmiştir. Paketleme önünde bekleyen paket türü ortalama bekleme süresi 121 saatten 76,58 saate düşürülerek %36,7 oranında paketleme önünde ortalama paket bekleme sürelerinde fayda elde edilmiştir. Paketleme önünde bekleyen parça türü bekleme süresi ortalama %16,4 oranında azalışından stok alanında da kazanç sağlanmıştır. Böylece hem stok alanlarından hem de fabrika çalışma saatlerinde kazançlar olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Model Sonuçlarının Test Edilmesi

Başlangıçta hazırlanan senaryolara ait modeller Replication sayısı 500 olarak çalıştırılmıştır. %95 güven aralığında elde edilen değerlerin doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla; örneklem sayısının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen 4 performans kriteri için gözlem sayısı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$\text{Örneklem sayısının belirlenmesi: } e = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Bu formülde değerler yerine yerleştirildiğinde:

Ortalama paket bekleme süresi performans kriterine göre örneklem sayısı;

$$n = \left[\frac{1,96 \times 71,75}{2,06} \right]^2$$

$$n = 148,1 \cong 149$$

Ortalama parça bekleme süresi performans kriterine göre örneklem sayısı;

$$n = \left[\frac{1,96 \times 165,1}{23} \right]^2$$

$$n = 197,94 \cong 198$$

Ortalama bekleyen paket türü sayısı performans kriterine göre örneklem sayısı;

$$n = \left[\frac{1,96 \times 136,9}{20} \right]^2$$

$$n = 179,78 \cong 180$$

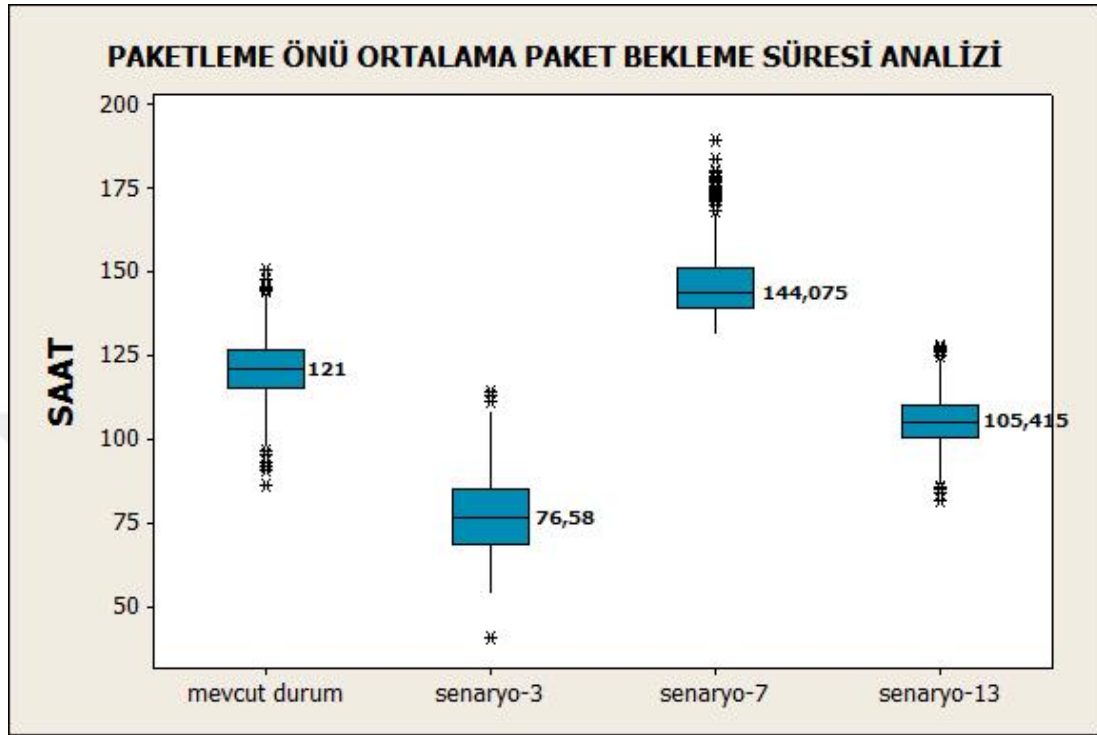
Ortalama bekleyen parça türü sayısı performans kriterine göre örneklem sayısı;

$$n = \left[\frac{1,96 \times 587,5}{94,28} \right]^2$$

$$n = 146,5 \cong 147$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda yaklaşık olarak maksimum 198 adetlik örneklem alınması yeterli olduğu görülmektedir. Model başlangıçta Replication sayısı 500'e çıkarılarak çalıştırıldığından elde edilen veriler üzerinden kazanç miktarlarının hesaplanması doğru sonuçları verecektir. Modelin tamamlanma süresi ve paketleme önu ortalama paket bekleme süresi baz alındığında en verimli senaryonun 3 olduğu görülmüştür. Ancak senaryo-7 ve senaryo-13'te aynı simülasyon tamamlanma süresine sahip oldukları için bu modeller de çeşitli grafik çizme teknikleriyle elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

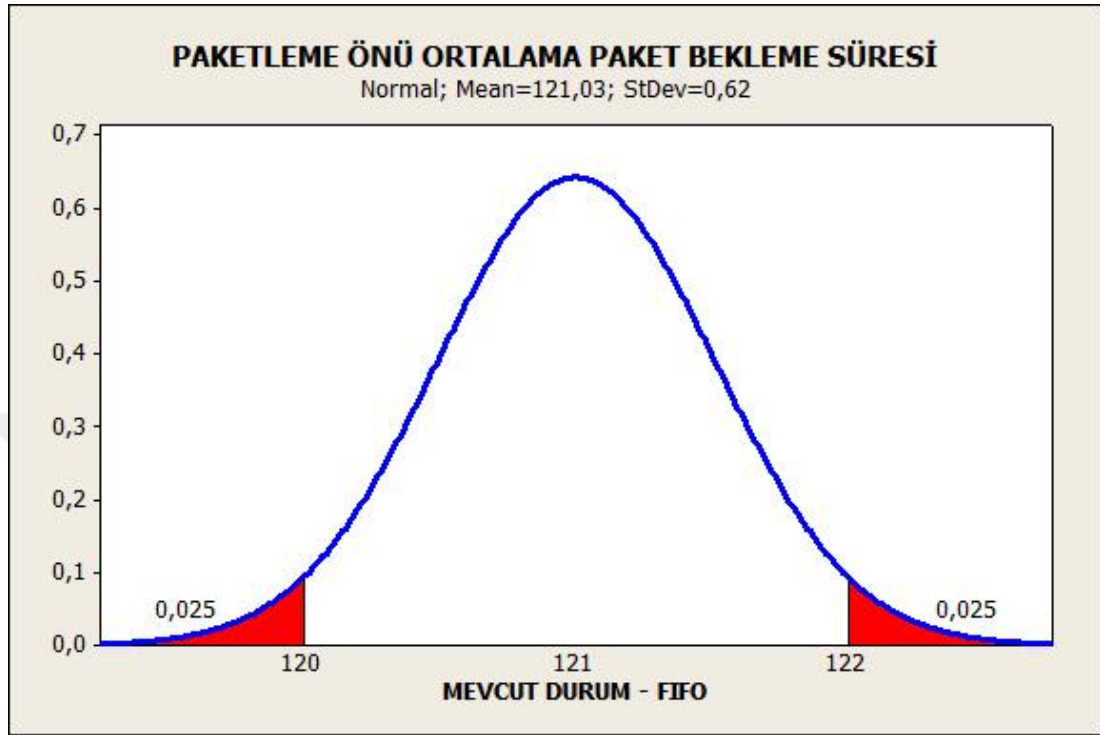
Mevcut durum, senaryo-3, senaryo-7 ve senaryo-13'e ait test sonuçları öncelikle box plot grafik yöntemiyle incelenmiştir. Grafik Şekil 5.6.'da verilmektedir.



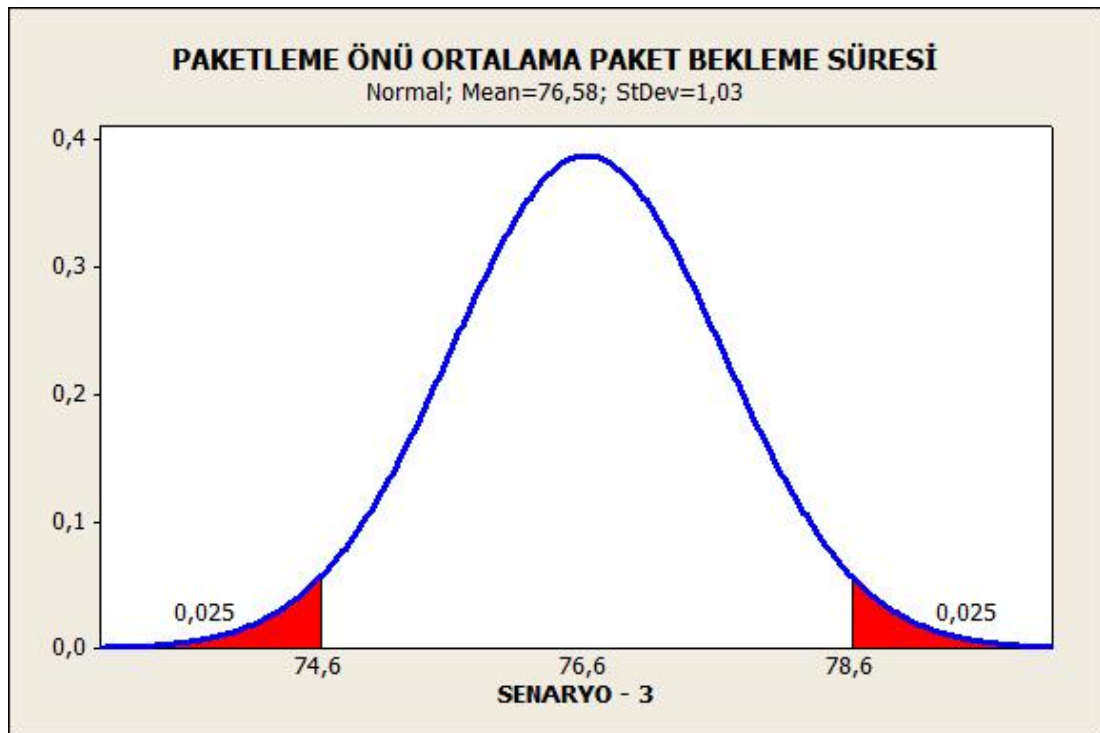
Şekil 5.6. Simülasyon modeli %95 güven aralığında test grafiği

Yapılan testler sonucunda Senaryo-3 paketleme önü ortalama paket bekleme süresinin $76,58 \pm 1,03$ saat değerleri arasında, Senaryo-7 $144,075 \pm 0,64$ saat değerleri arasında, Senaryo-13 ise $105,415 \pm 0,70$ saat değerleri arasında bir değere sahip olmaktadır. Mevcut Durum ise $121 \pm 0,62$ saat değerleri arasında değer almaktadır. Şekilden görüldüğü üzere; Senaryo-3 ve Senaryo-13'ün kutu diyagramında %50'lik kısımdaki maksimum değerleri mevcut durumun kutu diyagramındaki %50'lik kısımdaki minimum değerinden küçüktür. Böylece Senaryo-3 ve Senaryo-13'e ait paketleme önünde ortalama paket bekleme sürelerinin mevcut duruma göre daha az olduğu %95 güven aralığında kanıtlanmıştır. Ancak Senaryo-3'e ait ortalama paket bekleme süresi Senaryo-7'ye göre daha düşük olduğundan yapılan çalışmada Senaryo-3 her zaman en iyi sonucu veren sezgisele sahip olduğunu kanıtlamıştır. Böylece %95 güven aralığında Senaryo-3 en iyi değeri vermektedir.

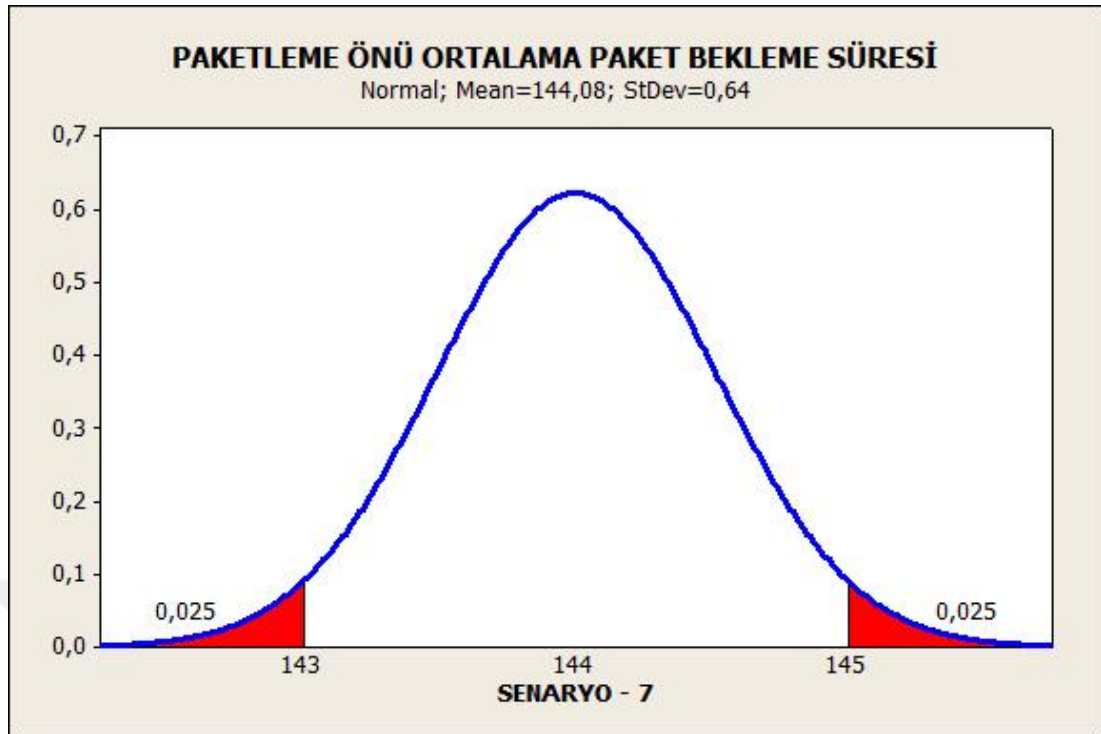
Mevcut durum, senaryo – 3, senaryo – 7 ve senaryo – 13'e ait çizilen normal dağılım grafikleri ise Şekil 5.7., Şekil 5.8., Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da verilmektedir.



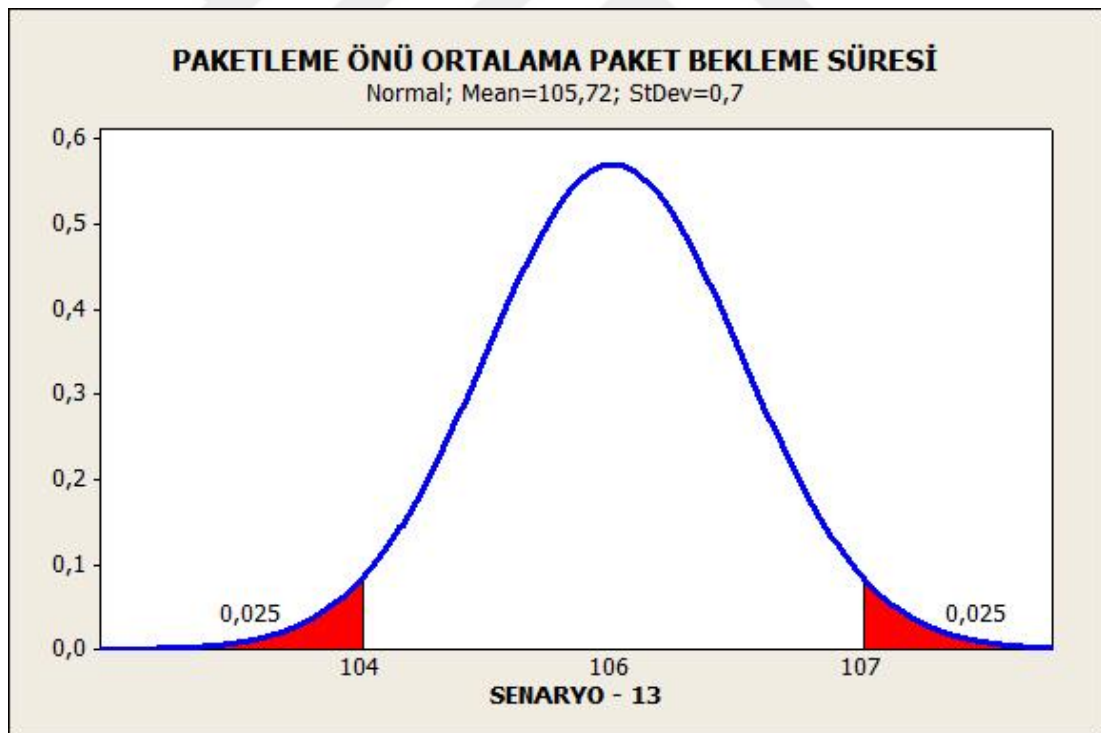
Şekil 5.7. Mevcut durum'a ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği



Şekil 5.8. Senaryo – 3'e ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği



Şekil 5.9. Senaryo – 7'ye ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği



Şekil 5.10. Senaryo – 13'e ait %95 güven aralığında normal dağılım grafiği

Yapılan çalışmalar sonucunda paketleme önünde ortalama paket bekleme sürelerinin 121 saatten 76,58 saate düşürebildiği testler sonucunda görülmektedir. Firmada

yaklaşık olarak aylık ortalama 84.000 adet paket üretimi gerçekleştirilmektedir. Paketleme hattı önünde paket ortalama bekleme süresi 76,58 saate düşürüldüğünde aylık ortalama 6070 adet daha fazla paket üretimi gerçekleştirilebilecektir. Böylece aylık yaklaşık olarak 1,5 günlük, yıllık ise 18 günlük kazanç sağlanacağı öngörülmektedir.

5.3. Değerlendirme

Yapılan analizler sonucunda karar verici yapıya sahip olan simülasyon çalışmasıyla planlamacının işinin kolaylaştırıldığı ve sistemin daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. Elde edilen çözüm önerileriyle birlikte parçaların birbirini bekleme süreleri en aza indirilmiş ve hattan paketin en kısa sürede çıkması sağlanmıştır. Fabrikanın aynı çalışma süresinde daha fazla üretim yapabilmesi doğru çizelgeleme ile mümkündür. Firmalar küresel ortamda karlılıklarını arttırabilmek için üretim maliyetlerini azaltıcı faaliyetler yapması gerekmektedir.

Yapılan bu model ile firmaya ait farklı üretim planları denenerek senaryolar arasında farklı seçimler yapılmasına olanak sağlanmıştır. Mevcutta makine önü parça sıralaması özelliği bulunmadığı için üretim içi çizelgelemeye yönelik yeni bir bakış açısı katılmıştır. Oluşturulan model esnek bir yapıya sahip olduğundan sisteme aktarılabilecek yeni üretim planlarına adapte etmek hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Tüm üretim akışı modellendiğinden herhangi bir makine veya teçhizat yatırımı yapılacak olursa bu simülasyon modeli yardımıyla kapasite analizleri yapılabilecektir. Mevcut sistemde herhangi bir parçanın üretim içerisindeki işleme sırası değiştirildiğinde oluşabilecek kayıplar hesaplanamamaktadır. Oluşturulan bu model aracılığı ile üretim içerisindeki değişiklikler kar ve zarar açısından önceden değerlendirilebilecek ve hızlı bir şekilde çözüm aksiyonlarının alınmasına ışık tutulacaktır. Ayrıca tezgahlar önündeki bekleyen parça çeşitleri analiz edilebileceğinden hangi hattın hangi makinesinin ne kadar stok alanına ihtiyaç duyduğu tespit edilebilecektir. Oluşturulan tüm senaryo kodlamaları firmada kullanılan SAP sistemine aktararak Çilek firmasına özgü çizelgeleme ara yüzü oluşturulabilecek durumdadır.

Mevcut sistemlerin simülasyon ortamında modellenmesi yapılarak yatırımların bilgisayar ortamında değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Böylece oluşabilecek maliyet kayıpları daha önceden tespit edilmiş olarak gereksiz yatırımların önüne geçilmesi sağlanır. Sistemde oluşan aksaklıklar tespit edilerek daha iyi çözümler geliştirilecek yapılar simülasyon üzerinde analiz edilebilmektedir. Simülasyon ortamında oluşturulan modeller üzerinde değişiklikler yapılarak analiz yapılması kolaylaştırılmakta ve uygulanacak çözümlerde daha hızlı karar verilmesi sağlanmaktadır.

Sistemlere anında müdahale edip hızlı kararlar verebiliyor olmamız rekabet ortamında daha hızlı ilerlememizi sağlamaktadır. Firmaların hedefi müşteri memnuniyetini en üst seviyeye çıkararak, kalite anlayışlarından ödün vermeden, üretim maliyetlerini en aza indirerek karlılıklarını arttırmaktır. Böylece katma değersiz işlemler ortadan kaldırılmakta, oluşan zaman ve maliyet kayıpları yok edilmektedir. Mevcut sistemlerin performansının arttırılabilmesi maliyet kayıplarının kazanca dönüştürülmesi açısından önemlidir. Sistem analistliği aracılığıyla en karmaşık yapılar bile kontrol altına alınarak sistemlerin geliştirilmesi, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte daha da hız kazanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akçay, E. 2009. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin yapay bağışıklık sistemi ile çok amaçlı optimizasyonuna yönelik bir model önerisi. (Basılmamış Doktora Tezi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Aladağ, A. 2010. Tekrar işlemeli esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay bağışıklık sistemi ile bir çözüm yaklaşımı. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Aydemir, E. 2009. Atölye tipi çizelgeleme problemlerinin öncelik kuralı tabanlı genetik algoritma yaklaşımıyla simülasyon destekli optimizasyonu. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Baker, K. R., Trietsch, D. 2009. Principles of Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Boray, M. B. 2007. Paralel tezgahlarda arıza halinde çok amaçlı çizelgeleme. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Büyüksünetçi, A. S. 2006. Tepkin çizelgeleme yaklaşımının akış tipi atölye ortamında etkinliğinin analizi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ceran, G. 2006. Esnek akış tipi çizelgeleme problemlerinin veri madenciliği ve genetik algoritma kullanılarak çözülmesi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Cihanlı, Ö. 2010. Hibrid akış tipi atölyede çizelgeleme. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Çörekçi, C. 2014. Atölye tipi üretimde simülasyon teknikleri ile dinamik çizelgeleme ve atölye simülasyonu. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale.
- Engin, O., 2003. Üretim Planlama ve Kontrol. Yayımlanmamış Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Erdem, A. 2008. Bakım kısıtı altında genetik algoritmalarla üretim çizelgeleme. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- French, S., Phil, D. 1982. Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop. Ellis Horwood Limited, 245s, Chichester.
- Jackson, J. 1956. An extension of Johnson's result on job-lot scheduling. Naval Research Logistics Quarterly, 201 – 204s.
- Kobu, B., 2006. Üretim Yönetimi. Beta Yayınevi, 13. Baskı, 602s., Eylül 2006, İstanbul.
- Kundakçı, N. 2013. Üretim sistemlerinde dinamik iş çizelgeleme problemlerinin sezgisel yöntemlerle çözülmesi. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Pamukkale.
- Leung, J. Y-T., (ed.) 2004. Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis, Chapman and Hall/CRC Computer and Information Science Series, USA.
- Mıdık, Ö., Kartal, M. 2010. Simülasyona Dayalı Tıp Eğitimi. Marmara Medical Journal, 23(3), 389-399.
- Mitchell, M. 1999. An Introduction to Genetic Algorithm. MIT Press, 158s., London.
- Morton, T. E., Pentico, D. W. 1993. Heuristic Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management, Wiley, 695s, New York.
- Mutlu, Ö. 1993. Tek makine çizelgeleme probleminde en iyi teslim zamanlarının belirlenmesi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Özkan, S. E. 2009. Farklı kapasiteli paralel makinelerin dinamik çizelgenmesi için sezgisel bir algoritma ve uygulaması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Özkazanç, U. A. 1999. Atölye tipi üretim ortamında işlerin çizelgenmesi için yapay sinirsel ağ yaklaşımı. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Öztuncel, E. T. 2007. Sonlu kapasiteli çizelgeleme ve bir uygulama. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Patrik, J. Simulation. In: Patric J, ed. Training Research and Practice. London: Academic Press, 2002: 487-508.
- Pinedo, M. L., 2008. Scheduling Theory Algorithms and Systems. Springer, 671s New York.
- Schuh, G. 2008. Productions managements I, WZL/FIR, Acchen Universität.
- Seçme, G. 2006. Akış tipi çizelgeleme problemlerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi. (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Sharma, P., Jain, A. 2015. A review on job shop scheduling with setup times. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture.

- Sirkeci, E. 2015. Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için çözüm yaklaşımları: savunma sanayinde bir uygulama. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Soykan, B., Erol, S. Simülasyon Deneyleri Tasarımı: Bir Simülasyon Modeli Üzerinde Karşılaştırmalı Çalışmalar, USMOS 2015 ODTÜ, Ankara.
- Taha, H. 2000. Operation Research and Introduction, 665-702s.
- Turner, W. C., Mize, J. H., Case, K. E., Nazemtz J. W. 2006. Introduction to Industrial and Systems Engineering, 497-512s.
- Türker, A. K. 2011. Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon ve Arena, 9-10s.
- Yağmahan, B. ve Yenisey, M.M., 2008 “Ant Colony Optimization for Multi Objective Flowshop Scheduling Problem”, Computers and Industrial Engineering, C:54, s. 411-420.



ÖZGEÇMİŞ

Kübra Nur Özçetin, 15.06.1991'de Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 2009 yılında Turgutalp Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Küçükçalık A.Ş. firmasında yaklaşık 7 ay yalın ofis mühendisi, 2015 yılında Nills Mobilya şirketinde yaklaşık 9 ay planlama uzmanı olarak görev yaptı. 2016 yılında Çilek A.Ş. şirketinde yalın üretim mühendisi olarak çalışmaya başladı. Halen Çilek A.Ş. şirketinde kurulan ARGE merkezinde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.