

# BİR ÜRETİM HÜCRESİNDE ÇEKME SİSTEMİNİN UYGULANABİLİRLİLİĞİNİN BENZETİM YÖNTEMİ KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI

M. Bülent DURMUŞOĞLU \*, Mesut ÖZGÜRLER \*\*, Bahadır GÜLSÜN \*\*

\* *İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*

\*\* *Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*

## ÖZET

Bu çalışmada, itme sistemi esasına dayalı kesikli parti üretimi yapan bir işletmede mevcut bulunan gerçek bir üretim hücresinde, çekme üretim kontrol sisteminin etkileri analiz edilip uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunun için, bir benzetim modeli geliştirilmiş, itme sisteminin yanı sıra, hücrenin çekme esasına göre işletilmesi durumundaki performansı saptanmıştır. Hücre için gerekli olan koşulların sağlanması durumunda, çekme tipi sistemin, itme tipi sistemden çarpıcı bir şekilde daha yüksek performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** İtme ve çekme sistemi, Hücresel üretim, Benzetim.

## GİRİŞ

Üretim kontrol sistemleri, çekme sistemleri (örneğin Kanban Sistemi) ve itme sistemleri (örneğin Malzeme İhtiyaç Planlaması) olmak üzere iki temel grupta sınıflandırılabilir [Kimura ve Terada, 1981]. İtme sistemleri olarak adlandırılan geleneksel üretim sistemlerinde parçalar üretilir ve bir sonraki sürece veya stok alanına gönderilir. Çekme sistemleri, sonraki süreçlerin önceki süreçlerden, sadece tükettikleri miktarda ve zamanda parça talep ettikleri ve çektikleri sistemlerdir ve bu nedenle talebin çektiği sistemler olarak da tanımlanırlar. Birçok yazar [Fox, 1984; Schroer vd., 1984; Bose ve Rao, 1988], Malzeme İhtiyaç Planlamasını (MİP) veya daha gelişmiş olan Üretim Kaynakları Planlaması (ÜKP) sistemini bir itme sistemi olarak, Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sistemini de [Monden, 1983; Rao, 1989; Occeña ve Yokato, 1991; Sumichrast vd., 1992] bir çekme sistemi olarak tanımlamışlardır.

Optimum Üretim Tekniği (OÜT) kavramının ortaya çıkışını hazırlayan neden MİP ve TZÜ sisteminin tek bir sistemde toplanmasının istenmesidir. OÜT, ÜKP ve TZÜ sistemi arasında bir köprüdür ve bu sistemlerin tipik özelliklerine sahiptir [Bose ve Rao, 1988, Ptak, 1991]. Huang, Rees ve Taylor [1988], Amerika'daki endüstriyel çevrelerde çekme sistemini kullanan sistemin itme sistemini kullanan sistemden daha iyi bir performans gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla bir benzetim çalışması yapmışlardır.

Sarker ve Fitzsimmons [1989], itme ile çekme üretim kontrol sistemlerinin performansları açısından karşılaştırmak için işlem süreleri değişiminin ve süreçler arası stokların, dokuz iş istasyonundan oluşan üretim hattının performansı üzerinde etkilerini incelemişlerdir. Üretim hızının, işlem süreleri değişim katsayılarına duyarlı olduğunu saptamışlardır.

Uzsoy ve Martin-Vega [1990], Sipper ve Shapira'nın bir üretim sisteminin çekme veya itme sistemlerinden hangisi ile kontrol edilmesi gerektiğini belirleyecek bir karar verme kuralı geliştirdiklerini bildirmişlerdir. Golhar ve Stamm [1991], hücresel üretim ortamında çekme sisteminin rolü üzerinde durmuştur. Durmuşoğlu [1991], hücresel üretim ortamında itme ve çekme sisteminin etkisini karşılaştırmak için bir benzetim çalışması yapmıştır.

Chu ve Shih [1992], TZÜ sisteminde benzetim çalışmaları yoluyla yaptıkları incelemeden, hazırlık süresi, parti miktarı, işleme süresindeki değişkenlik ve talep oranı gibi çeşitli

faktörlerin, TZÜ uygulamalarının başarısında ne denli önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bu sonuçlar da, bir TZÜ sisteminin tasarımı ve uygulamasında, bu faktörlere özel bir önem verilmesi gerektiğini gösterir.

Hodgson ve Wang [Savsar, 1996], TZÜ ve MİP politikalarını birleştirerek üretimin bazı aşamalarında bir itme politikası ve diğer aşamalarında bir çekme politikası kullanmanın daha iyi bir sistem performansına yol açacağı sonucuna varmıştır. Savsar [1997], bir montaj hattında haftalık talebi karşılamak amacıyla itme ve çekme sistemini benzetim yoluyla karşılaştırmıştır. Ertay [1998], bir üretim hücrelerinde itme ile çekme sistemlerini incelemek amacıyla bir benzetim modeli kurmuş ve bu sonuçları kullanarak iki sistemin performansını karşılaştırmak amacıyla bir ekonomik analiz yapmıştır.

Huang ve Kusiak [1998], süreç içi envanteri azaltmak, temin sürelerini kısaltmak, üretkenliği ve makina kullanım oranını arttırmak amacıyla karışık modelli atölye ve akış tipini kullanarak tekrarlı bir üretim ortamı için uygun olan, itme-çekme yaklaşımının uygulanması için bir yöntem geliştirmiştir.

Boney [1999], çeşitli şartlar altında itme ve çekme sisteminin sistem performansı üzerinde ne gibi bir etkiye sahip olduğunu analiz etmek amacıyla bir benzetim çalışması yapmıştır. Krishnamurthy [2000], çok ürünlü bir esnek üretim hattında itme ve çekme sisteminin etkilerini incelemek amacıyla bir benzetim çalışması yapmış ve sonuç olarak bu tip hatlarda itme ve çekme sisteminin birlikte kullanılabileceği kararına varmıştır.

Bu çalışmada da, itme sistemi esasına dayalı kesikli parti üretimi yapan bir işletmedeki üretim hücrelerinde, itme ve çekme üretim kontrol sistemlerinin etkilerini analiz etmek amacıyla bir benzetim çalışması yapılmıştır. Genel olarak çok hücreli bir sistemde, hücreler arasında çekme (Kanban) sisteminin kullanılabilmesi, hücre içinde ise itme sisteminin yeterli olduğu bilinmektedir. Ancak burada üzerinde tartışılan hücre, oldukça büyük bir hücre olduğundan, birden fazla işgören çalışacak ve bu nedenle itme sisteminin yanı sıra, çekme esasına göre işletilip analiz edilmesi halinde hücre performansının artıp artmadığının saptanması uygun olacaktır.

Analiz için gerçekleştirilen benzetimde, talep dalgalanması, yardımcı ekipman değişim süresi, itme sistemi için emniyet stoku, çekme sistemi için ise, izin verilen maksimum kuyruk uzunluğu faktörlerinin çeşitli seviyelerinin etkisi altında, hücre değerlendirilmiştir.

## ENDÜSTRİYEL ÜRETİM HÜCRESİ ve BENZETİMİ

Sözü edilen hücre, iki model traktörün [MF 240 KF ve MF 240 DF ismiyle anılan) arka çamurluklarından olan köşeli çamurlukları işleyen hücredir. Hücrenin benzetim modeli, SIMAN [Pegden, 1990] benzetim dili ile kodlanmıştır.

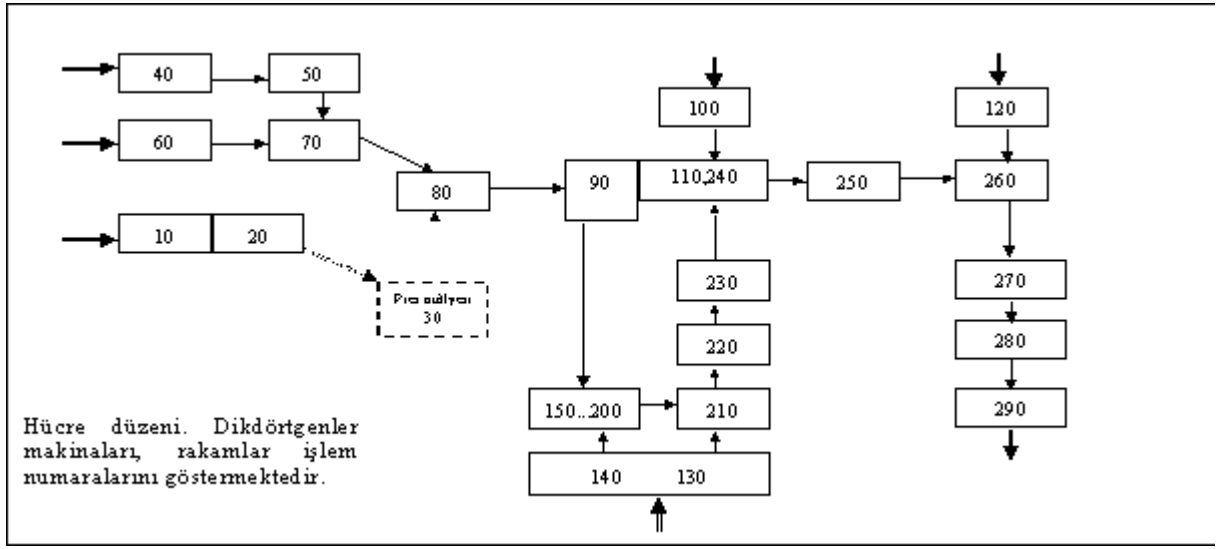
MF 240 KF ve MF 240 DF model traktörlerin seçilmesinin nedeni, piyasada en çok tutulan modellerdir ve işletmenin diğer 12 farklı model traktörü arasında aylık %50'den fazla bir satışa sahiptir. Tablo 1'de son üç yılın aylık traktör satışları gösterilmektedir. Köşeli çamurluğa ait işlem tanımları ve kullanılan makinalar ile hücre yerleşim düzeni Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise, köşeli çamurluk iş akış şeması gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Son Üç Yıla Ait Aylık Traktör Satışları

		1997-1998-1999 Yılları Aylık Traktör Satışları (adet/ay)				
Aylar	Gün*	1997	Gün	1998	Gün	1999
Ocak	25	428	26	678	24	1253

Şubat	23	649	22	1028	24	1896
Mart	24	887	26	1404	24	2589
Nisan	20	718	20	1137	18	2097
Mayıs	25	843	26	1335	25	2462
Haziran	25	1016	25	1609	26	2967
Temmuz	18	979	15	1552	18	2858
Ağustos	26	998	26	1583	26	2864
Eylül	26	791	26	1251		
Ekim	26	648	26	1025		
Kasım	25	714	25	1136		
Aralık	27	853	27	1354		

\* İşletmenin aylık fiili çalışma süresi



İşlem No	Yapılan İşlem	Önceki işlem	Sonraki işlem	Kullanılan Makinalar
10	Köşeli çamurluk üst kısım kenar kesimi	---	20	Kordon kesim T1
20	Köşeli çamurluk üst kısım kenar ütüleme	10	30	Kordon kesim T2
30	Köşeli çamurluk üst kısım A, B kenar bükme (Pres at.)	20	80	Eksantrik pres EXP
40	Sinyal sacı ütüleme	---	50	Kordon kesim T3
50	Sinyal sacı polisaj etme	40	70	Polisaj Tez. PT1
60	Tutamak kaynatma (TİG kaynağı)	---	70	TİG kaynağı S23
70	Sinyal sacına tutamak kaynak etme	50,60	80	Nokta punta kay. S6
80	Sinyal sacı kompleksini üst kısma kaynak etme	30,70	90	Nokta punta kay. S62
90	Üst kısım kaporta etme	80	150	Kaporta Tez. S70
100	Üst kısım kaporta etme	---	110	Polisaj Tez. PT2

110	Yan panel polisaj etme	100	240	Kaporta Tez. S69
120	Yan panel kenar bükme	---	260	Elektrik ark kay. S27
130	Sağ ve sol kuşaklara ara parça kaynak etme	---	210	Nokta direnç kay. S59
140	Ön braket somun kaynatma	---	170	Nokta direnç kay. S59
150	Arka braket somun kaynatma	90	160	Nokta direnç kay. S11
160	Köşeli çamurluk üst kısma braket kaynatma	150	170	Nokta direnç kay. S11
170	Çamurluk üst kısma kelepçe kaynatma	140,160	180	Nokta direnç kay. S11
180	Çamurluk üst kısma üst braket kaynatma	170	190	Nokta direnç kay. S11
190	Çamurluk üst kısma braket kaynatma	180	200	Nokta direnç kay. S11
200	Çamurluk üst kısma arka braket kaynatma	190	210	Nokta direnç kay. S11
210	Çamurluk üst kısma dört adet kelepçe kaynatma	130,200	220	Nokta direnç kay. S12
220	Çamurluk üst kısma ön braket kaynatma	210	230	Oksi asetilen kay. O1
230	Sinyal sacına ön braket oksijen kaynağı ile kaynatma	220	240	Polisaj tez. PT3
240	Üst kısım polisaj etme	110,230	250	Kaporta Tez. S69
250	Üst kısım yan yüzeyini çökerterek uydurma ve numaralama	240	260	Askılı nokta kay. S481
260	Çamurluk üst kısmı ve yan panele kaynak etme	120,250	270	Askılı nokta kay. S482
270	Çamurluk üst kısmı ve yan panele kaynak etme	260	280	Oksi asetilen kay. O2
280	Üst kısım ve yan panel kompleksine sağ ve sol kuşak kaynatma	270	290	Nokta direnç kay. S4
290	Üst kısım panel köşesini oksii-asetilen kaynağı ile kaynak etme	280	Boya	Polisaj tez. PT4
	Köşeli çamurluk kuşak kaynaklarını sıkılaştırma			
	Köşeli çamurluğu komple polisaj etme			

**Şekil 1.** Köşeli Çamurluk Üretim Hücresi Düzeni ve İşlem Planı



		Ekipman Değişim Süresi (dk)	Ortalama	Standart sapma	Min.	Maks.
10	Kordon kesim T1	20	0.489	0.117	0.261	0.739
20	Kordon kesim T2	20	0.661	0.135	0.338	0.976
30	Eksantrik pres EXP	30	1.171	0.329	0.675	1.802
40	Kordon kesim T3	20	0.172	0.028	0.130	0.257
50	Polisaj Tez. PT1	20	0.772	0.237	0.417	1.550
60	TİG kaynağı S23	20	0.448	0.087	0.318	0.655
70	Nokta punta kay. S6	20	0.494	0.132	0.296	0.771
80	Nokta punta kay. S62	20	0.651	0.274	0.349	1.139
90	Kaporta Tez. S70	30	2.320	0.619	1.577	3.581
100	Polisaj Tez. PT2	25	1.393	0.357	1.001	2.504
110	Kaporta Tez. S69	35	2.548	0.507	1.940	3.331
120	Elektrik ark kay. S27	30	1.612	0.681	0.727	3.355
130	Nokta direnç kay. S59	20	0.607	0.188	0.363	1.051
140	Nokta direnç kay. S59	20	0.353	0.068	0.280	0.515
150	Nokta direnç kay. S11	20	0.677	0.207	0.408	1.171
160	Nokta direnç kay. S11	20	0.674	0.255	0.292	1.225
170	Nokta direnç kay. S11	20	0.533	0.171	0.345	0.863
180	Nokta direnç kay. S11	20	0.521	0.170	0.343	1.004
190	Nokta direnç kay. S11	20	0.538	0.153	0.369	0.884
200	Nokta direnç kay. S11	20	0.676	0.244	0.424	1.186
210	Nokta direnç kay. S12	20	0.693	0.167	0.609	1.187
220	Oksi asetilen kay. O1	25	1.001	0.258	0.794	1.563
230	Polisaj tez. PT3	30	1.611	1.401	1.205	3.154
240	Kaporta Tez. S69	35	2.364	0.823	2.297	4.341
250	Askılı nokta kay. S481	40	4.479	1.523	3.215	5.790

260	Askılı nokta kay. S482	40	4.479	1.523	3.215	5.790
270	Oksi asetilen kay. O2	30	1.640	0.502	1.318	2.795
280	Nokta direnç kay. S4	30	1.609	0.551	1.002	2.914
290	Polisaj tez. PT4	35	4.288	0.493	2.923	5.308

### **Zaman Serileri Yardımıyla Gelecekteki Satış Tahminlerinin Belirlenmesi**

Geçmişteki satış kayıtlarına bakarak bir "trend" olup olmadığını tespit etmek, eğer bir "trend" varsa bundan yararlanarak gelecekteki talebi tahmin etmek ve benzetim modelinde kullanmak amacıyla zaman serileri kullanılmıştır. İşletmenin son üç yıla ait aylık satışları daha önceki Tablo 1'de gösterilmektedir.

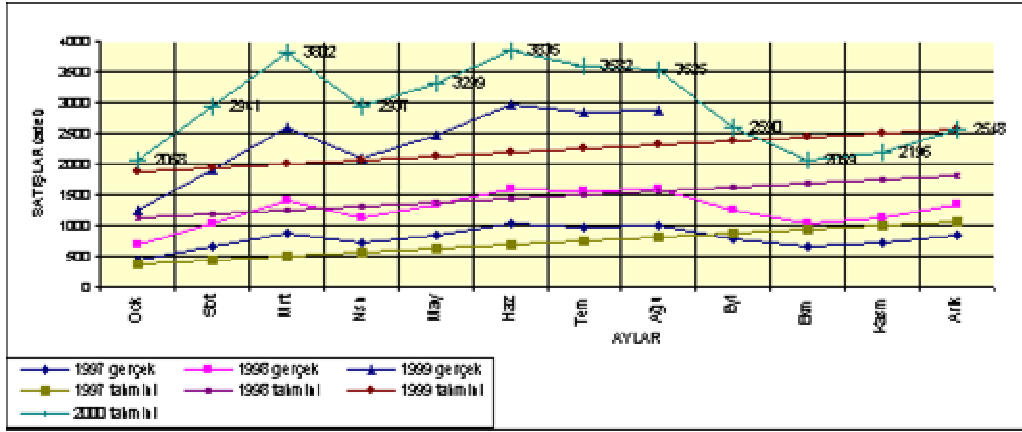
Tablo 1'deki veriler kullanılarak Şekil 3'deki zaman serileri elde edilir. Noktaların dağılımı incelenirse, satışların zamanla arttığı görülebilir. Burada değişmelerin bir doğru etrafında meydana geldiği varsayılmıştır.

Satışlar ile aylar arasında yakın bir ilişki bulunduğu görülür. Dolayısıyla satışların gelecekteki bir değeri için ne olacağını tahmin etmek mümkündür. Tablo 4'de son sütundaki rakamlar, gelecek yılların aylarına ait trend doğrusu değerlerini ayarlama faktörleridir. Regresyon denklemi ile gelecekteki herhangi bir periyodun satış değeri bulunur ve o aya ait ortalama oranla çarpılırsa gerçeğe daha yakın bir sonuç elde edilir. 2000 yılı için ayarlanmış satış tahminleri en son sütunda görülmektedir. Şekil 3'de ise 2000 yılı için mevsim etkisi hesaba katılmış (düzeltilmiş) satış tahminleri "2000 tahmini" grafiği ile gösterilmiştir. Kurulan benzetim modelinde, 2000 yılı için düzeltilmiş satış tahmin verileri kullanılmaktadır.

### **Kurulan Benzetim Modelinin Varsayımları**

Kurulan model için aşağıda belirtilen varsayımlar yapılmıştır,

- Kuyruk uzunluğu işlem sürelerini etkilememektedir.
- Makina sayısı benzetim çalışması boyunca sabittir.
- Kuyruklar ilk giren önce (İGÖ) işlem görür sıralama kuralına göre düzenlenmiştir.
- Her traktör için iki adet çamurluğa ihtiyaç duyulmaktadır.
- Zaman serileri yardımıyla bulunan 2000 yılı satış tahminleri benzetim modelinde talep verileri olarak kullanılmıştır.
- Hücrede her işgören, her makinaya atanabilmektedir. Başka bir deyişle esnek, çok fonksiyonlu işgörenler mevcuttur.
- Taşıma süreleri ile ilgili standart zamanlar, tempo ve toleransların (kişisel ihtiyaç, yorulma ve gecikme toleransları) normal zamana dahil edilmesi ile bulunmuştur.
- Makina arızaları, kusurlu parçalar, yeniden işlemler ve makinalar arası taşımalar göz ardı edilmiştir. Bunun nedeni bu gibi durumlarda işlenecek malzemenin hazır bulunacağını kabul edilmesidir. Üretimi tam zamanında gerçekleştirmenin amaçlarından biri, maliyeti yükselten, ancak ürüne katma değer sağlamayan tüm israfların yok edilmesidir. Hücresel üretim, taşımaları, hazırlık zamanlarını, parti büyüklüklerini ve atölyede bulunan yarı mamul ve mamul stoklarını azaltarak veya yok ederek bu amaca yardım eder. Bu nedenle benzetimi yapılacak itme ve çekme sisteminde söz konusu israfların, ihmal edilecek kadar küçük olduğu kabul edilmiştir.



**Şekil 3.** Son Üç Yıla Ait Aylık Gerçekleşen ve Tahmini Traktör Satışları

**Tablo 4.** Son Üç Yıla Ait Aylık Gerçekleşen ve Tahmini Traktör Satışları

1997-1998-1999 Yılları Aylık Traktör Satışları (adet/ay)											
Aylar	* Gün	1997		Gün	1998		Gün	1999		% Ort.	2000 +
		Gerçek	Tahmini		Gerçek	Tahmini		Gerçek	Tahmini		
Ocak	25	428	387	26	678	1129	24	1253	1870	79.2	2068
Şubat	23	649	449	22	1028	1191	24	1896	1932	110.0	2941
Mart	24	887	511	26	1404	1252	24	2589	1994	139.0	3802
Nisan	20	718	573	20	1137	1314	18	2097	2056	105.0	2937
Mayıs	25	843	634	26	1335	1376	25	2462	2117	115.4	3299
Haziran	25	1016	696	25	1609	1438	26	2967	2179	131.3	3835
Temmuz	18	979	758	15	1552	1500	18	2858	2241	120.1	3582
Ağustos	26	998	820	26	1583	1561	26	2864	2303	115.8	3525
Eylül	26	791	883	26	1251	1623			2365	83.4	2590
Ekim	26	648	943	26	1025	1685			2426	65.0	2059
Kasım	25	714	1005	25	1136	1747			2488	68.0	2196
Aralık	27	853	1067	27	1354	1808			2550	77.4	2548

\* İşletmenin aylık fiili çalışma süresi, + Ortalama değerlere göre düzeltilmiş 2000 yılı aylık tahmini satışları, % Trend doğrusu ayarlama faktörleri,

### Kurulan Benzetim Modelinin Algoritması

#### • Algoritma I (İtme sistemi)

Kurulan benzetim modelinin itme sistemi esasına göre algoritması Şekil 4'de görüldüğü gibidir.

#### • Algoritma II (Çekme sistemi)

İtme sisteminde kullanılan algoritma çekme sistemi için de geçerlidir. Hücrede çekme kontrolünü sağlamak için programa, ikinci bir alt program (çekme kontrolü modülü) eklenmiştir. Çekme sisteminin işleyişi Şekil 5'de görüldüğü gibidir.

### Deneylerin Tasarımı



Bu çalışmada analiz edilen faktörler; talep dalgalanması, yardımcı ekipman değişim süresi, itme sistemi için emniyet stoku, çekme sistemi için ise, maksimum kuyruk uzunluğu değişimidir. Bu faktörlerin değişik seviyelerindeki sistem performansları, aynı zamanda itme veya çekme sisteminden hangisinin, diğerinden daha yüksek performans gösterdiğini belirleyecektir.

**Ürün talebi ve dalgalanmaları:** Çekme sistemi sabit talep için idealdir. Bununla beraber talebin değişken dalgalanması gerçek hayatta kaçınılmaz bir durumdur. Talebin dalgalanabileceği sınırları test etmek için şu şartlar belirlenmiştir; Mevcut talep (Talep + % 0), Mevcut talebin %20 fazlası (Talep + % 20) ve mevcut talebin %20 eksiği (Talep - % 20) şeklinde gösterilmiştir.

**Yardımcı Ekipman Değişim Süresi (YED): İşlemlerin sürdürülebilmesi için gerekli olan kaynak makinaları için, elektrot, kaynak tüpü, punta vb. değişimi ve kontrol zamanlarıdır. Yardımcı Ekipman Değişim Süresi (YED) dalgalanması seviye gösterimi sınırları test etmek için şu şartlar belirlenmiştir; Mevcut YED (YED + % 0), Mevcut YED'in %20 fazlası (YED + % 20) ve mevcut YED'in %20 eksiği (YED - % 20) şeklinde gösterilmiştir.**

**İtme sistemi için emniyet stoku (Estk.) :** İtme sisteminde izin verilen maksimum emniyet stoku miktarını göstermektedir. Emniyet stoku seviye gösterimi: Emniyet stoku 0 (adet), (Estk. 0), 20 adet (Estk. 20), 50 adet (Estk. 50) şeklindedir.

**Çekme sistemi için maksimum kuyruk uzunluğu (Max.ku.):** Çekme sisteminde izin verilen kuyruk uzunluğunu göstermektedir. Maksimum kuyruk uzunluğu (adet) seviye gösterimi: 0 adet (Max.ku. 0), 1 adet (Max.ku. 1 ), 5 adet (Max.ku. 5) şeklindedir.

### **Benzetim Modelinde Ele Alınan Performans Ölçütleri**

İtme ve çekme sistemi şartları altında modelde ele alınan faktörlerin değişik seviyeleri için aşağıda belirtilen performans ölçüleri benzetim sonuçlarından elde edilmiş olup, bu sonuçlar Tablo 5 ve 6'da verilmiştir.

- Toplam stok maliyeti (TSM).
- Hücre temin süresi,
- Ortalama kuyruk süresi,
- Hücre çevrim süresi,
- Dönem içinde (gün bazında) elde bulunan ortalama stok miktarı,
- Kuyruk uzunlukları,
- Zamanında karşılanan talep oranı,

Bu performans ölçüleri içerisinde öncelikle TSM üzerinde durulmuştur. Bu önemli performans ölçülerinden biridir [Chu ve Shih, 1992]. Benzetim esnasında program içerisinde, aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Toplam Stok Maliyeti (TSM) = SSM + SBM + KSM

- Toplam Süreç içi stok maliyeti (SSM) = Temin süresi x Birim Süreç içi stok maliyeti,
- Temin süresi = İşlem süresi + Kuyruk süresi,
- Toplam Stok bulundurma maliyeti (SBM) = Elde bulunan stok x Birim Stok bulundurma maliyeti,
- Toplam Kayıp satış maliyeti (KSM) = Elde olmayan stok x Birim Kayıp satış maliyeti,

### **Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

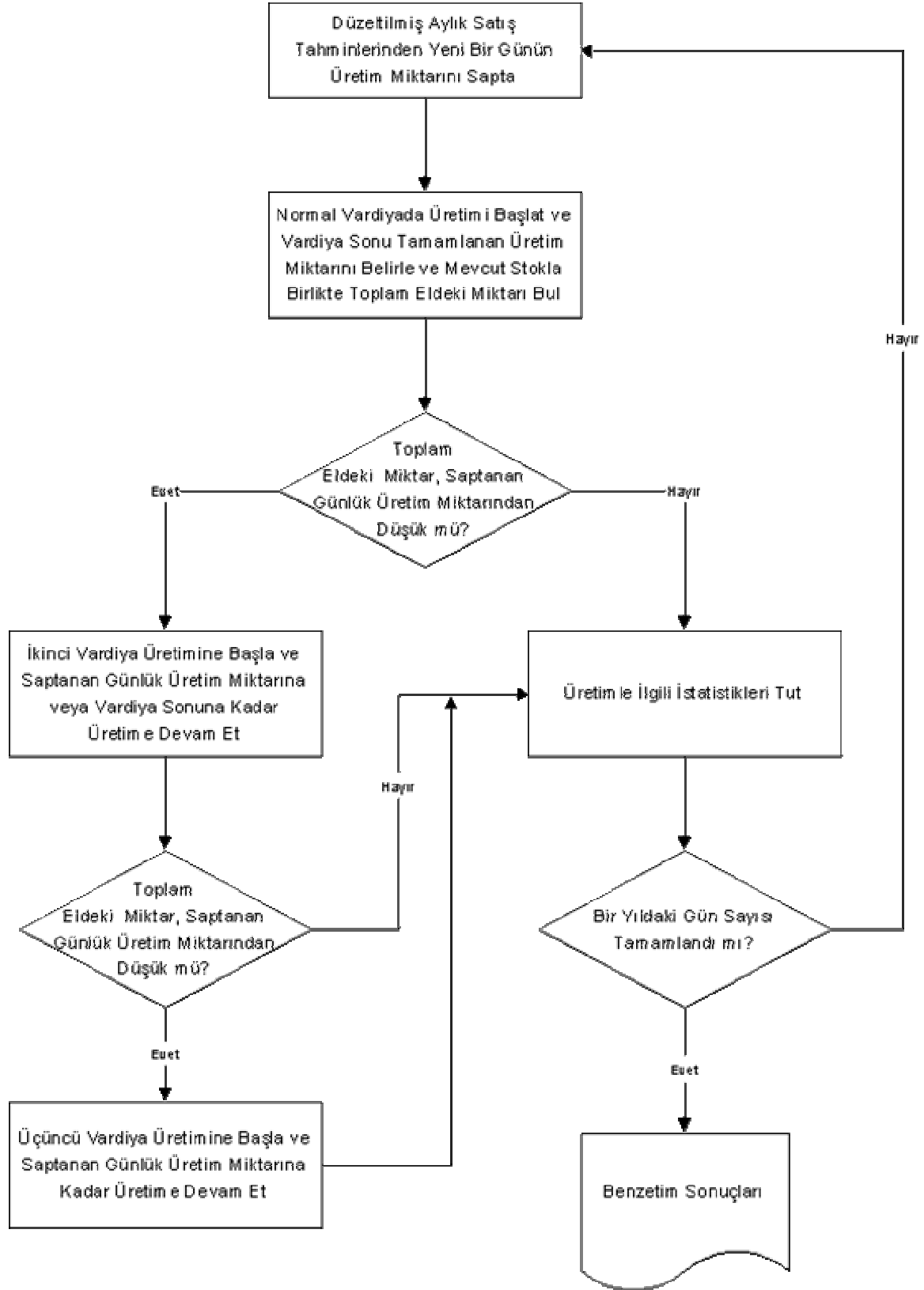
Tablo 5’de itme sistemi için talebin üç seviyesi olan mevcut talep ( Talep +%0), talebin %20 artması (Talep +%20), talebin %20 azalması (Talep -%20) ve emniyet stokunun sırasıyla 0, 20 ve 50 birim olması faktörleri altında elde edilen performans değerleri gösterilmiştir.

Tablo 6’da ise, çekme sistemi için talebin üç seviyesi olan mevcut talep ( Talep +%0), talebin %20 artması (Talep +%20), talebin %20 azalması (Talep -%20) ve müsaade edilen maksimum kuyruk uzunluğu 0, 1 ve 5 birim olması faktörleri altında elde edilen performans değerleri gösterilmiştir.

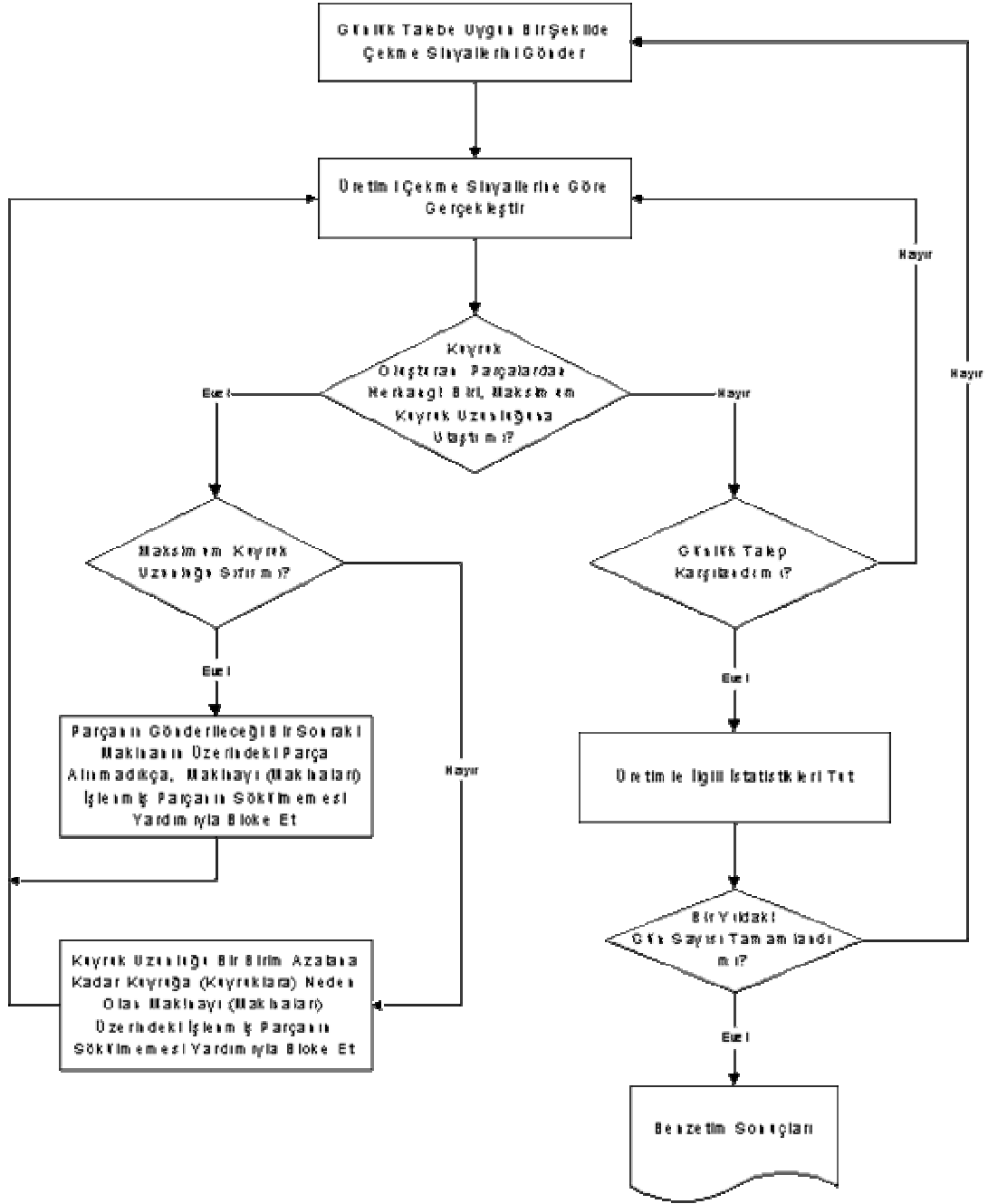
### **İtme Sistemini Etkileyen Faktörlerin Analizi**

Tablo 5’den görüleceği gibi YED faktörü talebin karşılanma oranı, temin süresi ve TSM performans ölçütü üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Örneğin YED değerinin %20 attırıldığı, talep şartının değişmediği ve “0” emniyet stoku durumunda, talebin zamanında karşılanma oranı sabit kalmakta, temin süresi ve TSM’deki çok düşük değişimin ise, ihmal edilecek derecede olduğu saptanmıştır.

Talebin artma durumunda ise, temin süreleri ve diğer performans ölçütlerinin bundan olumsuz derecede etkilendiği görülmektedir. Bu olumsuz etkinin emniyet stokunun artması ile de değişmediği yine Tablo 5’den izlenmektedir.



**Şekil 4.** Kurulan İtme Sistemi Benzetim Modelinin Algoritması



**Şekil 5.** Çekme Sisteminin Algoritması

**Tablo 5.** İtme Sistemini Kullanan Üretim Sisteminin Farklı Faktör Seviyelerindeki Performans Değerleri

	Performans ölçütleri	TALEP + % 0			TALEP + % 20			TALEP - % 20		
		Estk.	Estk.	Estk.	Estk.	Estk.	Estk.	Estk.	Estk.	Estk.
		0	20	50	0	20	50	0	20	50
YED.	Ort.ku	57	57	58	81	85	82	38	38	38
+ % 0	TS	897	900	903	1020	1034	1025	792	792	786

	ÇS	4.78	4.78	4.81	5.01	5.04	4.84	4.69	4.69	4.68
	KS	864	868	870	987	1001	992	759	759	753
	SK	81	81	81	25	125	125	91	91	91
	KTO %	77	78	83	65	74	77	80	83	89
	TSM	14669	15257	16863	21097	20785	21459	12057	12896	14074
YED. + % 20	Ort.ku	58	58	59	82	87	83	38	38	38
	TS	913	917	917	1034	1061	1039	807	806	780
	ÇS	4.83	4.83	4.80	5.05	4.90	4.88	4.74	4.73	4.72
	KS	880	884	884	1001	1028	1007	774	773	766
	SK	81	81	81	25	125	125	91	91	91
	KTO %	77	78	83	65	73	77	79	83	89
	TSM	14795	15384	16981	21243	21372	21622	12158	12984	14157
YED. - % 20	Ort.ku	57	57	57	80	83	82	37	37	37
	TS	883	887	889	1005	1017	1011	778	778	774
	ÇS	4.73	4.74	4.71	4.98	4.94	4.80	4.64	4.64	4.64
	KS	850	854	856	972	984	978	746	746	741
	SK	81	81	81	25	125	125	91	91	91
	KTO %	77	78	83	66	74	77	79	83	89
	TSM	14572	15166	16777	20924	20649	21339	11986	12825	14011

TS : Temin süresi, KS : Kuyruk süresi, KTO % : Zamanında karşılanan talep oranı,  
YED. : Yardımcı ekipman değişim süresi,  
ÇS : Çevrim süresi, SK : Kalan stok, TSM : Toplam stok maliyeti, Estk.  
: Emniyet stoku,  
Ort.ku : Ort. kuyruk uzunluğu.

**Tablo 6.** Çekme Sistemini Kullanan Üretim Sisteminin Farklı Faktör Seviyelerindeki Performans Değerleri

	Performans ölçütleri	TALEP + % 0			TALEP + % 20			TALEP - % 20		
		Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.	Max.ku.
		0	1	5	0	1	5	0	1	5
YED.	Ort.ku	0	1	2	0	1	2	0	1	2
+ % 0	TS	206	190	240	217	238	247	174	176	276

	ÇS	12.63	12.59	8.27	10.98	10.63	9.58	15.57	15.03	6.09
	KS	195	179	218	206	227	230	163	164	266
	SK	22	21	41	25	31	44	26	30	31
	KTO %	99	100	92	100	98	95	100	100	83
	TSM	3039	3130	4471	3647	4169	4955	2440	2530	3901
	Ort.ku	0	1	2	0	1	2	0	1	2
	TS	211	175	337	260	257	240	192	213	315
YED.	ÇS	13.05	11.91	5.90	11.21	11.07	10.55	15.54	14.00	5.50
+ %	KS	200	164	327	249	246	205	180	200	304
20	SK	30	31	23	34	36	41	27	25	- 45
	KTO %	100	99	81	98	98	100	100	98	79
	TSM	3132	3073	5146	4258	4263	4430	2486	3210	4169
	Ort.ku	0	1	2	0	1	3	0	1	2
	TS	175	175	239	204	206	207	169	156	224
YED.	ÇS	12.38	11.91	7.31	10.52	10.08	9.15	10.68	14.55	7.28
- %	KS	164	164	229	194	225	196	159	145	213
20	SK	22	31	44	31	29	42	60	26	34
	KTO %	100	99	87	99	97	96	82	100	88
	TSM	2788	3073	4597	3521	3898	4422	3451	2370	3650

*TS* : Temin süresi, *KS* : Kuyruk süresi, *KTO %* : Zamanında karşılanan talep oranı, *YED.* : Yardımcı ekipman değişim süresi, *ÇS* : Çevrim süresi, *SK* : Kalan stok, *TSM* : Toplam stok maliyeti, *Max.ku.* : İzin verilen maksimum kuyruk uzunluğu, *Ort.ku* : Ortalama kuyruk uzunluğu.

### **Çekme Sistemini Etkileyen Faktörler ve Ekonomik Çalışma Alanı:**

Çekme sistemi ile odaklanılan hücrenin performansı, seçilen performans ölçütlerine göre radikal bir şekilde artmaktadır.

Çekme sisteminin performansını etkileyen en önemli faktör Tablo 6'dan da izlendiği gibi, yardımcı ekipman değişim süresidir.

Çekme yapısında, talebin artış ve azalışı da performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Talebin bu dalgalanışının üretim maliyetini fazla etkilememesi için, yardımcı ekipman değişim süresi azaltılmalı, maksimum kuyruk uzunluğu sıfır olmalı, sadece talep düştüğünde kuyruk uzunluğunun bir birim olmasına izin verilmelidir. Yardımcı ekipman

değişim süresi arttığı zaman ise, temin süresi uzamakta ve performans olumsuz yönde etkilenmektedir.

## Üretimin Düzgünleştirilmesi

İtme sistemi için benzetim koşum sonuçlarından mevcut talep, mevcut YED ve 0 emniyet stoku için Tablo 7'de görülen ayrıntılı sonuçlar elde edilmiştir. Tabloda dönemler ayları, gün ise o ay içerisinde çalışılacak gün sayısını, ortalama günlük talep ve bu talebi karşılamak için gerekli çevrim süresi, temin süresi ve TSM görülmektedir.

Eğer günlük normal vardiyadaki üretim, saptanan üretim miktarını karşılayamamışsa, ikinci vardiyaya geçilir. İkinci vardiyada da, saptanan üretim miktarı karşılanamamışsa, üçüncü vardiya gerekir. (Şekil 4). Benzetim sonuçlarına göre saptanan vardiya farklarından dolayı, itme sisteminde günler arasında düzgün bir üretim göze çarpmamaktadır. Bu da üretim etkinliğini düşüren bir durumdur. [Miltenburg ve Sinnamon, 1989].

Yapılan benzetim deneyleri yardımıyla çekme sisteminin, mevcut talep, YED'in mevcut durumdan %20 azaltılması ve izin verilen maksimum kuyruk uzunluğunun sıfır olması şartıyla iki vardiyada düzgün üretim yapabileceği saptanmıştır. Buna göre Tablo 8'deki benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Çekme sistemi talep yükseldiği zaman çevrim süresini azaltarak, talep düştüğünde ise çevrim süresini yükselterek talebi karşılamaktadır. Buna göre, Tablo 8' den izlendiği gibi 1. dönem çevrim süresi birim başına 16.49 dk. iken, söz konusu çevrim süresi 2.dönemden sonra, talebin artması ile önemli oranda düşmektedir. Talebe uygun seçilen çevrim süresine, klasik çevrim süresi ile karışmaması için takt süresi denmektedir. [Edwards vd.,1993].

Çekme sistemi için, hücredeki işlemler, çevrim sürelerine göre gruplandırılarak dengelenmiştir. Her gruba bir işgören ataması yapılarak her dönem toplam çalışacak işgören sayısı bulunmuştur. 90, 110 ve 240 numaralı işlemleri (Şekil 1) yapacak olan kaporta işgörenleri ise, özel olarak yetişmiş elemanlardır. Bu yüzden bu işlemler için bir eleman görevlendirilmesi zorunluluğu vardır.

İşgören atamaları toplu olarak Tablo 9'da görülmektedir. Bu sonuçlar, hücrede talep azaldığında çevrim süresi ve bir işgörenin kullandığı makina sayısı arttırılarak grup sayısının azaltılması; talep arttığı zaman ise, çevrim süresi ve bir işgörenin kullandığı makina sayısı azaltılarak grup sayısının arttırılması gerektiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel hedeflerinden biri de, talebi karşılayacak şekilde işgücü performansının yüksek tutulması yoluyla hücrenin geliştirilmesidir. Bunun için de üretim hücresinde çalışan işgörenler, her görev için çok fonksiyonlu bir şekilde eğitilmiş olmalıdır. Çok fonksiyonlu eğitilmiş personel, işletmede büyük esneklik sağlar. Hücremizde ise, tüm işgörenlerin hücredeki tüm işleri yapabilme durumuna gelmeleri, Tablo 9'un son sütununda görüldüğü gibi belirlenen çevrim sürelerine göre, aynı miktardaki işin, daha az işgörenle yapılmasına imkan vermektedir. Başka bir deyişle işgören performansı arttırılmış olmaktadır.

**Tablo 7.** Mevcut Talep, Mevcut YED ve Emniyet Stoku Olmayan, İtme Sisteminde Dönemler İtibarıyla Talebe Bağlı Çevrim, Temin Süresi ve TSM Değişimi

Dönem	Gün	Günlük talep (adet/gün)		Çevrim süresi (dk)	Temin süresi (dk)	TSM
		Ortalama	St. sapma			
1	29	41	2.063	4.68	819	4497

2	29	38	9.064	4.68	655	4890
3	30	63	8.568	4.67	875	4510
4	28	72	0.994	4.96	994	6036
5	30	68	3.651	4.84	974	6358

**Tablo 8.** Mevcut Talep, YED (- %20) ve Maksimum Kuyruk Uzunluğu Sıfır Olan Çekme Sisteminde Dönemler İtibarıyla Talebe Bağlı Çevrim, Temin Süresi ve TSM Değişimi

Dönem	Gün	Günlük talep (adet/gün)		Çevrim süresi (dk)	Temin süresi (dk)	TSM	İtme sistemine göre TSM'de % azalma oranı
		Ortalama	St.sapma				
1	29	41	2.441	16.49	172	558	% 88
2	29	40	9.895	16.67	170	952	% 81
3	30	64	8.634	11.50	196	1199	% 73
4	28	72	0.995	10.74	206	1586	% 74
5	30	67	1.260	10.40	248	1680	% 74

**Tablo 9.** Dönemler İtibarıyla, İşlemlerin İşgörenler Arasında Dağılımı

Dönem	İşlem Grupları				Makina Gruplarında çalışacak hesaplanan işgören sayısı **	Makina Gruplarında çalışacak önerilen işgören sayısı ***
	1. Grup*	2. Grup	3. Grup	4. Grup		
1	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 130, 140, 150-200, 210, 220, 230, 100	110, 240, 250, 260, 120	270, 280, 290	-----	1. G: 3 2. G: 2 3. G: 1 <b>Toplam : 6 kişi</b>	1. G: 1 2. G: 1 3. G: 1 <b>Toplam : 3 kişi</b>
2	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 130, 140, 150-200, 210, 220, 230, 100	110, 240, 250, 260, 120	270, 280, 290	-----	1. G: 3 2. G: 2 3. G: 1 <b>Toplam : 6 kişi</b>	1. G: 1 2. G: 1 3. G: 1 <b>Toplam : 3 kişi</b>
3	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 130, 140, 150-200, 210	100, 110, 220, 230, 240	250, 120, 260	270, 280, 290	1. G: 3 2. G: 2 3. G: 1 4. G: 1 <b>Toplam : 7 kişi</b>	1. G: 1 2. G: 1 3. G: 1 4. G: 1 <b>Toplam : 4 kişi</b>
4	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 130, 140, 150-200	100, 110, 210, 220, 230, 240	250, 120, 260	270, 280, 290	1. G: 3 2. G: 2 3. G: 1	1. G: 1 2. G: 1 3. G: 1



					4. G: 1	4. G: 1
					<b>Toplam : 7 kişi</b>	<b>Toplam : 4 kişi</b>
5	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 140, 150- 200	100, 110, 130, 210, 220, 230, 240	250, 260	120, 270, 280, 290	1. G: 3	1. G: 1
					2. G: 2	2. G: 1
					3. G: 1	3. G: 1
					4. G: 1	4. G: 1
					<b>Toplam : 7 kişi</b>	<b>Toplam : 4 kişi</b>

## SONUÇ

Talebe uygun saptanan çevrim sürelerine (takt sürelerine) göre işgören atamaları yapıldığı zaman, söz konusu hücre itme sistemi yapısından, çekme sistemi yapısına geçmektedir. Bu da hücrenin talebe göre düzgün üretim yapabilme yeteneğini arttıracaktır. Hücrenin performansı da, YED süresinin kısaltılabildiği oranda ve kuyruğa izin vermeyen (maksimum kuyruk uzunluğu sıfır) yapıda artmaktadır.

Ayrıca hücredeki işgören performansının artmasında, çok fonksiyonlu işgörenlerin ne denli önemli olduğu, gerçek bir üretim hücresinde sayısal olarak gösterilmiş olmaktadır.

## KAYNAKÇA

1. Bonney, M. C., Zhang, Z., Head, M. A., Tien, C. C., ve Barson, R. J. [1999] "Are Push And Pull Systems Really So Different ?", International Journal of Production Economics, No.59, s. 53-64.
2. Bose, G.J., ve Rao, A. [1988] "Implementing JIT With MRP II Creates Hybrid Manufacturing Environment", Industrial Engineering, Eylül, s. 49-53.
3. Chu, C.H., ve Shih, W.L. [1992] "Simulation Studies in JIT Production", International Journal of Production Research, Cilt 30, No.11, s. 2573-2586.
4. Durmuşoğlu, B., Altuntemir, B., ve Akhun, M. [1994] "Bir Kesici Takım Üretim Sisteminde Tam Zamanında Üretime Geçiş I ", Mühendis ve Makina, Cilt 35, Sayı 409, s. 20-30.
5. Durmuşoğlu, M. B., [1991] "Comparison of Push and Pull System in A Cellular Manufacturing System", Just- In- Time Manufacturing Systems, Operational Planning and Control Issues, Ed: A. Şatır, Elsevier Science, s. 115-132.
6. Edwards, D. K., Edgell, R. C. ve Richa, C. E. [1993] Standard Operations - The Key to Continuous Improvement in a Just-In-Time Manufacturing System, Production and Inventory Management Journal, Cilt 34, No.3, s. 7-13.
7. Ertay, T., [1998], "Simulation Approach In Comparison Of A Pull System In A Cell Production System With A Push System In A Conventional Production System According To Flexible Cost: A Case Study", International Journal of Production Economics, No. 56, s. 145-155.
8. Fox, K.A. [1984] "MRP II Providing A Natural 'Hub' for Computer Integrated Manufacturing System", Industrial Engineering, Cilt 16, No.10, s. 44-50.
9. Golhar, D.Y., Stamm, C.L., ve Smith W.P. [1990] "JIT Implementation In Small Manufacturing Firms", Production and Inventory Management Journal, Second Quarter: 44-48.
10. Golhar, D.Y., ve Stamm, C.L. [1991] "The Just-In-Time Philosophy: A Literature Review", International Journal of Production Research, Cilt 29, No.4, s. 657-676.
11. Gülsün, B. [1998] Üretim Hücrelerinde İtme ve Çekme Tipi Üretim Kontrol Sistemlerinin Etkilerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama, Doktora Tezi (Yıldız Teknik

Üniversitesi, F.B.E.), İstanbul.

12. Gülsün, B., Özgürler, M. [1999] "Tam Zamanında Üretim Sisteminin Performansını Etkileyen Faktörler ve Ekonomik Çalışma Alanlarının Belirlenmesi", YTÜD, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, s. 102-112.
13. Huang, C.C., ve Kusiak, A. [1998] "Manufacturing Control With A Push-Pull Approach", International Journal of Production Research, Cilt 36, No.1, s. 251-275.
14. Huang, P.Y., Rees, L.R., ve Taylor, III, B.W. [1988] "A Simulation Study of The Japanese Just-In-Time Technique (With Kanban) for A Multistage Production System", Decision Science, Cilt 13, s. 326-344.
15. Kimura, O. ve Terada, H. [1981], " Design and Analysis of Pull System, A Method of Multi-Stage Production Control", International Journal of Production Research, Cilt 19, No.3, s. 241-253.
16. Krishnamurthy, A., Suri, R., ve Vernon, M., [2000], "Push Can Perform Better Than Pull For Flexible Manufacturing Systems With Multiple Products", Industrial Engineering Research 2000 Conference Proceedings, Institute for Industrial Engineers, Norcross, GA, USA.
17. Miltenburg, J. ve Sinnamon, G. [1989] "Scheduling Mixed-Model Multi-Level Just-In-Time Production System", International Journal of Production Research, Cilt 27, No.9, s. 1487-1509.
18. Monden, Y. [1983] Toyota Production System - Practical Approach to Production Management, IIE Press.
19. Occeña, L.G., ve Yokota, T. [1991] "Modelling of An Automated Guided Vehicle System (AGVS) in A Just-In-Time (JIT) Environment", International Journal of Production Research, Cilt 29, No.3, s. 495-511.
20. Pegden, C.D., Shannon, R.E., Sadowski, R.P. [1990] Introduction Simulation With SIMAN , McGraw-Hill, Newyork.
21. Ptak, C.A. [1991] "MRP, MRP II, OPT, JIT and CIM- Succession, Evolution, or Necessary Combination", Production and Inventory Management Journal, Second Quarter, s. 7-11.
22. Rao, A. [1989] "A Survey of MRP-II Software Suppliers' Trends in Support of Just-In-Time", Production and Inventory Management Journal, Third Quarter, s. 14-17.
23. Sarker, B.R., ve Fitzsimmons, T.A. [1989] "The Performance of Push and Pull Systems: A Simulation and Comparative Study", International Journal of Production Research, Cilt 27, No.10, s. 1715-1731.
24. Savsar, M. [1996] "Effects of Kanban Withdrawal Policies and Other Factors on The Performance of JIT Systems-A Simulation Study", International Journal of Production Research, Cilt 34, No.10, s. 2879-2899.
25. Savsar, M., [1997], "Simulation Analysis of A Pull-Push System For An Electronic Assembly Line", International Journal of Production Economics, No. 51, s. 205-214.
26. Schroer, B.J., Black, J T. ve Zhang, S. X. [1984] "Microcomputer Analyses 2-Card Kanban System For 'Just-In-Time' Small Batch Production", Industrial Engineering, Cilt 16, No.6, s. 54-65.
27. Sumichrast, R.T., Russel, R.S., ve Taylor, B.W. [1992] "A Comparative Analysis of Sequencing Procedures for Mixed-Model Assembly Lines in A Just-In-Time Production System", International Journal of Production Research, Cilt 30, No.1, s. 199-214.
28. Uzsoy, R., ve Martin-Vega, L.A. [1990] "Modelling Kanban - Based Demand - Pull Systems: A Survey and Critique", Manufacturing Review, Cilt 3, No.3, s. 155-160.