



## ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROLÜN ATÖLYE YÜKÜ İLE EŞZAMANLI GERÇEKLEŐTİRİLMESİ

**Olcay Özge ERSÖZ**

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü  
*oo.erso@hotmai.com*

**Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER**

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliđi Bölümü  
*kturker@yahoo.com*

### Öz

Günümüzde işletmeler için rekabetin kıyasıya artması nedeniyle kaynakların etkin ve verimli kullanımının yanı sıra müşteri istek ve ihtiyaçlarına zamanında ve doğru bir şekilde cevap verilmesi de büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı, üretim portföyünde çok fazla ürün çeşitliliği bulunan ve siparişe dayalı üretim gerçekleştiren işletmelerde herhangi bir anda atölyede işlemek üzere bekleyen siparişlerin ve aynı anda atölye içerisinde üretimde bulunan birçok siparişin dinamik çizelgelemesinin yapılmasıdır. Bu tip firmalara gelen terminli siparişler nedeniyle herhangi bir anda atölyede işlemek üzere birçok sipariş beklemekte ve aynı anda da atölye içerisinde üretimde birçok sipariş yer almaktadır. Bu dinamik yapı; çizelgeleme ve tezgâh yükleme problemlerinin karmaşık bir hal almasına neden olmakta ve üretim planlama ve kontrol proseslerinin etkin yönetilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yapılacak bir yanlış çizelgeleme veya atama sevkiyatlarda gecikmelerin yaşanmasına ve makinelerin atıl kalmasına sebep olmaktadır. Buna ek olarak işletmede çok sayıda hammadde, yarı mamul ve ürün stokunun bulunması yüksek stok maliyetlerine, elde bulundurmama maliyetlerine ve stok yönetiminin etkin bir şekilde gerçekleştirilememesine neden olmaktadır. Tüm bu problemlerin önüne geçebilmek için çalışmamızda; sistem analizi yapılarak ürün rotaları ve işlem sürelerinin belirlenmesi, gelen siparişler içerisinde atölyenin şartlarını da dikkate alarak doğru siparişin seçilmesi, sonrasında atölyenin durumuna göre tezgâhlara doğru parçaların atamaması için sistemin simüle edilmesi ve çeşitli senaryolar oluşturularak firma için uygun atama stratejisinin belirlenmesi ile dinamik çizelgelemenin uygulanması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dinamik Çizelgeleme, Simülasyon, Üretim Planlama ve Kontrol.

### SIMULTANEOUS PRODUCTION PLANNING & CONTROL WITH CURRENT WORKSTATION LOADING

#### Abstract

Nowadays, due to increasing fierce competition for businesses, besides efficient and productive usage of resources, it is also significant to respond customer requests on time and correctly. The purpose of this study is dynamic scheduling of orders pending for process in the shop at any time and multi orders that are currently in production in the same workshop at order-based production companies having high diversity in their product portfolio. Because of the orders that must be delivered on time, many orders wait for production process in the shop at any time and there are many orders at the workshop at the same time. This dynamic structure causes scheduling and machine loading problems which are much more complicated and it reveals the necessity of effective management of production and control processes. Incorrect scheduling or assignment causes delays in shipments and machines to be idle. In addition to this, holding raw material, semi-finished product and product inventory generates high inventory costs, shortage

costs and causes performing inventory management inefficiently. To overcome all of these problems, in this paper we aim to develop dynamic scheduling application for determining product routes and operating hours by system analysis, by selecting the correct order by taking into account the shop conditions, by simulating the system to assign the correct part to machines, by determining the best relevant strategy for the company with creating kinds of scenarios.

**Keywords:** Dynamic Scheduling, Simulation, Production Planning and Control.

## 1. Giriş

Üretim, girdileri bir dönüşüme tabii tutarak, insanoğlunun bir eksikliğini, bir ihtiyacını giderecek mal veya hizmet ortaya çıkarmaktır. Başka bir ifadeyle; üretim, tüketici ihtiyaçlarının karşılanması için, doğal kaynakların belirli bir süreçten geçirilerek, tüketiciyi tatmin edecek ürün veya hizmete dönüştürülmesidir (Ersöz, 2015).

Günümüzde gelişen teknoloji ve ürünlerle birlikte üretim sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir (Özkan, 2009). Endüstri devrimiyle birlikte ürünlerin çeşidinin ve sayısının artması bununla doğru orantılı olarak müşteri taleplerinin de artmasına neden olmuştur, artan müşteri taleplerine cevap verebilmek amacıyla işletmeler de üretim kapasitelerini arttırmaya başlamıştır. Hızla büyüyen işletmelerde üretimin koordinasyonu zorlaşmış ve bu durum üretim planlama ve kontrol sistemleri ihtiyacını doğurmuştur.

Üretim planlama işletme kaynaklarını rasyonel olarak kullanarak istenilen kalitede ürünlerin üretilmesi konusunda karar alma işlemidir. Başka bir ifadeyle üretim planlama, işletmenin üretim faaliyetlerinin istenilen miktar, kalite, yer ve zamanda; kimler tarafından nasıl, ne şekilde ve ne zaman yapılacağına ilişkin kararlar bütünüdür.

Günümüz rekabet ortamında işletmeler, az miktarda kaynak kullanarak müşteri gereksinimlerine en hızlı yanıt verebilecek şekilde ve yüksek kalitede ürünler üretmeyi amaçlar (Kundakcı, 2013). Kıt kaynakların daha etkin ve verimli kullanılabilmesi üretim planının düzgün ve gelişen değişkenliklere uyumlu olmasına bağlıdır.

Üretim planlama, alınan kararların etki zaman aralığına göre uzun, orta ve kısa vadeli yapılır. Üst yönetimi uzun vadeli planlama kararlarını alır ve bu kararlar firmaları uzun süreli etkiler. Orta vadeli planlar genellikle operasyondan sorumlu yöneticiler tarafından oluşturulur ve bu planlar belli bir dönem içerisindeki üretim çerçevesi oluştururlar. Kısa vadeli planlar, bir başka ifade ile üretim çizelgeleri fabrika ve/veya atölye düzeyinde oluşturulur ve günlük, haftalık veya aylık olabilir. Değişen müşteri talepleri karşısında üretim planlarını hızlı bir şekilde oluşturan işletmeler, rakiplerinin bir adım önüne geçecektir. Bu nedenle üretim planlama sürecinde iş çizelgeleme, işletmelerin üretim hızlarını arttırmalarında önemli bir göreve sahiptir.

Üretim Çizelgeleme operasyonların ayrıntılı günlük planlanmasıdır. Etkin yapılan bir çizelgeleme ile üç amaç gerçekleştirilmeye çalışılır. Bunlar; teslim tarihlerinin tutturulması yani gecikmelerin minimizasyonu, işlerin sistemde geçirdikleri zamanın azaltılması yani beklemlerin minimizasyonu ve iş istasyonlarının kullanımının (makine, teçhizat ve personel) maksimizasyonudur.

Çizelgeleme ile şu soruların cevapları belirlenir.

- Hangi iş ne kadar ve hangi operasyon sıralaması ile yapılacak?
- Hangi işin hangi operasyonu, hangi iş istasyonunda yapacak?
- Operasyon ne zaman başlayacak ne zaman bitecek?

Çizelgelemede başka önemli bir konu atölye yerleşimidir. Ürüne göre yerleşim gerçekleştirilmişse sürekli ve hücresele üretim sistemi uygulanmaktadır. Burada işler aynı rota ve sabit bir sıralamaya göre imal edilmekte olup planlaması ve kontrolü kısmen daha kolaydır. Sürece göre bir yerleşim benimsenmiş ise genellikle istem miktarlarının yüksek olmadığı, her işin kendine göre bir rotasının olduğu siparişe göre üretim vardır ki planlaması da kontrolü de zorlaşır.

Günümüzde imalat sistemleri tam sayılı programlama veya statik yollama kuralları kullanılarak statik şekilde çizelgenir. Fakat bu çizelgeleme gerçek hayatta sipariş gelişi, süreç erteleme, makine bozulmaları gibi sorunları dikkate almadığından çaresiz kalır (Elhüseyni, 2012). Bunun yanı sıra, işletmeler sürekli dinamik bir çevrede faaliyet gösterdiklerinden çizelgelemenin dinamik faktörleri dikkate alması etkin bir çizelgeleme için gereklidir. Literatürde birçok çalışmada çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılık üzerinde durulmuştur. MacCarthy ve Liu (1993), çizelgeleme teorisi ile uygulama arasındaki farklılığı dikkate almışlar ve çizelgelerin gerçeğe daha uygun, uygulanabilir olması adına yapılan araştırmalardaki yeni eğilimleri incelemişlerdir. Ayrıca klasik çizelgelemenin uygulamada, çevrenin ihtiyaçlarını karşılamada başarısız olduğunu belirtmişlerdir.

Üretim kontrolü ile de planlama ile bulunan bu cevaplara ulaşıp ulaşılmadığı denetlenir ve oluşan sapmaların nedenleri araştırılır. Planlama faaliyeti, kontrol faaliyeti ile iç içe geçmiş bir yapıdadır. Planlamanın tutturulması, üretim yönetimini gerçekleştiren kadroların üretime hâkimiyetini ortaya koyar. Planlamanın gerçekleşme oranı, yöneticilerin tesise hâkimiyetinin göstergesidir. Planlanan ile gerçekleşen arasındaki fark bize üretim unsurlarında kontrol altına alamadığımız unsurların büyüklüğünü de gösterir. Ayrıca üretim sistemleri zamana bağlı sürekli değişim gösteren dinamik yapılarından dolayı, sistemdeki değişimlerin eşzamanlı kontrol edilmelerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Cowling ve Johansson (2002) da çizelgeleme teorisi ile uygulamadaki çizelgeleme arasında önemli bir boşluk olduğunu belirterek çizelgeleme modellerinin ve algoritmalarının gerçek zamanlı bilgiyi kullanmada yetersiz olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca çizelgeleme araştırmalarının, süreç kontrol ve denetleme sistemlerindeki teknolojik gelişmelere ayak uydurmada başarısızlığa uğradığı görüşündedirler. Pratik ile çizelgeleme teorisi arasındaki farklılığı azaltmak adına çalışmalarında süreç kontrol ve denetleme sistemlerinin üretmiş olduğu gerçek zamanlı bilgiyi çizelgeleme problemlerine adapte etmeye yönelik bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda da belirtildiği üzere teorideki çizelgeleme yaklaşımları ile gerçek hayatta işletmelerin karşılaştığı çizelgeleme problemleri arasında farklar doğmaktadır. Teori ile pratik arasındaki boşluğu ortadan kaldırmak adına üretim ortamlarının dinamik yapıda oldukları göz önünde bulundurularak çizelgelemenin bu şekilde dinamik yapılması büyük önem arz etmektedir.

Günümüzde otomasyon, görüntü işleme teknolojisi, radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemleri gibi geliştirilen teknolojiler ile sistemlerdeki değişimler eşzamanlı olarak algılanabilmekte ve anında kullanılabilir bilgiye dönüştürülebilmektedir. Toplanan bu bilgiler ışığında dinamik çizelgeleme imkânları oluşturulabilecektir. Bu çalışmada incelenen sistemde zamana bağlı olarak değişen şartları eşzamanlı olarak algılayabilen bir yapının oluşturulduğu varsayımı ile sistemin modeli oluşturulmuştur. Çalışma gerçek hayata geçirilirken sistemdeki değişimleri eşzamanlı takip edebilecek yapının kurgulanmış olması hayati önem arz etmektedir. Bu çalışmada denenen, iş merkezlerine iş yüküne öncelik kurallarının yanı sıra sistemden toplanacak anlık verilere göre kararlar alan uzman sistem ve yapay zekâ yaklaşımları da uygulanabilir.

Belirtilen eksikliğe katkı vermek için bu çalışmada, sekiz iş merkezinde farklı sipariş gelişlerine, farklı rotalara, işlem sürelerine ve parti hacimlerine sahip yirmi farklı ürün üretilen bir işletmede ki dinamik çizelgeleme problemi simülasyon yaklaşımı ile ele alınmıştır.

Simülasyon, dinamik bir sistemin özelliklerini ve davranışlarını bilgisayar aracılığıyla değerlendiren bir tekniktir. Zamana bağlı değişim gösteren sistemlerde bir simülasyon modeli, eğer şu olursa ne olur analizlerinin yapılmasını sağlayan bir araç olarak ele alınmalıdır. Kullanıcısına sistemin değişik dizayn ve çeşitli işletim stratejilerinin genel sistem performansı üzerindeki etkisini analiz etmede çok faydalı bir yaklaşımdır. Sonuçta elde edilenler, istenen model karakteristiklerine ait birer tahmindir. Diğer bir deyişle simülasyon, incelenen bir gerçek hayat sisteminin belli bir zaman dilimindeki davranışlarını, tespit edilmek istenilen gerçek karakteristiklerini, yani sistem performans ölçütlerini tahmin etmek amacıyla, model

tasarlanması, sistem davranışı üzerinde çeşitli senaryoların denenebilmesi için deneyin hazırlanması, çalıştırılması ve sonuçların analizi sürecidir (Türker, 2011).

## 2. Literatür Araştırması

Dinamik, olasılıklı üretim sistemlerinde; arızalar, beklenmeyen acil işler, kalite problemleri, malzeme sıkıntısı, üretim süreci boyunca meydana gelebilir. Bu tür olaylar, en etkili çizelgeleri bile etkisiz hale getirebilir (Büyüksünetçi, 2006). Dinamik çizelgelemede, problem çizelgeleme periyodu boyunca üretilecek ürünün miktarı ve buna bağlı olarak atölye ortamına giren işlerin miktarına göre sonradan ek iş girişi yapılabilecek biçimde tanımlanabilir. Başka bir ifade ile çizelgeleme periyodu boyunca üretimin herhangi bir anında yeni iş girdileri olabilir ve bu durumda atölye ortamı dinamik olarak tanımlanır.

Literatürde dinamik çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında; Bean vd. (1991), daha önceden planlanan çizelgenin kullanılmasına engel olacak kesintiler meydana geldiğinde işlemlerin yeniden çizelgelenmesini ele almıştır. Çalışma kesinti meydana gelene kadar mevcut çizelgeyi kullanmaktır, kesinti meydana geldikten sonra, bir noktada mevcut çizelgeye yetişmek için bu çizelgenin bir bölümü yeniden düzenlemektedir. Çalışmada test problemleri ile birleştiren (match-up) yeniden çizelgeleme yaklaşımının avantajları incelenmiştir. Church ve Uzsoy (1992), dinamik iş gelişleri halinde yeniden çizelgelemeyi incelemiştir. Bu çalışmada, tek makine ve paralel makine modelleri üzerinde periyodik yeniden çizelgeleme stratejileri incelenmiştir. Leon vd. (1994), beklenmedik ve tahmin edilemeyen dinamik durumlardan etkilenmeyen güçlü çizelgeleme yöntemleri geliştirmiştir. Çalışmada, planlama döneminde tek bir sorunun meydana geldiği durum için güçlü çizelge ölçütü geliştirilmiştir. Birden fazla sorunun meydana geldiği daha karmaşık durumlar için de güçlülük ölçütü geliştirmiş ve genetik algoritma ile birleştirilerek atölye tipi üretim ortamları için çizelgeler elde edilmiştir. Chang (1997), dinamik atölyelerde üretim süresinde ürünlere ait kalan işlemler için kuyruk sürelerinin gerçek zamanlı tahminini yaparak bu tahminleri çizelgeleme ile birleştiren yeni bir yaklaşım geliştirmiştir. Fang ve Xi (1997), dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemlerini çözümlmek için genetik algoritma ve öncelik kurallarına dayanan melez bir yaklaşım önermiştir. Lee ve Uzsoy (1999), dinamik iş gelişlerinin olması durumunda en büyük tamamlanma zamanının en minimize edilmesi problemini ele almıştır. Bu problem için sezgisel yöntemler sunulmuştur. Aydın ve Öztemel (2000), zeki etmen tabanlı dinamik çizelgeleme sistemi üzerine çalışmışlardır. Bu sistem, iki bağımsız bileşen içermektedir bunlar; zeki etmen ve simüle edilmiş çevredir. Sabuncuoğlu ve Bayız (2000), stokastik üretim çevresinde reaktif çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Özellikle, klasik

atölye tipi sistemde makine arıza ve duruşlarının meydana gelmesi durumunda birçok çizelgeleme yöntemi test edilmiştir. Ayrıca sistem büyüklüğünün ve iş çeşidinin sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kutanoğlu ve Sabuncuoğlu (2001), dinamik atölye tipi üretim süreçlerinde makine arızalarına karşı reaktif çizelgeleme yaklaşımları geliştirmiştir. Bu yaklaşım, işin atandığı makinede arıza meydana gelmesi durumunda işlerin güzergâhlarının değiştirilmesine dayanır. Yang (2001), esnek üretim sistemlerinde genetik algoritmaya dayanan yeni bir dinamik programlama yaklaşımı oluşturmuştur. Burada genetik algoritma, işlerin sıralamasını elde etmede kullanılırken; kesikli dinamik programlama ise, elde edilen sıralamaya uygun çizelgenin oluşturulması için kullanılmaktadır. Cowling ve Johansson (2002), çizelgeleme kararlarını iyileştirmek için dinamik bilgileri kullanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Dinamik bilgilere karşı uygulanabilecek iki temel strateji tanımlamışlardır. Bu stratejiler; yeniden çizelgeleme ve çizelge düzeltmedir. Yeniden çizelgelemede, sistemde önemli değişiklikler yapılırken, çizelge düzeltmede ise nispeten daha küçük değişiklikler yapılmaktadır. Sabuncuoğlu ve Kızılışık (2003), dinamik ve stokastik esnek üretim istemlerinde tepkisel çizelgelemeyi ele almıştır. Çalışmada, simülasyona dayanan bir çizelgeleme sistemi geliştirilmiştir. Dominic, Kaliyamoorthy ve Kumar (2004), dinamik atölye tipi çizelgeleme için farklı öncelik kurallarını birleştirerek çalışmıştır. Çalışmada farklı öncelik kuralları ve performans ölçütleri altında dinamik atölye tipi çizelgeleme problemlerinin, ARENA programı kullanılarak simüle edilmiştir. Liao ve Chen (2004), sıklıkla makine arızalarının meydana geldiği bir tekstil işletmesinin çizelgeleme problemini incelemişlerdir. Problemin çözümü için sezgisel bir yöntem geliştirmişler ve bu sezgisel yöntem, makine arızalarını azaltarak kurulum sürelerinin uzatılmasını sağlamaktadır. Liu, Ong ve Ng (2005), makine arızaları ve yeni iş gelişlerinin olması durumunda dinamik iş çizelgeleme probleminin analiz etmişlerdir. Bu analiz sonucunda dinamik çizelgeleme problemini statik bir problem olarak modelleyebilmek için bir yöntem sunmuşlardır. Gao vd. (2009), atölye tipi çizelgeleme için karınca koloni algoritması ve genetik algoritmaya dayanan melez bir yöntem önermiştir. Amaç toplam tamamlanma zamanını, maliyeti ve sapmayı minimize etmektir. Yöntemde karınca kolonisi algoritması ile makine ataması yapılırken, genetik algoritma ve komşuluk arama yardımıyla işlerin sıralaması optimize edilmektedir. Çalışmanın sonunda önerilen algoritmanın sonuçlarının analiz edilebilmesi için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Fattahi ve Fallahi (2010), dinamik esnek atölye tipi iş çizelgeleme probleminin çözümü için genetik algoritmaya dayalı sezgisel bir yöntem önermiştir. Zandieh ve Adibi (2010), rastgele iş gelişlerini ve makine arızalarını dikkate alan dinamik atölye tipi iş çizelgeleme problemleri için değişken komşuluk arama yöntemini

önermiştir. Kapanoğlu ve Alikalfa (2011), dinamik atölye tipi çizelgeleme problemleri için öğrenen bir zeki sistem önermiştir. Qiu ve Lau (2013), sürekli yeni iş gelişlerinin olduğu ve makine arızalarının meydana geldiği dinamik atölye tipi çizelgeleme problemi için yapay zeka, yapay bağıklık sistemi yöntemleri ile öncelik kurallarının birleşimine dayanan bir yaklaşım önermiştir.

### 3. Dinamik Çizelgeleme

Atölye tipi imalatta dinamik çizelgeleme problemleri; iş merkezlerinden oluşan ve parçaların kendi rotalarına göre bu iş merkezlerini ziyaret ettiği bir şebeke ağındaki kuyruklanma ile ilgili problemlerdir. Atölye içindeki iş merkezleri şebeke ağındaki servis veren kaynaklardır. Bu nedenle ortaya konan amaç doğrultusunda dinamik çizelgeleme problemlerine çözüm aranması öncelik kurallarının kullanılmasına dayanır. Dinamik çizelgelemede kullanılan öncelik kurallarının bazıları, işlerin değişmeyen özelliklerine (işlem süresi veya teslim tarihi gibi) göre değil; süreç içinde değişen özelliklerine (kalan işlem zamanı gibi) göre de olabilmektedir. Bununla ilgili makalemizde kullanılan ve üç ana başlık altında dokuz iş merkezinde iş yüklenirken kullandığımız öncelik kuralları verilmiştir.

#### i. Teslim tarihine göre oluşturulan kurallar

En Erken Teslim Tarihi öncelikli: Burada bir iş merkezine atanacak iş belirlenirken, iş merkezinin önünde işlenmek üzere bekleyen işler arasında en yakın teslim tarihine sahip olan iş seçilir.

$$\pi_{i,k} = T_i \quad [ I ]$$

Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli: Burada işin teslim zamanından, işin geldiği zaman ve işin kalan toplam işlem süresi çıkarılarak elde edilen değerin en küçüğüne sahip olan iş, iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = T_i - \left[ t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \right] \quad [ II ]$$

Teslim için kalan sürenin, kalan işlem sayısına oranı en küçük olan iş öncelikli: Burada aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan oran değerleri arasındaki en küçük değere sahip olan iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \left( T_i - \left[ t + \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \right] \right) / (n_i - k + 1) \quad [ III ]$$

Teslim için kalan sürenin işin tamamlanması için gerekli süreye oranlanarak belirlenen kritik oranı en küçük olan öncelikli: Burada aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan kritik oran değerleri arasındaki en küçük değere sahip olun iş merkezine atanacak iş olarak seçilir.

Kritik Oran = (İşin Kalan Zamanı)/ (İşin Bitmesi için gerekli zaman)

$$\pi_{i,k} = (T_i - t) / \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \quad [IV]$$

**ii. İşlerin geliş sıralarına göre oluşturulan kuralları**

İlk Sisteme Gelen İlk İşlenir: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında sisteme önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = A_i \quad [V]$$

İş merkezine İlk Gelen İlk İşlenir: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezine önce gelen iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = G_{i,k} \quad [VI]$$

**iii. İşin sahip olduğu değerlere göre oluşturulan kurallar**

İşlem süresi en küçük olan öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında iş merkezindeki işlem süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = P_{i,k} \quad [VII]$$

Toplam kalan işlem Süresi en küçük olan öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında kalan tüm işlemlerinin bitmesi için gerekli olan süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \sum_{j=k}^{n_i} P_{i,j} \quad [VIII]$$

Toplam İşlem Süresi en küçük olan öncelikli: Burada iş merkezinin önünde bekleyen işler arasında baştan sona tüm işlemlerinin bitmesi için gerekli olan süresi en az olan iş, atanacak iş olarak seçilir.

$$\pi_{i,k} = \sum_{j=1}^{n_i} P_{i,j} \quad [IX]$$

Bu kurallarda kullanılan ifadeler ve anlamları

$\pi_{i,k}$	i işinin k. operasyondaki önceliği	$n_i$	i işinin operasyon sayısı
$T_i$	i işinin teslim tarihi	$A_i$	A işinin sisteme geliş zamanı
$P_{i,j}$	i işinin j iş merkezindeki işlem süresi	$G_{i,k}$	i işinin k iş merkezine geliş zamanı
T	Çizelgelemenin yapıldığı an		



#### 4. Uygulama

Bu çalışmada, parti hacmi yüksek olamayan siparişleri karşılamak için atölye tipi imalat sistemine göre yönetilen, sürece göre yerleşimin gerçekleştirildiği yirmi farklı rotaya sahip parçayı, temsili yerleşim planı aşağıda verilen ve her birinde farklı miktarda tezgah bulunan sekiz iş merkezinde imal eden bir işletmede dinamik çizelgelenmesine yönelik olarak, yukarıda verilen iş yükleme öncelik stratejileri simülasyon yaklaşımı ile denenerek en iyi ve tatminkar sonucu veren öncelik stratejisi belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen iş yükleme öncelik stratejileri, Arena simülasyon paket programı ile oluşturulan modeller ile çalıştırılmıştır.



Sistemimize siparişler normal dağılım arz eden iki farklı geliş hızına göre çalıştırılmış ve sistemimizin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu siparişlere ortalaması 100 gün standart sapması 2 gün olan normal dağılıma göre belirlenen süre, geliş zamanına eklenerek teslim tarihi belirlenmiştir. Siparişlerin sevki sipariş içerisinde yer alan tüm parçalar tamamlanıp paketlenerek belirlenen teslim tarihinde sevki sağlanmaya çalışılmaktadır. Parçalar için **Ek-1** de verilen olasılığa bağlı olarak sipariş açılmaktadır. Siparişte yer alan parçalar yine **Ek-1** de belirtilen parti hacimlerinden biri, seçilme şansı eşit olacak şekilde belirleniyor.

Sisteme gelen siparişler ilk operasyonlarından başlayarak tanımlı rotalarını takip ederek yapılmakta ve tüm operasyonlarını tamamlayarak mamul depoya gönderilmektedir. Açılan siparişin tüm parçaları atölyede işlenip mamul depoya alınmış ise paketlenerek sevki sağlanmaktadır. Burada iş merkezleri arasındaki taşıma sürelerinin 10 dk. da gerçekleşebildiği farz edilmiştir.

İş merkezlerinin önünde bir kuyruk noktası oluşturulmuş. İş merkezlerinde bulunan eş değer tezgâhlar, boşaldıkları zaman bu kuyrukta işlenmek için bekleyen işler arasından, aşağıda belirtilen öncelik kurallarından birini kullanarak atanacak iş seçilir. Bu çalışmada kullanılan iş yükleme stratejileri şunlardır.

**S1:** İlk Sisteme Gelen İlk İşlenir

**S2:** İş Merkezine İlk Gelen İlk İşlenir

**S3:** En Erken Teslim Tarihi öncelikli

**S4:** Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli

**S5:** Teslim için kalan sürenin, kalan işlem sayısına oranı en küçük olan öncelikli

**S6:** Kritik oranı en küçük olan öncelikli

**S7:** İşlem süresi en küçük olan öncelikli

**S8:** Toplam kalan işlem Süresi en küçük olan öncelikli

**S9:** Toplam İşlem Süresi en küçük olan öncelikli

Bu stratejiler talep geliş hızına ve atölyeye işlerin alınması yaklaşımına göre çalıştırılmışlardır. Denenen talep geliş hızları şunlardır.

• **SENARYO I:** Ortalaması 12 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre: Bu sipariş geliş hızı sistemimizde yer alan tezgâh parkımıza dengeli bir şekilde yük veren sipariş hızıdır. Bu sipariş hızında iş merkezlerimizin dolulukları tatminkâr bir seviyede gerçekleşmekte ve sistemimizi kilitleyecek boyutta da kuyruk oluşumları meydana gelmemektedir.

• **SENARYO II:** Ortalaması 10 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre: Bu sipariş geliş hızı sistemimizde yer alan tezgâh parkımıza kapasitesinin üzerinde bir yük veren sipariş hızıdır. Bu sipariş hızında iş merkezlerimizin dolulukları tatminkâr bir seviyede gerçekleşmekte, fakat sistemimizde zaman içerisinde sürekli artan bir kuyruk oluşumuna neden olmaktadır.

Çalışmamızda denenen atölyeye işlerin alınması yaklaşımları da şunlardır;

• **SENARYO (I/II)- I:** Birinci yaklaşımda gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alınmaktadır.

• **SENARYO (I/II)- II:** İkinci yaklaşımda ise gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyuna bakılarak gelen işler atölyeye alınmaktadır. Bu yaklaşımda ilk operasyonların gerçekleştirildiği iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyları beşin altında ise atölyeye girişe izin verilmektedir.

Yukarıda belirtilen senaryo yaklaşımlarına göre sistemimiz 36 farklı stratejiye göre çalıştırılarak sistemimizin davranışları belirlenmeye ve analiz edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda 12 değerlendirme kriterine göre **Ek-2** de tablolananmıştır. Tabloda ki senaryoların isimlendirilmeleri aşağıdaki örnekteki gibi yapılmıştır.

**SENARYO I-I-S1:** Sipariş geliş hızı ortalaması 12 gün standart sapması 1 gün olan normal dağılıma göre, gelen siparişler atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alınmakta ve iş merkezlerine bir iş seçilirken bekleyen işler arasındaki sisteme ilk gelen işin tercih edileceğini ifade eder.

## 5. Sonuç ve Değerlendirme

**Ek-2** de sunulan sonuçlara bakıldığında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- Sistemde işlemi tamamlanmış işler bakımından senaryolara bakıldığında zaman dengeli bir talep hızında (Senaryo I) S4 (Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli) ve S5 (Teslim için kalan sürenin, kalan işlem sayısına oranı en küçük olan öncelikli) senaryoları bir nebze daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Talep hızının arttırıldığı (Senaryo II) ve atölye yükünün artmasına neden olan senaryolarda işlem zamanına dayalı S7 (İşlem süresi en küçük olan öncelikli), S8 (Toplam kalan işlem Süresi en küçük olan öncelikli) ve S9 (Toplam İşlem Süresi en küçük olan öncelikli) senaryoların daha çok işlemi tamamlanmış işlerin oluştuğu görülmektedir.

- Atölyede bulunan ortalama iş adetleri olarak bakıldığında zaman, talep hızının arttırıldığı (Senaryo II) ve atölye yükünün özellikle ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boylarına bakılmaksızın, gelen işler direk olarak atölyeye alındığı (Senaryo (I/II)-I) senaryolarda gerek sistemin gerekse atölyedeki iş merkezlerindeki yüklerin arttığı görülmüştür. Bu oluşan yapı nedeniyle atölyede işlerin geçirdikleri sürelerde de, siparişlerin ortalama gecikme sürelerinde de benzer sonuçlar oluşmuştur.

Atölyedeki ilk operasyonların gerçekleştiği (M1, M2 ve M3) iş merkezlerinin önündeki kuyruk boyuna bakılarak gelen işlerin atölyeye alındığı (Senaryo (I/II)-II) senaryolarda yukarıdaki artışlar kadar aşırı gerçekleşmediği görülmüştür.

- Her iki temel senaryoda (Senaryo I ve Senaryo II) atölyedeki iş merkezlerinin kullanım oranları neredeyse tam doluluk seviyesine yakın olduğundan sistemden çıkışlar arası süreler birbirine yakın çıkmıştır. İşlerin sevk edilebilmesi için siparişte yer alan tüm işlerin tamamlanması şartı arandığı için işlem süresine dayanan S7, S8 ve S9 senaryolarında işlem süresi az olan işler öne alındığından siparişler tamamlanamamış ve sevk edilen siparişlerin azalmasına ve bu senaryolarda farklı çıkışlar arası süre oluşumlarına neden olmuştur.

Senaryolar sevk edilen siparişlerin gecikmeleri açısından değerlendirildiğinde teslim tarihine dayalı senaryoların S4 (Teslim için kalan süresi en az olan iş öncelikli), S6 (Kritik oranı en küçük olan öncelikli) ve S7 (İşlem süresi en küçük olan öncelikli) senaryolarının

biraz daha ön plana çıktığı görülmektedir. Ayrıca geciken sipariş adetlerine bakıldığında, teslim tarihi tayin edilirken dikkate alınan kriterin de yeniden değerlendirilmesinde fayda bulunmaktadır.

Çalışmamızda iş merkezleri arasındaki taşımaların sabit bir sürede gerçekleştirildiği varsayımı ile simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki çalışmalarda taşıma sisteminin sistem üzerindeki yükünü analiz edecek senaryolar oluşturulabilir.

Çalışma gerçek hayata geçirilirken sistemdeki değişimleri eşzamanlı takip edebilecek yapının kurgulanmış olması hayati önem arz etmektedir. Günümüzde sistemlerdeki değişimleri eşzamanlı olarak algılanabilen ve anında kullanılabilir bilgiye dönüştürülebilen otomasyon, görüntü işleme teknolojisi, barkod, radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemleri gibi üretim sistemlerinin kontrolüne dönük teknolojiler mevcuttur. Bu teknolojiler yardımı ile toplanacak bilgiler ışığında dinamik çizelgeleme imkânları oluşturulabilecektir. Bu çalışmada denenen ve bir bölümünde sistemin durumunu da eşzamanlı takip etmeyi gerektiren iş merkezlerine iş yüküne öncelik kurallarının yanı sıra sistemden toplanacak anlık verilere göre kararlar alan uzman sistem ve yapay zekâ yaklaşımları da uygulanabilir.

### Kaynakça

- Aydın M.E., Öztemel E., (2000). "Dynamic Job –Shop Scheduling Using Reinforcement Learning Agents", *Robotics and Autonomous Systems*, 33, 169-178.
- Bean, J. C., Birge, J. R., Mittenthal, J., Noon C. E. (1991). "Matchup Scheduling with Multiple Resources, Release Dates and Disruptions", *Operations Research*, 39/3, s. 470-483.
- Büyüksünetçi, A. S. (2006). *Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi*, (Basılmamış Yüksek Lisans Tezi), Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye
- Chang, F. C. R. (1997). "Heuristics for Dynamic Job Shop Scheduling with Real-Time Updated Queueing Time Estimates", *International Journal of Production Research*, 35/3, s. 651-665.
- Church, L. K, Uzsoy, R. (1992). "Analysis of Periodic and Event-Driven Rescheduling Policies in Dynamic Shops", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 5/3, s.153-163.
- Cowling, P., Johansson, M. (2002). "Using Real Time Information for Effective Dynamic Scheduling", *European Journal of Operational Research*, 139, s. 230-244.
- Dominic, P. D. D., Kaliyamoorthy, S., Kumar, S. (2004). "Efficient Dispatching Rules for Dynamic Job Shop Scheduling", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 24, s. 70-75.
- Elhüseyni, M. (2012) *Hipotetik Bir Tekstil Atölyesinin Dinamik Çizelgelenmesinde Yollama Kurallarının Benzetim Tekniğiyle Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Ersöz, S. ve Ersöz, O.Ö. (2015) *İşletmelerde Bilgi Sistemleri (Uygulamalı Örneklerle)*, Nobel Yayıncılık, Ankara, Türkiye
- Fang, J., Xi, Y. (1997). "A Rolling Horizon Job Shop Rescheduling Strategy in the Dynamic Environment", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13, s. 227–232.
- Fattahi, P., Fallahi A. (2010). "Dynamic Scheduling in Flexible Job Shop Systems by Considering Simultaneously Efficiency and Stability", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2, s. 114–123.
- Gao, Y., Ding, Y. S., Zhang, H. Y. (2009). "Job-Shop Scheduling Considering Rescheduling in Uncertain Dynamic Environment", *16th International Conference on Management Science & Engineering*, Moscow, Russia, s. 380-384.
- Kapanoglu, M., Alikalfa, M. (2011). "Learning IF–THEN Priority Rules for Dynamic Job Shops Using Genetic Algorithms" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, s. 47–55.

- Kundakcı, N. (2013) Üretim Sistemlerinde Dinamik İş Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Çözülmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye
- Kutanoğlu, E., Sabuncuoğlu, I. (2001). "Routing-Based Reactive Scheduling Policies for Machine Failures in Dynamic Job Shops", *International Journal of Production Research*, 39/14, s. 3141-3158.
- Lee, C. Y., Uzsoy, R. (1999). "Minimizing Makespan on a Single Batch Processing Machine with Dynamic Job Arrivals", *International Journal of Production Research*, 37/1, s. 219-236.
- Leon, V. J. Wu, S. D., Storer, R. H. (1994). "Robustness Measures and Robust Scheduling for Job Shops", *IIE Transactions*, 26/5, s. 32-43.
- Liao, C.J., Chen, W.J. (2004). "Scheduling Under Machine Breakdown in a Continuous Process Industry", *Computers & Operations Research*, 31, s.415-428.
- Liu, S. Q., Ong, H. L., Ng, K. M. (2005). "Metaheuristics for Minimizing the Makespan of the Dynamic Shop Scheduling Problem", *Advances in Engineering Software*, 36, s. 199-205.
- MacCarthy, B. L., Liu, J. (1993). "Addressing the Gap in Scheduling Research: A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Scheduling", *International Journal of Production Research*, 31/1, s. 59-79.
- Özkan, S.E. (2009) Farklı Kapasiteli Paralel Makinelerin Dinamik Çizelgenmesi İçin Sezgisel Bir Algoritma Ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Qiu, X., Lau, H. Y. K. (2013). "An AIS-Based Hybrid Algorithm with PDRs for Multi- Objective Dynamic Online Job Shop Scheduling Problem" *Applied Soft Computing*, 13, s. 1340-1351.
- Sabuncuoğlu, I. and Kizilisik, O. B., "Reactive Scheduling in a Dynamic and Stochastic FMS Environment," *International Journal of Production Research*, 41, 17, 4211-4231 (2003).
- Sabuncuoğlu, I., Bayız, M. (2000). "Analysis of Reactive Scheduling Problems in a Job Shop Environment", *European Journal of Operational Research*, 126, s. 567-586.
- Türker, A.K. (2011). "Üretim ve Hizmet Sistemlerinde Simülasyon ve ARENA", Kral Matbaa, ISBN:978-605-87375-0-1,
- Yang, J. B. (2001). "GA-Based Discrete Dynamic Programming Approach for Scheduling in FMS Environments", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics*, 31/5, s. 824-835.
- Zandieh, M., Adibi, M. A. (2010). "Dynamic Job Shop Scheduling Using Variable Neighbourhood Search", *International Journal of Production Research*, 48/8, s. 2449-2458.

**Ek-1.** Parçaların rotaları, iş merkezlerindeki birim operasyon süreleri, olası parti hacimleri ve açılan siparişe girme olasılığı.

<i>Parca No</i>	<i>Operasyon 1</i>	<i>Operasyon 2</i>	<i>Operasyon 3</i>	<i>Operasyon 4</i>	<i>Operasyon 5</i>	<i>Operasyon 6</i>	<i>Operasyon 7</i>	<i>Parti Hacmi</i>	<i>Olasılık</i>
1	m1 10	m2 17	m5 12	m4 4	m7 8			10-20-30	1
2	m1 16	m5 10	m4 8	m8 12	m6 12			10-20-30	1
3	m1 14	m6 8	m3 8	m4 10	m6 12			10-20-30	1
4	m1 12	m6 4	m3 8	m4 14	m5 8	m3 8	m6 10	10-20	1
5	m1 10	m4 6	m3 12	m5 13	m4 11	m6 5		10-20-30	1
6	m1 11	m2 10	m3 10	m4 7	m5 8	m4 12	m6 9	10-20	0,7
7	m1 9	m3 11	m4 14	m5 10	m4 12	m6 9		10-20-30	0,7
8	m2 11	m4 9	m5 9	m7 9	m8 11	m6 11		10-20-30	0,7
9	m2 9	m5 8	m4 12	m7 11	m6 10			10-20-30	0,7
10	m2 7	m3 11	m4 11	m8 11	m6 15			10-20-30	1
11	m2 8	m5 16	m6 11					10-20-30	1
12	m2 10	m5 9	m4 13	m8 10	m3 12			10-20-30	1
13	m2 4	m5 16	m4 12	m3 11	m4 14	m6 7		10-20	0,7
14	m2 8	m5 10	m4 5	m3 10	m2 11	m7 10	m4 12	10-20	0,7
15	m3 14	m6 12	m4 14	m8 14	m7 10			10-20-30	1
16	m3 8	m5 10	m4 10	m7 13				10-20-30	1
17	m3 14	m4 5	m8 12					10-20-30	1
18	m3 11	m5 16	m4 15	m6 10				10-20-30	0,7
19	m3 8	m4 11	m7 10	m6 12				10-20-30	0,7
20	m3 9	m5 13	m4 6	m8 12	m6 12			10-20-30	0,7

İş merkezlerindeki tezgâh sayıları

<i>Tezgah Sayısı</i>	<i>İş Merkezi 1</i>	<i>İş Merkezi 2</i>	<i>İş Merkezi 3</i>	<i>İş Merkezi 4</i>	<i>İş Merkezi 5</i>	<i>İş Merkezi 7</i>	<i>İş Merkezi 7</i>	<i>İş Merkezi 8</i>
	5	5	9	13	9	10	4	5

**Ek-2 Senaryolardan elde edilen sonuçlar**

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Gelen sipariş adedi	Senaryo I-I	99,00	99,00	99,00	101,00	101,00	101,00	99,00	99,00	99,00
Gelen sipariş adedi	Senaryo I-II	99,00	99,00	99,00	101,00	101,00	101,00	99,00	99,00	99,00
Gelen sipariş adedi	Senaryo II-I	118,00	118,00	118,00	121,00	121,00	121,00	118,00	118,00	118,00
Gelen sipariş adedi	Senaryo II-II	118,00	118,00	118,00	121,00	121,00	121,00	118,00	118,00	118,00
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sevk edilen sipariş adedi	Senaryo I-I	90,00	89,00	90,00	91,00	91,00	92,00	83,00	68,00	71,00
Sevk edilen sipariş adedi	Senaryo I-II	90,00	88,00	90,00	90,00	88,00	88,00	83,00	76,00	74,00
Sevk edilen sipariş adedi	Senaryo II-I	92,00	76,00	92,00	92,00	84,00	83,00	16,00	24,00	20,00
Sevk edilen sipariş adedi	Senaryo II-II	91,00	88,00	91,00	89,00	84,00	86,00	31,00	28,00	24,00
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Geciken sipariş adedi	Senaryo I-I	34,00	53,00	34,00	49,00	46,00	47,00	72,00	57,00	60,00
Geciken sipariş adedi	Senaryo I-II	40,00	52,00	40,00	49,00	39,00	41,00	67,00	62,00	60,00
Geciken sipariş adedi	Senaryo II-I	80,00	69,00	80,00	81,00	74,00	73,00	15,00	21,00	17,00
Geciken sipariş adedi	Senaryo II-II	79,00	81,00	79,00	79,00	72,00	76,00	29,00	26,00	22,00
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo I-I	17453,18	17453,18	17453,18	17262,35	17262,35	17262,35	17453,18	17453,18	17453,18
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo I-II	17951,09	17975,06	17951,09	18058,10	17981,19	18241,40	19466,81	21357,09	21754,38
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo II-I	14669,65	14669,65	14669,65	14366,84	14366,84	14366,84	14669,65	14669,65	14669,65
Sipariş Girişler Arası Süre	Senaryo II-II	14669,65	14669,65	14669,65	14366,84	14366,84	14366,84	14669,65	14669,65	14669,65
Senaryo I-I		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo I-I	17992,84	18215,66	17992,84	17744,56	17718,21	17633,87	19447,42	23141,89	22859,39
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo I-II	17951,09	17975,06	17951,09	18058,10	17981,19	18241,40	19466,81	21357,09	21754,38
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo II-I	17603,85	21102,57	17603,85	17676,92	19281,42	19485,12	105459,95	67211,89	81114,03
Sipariş Çıkışlar Arası Süre	Senaryo II-II	17725,25	18346,94	17725,25	18177,39	19026,41	18902,94	52030,97	58690,00	69128,72

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Siparişin sistemde geçirdikleri süre	Senaryo I-I	137282,76	153048,49	137282,76	148950,78	146330,40	146169,91	215883,18	208719,46	226483,17
Siparişin sistemde geçirdikleri süre	Senaryo I-II	138386,26	152909,05	138386,26	149875,47	151085,09	150956,70	205088,09	208275,92	223133,93
Siparişin sistemde geçirdikleri süre	Senaryo II-I	251622,46	346223,67	251622,46	269798,38	295263,67	313296,96	469197,99	371997,02	368033,06
Siparişin sistemde geçirdikleri süre	Senaryo II-II	250541,83	287795,64	250541,83	269137,53	290409,82	311760,13	436168,21	366251,61	401817,92
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Siparişlerin ortalama gecikme süresi	Senaryo I-I	4416,96	15171,87	4416,96	12315,65	8061,25	6436,74	54510,40	70217,74	64279,97
Siparişlerin ortalama gecikme süresi	Senaryo I-II	4101,63	14831,33	4101,63	14324,20	13966,21	14423,23	57634,73	60368,29	82453,25
Siparişlerin ortalama gecikme süresi	Senaryo II-I	100712,39	192793,69	100712,39	115983,76	145827,47	158160,32	278105,45	200455,31	217253,61
Siparişlerin ortalama gecikme süresi	Senaryo II-II	101116,88	131666,29	101116,88	120079,29	142502,61	148465,09	237390,58	179460,50	188658,61
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
İşlerin Sistemde Geçirdikleri süre	Senaryo I-I	96749,86	95218,63	96749,86	115164,36	118532,04	125809,09	85955,87	84391,78	83779,32
İşlerin Sistemde Geçirdikleri süre	Senaryo I-II	97249,64	95427,27	97249,64	115112,69	117338,68	120997,93	86632,75	85156,02	84980,54
İşlerin Sistemde Geçirdikleri süre	Senaryo II-I	213686,06	219706,95	213686,06	238800,72	237871,14	228401,82	105859,43	97721,64	91121,68
İşlerin Sistemde Geçirdikleri süre	Senaryo II-II	213092,21	212057,60	213092,21	237697,63	237789,25	230871,66	107528,86	105917,32	99817,81
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
İşlerin atölyede Geçirdikleri süre	Senaryo I-I	96724,29	95193,14	96724,29	115138,57	118506,23	125783,28	85930,40	84366,58	83754,10
İşlerin atölyede Geçirdikleri süre	Senaryo I-II	88849,86	87403,11	88849,86	100285,13	100944,11	102428,47	82740,54	80325,25	79870,34
İşlerin atölyede Geçirdikleri süre	Senaryo II-I	213660,42	219681,86	213660,42	238774,91	237845,51	228376,07	105834,44	97697,48	91097,37
İşlerin atölyede Geçirdikleri süre	Senaryo II-II	109834,32	112157,16	109834,32	106626,52	110850,96	100913,14	85486,16	87578,32	81024,97
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
İşlemi bitmiş iş sayısı	Senaryo I-I	1595,00	1598,00	1595,00	1623,00	1618,00	1612,00	1618,00	1600,00	1612,00
İşlemi bitmiş iş sayısı	Senaryo I-II	1596,00	1598,00	1596,00	1624,00	1621,00	1617,00	1611,00	1609,00	1612,00
İşlemi bitmiş iş sayısı	Senaryo II-I	1620,00	1581,00	1620,00	1638,00	1631,00	1661,00	1695,00	1726,00	1733,00
İşlemi bitmiş iş sayısı	Senaryo II-II	1621,00	1621,00	1621,00	1633,00	1636,00	1646,00	1727,00	1719,00	1723,00



		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Atölyedeki ortalama iş adedi	Senaryo I-I	93,82	92,58	93,82	113,28	116,49	123,33	84,95	88,69	87,03
Atölyedeki ortalama iş adedi	Senaryo I-II	85,60	84,38	85,60	97,78	97,62	99,14	81,58	81,17	81,23
Atölyedeki ortalama iş adedi	Senaryo II-I	245,17	259,63	245,17	278,23	279,00	268,82	206,04	190,50	191,12
Atölyedeki ortalama iş adedi	Senaryo II-II	107,99	110,74	107,99	104,60	110,93	100,46	94,25	104,32	100,04
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Sistemdeki ortalama iş adedi	Senaryo I-I	93,84	92,60	93,84	113,30	116,52	123,36	84,97	88,72	87,05
Sistemdeki ortalama iş adedi	Senaryo I-II	94,29	92,78	94,29	113,32	115,72	119,04	85,78	87,19	87,50
Sistemdeki ortalama iş adedi	Senaryo II-I	245,20	259,66	245,20	278,26	279,03	268,85	206,07	190,53	191,15
Sistemdeki ortalama iş adedi	Senaryo II-II	244,56	244,52	244,56	277,95	278,40	271,40	189,58	193,32	192,97