

BAKIM STRATEJİLERİ VE BEKLEME HATTI MODELİ UYGULAMASI

Yar. Doç. Dr. Erkut DÜZAKIN
Çukurova Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
eduzakin@cu.edu.tr

Arş. Gör. Mert DEMİRCİOĞLU
Çukurova Üniversitesi
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
İşletme Bölümü
mdemircioglu@cu.edu.tr

ÖZET

Endüstrideki makineleşme ve makinelere olan sermaye yatırımı arttıkça, bu sistemlerin bakımı daha çok önem kazanmıştır. Üretim maliyetlerinin minimumda tutulabilmesi ve zamanında dağıtımın artırılabilmesi için üretim sürecinin kesintisiz olarak sürmesi gereklidir. Dolayısıyla işletmelerin maliyet avantajı sağlamak için bakım sistemlerini geliştirmeleri gerekmektedir.

Bu çalışma makine kullanım oranını geliştirmek yoluyla makine sisteminin verimlilik artışını sağlamak üzere belirli bir makinenin bakım politikasını belirleme problemi ile ilgilidir. Bu çalışmada ele alınan makine sistemi bir gıda üretim işletmesindeki üretim hatları ile ilgilidir.

Çalışmada bakım-onarım sistemleri ve bekleme hattı modelleri ile ilgili mevcut literatür incelenmiştir. Daha sonra ise bir bakım-onarım sistemi için bakımcı sayısının belirlenmesi, koruyucu bakım periyodunun belirlenmesi, tampon stok miktarının belirlenmesi ve yedek makine kullanılması gibi çeşitli yaklaşımlar bir gıda üretim işletmesinde uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakım-onarım sistemleri, Bekleme hattı modelleri, Makine arızası, Optimizasyon, Önleyici bakım

ABSTRACT

As mechanization in industry and capital investment on machinery have increased, the maintenance of these systems gained more importance. To be able to keep production costs at a minimum and increase on time delivery, uninterrupted operation of manufacturing process is essential. So firms should improve their maintenance systems for gaining cost advantage.

This study deals with the problem of assigning the appropriate maintenance policy to the considered machinery for achieving an increased efficiency through increasing the machine availability. The machine system examined in this study is related with the production lines operating in a food production company.

In this study, the existing literature on the maintenance systems and queueing models has been examined. Then various approaches like determination of the number of maintenance worker, the buffer stocks and period of the preventive maintenance and using the spare machine have been applied in a food production company.

Key Words: Maintenance systems, Queueing Models, Machine breakdown, Optimization, Preventive Maintenance

1. GİRİŞ

İşletmelerde kullanılan makine ve tesisatlardan nominal kapasiteleri seviyesinde randıman alınamamaktadır. Bunun nedenleri ise, iş gücü verimliliğinin düşük olması, yönetimin yetersizliği ve diğer ekonomik koşullardır. Arızaların sebep olduğu makine duruşlarının da kapasitenin yeterince kullanılmamasında büyük payı olmaktadır. Bakım ve onarımın yetersiz olması işletme veriminin ve kalitenin düşmesine neden olmakta, sonuçta ürün maliyetleri artmaktadır.

Bu koşullara rağmen bakım–onarım sistemlerine gerektiği kadar önem gösterilmemektedir. Bakım planlamasının önemsenmemesinin nedeni ekonomik koşullar olarak gösterilmektedir. Fakat birçok işletme arıza nedeni ile meydana gelen duruşların bakım giderlerine oranla nasıl bir ekonomik tablo göstereceğini araştırmamaktadır. Birçok işletmede bakım planlaması ihmal edilmektedir (Gürtekin, 1996).

Bakım–onarım sistemlerinde, *makinenin arızalandığı durumda gerçekleşen bakım* ve *önleyici bakım* olmak üzere iki tip bakım vardır. Makinenin arızalandığı durumda gerçekleşen bakım, üretim sistemindeki makine ve teçhizatın herhangi bir nedenle kısmen veya tamamen çalışamaz duruma girdiğinde tekrar çalışır duruma getirmek için uygulanan işlemdir. Tamir süresinin kısa tutulması kapasite kullanım oranını artırır. Buna karşılık tamir ekiplerinin maliyetinin artmamasına dikkat edilmelidir.

Koruyucu bakımda ise makine ve teçhizat, arıza meydana gelmesi beklenmeksizin, önceden tespit edilmiş süreler sonunda gözden geçirilir, gerekli parçalar değiştirilir ve ayarlamaları yapılır. Koruyucu bakım, beklenmedik arızalar sonucu meydana gelen üretim aksaklıklarını ve kapasite kayıplarını önemli ölçüde azaltır. Bu avantaja karşılık erken değişen parçaların ve muayene işlemlerinin maliyeti artar. Burada önemli olan en etkin bakım–onarım sisteminin uygulanmasıdır (Kobu, 1994).

Bu çalışmada bekleme hattı modellerindeki bakım sistemleri incelenmiştir. Bakım sistemlerinin amacı servis kanallarının optimum şekilde hizmet vermesini sağlamaktır.

Bakım sistemleri servis kanallarının optimum şekilde çalışmasını sağlamak için tamir ve önleyici bakım olmak üzere iki şekilde hizmet vermektedir. Kısa aralıklar ile önleyici bakım yapılarak arızaların çoğunun önüne geçilebilir. Fakat bu durumlarda sistemi durdurmak gerekir. Ayrıca önleyici bakım faaliyetleri çoğunlukla maliyetli faaliyetlerdir. Önleyici bakım yapılmadığı zamanlarda ise servis kanalları sık bir şekilde arıza yapacak ve üretim veya hizmet vermesi kesilmiş olacaktır. Bu çalışmadaki ana amaç en uygun maliyetlerle bekleme hattı sistemlerinin durmadan çalışmasını sağlamaktır.

Bir gıda üretim işletmesinde uygulaması yapılan bu çalışmada aşağıdaki sorulara cevap aranması amaçlanmıştır:

- İşletmede en sık rastlanan arızalar nelerdir?
- İşletmenin bakım sisteminde bulunması gereken bakımcı sayısı kaç olmalıdır?

- İşletmenin bakım sistemi için yıllık optimum bakım sayısı kaç olmalıdır?
- Herhangi bir hat için tampon stok tutulması maliyet azaltıcı bir yöntem midir?
- Üretim hatları için yedek bir makine bulunması hangi durumda maliyet azaltıcı bir yöntemdir?

Ayrıca aşağıdaki hipotezlerin sınanması amaçlanmıştır:

- Arızalı makine gelişleri Poisson dağılımına uymaktadır.
- Tamir süreleri üstel dağılıma uymaktadır.

Üretim veya hizmet sistemlerindeki herhangi bir veya birkaç servis kanalının devre dışı kalması zincirleme etki yaratarak bütün sistemi durdurabilir. Sistemin durması durumunda aşağıdaki etkiler meydana gelecektir;

- Servis kanallarının ve onları çalıştıran kişilerin boş kalmaları,
- Genel masraflarının artması,
- Müşteri taleplerinin karşılanamaması,
- Aksaklığın meydana geldiği departmanla ilgili bulunan diğer departmanlardaki gecikme ve boş bekleme,
- Kalitenin düşmesi,
- Siparişlerin veya hizmetin zamanında teslim edilmemesi yüzünden müşteriye kaybetme veya tazminat ödeme.

Bu aksaklıkların giderilmesi de bakım–onarım sisteminin optimum bir şekilde çalışmasıyla mümkündür. Bu çalışma yukarıda sıralanan aksaklıkların yaşanmaması için gereken bakım stratejilerinin incelenmesine yöneliktir. Bu sayede bakım–onarım sistemleri için uygun bir strateji belirlenmeye çalışılarak, sistemin durmasından dolayı meydana gelebilecek önemli maliyet kalemlerinin azaltılması umulmaktadır.

2. YÖNTEM

Bekleme hattı modellerindeki bakım sistemlerinin incelendiği bu çalışmada, bakım–onarım sistemleri için uygun bakım stratejisi bulunmaya çalışılmıştır. Uygun strateji bulunurken de bakım–onarım sistemini oluşturan maliyetlerin azaltılması gerekmektedir.

Bakım–onarım sistemini oluşturan üç ana maliyet vardır:

1. Arıza bakım maliyetleri
2. Koruyucu bakım maliyetleri
3. Sistemin durmasından kaynaklanan bakım maliyetleri

Çalışmada bir gıda fabrikasındaki bakım–onarım sistemi incelenerek bakım–onarım maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar içinde fabrikanın bakım–onarım sistemiyle ilgili aşağıdaki veriler kullanılmıştır:

- İncelenen sistemdeki hat ve makine sayısı
- Üretim hızı
- Üretim maliyetleri
- Arızanın meydana geldiği makine
- Arızanın türü
- Arızanın meydana geldiği zaman
- Sistemin toplam duruş süresi
- Arıza tamir süresi ve maliyetleri
- Koruyucu bakım periyotları ve maliyetleri
- Bakım çalışanlarının maliyetleri

Bakım–onarım sisteminde yapılacak olan uygulamaya ait veriler, arıza meydana geldiği zaman bilgisayara girilmektedir. Bilgisayara girilen veriler, arızanın yeri, arıza nedeni, makine adı ve kodu, arızanın olduğu tarih ve saat, müdahale tarihi ve saati, onarımın tamamlandığı tarih ve saat, soğutma süresi ve üretime tekrar başladığı tarih ve saat şeklindedir. Bakım–onarım sistemi için uygulama gıda üretim işletmesinin paketleme bölümündeki 01.05.2003 ile 31.07.2003 tarihleri arasındaki tüm arıza verileri gözlem ve belgesel tarama yöntemiyle edinilmiştir. Ayrıca bakım–onarım sistemindeki yetkililer ile görüşülerek ve ilgili dokümanlar edinilerek mevcut bakım–onarım sistemi ile ilgili bilgiler toplanmıştır.

Verilerin çözümlenmesi için Pareto analizi, Ki-Kare testi, sonlu geliş kaynaklı bekleme hattı modelleri ve modeller ile ilgili çeşitli yaklaşımlar kullanılmıştır.

İtalyan iktisatçı Wilfredo Pareto tarafından geliştirilen Pareto analizi tekniği özellikle toplam kalite yönetiminin kurucularından Joseph M. Juran’ın çalışmaları neticesinde yönetim alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Pareto analizi, bir problemde en fazla önem taşıyan hususun ne olduğunu tespit etmek için kullanılmaktadır. Pareto diyagramları, problemleri sebep ve olaya göre sınıflandırır. Kalite geliştirme çalışmalarında ve problem çözümede yaygın olarak yararlanılan bir tekniktir (Aktan, 2001). Bakım–onarım sistemleri içinde Pareto analizi sıkça uygulanan yöntemlerden biridir. Pareto analizi sayesinde duruş sayılarının ve duruş sürelerinin dağılım yüzdeleri analiz edilir. Duruş sayılarının dağılım yüzdeleri ve duruş sürelerinin dağılım yüzdeleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak Pareto diyagramları oluşturulur.

Belirli bir süre için bakım–onarım bölümüne gelen arızalı makine sayılarının Poisson dağılımına, onarım sürelerinin ise üstel dağılımına uyduğu varsayılır. Verilerin hangi dağılıma uyduklarının saptanması için yapılması gereken iki tane test vardır. Bunlar:

- Ki-Kare Testi
- Kolmogorov – Smirnov Testi

Duruş sayılarının ve onarım sürelerinin hangi dağılıma uyduğunun saptanması, bu verilerin Statistica adlı program ile Ki-Kare ve Kolmogorov – Smirnov testlerinin yapılmasıyla sağlanabilmektedir.

Kuyruk sisteminin potansiyel müşterilerinin oluşturmuş olduğu popülasyonun sonlu olduğu (N) durum dikkate alındığında kuyruk sisteminde n tane müşteri varken, geriye (N – n) tane potansiyel müşteri kalacaktır (Öztürk, 1994). Bu modelin en tipik bir uygulaması makine tamir problemidir. Bir tamircinin N tane makineden sorumlu olduğu düşünüldüğünde, bozulan makineler burada bir kuyruk oluşturacaktır. Herhangi bir anda çalışır durumda olan makineler potansiyel müşteri olacaktır. Geliş popülasyonunun her bir üyesi kuyruk sisteminin içinde ve dışında olma arasında gidip gelecektir. M/M/s modelinde olduğu gibi müşterilerin birim zamanda kuyruk sistemini terkettiği andan tekrar kuyruk sistemine dönüş hızı λ parametrelili üstel dağılıma uyduğu kabul edilirse, sistemde n tane müşteri olduğu verilmişken, bir sonraki müşterinin kuyruğa geliş hızı için N – n müşterinin geriye kalan sistemin dışında kalma hızlarının minimumu olacaktır. Üstel dağılımın özelliği gereği bu süre $\lambda_n = (N - n)x\lambda$ parametrelili bir üstel dağılım olur (Hillier ve Lieberman, 1990).

2.1. Bakım–Onarım Sistemindeki Bakımcı Sayısının Belirlenmesi

Bekleme hattı problemleri iki tür durum dolayısıyla ortaya çıkmıştır. Bunlardan birincisi servis sisteminin, talepleri gerektiği şekilde karşılayamaması, ikinci durum ise servis kapasitesinin talebe göre çok büyük tutulması ve bundan dolayı meydana gelen boş bekleme durumudur (Watenhorst, 1995).

Kuyrukta bekleme zamanı ile servis kapasitesinin boş kalmasından dolayı meydana gelen maliyetler arasında optimum bir denge olması istenir. Buradaki sorun üç şekilde çözülebilir. Birincisi birim zamanda arızalanan makine sayısı (λ) değiştirilerek, ikinci yöntem birim zamandaki servis verilen müşteri sayısı (μ) değiştirilerek, üçüncü yöntem ise optimum dengeyi sağlayacak servis kanalı sayısının belirlenmesi şeklindedir.

Birim zamanda arızalanan makine sayısı, makinelerin durumuna ve uygulanan bakımlara göre değişmektedir. Birim zamandaki servis verilen müşteri sayısı ise bakım ekibinin ne kadar verimli çalıştığı ile ilgilidir. Bunu artırmak ise bakım ekibinde çalışan kalifiye elemanlar ile onlara verilen eğitimler ile ilgilidir. Optimum dengeyi sağlayacak servis kanalı sayısının belirlenmesi için arızalardan dolayı meydana gelen maliyetler belirlenir ve minimum maliyeti veren servis kanalı seçilir.

Bakımcı sayısının belirlenmesinde etkili iki maliyet vardır. Bunlardan birincisi yeterli bakım ekibinin bulunmamasından kaynaklanan üretim kaybı maliyeti, ikincisi ise bakım–onarım ekibinin boş kalmasından dolayı ortaya çıkan boş bekleme maliyetidir. Optimum bakımcı sayısının belirlenmesi de bu iki maliyet toplamının yani bakımcı maliyetinin minimizasyonu sayesinde ortaya çıkmaktadır. Bu maliyetin değişkenleri, kısaltmaları ve gerekli formüller aşağıda belirtilmiştir:

- BM : Bakımcı maliyeti
- BS : Bakımcı sayısı
- C_i : Bir günlük işçilik maliyeti
- C_{ii} : Bir günlük üretim kaybı maliyeti
- λ : Belirli bir dönemde meydana gelen arıza sayısı

W : Arızalı makinelerin sistemde geçirdiği ortalama süre

$$BM = C_i \times BS + \lambda x W x C_{ii}$$

2.2. Bakım – Onarım Sistemindeki Koruyucu Bakım Periyodunun Belirlenmesi

Koruyucu bakım makine arızalarını belirli bir oranda azaltır. Bunun yanında koruyucu bakımın bir maliyeti de vardır. Bu iki koşulu göz önünde tutarak bakım–onarım sistemi için koruyucu bakım periyodu belirlenir. Koruyucu bakım yapıldığında arıza bakım maliyetleri azalır ve bunun yanında makine arıza sayısındaki azalışla da üretim kaybı da belirli bir oranda engellenmiş olur. Bunun sonucu olarak da üretim hedefleri gerçekleşmiş ve sipariş teslimatlarında da sorun yaşanmamış olur. Koruyucu bakım uygulandığında da belirli periyotlarda üretim kesilecektir. Ayrıca koruyucu bakımın da kendine ait malzeme ve işçilik adı altında toplanabilecek bir maliyeti vardır. İşte bu her iki koşulu da değerlendirerek koruyucu bakım periyodu belirlenir.

Toplam bakım maliyeti hesaplanarak, toplam bakım maliyetine koruyucu bakım periyodunun etkisi de saptanıp optimum koruyucu bakım periyodu belirlenir. Bu maliyetlerin hesaplanması için gerekli olan değişkenler, kısaltmaları ve gerekli formüller aşağıda belirtilmiştir:

TBM : Yıllık toplam bakım maliyeti

$1/\mu$: Ortalama bekleme süresi

C_i : Bir günlük işçilik maliyeti

C_m : Bir onarım için gerekli ortalama malzeme maliyeti

C_{ii} : Bir günlük üretim kaybı maliyeti

C_k : Birim koruyucu bakım maliyeti

KP : Koruyucu bakım sayısı

λ : Belirli bir dönemde meydana gelen arıza sayısı

$$TBM = 360x \left[\frac{1}{\mu} x \lambda x (C_i + C_{ii}) + \lambda x C_m \right] + KP x C_k$$

Koruyucu bakım sayısı arttıkça arıza sayısı azalmaktadır. Buna göre koruyucu bakım sayısı ile arıza sayısı arasında ters orantı bulunmaktadır. Farklı koruyucu bakım periyotları denenerek toplam bakım maliyetini minimum yapan koruyucu bakım periyodu seçilir.

2.3. Bakım–Onarım Sistemindeki Tampon Stok Miktarının Belirlenmesi

Üretim hattındaki makineler tampon stok yaparsa duruş sırasında üretim kesilmemektedir. Üretim kesilmediği için duruşlardan kaynaklanan üretim kayıpları minimuma düşmektedir. Tampon stok üretimin kesilmemesi için üretim hattının hemen yanında bulunan bir stoktur. Bu tür duruma uyan çok sayıda örnek vardır. Bu örnekler üç grupta toplanabilir (Perry ve Posner, 2000).

1) Tampon stoğun üretimdeki bir makine tarafından yapılması durumu: Örneğin araba üretim hattında gövdeyi oluşturan metali kesen makine üretim hattı için gereğinden daha fazla sayıda üreterek duruş anında üretimin kesilmesini engellemektedir.

2) Birçok parçadan oluşan bir ürün için: Her bir parça üreten makineler gerektiğinden daha fazla üretirler ise duruş anında makine monte işlemi kesilmeden devam edilebilecektir.

3) Seri haldeki makineler için: Seri haldeki makinenin durduğu anda tampon stoğu kullanılarak üretim kesilmeden devam eder.

Tampon stoğun miktarının saptanması için gerekli olan değişkenler, kısaltmaları ve gerekli formüller aşağıda belirtilmiştir.:

$X_1^{(i)}$: i. dönemde makinenin çalışma süresi (μ_1 üstel dağılıma sahip)

$\lambda = 1/\mu_1$: Hata Oranı

$X_2^{(i)}$: i. dönemde tamir süresi (μ_2 üstel dağılıma sahip)

$\theta = 1/\mu_2$: Makine tamir oranı

$P = \frac{\theta}{(\lambda + \theta)}$: Makinenin kullanım oranı

bin : Tampon stokun artması (Makine çalışırken)

bout : Tampon stokun azalması (Makine tamir olurken)

$a = bin/bout$: stok birikme oranı

$X_b^{(i)}$: i. dönemde makine arızasından dolayı tampon stokta geçen süre

$$X_b^{(i)} = axX_1^{(i)} + \max\{0, X_b^{(i-1)} - X_2^{(i-1)}\}$$

$X_b^{(i)}$ dağılımın $i \rightarrow \infty$ göre limiti mevcuttur ve bu limit sistemin ilk halinden bağımsızdır. Limit alındığında;

$$\mu_b = \lim_{i \rightarrow \infty} E[X_b^{(i)}] = ax\mu_1 + E[Y|Y > 0] \times \Pr(Y > 0)$$

$$Y = X_b - X_2$$

$\Pr(Y > 0)$ uzun dönemde makine arızaları sonucu üretim hattının durmadığını göstermektedir. X_b değişkeni μ_3 ortalamalı $\phi = 1/\mu_3$ oranına sahip X_3 değişkenine uyarlanmaya elverişlidir. μ_b dağılımı μ_3 dağılımıyla aynıdır.

$$\Pr(Y > 0) = \frac{\theta}{(\phi + \theta)}$$

$$E[Y|Y > 0] = \mu_3$$

Denklem tekrar uyarlandığında;

$$\mu_3 = ax\mu_1 + \mu_3x \frac{\theta}{(\phi + \theta)}$$

denkleme elde edilir.

$$\phi = \frac{\lambda}{a} - \theta \text{ ve } \mu_3 = \frac{\alpha}{1-r}$$

burada $\alpha = a/\lambda$ ve $r = ax\theta/\lambda$ dir. Burada $r < 1$ durumu stoğun sonsuza doğru gitmeme koşuludur.

Tampon stok kullanma durumunda yeni bir λ ve θ değişkenleri ortaya çıkacaktır. Bu değişkenler azaltılmış hata oranı olan $\tilde{\lambda}$ ve tamir oranı $\tilde{\theta}$ dir. Azaltılmış hata oranı, normal hata oranının tampon stoğunun boş kalma olasılığı ile çarpımına eşittir. Bu da

$$\tilde{\lambda} = \lambda x \left(\frac{\phi}{\phi + \theta} \right)$$

$$\tilde{\lambda} = \lambda - ax\theta \text{ dir.}$$

Farklı hata ve tamir oranına sahip iki ayrı hat için tampon stoklar uygulanırken dört farklı durumdan söz edilebilir. Hatlara A ve B denirse;

Durum0: Her iki hattı da arızalı olduğu durum

Durum1: A hattı çalışıyor, B hattı arızalı

Durum2: B hattı çalışıyor, A hattı arızalı

Durum3: Her iki hat da çalışıyor

Bu iki hatta bakan bir tane bakım ekibinin olduğu varsayılırsa ve ilk tamir önceliğinin A hattında olduğu kabul edilirse bu dört durum için ortaya çıkacak olan matris aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{pmatrix} -\theta_A & \theta_A & 0 & 0 \\ \lambda_A & -\lambda_A - \theta_B & 0 & \theta_B \\ \lambda_B & 0 & -\lambda_B - \theta_A & \theta_A \\ 0 & \lambda_B & \lambda_A & -\lambda_A - \lambda_B \end{pmatrix}$$

Durağan durumda k. durumda bulunma olasılığı w_k ise, $w\Lambda = 0$, $w = (w_0, w_1, w_2, w_3)$ ve $\sum_{k=0}^3 w_k = 1$ için aşağıdaki durağan durum olasılıkları elde edilir.

$$\begin{aligned} w_0 &= \lambda_A x \lambda_B x (\lambda_A + \lambda_B + \theta_A + \theta_B) / \Delta \\ w_1 &= \lambda_B x \theta_A x (\lambda_A + \lambda_B + \theta_A) / \Delta \\ w_2 &= \lambda_A x \theta_A x \theta_B / \Delta \\ w_3 &= \theta_A x \theta_B x (\lambda_B + \theta_A) / \Delta \\ \Delta &= \theta_A^2 x (\lambda_B + \theta_B) + \theta_A x \theta_B x (\lambda_A + \lambda_B) + \theta_A x \lambda_B x (2\lambda_A + \lambda_B) + \lambda_A x \lambda_B x (\lambda_A + \lambda_B + \theta_B) \end{aligned}$$

Bu dört durağan durum olasılıkları saptandıktan sonra üretim kaybı maliyetini hesaplamak için aşağıdaki maliyet değerlerini kullanılarak toplam maliyet çıkartılır.

$$\begin{aligned} c_A, c_B &: \text{Durum 0 iken A ve B hatlarındaki birim üretim kaybı maliyeti} \\ c'_B &: \text{Durum 1 iken B hattındaki birim üretim kaybı maliyeti} \\ c'_A &: \text{Durum 2 iken A hattındaki birim üretim kaybı maliyeti} \\ N_A, N_B &: \text{A ve B hatlarından hatasız üretilen ürün miktarı} \end{aligned}$$

Toplam maliyet ise,

$$c = w_0 x (c_A x N_A + c_B x N_B) + w_1 x c'_B x N_B + w_2 x c'_A x N_A$$

şeklinde bulunur. Bulunan c değeri hatların performansı ile ilgili fikir verir. Hatların duruş zamanlarını azaltmak için tampon stokların miktarı artırılabilir, hata oranı ve tamir zamanları azaltılabilir.

2.4. Yedek Makine Bulundurma Durumu

Bu durum sistemde çalışan makinelerin yanı sıra aynı işlevi görecektir bir başka makinenin yedek olarak sistemde bulundurulmasıdır. Genel olarak çok masraflı ve kapasiteyi etkin kullanmama gibi dezavantajları olduğu için yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Yedek makine bulundurma durumunda o makineye ait bir yatırım maliyeti söz konusudur. Bunun yanında yedek bir hattın ortaya çıkmasından dolayı üretimin kesilmesi büyük oranda azalacağı için üretim kaybı da büyük oranda azalacak buradan da firmaya bir maliyet tasarrufu sağlamış olacaktır.

Yedek makine kullanılmadığı durumda üretimin kesilmesi herhangi bir makinenin arızalandığı durumda olmaktayken, yedek makinenin bulunduğu bir sistemde

bir makine arızalandığı durumda bile üretim kesilmeyecektir. Yedek makine kullanılıp, kullanılmama kararını vermek için gerekli olan değişkenler, kısaltmaları ve gerekli formüller aşağıda belirtilmiştir:

- YMM : Yedek makinenin maliyeti
TDM : Sistemin toplam duruş miktarı
 P_0 : Sistemde arızalı makine bulunmama olasılığı
 $C_{\bar{u}}$: Bir saatlik üretim kaybı maliyeti

$$YMM - TDMx(1 - P_0)x C_{\bar{u}} \leq 0$$

olduğu durumlarda yedek makine almak firmaya bir maliyet azalışı sağlayacaktır.

3. UYGULAMA VE SONUÇLARI

Uygulamanın ilk kısmında Pareto analizi yardımıyla arızaların meydana geliş sebepleri araştırılmıştır. İkinci kısımda duruş ve tamir sürelerinin dağılımları saptanmıştır. Üçüncü kısımda ise bakım-onarım sistemi için en uygun bakımcı sayısı hesaplanmaya çalışılmıştır. Dördüncü kısımda optimum koruyucu bakım periyodu belirlenip, beşinci kısımda üretimin kesilmemesi için gerekli olan tampon stok miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Son kısımda ise yedek makine bulundurulmasının firmaya getireceği maliyet ve kazançlar incelenmiştir.

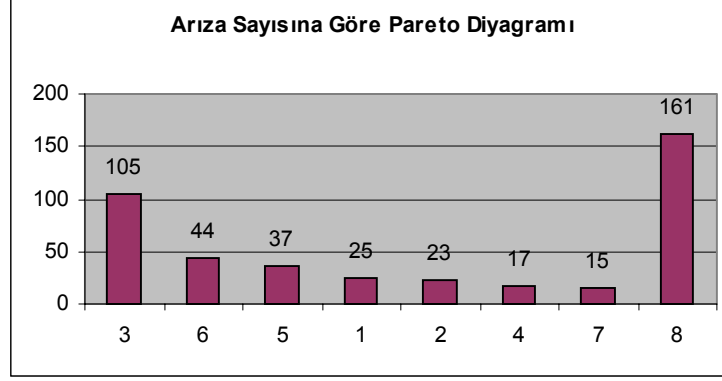
3.1. Pareto Analizi İle Arıza Sebeplerinin İncelenmesi

Firmanın üç aylık arıza verileri incelendiğinde çok çeşitli nedenlerde arızaların meydana geldiği görülmektedir. Bu üç aylık dönemde 46 çeşit farklı arıza meydana gelmiştir. Ancak bu arızaların büyük bir çoğunluğu çok seyrek görülmektedir. Sıklıkla görülen arıza sebepleri aşağıdaki gibidir.

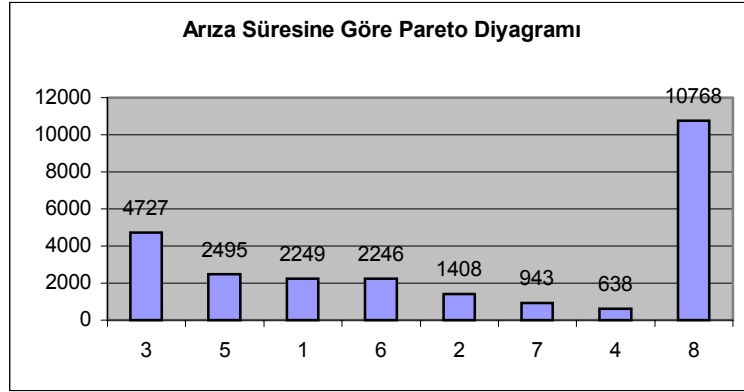
1. Bıçak arızası
2. Granaaj ayarının bozulması
3. Kağıt alamama durumu
4. Kapak arızası
5. Kulakçık arızası
6. Perfektörün soğutmaması
7. Pompanın çalışmaması
8. Diğer

Firmada yılda yaklaşık olarak 1700 adet arıza meydana gelmektedir. Üç aylık dönemde toplam 427 adet arıza meydana gelmiş, bu arızalar nedeniyle üretim 25.114 dakika durmuştur. Gözlem alınan dönemdeki arıza sayısı genel dönemdeki arıza sayısına denk düşmektedir. Arıza sayıları ondan az olan arızalar diğer kategorisinde yer

almıştır. Bu arızaların sayıya ve süreye göre Pareto diyagramı Şekil – 3.1 ve Şekil – 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil – 3.1 Arıza Sayısına Göre Pareto Diyagramı



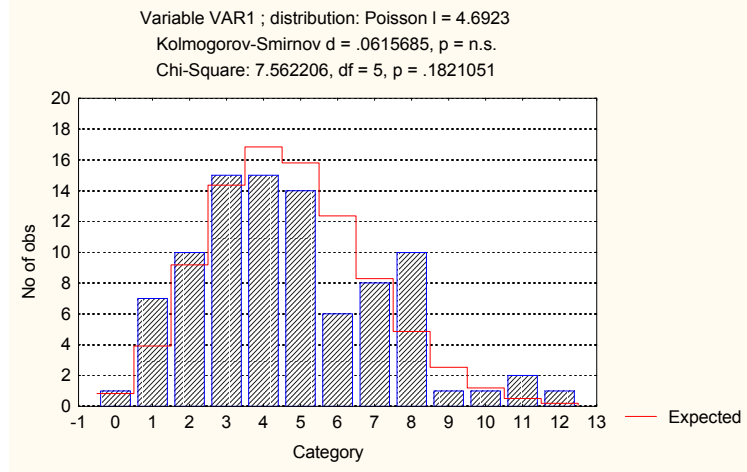
Şekil – 3.2 Arıza Süresine Göre Pareto Diyagramı

Bakım-onarım sisteminin daha verimli çalışabilmesi için öncelikle bu arızaların incelenmesi gerekmekte ve arıza sayılarının azaltılması için bu arıza nedenlerine çözüm getirilmesi gerekmektedir.

3.2. Arızalı Makine Gelişlerinin ve Tamir Sürelerinin Dağılımlarının Belirlenmesi

Bakım-onarım sistemine gelen arızalı makine gelişlerinin Poisson dağılımına, tamir sürelerinin ise üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Bu varsayımın doğruluğunun ispatlanması için Ki-Kare testi uygulanmıştır.

Bakım-onarım sistemi incelenip üç aylık tüm arızalı makine gelişleri verilerinin dağılımı çıkartılmış bu dağılım Şekil-3.3’te gösterilmiştir. Aynı şekilde incelenen üç aylık tamir sürelerinin dağılımları Şekil – 3.4’de gösterilmektedir.

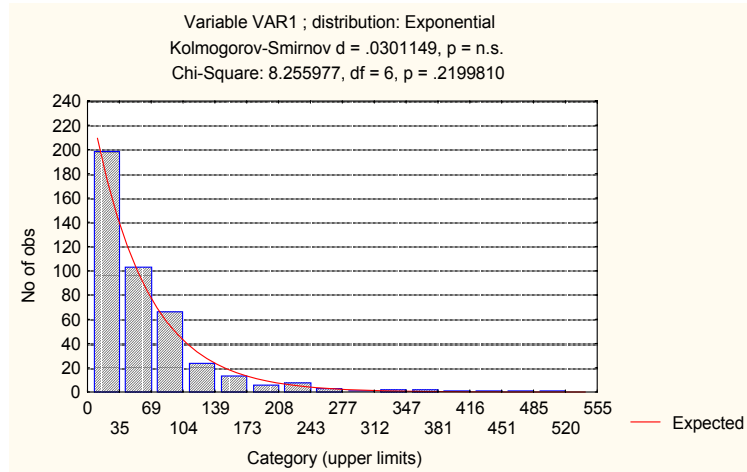


Şekil – 3.3 Arızalı Makine Gelişlerinin Dağılımı
Arızalı Makine Gelişlerin Dağılımının Bulunması

H_0 = Arızalı makine gelişleri Poisson dağılımına uymaktadır.

H_1 = Arızalı makine gelişleri Poisson dağılımına uymazlar.

Şekil –3.3’de görüldüğü gibi Ki-Kare testinin uygulanmasıyla bulunan χ^2 değeri 7,562; %95 güvenlik aralığıyla ve 5 serbestlik derecesiyle bulunan 11,071 kritik değerinden küçük olduğundan arızalı makine geliş sayılarının Poisson dağılımına uymadığını gösterir bir kanıt olmadığı söylenebilir. Bu dağılımın anlamlılık derecesi (p) 0,182 bulunmuştur.



Şekil – 3.4 Tamir Sürelerinin Dağılımı

Tamir Sürelerinin Dağılımının Bulunması

H_0 = Tamir süreleri üstel dağılıma göre dağılmıştır.

H_1 = Tamir süreleri üstel dağılıma uymazlar.

Şekil – 3.4’de görüldüğü gibi Ki-Kare testinin uygulanmasıyla bulunan χ^2 değeri 8,256 ; %95 güvenlik aralığıyla ve 6 serbestlik derecesiyle bulunan 12,592 kritik değerinden küçük olduğundan tamir süreleri üstel dağılıma uymadığını gösterir bir kanıt olmadığı söylenebilir. Bu dağılımın anlamlılık derecesi (p) 0,219 bulunmuştur.

3.3. Bakım–Onarım Sistemindeki Bakımcı Sayısının Belirlenmesi

Sistemde toplam 9 adet makine olduğundan, arıza oluşabilecek potansiyel makine sayısı da 9’dur. Bu verilere göre bakım – onarım sistemi sonlu popülasyonlu bir kuyruk sistemine benzetilmektedir.

Buna göre bir bakımcı (M/M/1) olduğu durumda;

$$P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^N \frac{N!}{(N-n)!} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] \quad P_0 = 0,0443$$

$$L_q = N - \frac{\lambda + \mu}{\lambda} x (1 - P_0) \quad L_q = 3,06$$

$$L = L_q + 1 - P_0 \quad L = 4,02$$

$$W = L / \lambda x (N - L) \quad W = 0,17$$

Bir bakımcı olması durumunda sistemde sıfır makine bulunma olasılığı 0,0443’tür. Sistemdeki kuyruk uzunluğu ortalama 3,06 iken sistemdeki ortalama makine sayısı ise 4,02 olmaktadır.

İki bakımcı (M/M/2) olduğu durumda;

$$P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{N!}{(N-n)! n!} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n + \sum_{n=s}^N \frac{N!}{(N-n)! s! s^{n-s}} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] \quad P_0 = 0,1717$$

$$L_q = \sum_{n=s}^N (n-s)xP_n \quad L_q = 0,5403$$

$$L = \sum_{n=0}^{s-1} nxP_n + L_q + sx \left(1 - \sum_{n=0}^{s-1} P_n \right) \quad L = 1,9002$$

$$W = \frac{L}{\lambda x(N-L)} \quad W = 0,057$$

İki bakımcı olması durumunda sistemde sıfır makine bulunma olasılığı 0,1717'tür. Sistemdeki kuyruk uzunluğu ortalama 0,5403 iken sistemdeki ortalama makine sayısı ise 1,9002 olmaktadır.

Üç bakımcı olduğu durumda;

$$P_0 = 1 / \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{N!}{(N-n)!xn!} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n + \sum_{n=s}^N \frac{N!}{(N-n)!s!s^{n-s}} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] \quad P_0 = 0,2010$$

$$L_q = \sum_{n=s}^N (n-s)xP_n \quad L_q = 0,0957$$

$$L = \sum_{n=0}^{s-1} nxP_n + L_q + sx \left(1 - \sum_{n=0}^{s-1} P_n \right) \quad L = 1,5314$$

$$W = \frac{L}{\lambda x(N-L)} \quad W = 0,0437$$

Üç bakımcı olması durumunda sistemde sıfır makine bulunma olasılığı 0,201'tür. Sistemdeki kuyruk uzunluğu ortalama 0,0957 iken sistemdeki ortalama makine sayısı ise 1,5314 olmaktadır.

Sisteme gelen arızalı makine sayısı (λ) 4,69 makine/gün, sistemin tamir hızı (μ) ise 24,48 makine/gündür. Bir bakım işçisinin günlük maliyeti yaklaşık 84\$'dir. Üretim kesilmediği için günde üç vardiya olarak çalışma gerçekleşmektedir. Bu yüzden sistemde sürekli ekstradan bir işçi bulunma maliyeti 252\$ (=84x3)'dir. Sistemdeki günlük üretim kaybı ise yaklaşık 3600\$'dir.

- BM : Bakımcı maliyeti
- C_i : Bir günlük işçilik maliyeti
- λ : Belirli bir dönemde meydana gelen arıza sayısı
- μ : Belirli bir dönemde tamir edilen makine sayısı
- W : Arızalı makinelerin sistemde geçirdiği ortalama süre

$C_{\ddot{u}}$: Bir günlük üretim kaybı maliyeti
BS	: Bakımcı sayısı
λ	: 4,69 makine/gün
μ	: 24,48 makine/gün
c_i	: 252 \$/gün
$c_{\ddot{u}}$: 4500 \$/gün

Yukarıdaki verilere göre bakımcı sayılarına göre bakımcı maliyetler çıkartılarak aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Bir bakımcı için, } BM = C_i \times BS + \lambda \times W \times C_{\ddot{u}} \quad BM = 3.122 \$$$

$$\text{İki bakımcı için, } BM = C_i \times BS + \lambda \times W \times C_{\ddot{u}} \quad BM = 1.466 \$$$

$$\text{Üç bakımcı için, } BM = C_i \times BS + \lambda \times W \times C_{\ddot{u}} \quad BM = 1.499 \$$$

En az maliyet iki bakımcı olması durumunda gerçekleştiği için bakım – onarım sistemi için optimum bakımcı sayısı ikidir.

3.4. Bakım–Onarım Sistemindeki Koruyucu Bakım Periyodunun Belirlenmesi

Eski uygulanan sistemde makinelere yılda bir defa koruyucu bakım yapılmaktadır. Bu bakımın maliyeti yaklaşık 65.000\$'dır. Bir onarım için gerekli ortalama malzeme maliyeti de yaklaşık 150\$'dir. Bu verilere göre koruyucu bakım sayısı aşağıdaki formülizasyon ile bulunabilir. Geçmiş verilere göre koruyucu bakım yapılması makinelerin arızalanma sayısını %15 azalttığı kabul edilmektedir.

TBM	: Yıllık toplam bakım maliyeti
KP	: Koruyucu bakım sayısı
$1/\mu$: Ortalama bekleme süresi
λ	: Belirli bir dönemde meydana gelen arıza sayısı
C_i	: Bir günlük işçilik maliyeti
$C_{\ddot{u}}$: Bir günlük üretim kaybı maliyeti
C_m	: Bir onarım için gerekli ortalama malzeme maliyeti
C_k	: Birim koruyucu bakım maliyeti

$$TBM = 360x \left[\frac{1}{\mu} \cdot x \lambda x (C_i + C_{\ddot{u}}) + \lambda x C_m \right] + KP x C_k$$

Tablo – 3.1 Koruyucu Bakım Periyodunun Belirlenmesi

Koruyucu Bakım Periyodu	Arıza Sayısı (λ)	Toplam Bakım Maliyeti (\$)
1	4,7	584.444
2	4	572.080
3	3,40	570.768
4	2,89	579.403
5	2,45	595.774

Toplam bakım–onarım maliyetini veren koruyucu bakım periyotları Tablo – 3.1’de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi eski sistemde uygulanan koruyucu bakım periyodu bir, toplam bakım maliyeti 584.44\$ iken koruyucu bakım periyodu üç çıkarıldığında bu maliyet azalarak 570.768\$’a gerilemiştir. Koruyucu bakım periyodunun daha da artırılması toplam bakım maliyetinin yeniden artması sonucunu doğurduğu için en düşük toplam bakım maliyeti olan koruyucu bakım periyodu üç olarak belirlenir. Bu da bakım–onarım sisteminde dört ayda bir koruyucu bakım yapmanın doğru olduğunu göstermektedir.

3.5. Bakım–Onarım Sistemindeki Tampon Stok Miktarının Belirlenmesi

Mevcut sistemde bulunan makinelerin arızalanması üretimi durdurmaktadır. Üretimin durması da belirli maliyetleri beraberinde getirmektedir. Üretimin kesilmemesi için tampon stok bulundurulabilir. Bu durumda tampon stok bitene kadar üretim devam edeceğinden bir miktar tampon stoğun bulundurulması üretim kaybı maliyetlerini azaltacaktır.

Mevcut olan sistemin incelenmesi bir Excel makro yardımıyla yapılabilmektedir. İki margarin hattı için tampon stok belirleme çalışması yapılmıştır. A ve B adı verilen bu hattan toplanan makine parametrelerinden oluşan veriler Tablo –3.2 ve Tablo –3.3’te gösterilmektedir.

Tablo – 3.2 Bir Numaralı Hattın Arıza ve Stok Verileri

Makine No	A1	A2	A3
Duruşlar arası geçen süre (saat)	170,4	27,96	14,76
Tamir süresi (saat)	1,6	1,56	1,5
Kullanılabilirlik	0,9898	0,9494	0,9010
Çalışma durumundaki üretim miktarı	710	705	695
bin (tampon stok miktarındaki artış mik.)	34	43	–
bout (tampon stok miktarındaki azalış mik.)	669	626	–

Tablo – 3.3 İki Numaralı Hattın Arıza ve Stok Verileri

Makine No	B1	B2	B3
Duruşlar arası geçen süre (saat)	48,96	21,12	44,52
Tamir süresi (saat)	2,14	2,6	2,66
Kullanılabilirlik	0,9609	0,9004	0,9511
Çalışma durumundaki üretim miktarı	1.065	1.060	1.000
bin (tampon stok miktarındaki artış mik.)	67	4	–
bout (tampon stok miktarındaki azalış mik.)	955	951	–

A ve B hattında üçer makine bulunmaktadır. A hattında 500gr.'lık margarin üretilmektedir. Bu hattın saatlik üretim miktarı yaklaşık 695 adet iken bir adedin üretim kaybı maliyeti yaklaşık 0,03\$'dır. B hattında 250gr.'lık margarin üretilmektedir. Bu hattın saatlik üretim miktarı yaklaşık 1.000 adet iken bir adedin üretim kaybı maliyeti yaklaşık 0,015\$'dır.

Bu veriler Excel makrosuna girildiğinde bu iki hattın bir günlük üretim kaybı maliyeti (c) tampon stoklar kullanıldığı takdirde 76,52\$'dır. Tampon stok miktarlarını sıfıra indirildiğinde yani tampon stok kullanılmadığı takdirde bir günlük üretim kaybı maliyeti %48 artarak 146,50\$'a çıkmaktadır. Burada tampon stokların stok maliyetleri ihmal edilmiştir. Excel makrosu sayesinde farklı durumlarda test edilebilmektedir. Örneğin birim zamandaki duruş miktarı sayısı %15 azalırsa bir günlük toplam üretim kaybı maliyeti 76,52\$'dan 56,25\$'a düşmektedir.

3.6. Yedek Makine Bulundurma Durumu

Mevcut sistemde birbirine paralel dokuz benzer hat bulunmaktadır ve bu hatlar için herhangi bir yedek makine bulunmamaktadır. Dokuz adet benzer hat bulunduğu için yedek bir makine sayesinde açılacak olan yedek bir hat herhangi bir hattaki arıza durumunda o hattın yerine geçebilecektir. Böylece sistemdeki bir makinenin arızalandığı durumda sistem durmamış olacak, bu durmanın sayesinde firmanın üretim kaybından kaynaklanacak bir üretim kaybı maliyeti azalışı sağlanacaktır. Yedek hattın devreye girmesi ile ilgili herhangi bir maliyetin olmadığı varsayılmıştır.

Yedek makinenin alınabilmesi için firmaya olan yıllık maliyetinin arızalardan kaynaklanan üretim kaybı maliyetinden az olması gerekmektedir. Yedek makine alınması kararı aşağıdaki denklem ile bulunabilir. Sistemin toplam yıllık duruş miktarı yaklaşık 71 gündür.

YMM : Yedek makinenin yıllık maliyeti
 TDM : Sistemin toplam yıllık duruş miktarı
 $1 - P_0$: Sistemde arızalı hat bulunma olasılığı
 C_{ii} : Bir günlük üretim kaybı maliyeti

$$P_n = \frac{N!}{(N-n)!} x \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n x P_0$$

$$P_1 = 0,07$$

$$YMM - (TDM \times (1 - P_0) \times C_{ii}) \leq 0$$

$$YMM \leq 71x0,956x3600/9$$

$$YMM \leq 27.150$$

Yedek makine satın alma kararı verilirken yedek makinenin firmaya olan maliyetine bakılmalıdır. Firmanın yedek makine almasından doğacak yıllık maliyet 27.150\$'dan az olduğu durumda yedek makine alınması firmaya bir maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Aksi halde yedek makine alınması üretim kayıplarının azaltılmasıyla gerçekleşen maliyetten daha fazla olduğu için artı bir maliyet getirir.

4. SONUÇ

Üretimde kullanılan her makine çalışma koşullarının ve zamanın yıpratıcı etkisinden dolayı eskimekte ve geçen zaman ile üretim performansında ve üretim kalitesinde düşme olmaktadır. Bu olumsuzlukların tümüyle ortadan kalkması mümkün olmamakla birlikte planlı bir bakım ile en aza indirmek olasıdır. Bakım, üretim sisteminin plan ve programlara uygun olarak çalışmasını sağlayan, tutan bir yürütme ve kontrol fonksiyonudur.

Firmalar karlılıklarını koruyabilmek için ürün maliyetlerini mümkün olan en düşük seviyeye çekmek zorundadırlar. Ürün maliyetlerinin en önemlilerinden biri de bakım-onarım giderleridir. Rekabet avantajı yaratmak isteyen firmalar da bakım-onarım sistemlerini verimli bir hale getirmek zorundadır.

Bakımın ihmal edilmesi ekonomik kayıplara sebebiyet vermektedir. Yapılmayan bakım, makinenin ömrünün kısılmasına, olası bir arızanın kaynağının bulunmasında gecikmeye, üretilen ürün kalitesinde düşüşe ve işletme giderlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bütün bu nedenler günümüz işletmelerinde bakım faaliyetlerinin belirli bir plan ve program dahilinde titizlikle yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Çalışmada bakım-onarım sistemini meydana getiren temel değişkenler ve bu değişkenlerin bakım-onarım sistemine etkileri incelenmiştir. İncelenen beş adet durum mevcuttur. Bu durumlar;

- Arıza kaynağının saptanması,
- Bakımcı sayısının belirlenmesi,
- Koruyucu bakım sayısının belirlenmesi,

- Tampon stok miktarının belirlenmesi,
- Yedek makine kullanılması durumudur.

Bir gıda üretim işletmesinin bakım-onarım sistemi incelenmiş olup, üç aylık arıza verileri kullanılarak bakım-onarım sistemi için geliştirilen yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu sayede yukarıdaki beş durum için çeşitli bulgular elde edilmiştir.

İncelenen sistemde toplam 9 tane makine bulunduğundan bakım-onarım sistemi sonlu popülasyonlu bir kuyruk sistemine uymaktadır. Buna göre bakım-onarım sistemi için sonlu popülasyonlu bir bekleme hattı modeli oluşturulmuştur.

Bakım-onarım sistemi için incelenmesi gereken bir durum da bakımcı sayısının belirlenmesidir. Mevcut sistemde üç adet bakımcı vardır. Toplam üç adet vardiya olduğu için her vardiyada bir adet bakımcı bulunmaktadır. Sonlu popülasyonlu bekleme hattı modelinden ve bakımcı maliyeti formülünden yararlanılarak optimum bakımcı sayısı iki olarak belirlenmiştir. Firmada 24 saat üretim yapıldığı için her zaman iki adet bakımcı olmasını sağlayabilmek için firmanın üç vardiya halinde çalışan altı adet bakımcıya ihtiyacı vardır.

Bakım-onarım sistemi için incelenmesi gereken bir başka durum ise koruyucu bakım sayısının belirlenmesidir. Mevcut sistemde yılda bir defa koruyucu bakım yapılmaktadır. Bakım-onarım sistemi için farklı koruyucu bakım periyotları için toplam bakım onarım maliyetleri çıkartılmıştır. Buna göre 570.768\$ ile en az maliyeti sağlayan koruyucu bakım periyodu üç olarak belirlenir. Firma bakım periyodunu birden üçe çıkartarak yılda 13.676\$ tasarruf edebilir.

Mevcut sistemde tampon stok kullanılmamaktadır. Tampon stok arıza anında üretim kesilmesini engelleyeceği için bakım-onarım sisteminin önemli ayaklarından biridir. Firmanın tampon stok kullanması durumunda üretim kaybı maliyetinden %48 tasarruf ettiği görülmüştür. Sistemde tampon stok kullanıldığı durumda günlük üretim kaybı maliyeti 76,52\$ iken tampon stok kullanılmadığı zaman bu maliyet 146,50\$'a çıkmaktadır.

Yedek makine bulundurulması durumu bakım-onarım sistemlerinin bir diğer önemli ayağıdır. Mevcut sistemde dokuz benzer hat için yedek bir makine kullanılmamaktadır. Yedek makine kullanılması durumunda bir hattın arıza nedeniyle durması durumunda yedek hat devreye girerek üretimin kesilmesini engellemektedir. Uygulanan model sonucunda, yedek makine almasından doğacak yıllık maliyet 27.150\$'dan az olduğu durumda yedek makine alınmasının maliyet tasarrufu sağladığı ortaya çıkmıştır.

Gıda üretim işletmesinde yapılan uygulama sonucunda;

- Firmanın en sık görülen arızaları olan, kağıt almama, Perfektörün soğutmaması, kulakçık ve bıçak arızaları gibi durumlara yönelik çözümlerin bulunması,
- Bakımcı sayısının üçten altıya çıkarılması,
- Yıllık koruyucu bakım sayısının birden üçe çıkartılarak, koruyucu bakımın yılda bir yerine dört ayda bir gerçekleştirilmesi,
- Tampon stok kullanılması,

- Yıllık maliyetin 27.150\$’dan az olduğu durumda yedek makine alınması önerilmektedir.

Çalışmada yukarıdaki tüm durumlar incelenerek bakım–onarım sisteminin daha iyi çalışması doğrultusunda çeşitli sonuçlara varılmıştır. Bu çalışmada kestirimci bakım ve bunun bakım–onarım sistemine etkileri incelenmemiştir. Sonraki çalışmalarda kestirimci bakımın bakım–onarım sistemine etkileri incelenebilir. Ayrıca tampon stok miktarı için iki adet benzer hat incelenmiştir. İleriki çalışmalarda hat miktarı artırılarak ikiden fazla hat için de benzer bir çalışma yapılabilir. Son olarak makine arızaları, zamana göre arttığından makinelerin ekonomik ömürlerinin belirlenmesi ve değiştirilme zamanları hesaplanarak bunların bakım–onarım sistemine etkileri sonraki çalışmalarda incelenebilir.

KAYNAKÇA

- AKTAN, C.C. (2001), Yönetimde Yeni Konseptler Ve Yeni Teknikler, *Ders Notları*
- GÜRTEKİN, O. (1996), “Genel Değerlendirme ve TOSYÖV’ün Türkiye’de Bakım ve Onarım Yönetimi Destekleme Çalışmaları”, *Uluslar arası Bakım ve Onarım Yönetimi Kongresi*, Ofset Fotomat, Ankara, ss. 33-37
- HILLIER, S. F., LIEBERMAN, J. G.(1990), *Introduction to Operations Research Fifth Edition*, McGraw-Hill International Editions , ss. 661-713
- KOBU, B. (1994), *Üretim Yönetimi Sekizinci Baskı*, Fatih Yayınevi, İstanbul
- ÖZTÜRK, A. (1994), *Yöneylem Araştırması IV. Basım*, Hünkar Matbaası, İstanbul
- PERRY, D., POSNER, M.J.M. (2000), “A Correlated M/G/1 Type Queue with Randomized Server Repair and Maintenance Modes
- WARTENHORST, P. (1995), “N Paralel Queueing Systems with Server Breakdown and Repair”, *European Journal of Operational Research*, s. 82, s.s. 302-322