

Makalenin Geliş Tarihi : 11.12.2006  
Makalenin Kabul Tarihi : 08.06.2007

## **YENİDEN ÜRETİM SİSTEMLERİNDE EN İYİ GERİ DÖNÜŞÜM VE ATIK POLİTİKALARININ BELİRLENMESİ**

H. Kıvanç AKSOY

**ÖZET :** Kullanılmış ürünlerin ve parçaların geri kazanım oranındaki büyük ölçüdeki belirsizlik, yeniden üretim çalışmalarında planlama ve kontrol işlemlerini güçleştirmektedir. Burada üretim ve yeniden üretimin beraber yapıldığı hibrid sistem ele alınmıştır. Bu çalışmada dinamik programlama ile geri kazanılan ürünlerin yeniden kullanılabilme oranlarının stokastik olduğu yeniden üretim işlemlerinin her aşamasındaki eniyi girdi miktarının kontrol edildiği bir algoritma sunulmuştur. Yeniden üretim sistemi, açık kuyruk şebekesi olarak modellenmiş ve ayrışım ilkesi ile yayılım metodu kullanılarak çözümlenmiştir. Sistemdeki her istasyon üstel dağılımı bozulma oranına ve sonlu ara stoğa sahiptir. Deneylelerin tasarlanmasında tam faktöryel yerine ortogonal vektörler kullanılmış ve eniyileme sistemin beklenen toplam maliyeti üzerinden yapılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, sistemdeki ara stok miktarı arttıkça, işlem zamanı ve dolayısıyla toplam maliyet artmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada sistem istasyonları  $\mu$  - dengeli seçildiği için son ürüne olan talep ilk istasyon için eniyi girdi miktarı üzerinde önemli bir etki yapmaktadır.

**ANAHTAR KELİMELEER :** Yeniden üretim, açık kuyruk şebekesi, yayılım metodu, ayrışım ilkesi, dinamik programlama.

## **OPTIMAL PRODUCT RECOVERY AND DISPOSAL POLICIES FOR REMANUFACTURING SYSTEMS**

**ABSTRACT :** Remanufacturing operations involved with highly uncertain recovery rate of used products and parts that complicate the planning and control of the process. We consider a hybrid system where manufacturing and remanufacturing operations are combined. We present a dynamic programming (DP) algorithm that controls the best possible input amount at each stage of remanufacturing operations where recovery rates of retrieved products at each stage of the process are stochastic. We model the remanufacturing system as an open queuing network and use the decomposition principle and expansion methodology to analyze it. Each station in the system is subject to unavailability due to exponentially distributed breakdown rate and has a finite buffer capacity. To design the experiments, we used orthogonal arrays instead of full factorial and optimization is done on the system's expected total cost. Results show that as buffer spaces increases, process time and total cost increases. Additionally, since the system stations are  $\mu$  - balanced, demand rate for the reamufactured product has a critical affect on the return rate.

**KEYWORDS :** Remanufacturing, open queuing network, expansion methodology, decomposition principle, dynamic programming.

## ***I. GİRİŞ***

Son yıllarda, üretici firmaların genişleyen sorumluluğu, çevresel bilinç ve yeni daha katı yasalar sonucunda hergün artan sayıda üretici firma geri kazanım ve yeniden üretim alternatiflerini mevcut üretim sistemlerine uygulamaktadır. Buna ek olarak ekonomik ömrünü dolduran ürünlerin sahip olduğu potansiyel ekonomik katkıların farkedilmesi bu olguyu güçlendirmektedir. Örnek olarak, Air France, Lufthansa, BMW, Volkswagen, Daimler-Crysler, Nissan, Océ, Xerox ve Philips büyük ölçekli demontaj ve geri kazanım tesisleri işletmektedir [1].

Yeniden üretim, kullanılmış, yıpranmış ürünlerin endüstriyel işlemler sonucunda "yeni ürün" durumuna getirilmesidir. Böylece, yeniden üretim kullanılmış parçalar ile yeni ürün kalite standartlarını ve güvencesini sağlamaktadır. Yeniden üretim, atık miktarını azaltmak için kullanılan doğrudan ve karlı bir yöntem olduğu kadar, doğal kaynakların tüketimini de azaltmaktadır.

Yeniden üretim firmalarının karşılaştıkları zorluklar daha çok tedarik yönünden olmaktadır. Buradaki zorluk sisteme dönen ürünlerdeki zamanlama ve miktar belirsizliği olduğu kadar dönen ürünlerin kalitesi ve buna bağlı olarak geri kazanımındaki yüksek değişkenlik oranı, sistemdeki parça akışını ve kontrolünü güçlendirmektedir. Sisteme dönen ürünlerin çeşitleri ve özellikleri şu şekilde özetlenebilir [2]; Üreticiler yasa veya sözleşme sonucu, finansal kiralama dönemi sonunda, teknik hata sonucu kullanılan ürünleri son tüketiciden geri almaları gerekebilir. Her ne kadar bu üç esas geri dönüş durumu kullanılmış ürünlerin geri dönüş zaman ve miktarı için yaklaşık bir bilgi verse de ürünlerdeki belirli modüllerin ve parçaların geri kazanılabilirlik oranının değişkenliği belirgin özellik olarak yeniden üretim işlemleri sürecinde ortaya çıkmaktadır. Bunların sonuçları da tedarik zamanında yapılamaması veya envantere birikme, uygun olmayan yeniden üretim planlaması gibi görülmektedir.

Bu makalenin amacı çok aşamalı ve sisteme geri dönen ürünlerin geri kazanım oranının stokastik olduğu yeniden üretim sisteminde eniyi geri kazanım politikalarını belirlemektir. Bu amaçla yeniden üretim işlemlerinin her aşaması için toplam maliyeti eniyileyen bir model geliştirilmiştir. Bu çalışmada tek parçadan oluşan ve geri kazanılabilir bir ürün ele alınmıştır ve geri kazanım sürecinde yeniden üretim sistemi içerisindeki işlemler için önceden belirlenmiş

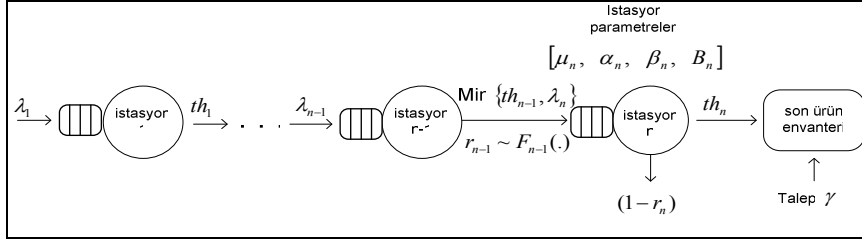
bir hattı izlemektedir. Yeniden üretim sistemi açık kuyruk şebekesi olarak, sonlu ara stoğa ve rassal bozulma oranına sahip istasyonlar olarak modellenmiştir [3, 4]. Kuyruk şebekesinin çözümlenmesi için ayrışım ilkesi ve yayılım metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, sistemin performansı ve duyarlılık analizine istasyonların çalışma hızlarının dengeli olduğu durum için bakılmıştır ( $\mu$  - dengeli).

Literatürde, operasyon/işlem firesi belirsizliği durumunda üretim kontrol politikaları son zamanlarda kapsamlı olarak incelenmiştir. Yano ve Lee [5] bu alandaki araştırmaları bir inceleme makalesinde derlemiştir. Eniyi geri kazanım/atık miktarının belirlenmesi problemi birçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır [6-10]. Simpson [11] dinamik programlamayı temel alan birkaç karar değişkenini eniyileyen bir algoritma geliştirmiştir. Bu karar değişkenleri; planlanan periyod ( $t$ ) içindeki atılan ürün miktarı ( $Q_d(t)$ ), planlanan periyod ( $t$ ) içinde dışarıdan tedarik edilen veya içeride üretilen ürün miktarı ( $Q_p(t)$ ), planlanan periyod ( $t$ ) içinde yeniden üretilen ürün miktarıdır ( $Q_r(t)$ ). Krikke ve diğerleri [12] eniyi geri kazanım ve atık stratejisini belirleyen çok yönlü bir model geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu, teknik, ticari ve ekolojik kriterleri ve bunlara bağlı belirsizlikleri gözönüne alarak oluşturulmuştur. Yazarlar, özellikle ürünlerin kalite sınıfları ve demontaj geçişlerini koşullu olasılık olarak modellemişler ve demontaj ağacında ilgili maliyetlere göre dinamik programlama kullanarak eniyi geri kazanım/atık stratejisini belirlemiştir. Daha sonraki bir makalede, Teunter [1] bu modeli her ürün ve parça için eniyi net kazanç stratejisi ile eniyi envanter seviyesini belirleyerek genelleştirmiştir.

## ***II. PROBLEMİN TANIMI***

Bu araştırmada, son ürün talebinin üretim ve yeniden üretim kaynaklı olarak beraber karşılandığı hibrid sistemlere ilişkin stratejik bir problem ele alınmıştır. Hibrid bir sistemde yeniden üretime bağlı belirsizlikler, üretim kaynaklı olanlara göre çok daha yüksektir. Geri dönen ürünlere ilişkin yüksek belirsizlik oranı sebebiyle son ürün envanterinin kontrol edilebilmesi zor bir problemdir. Burada çalışılan model, seri yeniden üretim işliklerinin yer aldığı sürekli akış sürecidir

(Şekil 1). Envanter sistemi ise son ürüne olan talebin karşılandığı, “stok için üretim” tipidir. Yeniden üretim sisteminde, tek parçadan oluşan ve yeniden üretilebilir ürün sisteme geri döndükten sonra sistemde daha önceden belirlenen işlemlere tabi tutulur. Yeniden üretim sisteminin amacı geri dönen ürünün, ilk üretildiği andaki orjinal kalite seviyesine çıkarmaktır. Bu makalenin amacı sadece sisteme dönen ürün miktarını kontrol etmek değil, aynı zamanda sistemi ekonomik olarak en iyi seviyede çalıştırabilmek için yeniden üretim sürecinin her aşamasında eniyi geri kazanım/atık stratejisini de belirlemektir.



Şekil 1. Sonlu ara stoğa sahip seri yeniden üretim sistemi.

Model formülasyonunda kullanılan semboller aşağıda verilmiştir.

**Semboller:**

- $A_i$  : yeniden üretim işlemlerinin  $i$ . aşamasındaki ayar maliyeti
- $cd_i$  :  $i-1$ . aşamada geri kazanılan ama  $i$ . aşamada kullanılmayan parçanın atık maliyeti
- $c_i$  :  $i$ . aşamadaki yeniden üretim değişken maliyeti
- $c_h$  : envanter taşıma maliyeti
- $c_l$  : karşılanamayan birim talep için yok satma maliyeti
- $c_p$  : geri dönen ürünlerin alım maliyeti
- $c_t$  : geri dönen ürünlerin test maliyeti
- $c_{dis}$  : geri dönen ürünlerin sökülme maliyeti
- $\gamma$  : son ürüne olan talep (adet/ peryod)
- $\lambda_i$  :  $i$ . aşamada planlanan yeniden üretim miktarı (adet/ peryod)
- $\mu_i$  :  $i$ . istasyondaki servis hızı

- $\alpha_i$  :  $i$ . istasyondaki bozulma oranı  
 $\beta_i$  :  $i$ . istasyondaki tamir oranı  
 $B_i$  :  $i$ . istasyonun ara stok kapasitesi (adet)  
 $K_i$  :  $i$ . istasyonun iş tutma kapasitesi ( $B_i + 1$ )  
 $r_i$  :  $i$ . istasyondaki geri kazanım oranı (%)  
 $th_i$  :  $i$ . istasyondaki üretilen iş oranı  
 $B(RP)$  sisteme dönen ürünlerin beklenen miktarı (adet/ periyod)  
 $B(D)$  : birim zamanda beklenen atık miktarı (adet/ periyod)  
 $B(T)$  : birim zamanda beklenen test edilen ürün miktarı (adet/ periyod)  
 $B(Dis)$  birim zamanda beklenen demonte edilen ürün miktarı (adet/ periyod)  
 $B(Inv)$  birim zamanda beklenen envanter seviyesi (adet/ periyod)  
 $B(Ls)$  : birim zamanda beklenen yok satış miktarı (adet/ periyod)  
 $B(R_i)$  : birim zamanda  $i$  istasyonunda yeniden üretim işlemi gören beklenen parça sayısı (adet/ periyod)

Her istasyonda, sonlu ara stoğa sahip bir işgören olduğu varsayılmış ve ara stok kapasitesi  $B_i$  ile gösterilmiştir. İstasyonlar ilk gelen ilk hizmet alır (First Come First Serve) servis disiplinine göre üstel dağılımdan,  $\mu_i$  servis hızına,  $\alpha_i$  bozulma oranına ve  $\beta_i$  onarım hızına göre modellenmiştir. Buna göre bir iş istasyonunun çalışma ve bozulma periyodları dışında aylak kalma ve bloklanma olmak üzere iki durum daha mevcuttur; Aylak kalma periyodu, istasyonda işlenecek parça olmaması durumunda işgörenin boş kaldığı zaman aralığıdır. Bloklanma periyodu ise bir istasyonda son servis verilen parçanın bir sonraki istasyonun ara stoğunda yer olmaması veya bu istasyonun servis dışı olması sebebiyle bir sonraki istasyona aktarılamamasıdır. Yeniden üretim sisteminde

kullanılan bloklama mekanizması "servisten sonra bloklama" dır. Bu mekanizmada bir parça, bir istasyona girmek için hazırsa ve bu istasyonun ara stoğunda yer varsa bu istasyonu'nun bekleme hattına katılabilir, eğer bir alt istasyonun ara stoğunda yer yoksa, yer açılana dek son işleminin yapıldığı istasyonda bekler.

Kullanılmış parçalardan yeniden üretime uygun kalite standartlarını sağlayan bölüm, yeniden kullanım oranı ( $r_i$ ) olarak ifade edilebilir. Burada geri dönen kullanılmış ürünlerin, yeniden kullanım oranı olasılık dağılımı'nın istasyonlar arasında bağımsız olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, yeniden kullanım oranı dağılımı geri dönüş oranının akışının büyüklüğünden bağımsızdır. Yeniden kullanım oranına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $f_i(r_i) = r_i e^{-r_i x}$  ve birikimli dağılım fonksiyonu,  $F_i(r_i) = 1 - e^{-r_i x}$  ile gösterilmiştir.

Her bir istasyonda, geri dönen ürünlerin ıskarta ( $1 - r_i$ ) oranı ve fazla miktarı  $(\lambda_i - th_{i-1})^+$ , dolayısıyla atılması gereken miktar bulunur. Bir parçanın atılması, yeniden üretimin marjinal maliyeti, bir parçanın atılma maliyetini aşması ve belirli parçaların son pazarının bulunmadığı durumlarda görülür. Bunun dışında özel durumlarda vardır: Son istasyonda, sistem çıktısının talebi karşılamada yetersiz kaldığı durumda  $(\gamma - th_N)^+$ , yok satış maliyeti ( $c_i$ ) gerçekleşir, fazla envanter olması durumunda ise  $(th_N - \gamma)^+$  envanter taşıma maliyet ( $c_h$ ) ortaya çıkar.

Sistemin herhangi bir aşamasında, istasyonların işleme kapasitesi belirsizdir. Bunlar arasında makine bozulması, tamir zamanı ve servis süresindeki değişkenlik, dönen ürünlerin bilinmeyen son durumları, istasyonların ara stok büyüklüğü sayılabilir.  $i$  istasyonun işlem kapasitesini  $(\mu_i, \alpha_i, \beta_i, B_i)$  parametreleri belirler. Buna göre,  $i$  istasyonunun gerçek kullanılabilirlik oranı,  $\varphi_i = \beta_i / (\alpha_i + \beta_i)$  olarak bulunur.

Sistemin toplam maliyetini en küçük yapmak için modelin amacı, yeniden üretim sisteminin her istasyonunda işlem girdi oranını,  $\lambda_i^*$  ( $i=1, \dots, N$ ) belirlemektir. Bir

istasyonun girdi oranı bir önceki istasyonun çıktı oranı ile kısıtlanmıştır. Bir istasyonun çıktı oranı  $th_i$ , o istasyonun belirsiz işlem kapasitesinin ve geri dönen ürünlerin rassal geri kazanım oranının ( $r_i$ ) fonksiyonudur.

### III. PROBLEMİN MODELLENMESİ

Tipik bir yeniden üretim sistemi için uzun dönemli ortalama toplam maliyet fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$B(TC) = c_p B(RP) + c_d B(D) + c_t B(T) + c_{dis} B(Dis) + c_h B(Inv) + c_l B(Ls) + \sum_{i=1}^N c_r B(R_i) \quad (1)$$

Burada  $\lambda_i$ , ( $i = 1, \dots, N$ ), sistem içerisindeki her bir istasyona olan girdi miktarını göstermektedir. Bundan sonra, kullanılmış bir ürünün yeniden üretimi için gerekli işlemlere ilişkin ayar ve değişken maliyetler her bir aşama için genel olarak aşağıdaki şekilde formüle edilir;

$$enk_{\lambda_i} B \left\{ \sum_{i=1}^N [(A_i + c_i \lambda_i) + c d_n (th_{i-1} - \lambda_i)^+] + c_h (th_N - \gamma)^+ + c_l (\gamma - th_N)^+ \right\} \quad (2)$$

ve

$$0 \leq \lambda_i \leq th_{i-1}, \quad i = 1, \dots, N$$

Eniyi parça geri kazanım stratejisi  $\Omega = \{\lambda_i^*, i = 1, \dots, N\}$  ile gösterilir ve  $\Omega$ ,  $(r_i, \mu_i, \alpha_i, \beta_i, B_i)$  parametrelerinin fonksiyonudur. Burada dikkat edilmesi gereken bir konu,  $i$ . istasyonun iş oranı  $th_i$ , istasyonun üretim kapasite'nin bir fonksiyonudur,  $\mu_i, \alpha_i, \beta_i, B_i$  parametreleri ve  $r_i, i = 1, \dots, N$  ile belirlenir.

Problemin dinamik yapısı ancak maliyet fonksiyonlarının aşağıdaki gibi özyineli (recursive) tanımlanmasıyla mümkündür. İstasyon  $i$ 'nin çıktı oranı  $th_i$  ile gösterildiğinde, 1. iş istasyonundan son yeniden üretim istasyonuna kadar sistemin optimal işletilmesinde beklenen maliyet  $TC_i(th_{i-1})$  ile verilir. Burada, her bir istasyonda  $\lambda_i \leq th_{i-1}$  ilişkisi vardır (bir istasyonun girdisi, bir önceki

istasyonun çıktı oranını aşamaz). Bundan dolayı, dinamik programlama yinelemeli fonksiyonları aşağıdaki gibidir;

$$TC_i(th_{i-1}) = \underset{0 \leq \lambda_i \leq th_{i-1}}{enk} \left\{ (A_i + c_i \lambda_i) + cd_i(th_{i-1} - \lambda_i) + B[TC_{i+1}(th_i)] \right\} \quad i = 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$TC_N(th_{N-1}) = \underset{0 \leq \lambda_N \leq th_{N-1}}{enk} \left\{ (A_N + c_i \lambda_N) + cd_i(th_{N-1} - \lambda_N) + c_h(th_i - \gamma)^+ + c_i(\gamma - th_N)^+ \right\} \quad (4)$$

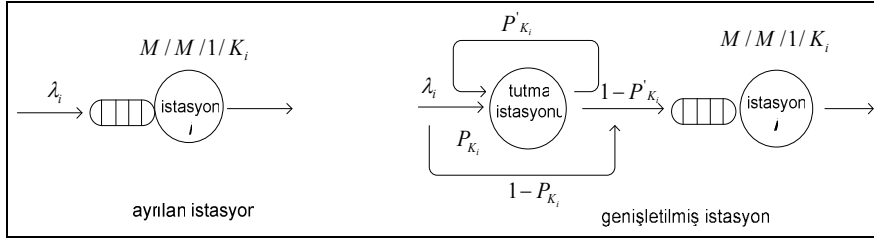
Her bir istasyonun çıktı oranı ve diğer performans ölçütlerini elde etmek için kuyruk sebekesi modellerinde güçlü bir yaklaşım tekniği olan yayılım metodu kullanılmıştır.

#### **IV. YAYILIM METODU**

Ayrışım ilkesi, kuyruk şebekelerinde kapalı form çözüm elde edilemediğinde sıkça kullanılan bir çözümlene yöntemidir. Asıl prensip, şebekeyi oluşturan istasyonların tek tek incelenmesi ve gerekli parametrelerin şebekenin tümünden bağımsız olarak hesaplanmasıdır. Ardından, her bir iş istasyonu'nun şebekenin geri kalanı ile olan ilişkisinin gözden geçirilmesine dayanır. Şebekenin istasyonlara ayrıştırılmasından sonra, yayılım metodu kullanılarak her bir istasyon tek başına incelenebilir [13, 14]. Bu metotta, her istasyona ait ara stoğun önüne, sonsuz ara stok kapasitesine ve sıfır işlem hızına sahip sanal bir istasyon konularak şebeke kavramsal olarak genişletilir (Şekil 2). Eklenen bu istasyonun amacı ara stok doluluğu sebebiyle bir istasyona kabul edilmeyen işleri kontrol etmek içindir, dolayısıyla “tutma istasyonu” olarak adlandırılır. Bloklanan işler bu istasyonda bir sonraki istasyona geçebilmek için ara stokta yer bulana kadar burada kalır. Bundan sonra, genişletilmiş şebekeyi belirleyen parametreler; istasyona gelen işler için gerçek oran ( $\lambda_i$ ), tutma istasyonuna gelen işlerin oranı ( $\lambda h_i$ ), bir iş istasyonu ara stoğunun tam dolu olma olasılığı ( $P_{Ki}$ ),  $i$  istasyonun da, istasyon arızalı iken ( $q = 1$ ) veya çalışırken ( $q = 0$ ),  $s_i$  ( $0 < s_i < K_i$ ) adet iş olma olasılığı ( $P_{qs_i}$ ), vb. hesaplanır.  $i$  istasyonuna bir iş gelmesi durumunda, eğer ara stoğu tam dolu değilse bu iş  $i$  istasyonuna  $1 - P_{K_i}$  olasılığı ile yönlendirilir. Diğer taraftan,  $i$ . istasyonun ara stoğunun dolu olması sebebiyle iş  $i$  istasyonu tarafından red edilmiş ise bu iş tutulma



istasyonuna yönlendirilir ve bu durumun olasılığı  $P_{K_i}$  ile gösterilir. Son olarak da yeniden tanımlanan değişkenlere göre her istasyonun çıktı oranı ( $th_i$ ) belirlenir [15]. Eğer bir istasyondan çıkan ürünler birden fazla istasyona çatalanıyorsa, bunlara ait olasılık dahilinde sonraki istasyonlara yönlendirilirler. Eğer bir istasyona birden fazla kaynaktan iş girdisi varsa, bunların birleşimi o istasyonun girdi oranını belirler. Bu yöntemle göre, son istasyonun çıktı oranı aynı zamanda tüm sistemin de çıktı oranıdır.



Şekil 2. Ayrılmış ve genişletilmiş istasyon.

$P_{q_{s_i}}$  için denge denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\lambda t_i P_{00_i} = \mu_i P_{01_i} \quad (5)$$

$$(\lambda t_i + \mu_i + \alpha_i) P_{0s_i} = \lambda t_i P_{0,s_i-1} + \mu_i P_{0,s_i+1} + \beta_i P_{1,s_i} \quad 1 \leq s_i \leq K_i \quad (6)$$

$$(\mu_i + \alpha_i) P_{0K_i} = \lambda t_i P_{0,K_i-1} + \beta_i P_{1,K_i} \quad (7)$$

$$(\lambda t_i + \beta_i) P_{11_i} = \alpha_i P_{01_i} \quad (8)$$

$$(\lambda t_i + \beta_i) P_{1s_i} = \alpha_i P_{0s_i} + \lambda t_i P_{1,s_i-1} \quad 2 \leq s_i \leq K_i \quad (9)$$

$$\beta_i P_{1K_i} = \alpha_i P_{0K_i} + \lambda t_i P_{1,K_i-1} \quad (10)$$

$$P_{10_i} = 0 \quad (11)$$

Sınır koşulu;

$$\sum_{q=0}^1 \sum_{s_i=0}^{K_i} P_{qs_i} = 1 \quad (12)$$

Denge denklemlerinin çözümünden sonra  $i$  istasyonunun çıktı oranı aşağıdaki gibi hesaplanır [15].

$$TH_i = (L_i - Lq_i) \mu_i + \lambda j_i (1 - P'_{K_i})^{\rho_i + \rho_{i-1}} (1 - P_{K_i}) \quad (13)$$

$i$  istasyonu'nun kullanım oranı ,  $\rho_i = \lambda_{ii} / \mu_i$

$i$  istasyonun'da beklenen iş sayısı (sıra ve servis),

$$L_i = \sum_{s_i=0}^{K_i} s_i P_{s_i} \quad (14)$$

$i$  istasyonun'da sırada olan beklenen iş sayısı,

$$Lq_i = \sum_{s_i=1}^{K_i} (s_i - 1) P_{0s_i} + \sum_{s_i=1}^{K_i} s_i P_{1s_i} = L_i - \sum_{s_i=1}^{K_i} P_{1s_i} \quad (15)$$

olarak elde edilir.

## V. DENEYLER VE SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde, model ve sistemin davranışı çeşitli parametreler altında incelenmiş, sistem performansına ait ölçütler elde edilmiştir. İncelenen sistem üç aşamalı seri yeniden üretim sistemidir ve sisteme ilişkin değişken maliyet değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Deneyler için parametre seçimi Tablo 2'de verildiği gibi geniş bir aralığı kapsayacak şekilde seçilmiştir. Deney tasarımında tam faktöryel yerine ortogonal vektörler tercih edilmiştir. Bunun için şu faktörler ele alınmıştır: Servis hızı  $\mu_i$ ,  $i$  istasyonu'nun kullanılabilirlik oranı  $\varphi_i$ , ara stok kapasitesi  $B_i$  ve son ürüne olan talep  $\gamma$ . Her bir parametre'nin 2 seviyeli ele alınması durumunda üç istasyonlu bir sistem için kullanılan ortogonal vektör  $L_8(2^7)$ , Tablo 2'de görüldüğü üzere deney sayısını 8'e indirgemıştır [16]. Ortogonal vektör kullanmanın üstünlüğü, bütün deneysel alanı etkin şekilde ve az sayıdaki deney sayısı ile kapsamasıdır. Tablo 3'de üç istasyon için, verilen son ürün

talebine göre dinamik programlama ile elde edilen en iyi girdi miktarları  $\lambda_i^*$ , sistem çıktı oranı  $th_i$  ve atık miktarı  $(\lambda_i - th_{i-1})^+$  verilmiştir. Ayrıca, Şekil 3'de verilen sistem parametreleri için elde edilen, sistemdeki ara stok miktarı, toplam işlem süresi ve toplam maliyet gibi sistem performans ölçütleri sunulmuştur.

**Tablo 1.** Maliyet değerleri.

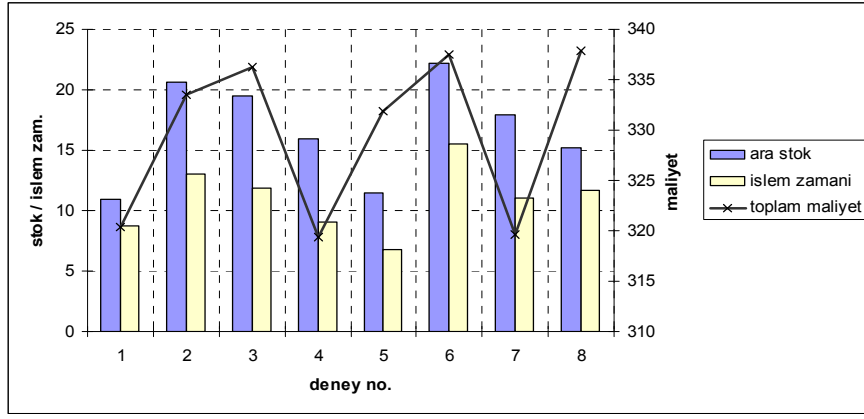
İstasyon	$A_i$	$c_i$	$cd_i$	$c_h$	$c_l$
1	100	3	1	-	-
2	100	4	1.5	-	-
3	100	5	2	2	3

**Tablo 2.**  $\mu$ -dengeli sistem için deneysel çerçeve,  $L_8(2^7)$  ortogonal vector.

No.	$\varphi_1$	$B_1$	$\varphi_2$	$B_2$	$\varphi_3$	$B_3$	$\gamma$
1	0.6	5	0.6	5	0.6	5	1
2	0.6	5	0.6	8	0.8	8	1.5
3	0.6	8	0.8	5	0.6	8	1.5
4	0.6	8	0.8	8	0.8	5	1
5	0.8	5	0.8	5	0.8	5	1.5
6	0.8	5	0.8	8	0.6	8	1
7	0.8	8	0.6	5	0.8	8	1
8	0.8	8	0.6	8	0.6	5	1.5

**Tablo 3.** Sonuçlar.

D deney No.	$\lambda_1^*$	$th_1$	$\lambda_2^*$	$(\lambda_2 - th_1)^+$	$th_2$	$\lambda_3^*$	$(\lambda_3 - th_2)^+$	$th_3$
1	2.027	1.381	1.377	0.0048	1.005	1.001	0.0045	0.747
2	3.541	2.23	2.228	0.0024	1.504	1.502	0.0021	1.094
3	4.074	2.346	2.345	0.0013	1.501	1.508	0.0071	1.113
4	1.845	1.346	1.338	0.0082	1.002	1.002	0.0002	0.749
5	3.32	2.1	2.098	0.0021	1.505	1.504	0.0013	1.118
6	6.109	1.343	1.337	0.0060	1.002	1.002	0.0004	0.749
7	1.858	1.379	1.377	0.0020	1.005	1.001	0.0037	0.750
8	4.594	2.241	2.228	0.0130	1.504	1.503	0.0012	1.123



Şekil 3. Sistem performans ölçütleri.

## VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yeniden kullanılabilir ürünlerin eniyi geri kazanım ve atık stratejilerini belirlemede kullanılan bir model geliştirilmiştir. Yeniden üretim sistemi, açık kuyruk sistemi olarak modellenmiş, ayrışım ilkesi ve yayılım modeline göre çözümlenmiştir.

Modelin uygulamasını göstermek amacıyla sayısal bir örnek verilmiştir. Örnekteki sonuçlara göre dinamik programlama algoritması her aşamadaki en iyi geri kazanım/atık oranını belirleyerek sistemin toplam maliyetini enküçükmektedir. Seçilen parametre kümesine göre elde edilen performans ölçütleri de şu şekilde yorumlanabilir. Sistemdeki ara stok miktarı arttıkça, işlem zamanı ve dolayısıyla toplam maliyet artmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada sistem istasyonları  $\mu$ -dengeli seçildiği için son ürüne olan talep  $\gamma$  ilk istasyon için eniyi girdi miktarı üzerinde ciddi bir etki yapmaktadır. Tablo 3’de görülebileceği gibi, ara stok seviyesi arttıkça son ürün çıktı oranı artmaktadır. Bu sonuç, sistemin ara stok seviyesi arttıkça daha etkin kullanım için yüksek geri dönüş ve geri kazanım oranına ihtiyaç duyması olarakda yorumlanabilir.

Yapılan deneylerde gözlenmiştir ki istasyonlardaki atık oranı, sistemin başındaki istasyonlarda sonlardaki istasyonlara göre daha fazladır. Burada, son istasyonlardaki ihtiyaç fazlası ara stok, baştaki istasyonlara aktarılarak sistemin çıktı oranı artırılabilir, istasyonlardaki atık miktarı ise azaltılabilir. Bunun

yanında istasyonun iş kapasitesini belirleyen parametrelerde  $(\mu_i, \alpha_i, \beta_i, B_i)$  sistemin performansında etkindir. Bundan sonra yapılacak çalışmalar sistemle ilgili diğer faktörleri de göz önüne almalıdır. Bunlardan bazıları talep üzerindeki dalgalanma, geri dönen ürünlerin farklı şekillerde değerlendirilmesi ve alternatif tedarik kanallarının sistemle beraber çalıştırılması olabilir.

### **KAYNAKLAR**

- [1] Teunter, R. H., “Determining optimal disassembly and recovery strategies”, Omega The International Journal of Management Science, Cilt 34, 533-537, 2005.
- [2] Thierry, M., Salomon, M., van Nunen, J., ve van Wassenhove, L., , “Strategic issues in product recovery management”, California Management Review, Cilt 37, No 2, 114-135, 1995.
- [3] Aksoy, H. K. ve Gupta, S. M., “An open queuing network model for remanufacturing systems”, Proceedings of the 25<sup>th</sup>. Conference on Computers and Industrial Engineering, New Orleans, LA, 29-31 Mart, 1999.
- [4] Aksoy, H. K. ve Gupta, S. M., “Buffer allocation plan for cellular remanufacturing systems”, Computers and Industrial Engineering, Cilt 48, 657-677, 2005.
- [5] Yano, C. A. ve Lee, H. L., “Lot-sizing with random yields: a review”, Operations Research, Cilt 43, 311-334, 1995.
- [6] Erdos, G., Kis, T., Xirouchakis, P., “Modeling and evaluating product end-of-life options”, International Journal of Production Research, Cilt 39, No 6, 1203-1220, 2001.
- [7] Johnson, M. R. ve Wang, M. H., “Planning product disassembly for material recovery opportunities”, International Journal of Production Research, Cilt 33, No 11, 3119-3124, 1995.
- [8] Johnson, M. R. ve Wang, M. H., “Economic evaluation of disassembly operations for recycling, remanufacturing and reuse”, International Journal of Production Research, Cilt 36, No 12, 3227-3252, 1998.

- [9] Navin-Chandra, D., "The recovery problem in product design", *Journal of Engineering Design*, Cilt 5, No 1, 65-86, 1994.
- [10] Penev, K. D. ve Ron, A. J., "Determination of a disassembly strategy", *International Journal of Production Research*, Cilt 34, No 2, 495-506, 1996.
- [11] Simpson, V. P., "Optimum solution structure for a repairable inventory problem", *Operations Research*, Cilt 26, 270-281, 1978.
- [12] Krikke, H. R., Van Harten, A., Schuur, P. C., "On a medium term product recovery and disposal strategy for durable assembly products", *International Journal of Production Research*, Cilt 36, No 1, 111-139, 1998.
- [13] Kerbache, L. ve Smith, J. M., "The Generalized Expansion Method for Open Finite Queueing Networks", *European Journal of Operational Research*, Cilt 32, 448-461, 1987.
- [14] Jain, S. ve Smith, J. M., "Open Finite Queueing Networks with M/M/C/K Parallel Servers", *Computers and Operations Research*, Cilt 21, No 3, 297-317, 1994.
- [15] Gupta, S. M. ve Kavusturucu, A (2000) *Production systems with interruptions, arbitrary topology and finite buffers*, *Annals of Operations Research*, 93, 145-176.
- [16] Phadke, M. S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Englewood Cliffs, New Jersey, A.B.D., 1989.