

TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİNDE BAKIM POLİTİKALARININ ETKİSİ

İsmail KARAOĞLAN, Fulya ALTIPARMAK ve Berna DENGİZ*

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara

* Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara

ikaraoglan@gazi.edu.tr, fulyaal@gazi.edu.tr, bdengiz@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 19.01.2006; Kabul/Accepted: 05.10.2006)

ÖZET

Tam Zamanında Üretim (TZÜ) sisteminde ara stok seviyesi düşük olduğu için makine arızaları sistemin verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada, tek ünlü, çok hatlı ve çok aşamalı bir TZÜ sisteminde düzeltici ve koruyucu bakım politikalarının, kanban sayısının ve makinelerin arızalar arası ortalama sürelerinin etkisi benzetim tekniği kullanılarak incelenmiştir. Sistemde izin verilen kanban sayısı, arızalar arası ortalama süre ve koruyucu bakım politikaları dikkate alınarak yapılan bu deney tasarımı uyarınca, hangi koşullarda hangi bakım politikalarının performans ölçütleri üzerinde etkisi olduğu ayrıca incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tam zamanında üretim, bakım politikası, düzeltici bakım, koruyucu bakım.

ANALYSIS OF MAINTENANCE POLICIES IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEM

ABSTRACT

Due to smaller amount of in-process inventory available in a Just in Time (JIT) production environment, machine failures have a greater impact on the productivity of a system. Therefore, in this study, the effects of corrective and preventive maintenance policies on a single product, multi line multi stage JIT system have been examined using simulation technique. An experimental design was carried out to examine the effects of number of kanban and mean time between failures of machines in addition to maintenance policies on the considered performance measures of the system.

Keywords: Just-in-time, maintenance policy, corrective maintenance, preventive maintenance.

1. GİRİŞ

Çekme sistemi olarak da adlandırılan tam zamanında üretim (TZÜ), bir üretim prosesinde ihtiyaç olduğu anda üretimin gerçekleşmesine dayalı bir felsefedir. Japonlar tarafından önerilen TZÜ sisteminde, üretimin her aşamasındaki aşırı stokları önlemek amacıyla bir sonraki üretim aşamasında yarı ürünlerin işlenmeye başladığı an gerekli olan ara ürün bir önceki üretim aşamasından talep edilir yada çekilir. Böylece her aşama bir sonraki aşamanın ihtiyacı olan talebi karşılamak için tam zamanında üretim yapar.

Bir TZÜ sisteminin temel elemanı, üretim sisteminde yarı mamullerin nasıl çekileceğini belirleyen bilgi kontrol sistemidir. Bu sistem, malzeme akış zamanını

ve miktarını gösteren *kanban kartları* ile oluşturulur. TZÜ sistemlerinde genellikle *üretim sipariş kanbanı* ve *çekme kanbanı* olmak üzere iki tür kanban kullanılır. Üretim sipariş kanbanı bir üretim aşamasında üretilmesi gereken ürün miktarını, çekme kanbanı ise ardıl üretim aşamasının öncül üretim aşamasından çekmesi gereken ürün miktarını gösterir. Her üretim aşamasında stok düzeyi, taşıyıcılara yada ürünlere takılan kanbanların toplam sayısı ile belirlenir. Kullanılan kanban tiplerinin yanı sıra, bir TZÜ sisteminin çalışmasında etkili olan diğer bir faktör de kanban çekme politikasıdır. Literatürde, kanban çekme politikası olarak iki farklı yaklaşım vardır. Birinci yaklaşım *sabit çekme çevrimi-değişken sipariş miktarı* politikasıdır. Bu politikada, kanban noktasında toplanan kanban sayısına bakılmaksızın sabit zaman aralıklarında kanban çekimi gerçekleşir.

İkinci yaklaşım ise *değişken çekme çevrimi-sabit sipariş miktarı* politikası olarak adlandırılır. Bu politikada ise kanban çekimleri arasındaki zaman değişken, kanban sayısı sabittir. Bu iki politika arasındaki seçim yönetime bağlıdır. Ancak, literatürdeki çalışmalarda ve gerçek hayattaki uygulamalarda değişken çekme çevrimi-sabit sipariş miktarlı yaklaşımın daha sık kullanıldığı görülmektedir.

1980'li yıllarda ilk defa Toyota montaj hatlarında uygulanan TZÜ sistemine gösterilen ilgi günümüzde büyük bir hızla artmaktadır. Çeşitli araştırmacılar, TZÜ sisteminin farklı yönlerini incelemiştir. Monden [1], Toyota TZÜ sistemini ve bu sistemin nasıl çalıştığını incelemiştir. Schonberger [2], USA'da TZÜ uygulamalarının başarılı olması için kültürel ve zihinsel değişimlere ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. Hall [3], TZÜ metodolojisini ve üretim verimliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Im [4], Sohal ve arkadaşları [5], Huang ve Houck [6] ve Treleven [7] tarafından yapılan literatür araştırmalarının yanısıra bu konuda en geniş literatür araştırması Golhar ve Stamm [8] tarafından yapılmıştır. Ayrıca çeşitli araştırmacılar, TZÜ üretim sistemlerinin ana özelliklerinin anlaşılması ve modellenmesi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Örneğin, Philipoom ve diğerleri [9], USA'deki bir işletmede TZÜ sisteminde işlem zamanlarına ait değişim katsayılarının ve makine kullanım oranlarının, gerekli kanban sayısına etki eden faktörler üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Huang ve diğerleri [10], Sarker ve Harris [11], Sarker [12], Sarker ve Fitzsimmons [13], Sarker [14], Erol ve diğerleri [15], Baykoç ve Erol [16] da bu konuda yapılan diğer bazı çalışmalardır. Dengiz ve Akbay [17] TZÜ ile itme sistemini karşılaştırarak, TZÜ için gerekli kanban sayısını bulmak amacıyla sistemin benzetim modeli ve regresyon metamodeli ile çalışmışlardır. Alabaş ve diğerleri [18] en iyi kanban sayısını belirlemek üzere iki ürünlü bir üretim sistemini benzetim modeliyle incelemiştir. Bu çalışmalar, sistemde mevcut makinelerin güvenilir olduğu yani arızalanmaların söz konusu olmadığı varsayımı altında yapılmıştır. Bu varsayım, ideal bir koruyucu bakım politikasının sistemi çalışır durumda tutmak için yeterli olduğu hipotezine dayalıdır.

TZÜ sisteminde makine arızalarının sistemin performans ölçütlerine etkisi itme sistemine göre çok daha fazladır [2]. İtme sisteminde bir arıza meydana geldiğinde ara stoklar tüm hattın durmasını engelleyebilirken, çekme sistemlerinde mevcut ara stok seviyesi çok düşük olduğundan dolayı herhangi bir arızalanma tüm hattın durmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle, uygun bakım politikasının kullanılması zamansız yenileme maliyetini önlerken, üretimin sürekliliğini sağlar. Bakım yönetimi konusu sadece TZÜ sistemi için değil toplam kalite yönetimi (TKY) ve esnek üretim sistemleri (EÜS) için de büyük önem taşımaktadır. Tajiri ve Gotoh [19] esnek ve güvenilir olmayan üretim ekipmanlarından dolayı TZÜ ve TKY'nin bir takım olumlu etkilerinin ortadan kalktığını göstermişlerdir.

Bu çalışmada, çok aşamalı çok hatlı bir TZÜ sisteminin performans ölçütleri üzerinde bakım politikalarının etkisi incelenmektedir. Bu amaçla, sistemin benzetim modeli ARENA benzetim dili ile kodlanmıştır. Çalışmanın 2. bölümünde bakım planlaması ve bu amaçla kullanılan politikalar açıklanmaktadır. 3. bölümünde bu çalışmada dikkate alınan TZÜ sistemi ve ilgili kabuller verilmekte, 4. bölümünde ise deneysel çalışma sonuçları değerlendirilmektedir. 5. Bölüm ise genel bir değerlendirmenin yapıldığı sonuç bölümüdür.

2. BAKIM POLİTİKALARI

TZÜ sisteminin amacı, ürünleri istenilen miktarda ve istenildiği zamanda üretmektir. Bu üretim sisteminin etkin bir şekilde çalışması üretim sürecindeki makinelere uygulanacak bakım politikalarına bağlıdır. Bu nedenle sürecin belirli zamanlarda muayenesi, bakımı, arızaların belirlenmesi ve olası en kısa sürede giderilmesi önem kazanmaktadır.

Bakım politikaları; i) arıza oluş sıklığını azaltmaya yönelik, ii) arızanın etkisini azaltmaya yönelik politikalar olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Çizelgenmiş bir plan dâhilinde yapılan bakım çalışmaları ile arıza oluş sıklığını azaltmaya yönelik politikalar *koruyucu bakım (preventive maintenance)* politikaları olarak da adlandırılır. Arızanın etkisini azaltmaya çalışan politikalarda ise sistem veya kaynaklarındaki çok ciddi sonuçları önlemek yada sistemin güvenliğini korumak için bakım çalışmaları yapılır ve *düzeltilici bakım (corrective maintenance)* politikası olarak adlandırılır [20].

TZÜ sisteminin felsefesine uygun olarak her aşamada koruyucu bakım işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, Toyota üretim sisteminde her işçi, ilgili olduğu makinenin temizliği, ayarlanması ve parça değiştirilmesi gibi basit bakım işlemlerini gerçekleştirmektedir.

TZÜ sisteminde bakım politikalarının dikkate alındığı çalışmalar genellikle tek ürünlü, tek hatlı, çok aşamalı sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Albino vd. [21], tek ürünlü tek hatlı 3 aşamalı bir TZÜ sisteminde koruyucu bakım ve düzeltilici bakım politikaları ile farklı kanban sayılarının ara stok düzeyi, yok satma düzeyi ve çevrim zamanı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Abdunour ve diğerleri [22], koruyucu bakım ve *k.* arızalanmadan sonra koruyucu bakım politikalarını tek ürünlü, tek hatlı çok aşamalı TZÜ sistemi üzerinde incelemiştir. Bu çalışmada bakım politikalarının yanısıra kanban sayısı, hattaki aşama sayısı, tamir süresi, işlem süresi gibi faktörler de dikkate alınmıştır. Savsar [23], tek ürünlü, tek hatlı, 5 aşamalı TZÜ sisteminde düzeltilici bakım ve koruyucu bakım politikalarının aylık ürün miktarı, ekipman kullanım oranı ve toplam ara stok düzeyi üzerindeki etkilerini incelemiştir ve bakım politikalarının yanı sıra farklı kanban sayılarını da dikkate almıştır. Azadivar ve Shu [24], bir TZÜ sistemi için uygun bakım politikasının seçiminde rol oynayan faktörleri incelemiştir. Çalışmada, ürün çeşidi, her

ürün için işlem sayısı, iş rotası karmaşıklığı, arızalar arası ortalama süre gibi 16 faktör tanımlanmıştır. Kesirimsi bakım, düzeltici bakım, fırsatçı bakım, zamana dayalı koruyucu bakım ve arızalar arası ortalama zamana dayalı koruyucu bakım olmak üzere 5 farklı bakım politikasının etkinliği faktörlerin çeşitli kombinasyonları için değerlendirilmiştir. Sistemin servis kalitesi performans ölçütü olarak dikkate alınmıştır.

Diğer bazı üretim sistemleriyle ilgili bakım politikalarının etkisini inceleyen çalışmalar ise şöyle sıralanabilir. Flynn [25], grup teknolojisi için kritik makineye dayalı koruyucu bakım politikalarının etkisini incelemiştir. Banerjee ve diğerleri [26], benzetim deneyleri ile grup teknolojisi çevresinde bazı bakım politikalarının performansını değerlendirmişlerdir. Vineyard ve Meredith [27], benzetim tekniğini kullanarak EÜS' deki arızalanmalarda bakım politikalarının etkilerini incelemiştir. Araştırmada, bir kritik makinenin arızalanması bu gruptaki tüm makinalara koruyucu bakımın uygulanmasında bir tetikleyici olarak dikkate alınmaktadır. Vineyard ve diğerleri [28], esnek üretim sistemini kullanan bir işletmede düzeltici bakım politikası ile zamana ve olaya dayalı dört farklı koruyucu bakım politikalarının etkisini benzetim tekniği ile incelemiş ve olaya dayalı koruyucu bakım politikasının bu sistem için uygun olduğunu istatistiksel analiz ile göstermişlerdir. Savsar [29, 30], makine bozulmalarının dikkate alındığı esnek üretim sisteminde herhangi bir bakım politikasının uygulanmadığı durum için stokastik modeller geliştirmiştir. Savsar [31], esnek üretim sisteminde, analitik ve benzetim tekniklerini eşzamanlı kullanarak bakım politikalarının etkisini incelemiştir. Kobbacy [32], bakım işlemlerinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için bilgiye dayalı bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada, bakım fonksiyonları için bir zeki sistemin gerekli özellikleri kullanılmıştır. Ulusoy ve diğerleri [33], büyük bir döküm atölyesinde bakım planlama ve kontrol sistemi tasarlamış ve uygulamışlardır.

3. PROBLEMİN TANIMI

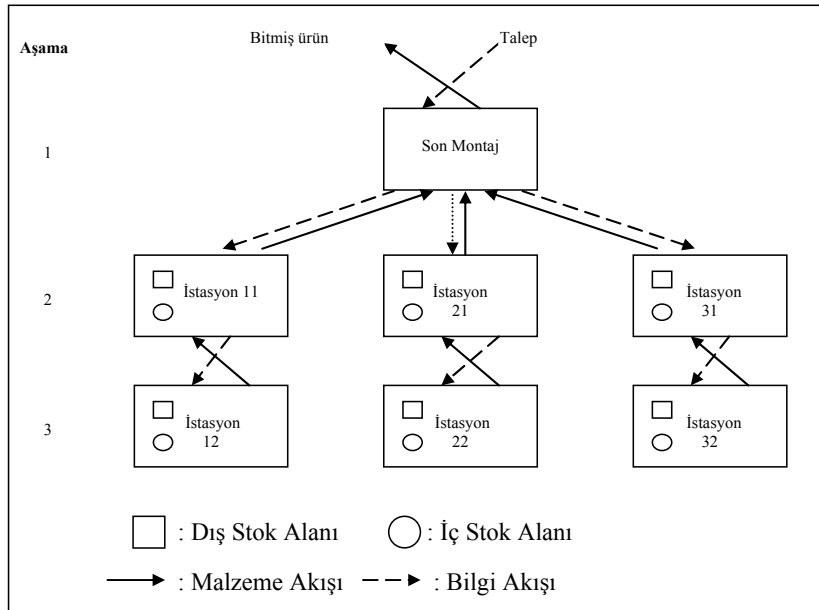
Şekil 1'de görüldüğü gibi son montaj hattını besleyen üç hatlı, iki aşamalı bir TZÜ sistemi dikkate alınmıştır. Şekilde her aşamadaki birimler iç ve dış stok noktasına sahip bir istasyonu göstermektedir. Bir istasyonun dış stok noktasından bir sonraki istasyonun iç stok noktasına malzeme akışı çekme kanbanı ile kontrol edilmektedir. Diğer taraftan üretim kanbanı, istasyon içinde parçaların üretimini ve hareketini kontrol etmektedir.

Sistem ile ilgili varsayımlar şöyledir:

1. Üretim emri son istasyona gelen talep ile verilmektedir.
2. Her hattın ilk istasyonunda hammadde problemi yoktur.
3. İstasyonlar arası taşıma süresi göz ardı edilmiştir.
4. Kuyruklar, ilk giren ilk çıkar prensibine göre çalışmaktadır.
5. Her taşıyıcı bir birim kapasiteye sahiptir.
6. Parçalar makinelerde birer birer işlem görmektedir.
7. Üretim ve çekme kanbanı sayıları eşittir. Yani kanban sayısının 2 olması, her aşamada 2 üretim ve 2 çekme kanbanı olduğu anlamına gelmektedir.
8. Kanban çekme politikası olarak sabit sipariş miktarı-değişken çekme çevrimi politikası kullanılmıştır.

Bakım Politikaları:

Bu çalışmada *düzeltilici bakım* ve *koruyucu bakım* olmak üzere iki bakım politikası dikkate alınmıştır. *düzeltilici bakım* politikasında, makine arızalandığı anda tamir edilmektedir. *Koruyucu bakım* politikasında ise hem makine bozulduğunda tamir edilmekte hem de belirli zaman aralıklarında bakım uygulanmaktadır. Koruyucu bakım her vardiyanın başında yapıp, makinenin temizlenmesi, yağlanması, ayarlanması ve parça değiştirilmesi gibi işlemleri içermektedir. Bu bakım politikasında makine boş iken bakım işlemi gerçekleştirildiği için üretim aşamasında bakımdan dolayı bir kesinti söz konusu değildir.



Şekil 1. Üç hatlı, iki aşamalı TZÜ sistemi

Düzeltilici bakım politikasında arızalar arası zaman aralığı 0 ile b arasında değişen düzgün dağılıma uygun olarak alınmıştır. Sisteme sadece düzeltilici bakım politikası uygulandığında, makinelerde aşınmalar söz konusudur. Arızalanmalar rassal olarak ortaya çıkabilirdiği gibi aşınmaya bağlı olarak da ortaya çıkabilmektedir. Düzgün dağılım, rassal ve aşınmadan ortaya çıkan arıza oranını tanımlamak için literatürde kullanılmaktadır [21, 23]. Düzeltilici bakım politikası kullanıldığında $t=0$ zamanında arızalanmalar sadece rassal etkilerden dolayıdır ve arıza oranı $1/b$ dir. Makineler çalıştıkça aşınmalar söz konusudur. Bu durumda toplam arıza oranı zamana bağlı olarak artar. Benzetim aşamasında arızalar arası zamanın örneklenmesi, ortalaması $b/2$ olan düzgün dağılımdan yapılmaktadır.

Koruyucu bakım politikası kullanıldığında ise periyodik olarak makinelerin bakımı yapıldığı için aşınmalardan dolayı arızalanma söz konusu değildir.

Sistemde sadece rassal arızalanma vardır. Bu politikada arızalar arası zaman ortalaması b ve sabit arıza oranı $1/b$ olan üstel dağılımdan yapılmaktadır.

Performans Ölçüleri:

Çalışmada TZÜ sisteminde bakım politikalarının etkinliğini incelemek amacı ile üretim miktarı, makine kullanım oranı ve ara stok düzeyi olmak üzere üç farklı performans ölçütü dikkate alınmıştır.

TZÜ sisteminin benzetimi için aşağıdaki parametreler kullanılmıştır:

- Taleplerin varışlar arası zaman aralığı, ortalaması 5 dk olan üstel dağılıma uygundur (Talep miktarı bir birimdir).
- Tüm istasyonlarda işlem zamanı, ortalaması 10 dk ve standart sapması 2 dk olan normal dağılıma uygundur.
- Düzeltilici bakım politikasında tüm makineler için arızalar arası zaman, 0 ile b aralığında düzgün dağılıma sahiptir ($b= 2000$ dk, 4000 dk, 6000 dk).

- Koruyucu bakım politikasında tüm makineler için arızalar arası zaman aralığı, ortalaması b olan (2000 dk, 4000 dk, 6000 dk) üstel dağılıma sahiptir.
- Her arıza için tamir süresi, ortalaması 100 dk. ve standart sapması 20 dk. olan normal dağılıma sahiptir.
- Koruyucu bakım süresi sabit ve 15 dakikadır.
- Sistemin benzetimi bir ay (25 gün/ay $\times 8$ saat/gün $\times 60$ dakika/saat = 12000 dakika/ay) için yapılmıştır.

Bu çalışmada dikkate alınan TZÜ sistemi ARENA benzetim dili ile kodlanmıştır. Benzetim modelinde, makineler, taşıyıcılar ve kanbanların yanı sıra arıza ve bakım faaliyetleri de varlıklar olarak tanımlanmıştır. Modelde kaynakların kullanım önceliği arıza ve bakım faaliyetlerini tanımlayan varlıklara verilmiştir.

4. DENEY TASARIMI VE SONUÇLAR

Bu çalışmada dikkate alınan üç hatlı iki aşamalı TZÜ üretim sisteminde kanban sayılarının, arızalar arası ortalama sürenin ve bakım politikalarının performans ölçüleri üzerindeki etkisini görmek amacı ile bir deney tasarımı yapılmıştır. Kanban sayısı; 1 ile 4 arasında 4 seviye, arızalar arası ortalama süre; 2000 dk ile 6000 dk arasında 3 seviye ve bakım politikası; düzeltilici bakım ve önleyici bakım olmak üzere 2 seviye alınmıştır. Toplam $24 (=4\times 3\times 2)$ farklı durum için sistemin benzetimi yapılmıştır. Her kombinasyonda benzetim modeli 5 kez çalıştırılmıştır. Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak dikkate alınan faktörlerin (bakım politikası, kanban sayısı ve arızalar arası zaman) ve etkileşimlerinin performans ölçüleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. İstatistiksel analizde SPSS paket programından yararlanılmıştır. Aşağıda her performans ölçütü için elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Durum 1: Aylık Üretim Miktarı

Tablo 1'de aylık üretim miktarı için varyans analizi sonucu verilmektedir. Tablo incelendiğinde her faktörün ve bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin aylık

Tablo 1. Aylık üretim miktarı için varyans analizi
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: URUN					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1207901 ^a	23	52517,455	124,955	,000
Intercept	1,1E+08	1	1,1E+08	271567,1	,000
BP	48884,033	1	48884,033	116,310	,000
KS	506096,1	3	168698,7	401,385	,000
AAZ	563282,1	2	281641,0	670,109	,000
BP * KS	26418,033	3	8806,011	20,952	,000
BP * AAZ	24258,467	2	12129,233	28,859	,000
KS * AAZ	32392,733	6	5398,789	12,845	,000
BP * KS * AAZ	6570,067	6	1095,011	2,605	,022
Error	40348,000	96	420,292		
Total	1,2E+08	120			
Corrected Total	1248249	119			

a. R Squared = ,968 (Adjusted R Squared = ,960)

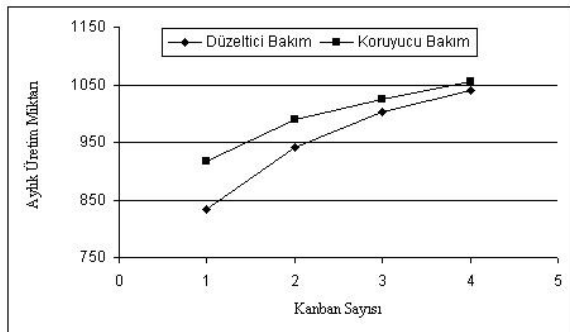
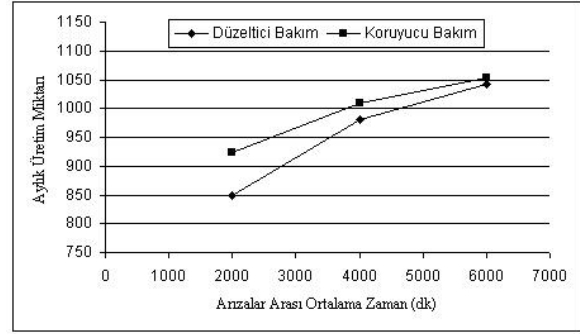
BP : Bakım Politikası, KS: Kanban Sayısı, AAZ: Arızalar Arası Zaman

Tablo 2. Aylık üretim miktarı için Duncan test sonuçları

Faktör	N	Grup Ortalaması	Duncan Grubu	Düzeyler
Bakım	60	957,217	B	1
Politikası	60	995,450	A	2
	30	874,967	D	1
Kanban	30	964,800	C	2
Sayısı	30	1013,833	B	3
	30	1047,467	A	4
Arızalar	40	883,200	C	1
Arası	40	995,150	B	2
Zaman	40	1047,450	A	3

üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir. Faktörlerin aylık üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğundan dolayı Duncan'ın çoklu karşılaştırma yöntemi kullanılarak bu farklılığın faktörlerin hangi düzeylerinde geçerli olduğu araştırılmıştır. Duncan'ın test sonuçlarının verildiği Tablo 2 incelendiğinde, koruyucu ve düzeltici bakım politikaları arasında aylık üretim miktarı açısından anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, TZÜ sisteminde koruyucu bakım politikası kullanıldığında aylık üretim miktarı artmaktadır. Aynı şekilde, kanban sayılarının da aylık üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi vardır ve kanban sayısı arttıkça aylık üretim miktarı da artmaktadır. Teorik olarak arızalar arası ortalama zaman (yani ekipmanların güvenilirliği) arttıkça aylık üretim miktarının artması beklenir. Tablo 2 incelendiğinde arızalar arası ortalama zamanın aylık üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmekte dolayısıyla, teorik olarak beklenen sonucu gerçekleştirmektedir.

Varyans analizi tablosundan faktörlerin ikili etkileşimlerinin de aylık üretim miktarı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmektedir. Bu nedenle ikili etkileşimler de grafiksel olarak incelenecektir. Şekil 2'de verilen kanban sayısı ile bakım politikaları arasındaki ikili etkileşim incelendiğinde, kanban sayısı 1 olduğunda düzeltici bakımda aylık üretim miktarı 833 birim iken koruyucu bakımda bu değer 918 birim olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, koruyucu bakımın kullanılması ile aylık üretim miktarı %10 oranında artmaktadır. Ancak kanban sayısı arttıkça bakım politikalarının aylık üretim miktarı üzerindeki etkisinin azaldığı, özellikle kanban sayısı 4 olduğunda koruyucu bakım politikası ile aylık üretim miktarındaki artışın yaklaşık %1.5 civarında olduğu görülmektedir. Bakım politikaları ile

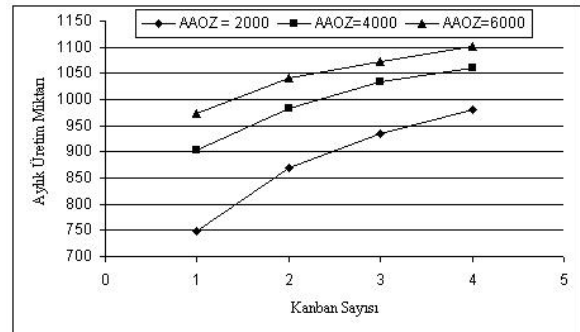
**Şekil 2.** Aylık üretim miktarında bakım politikaları ve Kanban sayısının etkisi**Şekil 3.** Aylık üretim miktarında bakım politikaları ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi

arızalar arası ortalama zamanın aylık üretim miktarı üzerindeki etkisi Şekil 3'te verilmektedir. Arızalar arası ortalama zaman 2000 dk olduğunda düzeltici bakım politikası ile aylık üretim miktarı 850 birim iken koruyucu bakım politikası ile bu değer 923 birime çıkmakta yani aylık üretim oranı yaklaşık %9 oranında artmaktadır. Ancak arızalar arası ortalama süre arttıkça bakım politikalarının aylık üretim miktarı üzerindeki etkileri azalmaktadır.

Şekilden de görüldüğü gibi arızalar arası ortalama süre 6000 dk olduğunda her iki bakım politikasında da aylık üretim miktarı artmasına rağmen düzeltici bakım politikasına göre koruyucu bakım politikasında bu değer sadece %1 artmaktadır. Kanban sayısı ile arızalar arası ortalama süre arasındaki etkileşim Şekil 4'te verilmektedir. Şekil incelendiğinde kanban sayısı ve arızalar arası ortalama süre arttıkça aylık üretim miktarının da arttığı görülmektedir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü makinaların güvenilirliği arttıkça aylık üretim miktarı da artar. Aynı şekilde kanban sayısının artması ile her aşamada bir önceki aşamadan yarı ürün için bekleme ya hiç olmayacak ya da çok az olacağı için aylık üretim miktarı artacaktır.

Durum 2: Makine Kullanım Oranı

Tablo 3'te makine kullanım oranı için varyans analizi sonucu görülmektedir. Tablo incelendiğinde her faktörün ve bu faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin makine kullanım oranı üzerinde de anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir. Performans ölçüsü üzerinde faktörlerin anlamlı bir etkisi olduğundan dolayı Duncan'ın çoklu karşılaştırma yöntemi ile faktör düzeyleri için karşıla-

**Şekil 4.** Aylık üretim miktarında Kanban sayısı ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi

Tablo 3. Makine kullanım oranı için varyans analizi

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MKO

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,931 ^a	23	4,049E-02	143,528	,000
Intercept	81,618	1	81,618	289294,1	,000
BP	,110	1	,110	391,227	,000
KS	,358	3	,119	422,578	,000
AAZ	,404	2	,202	716,524	,000
BP * KS	1,644E-02	3	5,481E-03	19,428	,000
BP * AAZ	1,498E-02	2	7,488E-03	26,541	,000
KS * AAZ	2,313E-02	6	3,854E-03	13,661	,000
BP * KS * AAZ	4,458E-03	6	7,429E-04	2,633	,021
Error	2,708E-02	96	2,821E-04		
Total	82,577	120			
Corrected Total	,958	119			

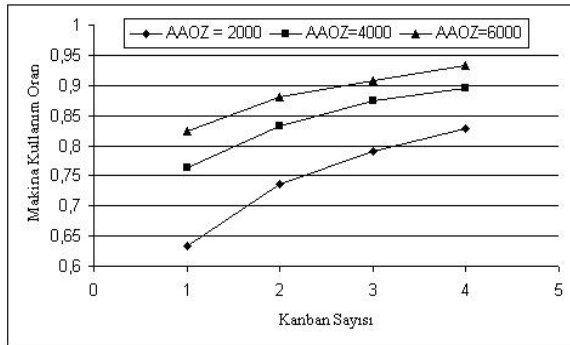
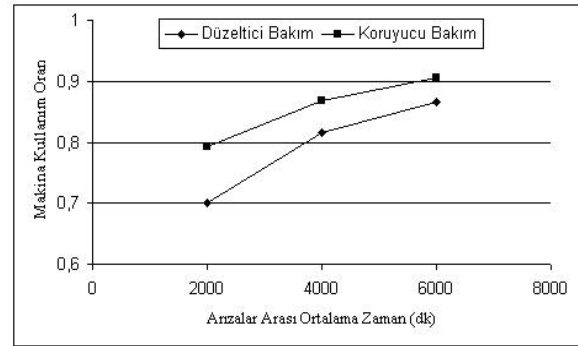
a. R Squared = ,972 (Adjusted R Squared = ,965)

Tablo 4. Makine kullanım oranı için Duncan test sonuçları

Faktör	N	Grup Ortalaması	Duncan Grubu	Düzyerler
Bakım	60	0,794	B	1
Politikası	60	0,855	A	2
	30	0,740	D	1
Kanban Sayısı	30	0,816	C	2
	30	0,857	B	3
	30	0,885	A	4
Arızalar Arası Zaman	40	0,747	C	1
	40	0,841	B	2
	40	0,886	A	3

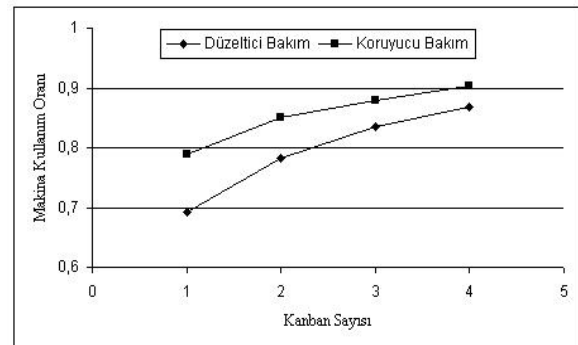
tırma yapılmıştır. Tablo 4'te Duncan'ın çoklu karşılaştırma sonucu verilmektedir. Tablo incelendiğinde koruyucu ve düzeltici bakım politikaları arasında makine kullanım oranı açısından anlamlı bir farklılığın olduğu görülmekte ve koruyucu bakım kullanıldığında makine kullanım oranı artmaktadır. Aynı şekilde kanban sayıları ve arızalar arası ortalama süre arttıkça makine kullanım oranının arttığı görülmektedir.

Varyans analizi tablosundan faktörlerin ikili etkileşimlerinin de anlamlı olduğu görülmektedir. Şekil 5'te kanban sayısı ile bakım politikaları arasındaki ikili ve üçlü etkileşimler verilmektedir. Şekil incelendiğinde, kanban sayısı arttıkça makine kullanım oranının arttığı görülmektedir. Ayrıca her kanban düzeyi için koruyucu bakım politikasında makine kullanım oranı düzeltici

**Şekil 5.** Makine kullanım oranında bakım politikaları ve Kanban sayısının etkisi**Şekil 6.** Makine kullanım oranında bakım politikaları ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi

bakım politikasına göre daha yüksektir. Kanban sayısı arttıkça yine her iki bakım politikası arasındaki farklılık azalmaktadır. Bakım politikaları ile arızalar arası ortalama sürenin makine kullanım oranı üzerindeki etkisi Şekil 6'da görülmektedir. Şekil incelendiğinde, arızalar arası ortalama zaman arttıkça makine kullanım oranı her iki bakım politikasında da artmaktadır. Koruyucu bakım politikasında makine kullanım oranı düzeltici bakım politikasına göre daha yüksektir. Şekil 7'de ise kanban sayısı ile arızalar arası ortalama süreye göre makine kullanım oranındaki değişim verilmektedir.

Arızalar arası ortalama süre 6000 dk olduğunda tüm kanban sayıları için makine kullanım oranının diğer iki arı-

**Şekil 7.** Makine kullanım oranında bakım politikaları ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi

Tablo 5. Ara stok seviyesi için varyans analizi**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: ARASTOK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32226,263 ^a	23	1401,142	5710,563	,000
Intercept	142461,1	1	142461,1	580621,4	,000
BP	7,583	1	7,583	30,907	,000
KS	32175,179	3	10725,060	43711,580	,000
AAZ	40,857	2	20,429	83,260	,000
BP * KS	,411	3	,137	,559	,643
BP * AAZ	,378	2	,189	,769	,466
KS * AAZ	1,231	6	,205	,836	,545
BP * KS * AAZ	,624	6	,104	,424	,861
Error	23,555	96	,245		
Total	174710,9	120			
Corrected Total	32249,818	119			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,999)

zalar arası ortalama zamana göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Durum 3: Ara Stok Seviyesi

Tablo 5'te görüldüğü gibi, ara stok seviyesi için varyans analizi sonucuna göre her faktör bu performans ölçüsü için anlamlı bir etkiye sahiptir. Ancak, faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin ara stok seviyesi üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Duncan'ın çoklu aralık testi ise Tablo 6'da görülmektedir. Bakım politikası açısından incelendiğinde ara stok seviyesinin koruyucu bakım politikasında daha düşük olduğu görülmektedir. Kanban sayısı arttıkça ara stok seviyesi artarken arızalar arası ortalama zaman arttıkça ara stok seviyesi düşmektedir. Faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimlerinin anlamlı olmadığı Tablo 5 ve Şekil 8, 9 ve 10'da görülmektedir.

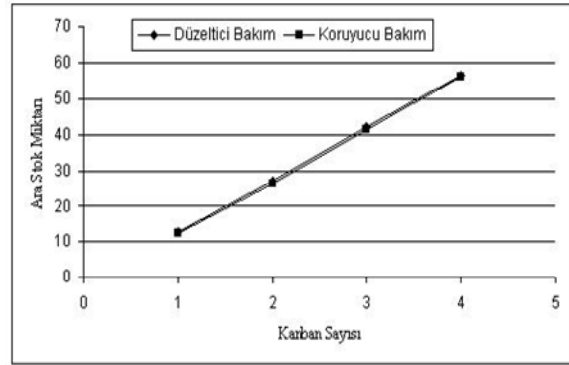
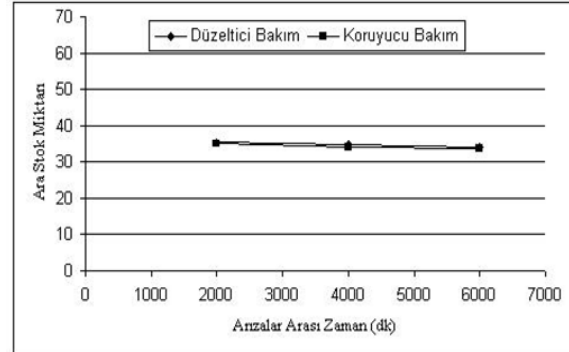
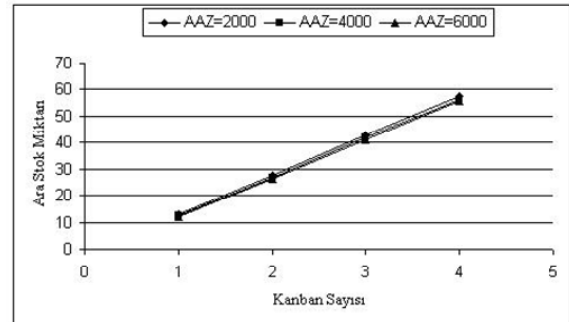
5. SONUÇ

TZÜ gibi "çekme" üretim sisteminde ara stok seviyesi çok düşük olduğu için herhangi bir arızalanma tüm hattın durmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle, uygun bakım politikasının kullanılması zamansız yenileme maliyetini önlerken, üretimin sürekliliğini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, üç hatlı ve iki aşamalı TZÜ sistemi ele alınmıştır. Sistem ARENA benzetim dili ile kodlanmış

Tablo 6. Ara stok seviyesi için Duncan test sonuçları

Faktör	N	Grup	Duncan	Düzyer
		Ortalaması	Grubu	
Bakım Politikası	60	34,707	A	1
	60	34,204	B	2
	30	12,570	D	1
Kanban Sayısı	30	26,953	C	2
	30	41,888	B	3
	30	56,410	A	4
Arızalar Arası Zaman	40	35,226	A	1
	40	34,327	B	2
	40	33,814	C	3

**Şekil 8.** Ara stok seviyesinde bakım politikaları ve Kanban sayısının etkisi**Şekil 9.** Ara stok seviyesinde bakım politikaları ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi**Şekil 10.** Ara stok seviyesinde Kanban sayısı ve arızalar arası ortalama zamanın etkisi

ve performans ölçütleri olarak üretim miktarı, makine kullanım oranı ve ara stok düzeyi dikkate alınmıştır. Performans ölçütleri üzerinde bakım

politikaları, kanban sayıları ve arızalar arası ortalama sürelerin etkisini incelemek amacıyla bir deney tasarımı yapılmış ve sonuçlar varyans analizi (analysis of variance-ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, TZÜ sisteminde koruyucu bakım politikası kullanıldığında aylık üretim miktarı ve makine kullanım oranı artarken ara stok seviyesinin azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde, arızalar arası ortalama süre arttıkça bütün performans ölçütlerinde anlamlı bir iyileşme olmaktadır. Ayrıca, aylık üretim miktarı ve makine kullanım oranı için faktörlerin ikili etkileşimleri de anlamlıdır. Bu performans ölçütleri için bakım politikaları ile kanban sayısı ve arızalar arası ortalama süre arasındaki etkileşimler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Kanban sayısı 1 olduğunda düzeltici bakım politikasına göre koruyucu bakım politikası ile aylık üretim miktarı %10 artarken, kanban sayısı 4 için bu artış %1.5 civarında olmaktadır.
2. Arızalar arası ortalama süre 2000 dakika olduğunda düzeltici bakım politikasına göre koruyucu bakım politikası ile aylık üretim miktarında yaklaşık %9 artış söz konusu iken, arızalar arası ortalama süre arttıkça koruyucu bakım politikası ile aylık üretim miktarındaki artış %1 civarında olmaktadır.
3. Kanban sayısı arttıkça her iki bakım politikasında da makine kullanım oranının arttığı gözlemlenmektedir. Örneğin, kanban sayısı 1'den 4'e artırıldığında koruyucu bakım politikası ile makine kullanım oranı yaklaşık olarak 0.78'den 0.91'e çıkarken, düzeltici bakım politikası ile bu değer yaklaşık 0.69'dan 0.86'ya çıkmaktadır. Ayrıca, her kanban düzeyi için koruyucu bakım politikasında makine kullanım oranı düzeltici bakım politikasına göre daha yüksektir.
4. Arızalar arası ortalama süre arttıkça makine kullanım oranı her iki bakım politikasında da artmaktadır. Arızalar arası ortalama süre 2000 dakikadan 6000 dakikaya çıktığında makine kullanım oranında artış koruyucu bakım politikası ile yaklaşık %17 iken düzeltici bakım politikası ile yaklaşık %26 civarında olduğu gözlemlenmektedir. Ancak, her arızalar arası ortalama süre için koruyucu bakım politikasında makine kullanım oranı düzeltici bakım politikasına göre daha yüksektir.

Bu sonuçlar, TZÜ sistemi gibi sistemlerin verimliliğinin artmasında koruyucu bakım politikasının önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir (Proje No: 06/2002-01).

KAYNAKLAR

1. Monden, Y., **Toyota Production System, Practical Approach to Production Management**, Institute of Industrial Engineering, Norcross, GA, 1983.
2. Schonberger, R.J., "Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden Lessons in Simplicity", **The Free Press**, New York, 1982.
3. Hall, R.W., **Zero Inventories, Business One Irwin**, Homewood, IL, 1983.
4. Im, J.H., "Lessons from Japanese Production Management", **Production and Inventory Management**, Cilt 30, 25-29, 1989.
5. Sohal, A.S., Keller, A.Z., and Fouad, R.H., "A Review of Literature Relating to JIT", **International Journal of Operation and Production Management**, Cilt 9, 15-25, 1988.
6. Huang, P.Y., Houck, B.L.W., "Cellular Manufacturing: an Overview and Bibliography", **Production and Inventory Management**, Cilt 26, 83-93, 1985.
7. Trevelen, M., "A Review of the Dual Resource Constrained Systems Research", **IIE Transactions**, Cilt 21, 279-287, 1989.
8. Golhar, D.Y., Stamm, C.L., "The Just in Time Philosophy: A Literature Review", **International Journal of Production Research**, Cilt 29, Sayı 4, 657-676, 1991.
9. Philipoom, P.R., Rees, L.P., Taylor, B.W., Huang, P.Y., "An Investigation of the Factors Influencing the Number of Kanbans Required in the Implementation of the JIT Technique with Kanbans", **International Journal of Production Research**, Cilt 25, Sayı 1, 457-472, 1987.
10. Huang, P.Y., Rees, L.P., Taylor, R.W., "A Simulation Analysis of the Japanese Just-In-Time Technique (with kanbans) for Multi-Line, Multi-Stage Production Systems", **Decision Sciences**, Cilt 14, 326-344, 1983.
11. Sarker, B.R., Harris, R.D., "The Effect of Imbalance in A Just-In-Time Production System: A Simulation Study", **International Journal of Production Research**, Cilt 26, Sayı 1, 1-18, 1988.
12. Sarker, B.R., "Simulating A Just-In-Time System", **Computers and Industrial Engineering**, Cilt 16, Sayı 1, 127-137, 1989.
13. Sarker, B.R., Fitzsimmons, J.A., "The Performance of Push and Pull Systems: A Simulation and Comparative Study", **International Journal of Production Research**, Cilt 27, Sayı 1, 1715-1731, 1989.
14. Sarker, B.R., "Service Time Distributions and the Performance of A Pull System: A Simulation Study", **Production Planning and Control**, Cilt 2, Sayı 1, 36-43, 1991.
15. Erol, S., Baykoç, Ö.F., Erol, Y., "Bir JIT Üretim Sisteminin Performansını İyileyen Üretim Büyüklüklerinin Belirlenmesi", **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt 9, Sayı 3, 489-502, 1996.
16. Baykoç, Ö.F., Erol, S., "Simulation Modelling and Analysis of a JIT Production System", **International Journal of Production Economics**, Cilt 55, 203-212, 1998.

17. Dengiz, B., Akbay, K., “Computer Simulation of a PCB Production Line: A Simulation Metamodeling Approach”, **International Journal of Production Economics**, Cilt 63, 195-205, 2000.
18. Alabaş, Ç., Altıparmak, F., Dengiz, B., “A Comparison of the Performance of Artificial Intelligence Techniques for Optimizing the Number of Kanbans”, **Journal of the Operational Research Society**, Cilt 53, 907-914, 2002.
19. Tajiri, M., Gotoh, F., **TPM Implementation: A Japanese Approach**, McGraw-Hill, NewYork, 1992.
20. Corder, A.S., **Maintenance Management Techniques**, McGraw-Hill, 1976.
21. Albino, V., Gianni, C., Okogbaa, O.G., “Maintenance Policies in Just In Time Manufacturing Lines”, **International Journal of Production Research**, Cilt 30, Sayı 2, 369-382, 1992.
22. Abdunour, G., Dudek, R.A., Smith, M.L., “Effect of the Maintenance Policies on the Just In Time Production Systems”, **International Journal of Production Research**, Cilt 33, Sayı 2, 565-583, 1995.
23. Savsar, M., “Simulation Analysis of Maintenance Policies in Just In Time Production Systems”, **International Journal of Operation and Production Management**, Cilt 17, Sayı 3, 256-266, 1997.
24. Azadivar, F., Shu, V., “Maintenance Policy Selection for JIT Production Systems”, **International Journal of Production Research**, Cilt 37, Sayı 16, 3725-3738, 1999.
25. Flynn, B.B., “An Investigation of Critical Machines Preventive Maintenance Policies For Group Technology”, **Proceedings of the 1987 Decision Science Institute**, Boston, M.A., 747-749, 1987.
26. Banerjee, A., Flynn, B.B., “A Simulation Study of Some Maintenance Policies in a Group Technology Shop”, **International Journal of Production Research**, Cilt 25, Sayı 11, 1595-1609, 1987.
27. Vineyard, M.L., Meredith, J.R., “Effect of Maintenance Policies on FMS Failures”, **International Journal of Production Research**, Cilt 30, 2647-2657, 1992.
28. Vineyard, M.L., Gaympah, K.A., Meredith, J.R., “An Evaluation of Maintenance Policies for Flexible Manufacturing Systems: A Case Study”, **International Journal of Operation and Production Management**, Cilt 20, Sayı 4, 409-426, 2000.
29. Savsar, M., “Modeling and Analysis of A Flexible Manufacturing Cell”, **Proceedings of the 22nd International Conference on Computers and Industrial Engineering**, 184-187, 1997b.
30. Savsar, M., “Reliability Analysis of A Flexible Manufacturing Cell”, **Reliability Engineering and System Safety**, Cilt 67, Sayı 2, 147-152, 2000.
31. Savsar, M., “Performance Analysis of An FMS Operating Under Different Failure Rates and Maintenance Policies”, **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, Cilt 16, Sayı 3, 229-249, 2005.
32. Kobbacy, K.A.H., “The Use of Knowledge-Based Systems in Evaluation and Enhancement of Maintenance Routines”, **International Journal of Production Economics**, Cilt 24, 243-248, 1992.
33. Ulusoy, G., Or, I., Soydan, N., “Design and Implementation of A Maintenance Planning and Control System”, **International Journal of Production Economics**, Cilt 24, 263-272, 1992.

