



OTOMATİK ÜRETİM SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ

Halil İbrahim KORUCA*, Emine Rumeysa KOCAER

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Otomatik Üretim Hattı,
Makine Arızaları,
Tampon Stok Seviyeleri.

Öz

Rekabet koşulları, düşük maliyet ve yüksek miktarda teslim kabiliyeti ve müşteri talepleri işletmeleri üretim hızı yüksek otomatik üretim hatlarını kullanmaya zorunlu hale getirmiştir. Otomatik makine sistemleri, yüksek üretim hızları nedeniyle tercih edilmesinin yansısı bu makinelerin herhangi birinde meydana gelen arıza, tüm makinelerin durmasına sebep olmakta ve bunun sonucunda sistemin verimi ile üretim hızını düşürmekte ve birim ürün maliyetlerini yükseltmektedir. Bu çalışmada, meyve suyu ve içecek dolum ünitesi otomatik üretim hattında yer alan makine arızaları, arıza ve tampon stok seviye verimlilikleri analiz edilmiştir. Hattın verimlilik performansını görmek ve iyileştirmek için matematiksel yöntemlerle çevrim süresi, verimlilik ve üretim hızı parametreleri hesaplanmıştır. Otomatik üretim hatlarına tampon stok yerleştirme durumlarında dâhili depolu transfer hatlarında arıza süresi ile ilgili dağılımlar dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Arızalanma sıklığı ve tamir bakım süreleri geçmişteki verilerden farklı hat tasarımı ve tampon stok seviyelerindeki hattın verimlilikleri ve üretim hızları hesaplanmış ve yorumlanmıştır.

PRODUCTIVITY ANALYSIS AT AUTOMATIC PRODUCTION SYSTEMS

Keywords

Automatic Production Line,
Machine Malfunctions,
Buffer Stock Levels.

Abstract

Competitive conditions, low cost and high delivery capability and customer demands compulsory to use automated production lines with high production speed. These automatic sequential machines are frequently used especially in terms of hygiene in food enterprises. Automatic machine systems are preferred due to high production speeds, but failure in any of these machines causes all machines to stop, resulting in lower system efficiency and production speed, and increases unit product costs. In this study, machine malfunctions, malfunction and buffer stock level efficiencies in automatic production line of fruit juice and beverage filling unit were analyzed. The cycle time, efficiency and production rate parameters were calculated by mathematical methods to see and improve the efficiency of the line. Calculations were made by taking into consideration the distributions related to the failure time in the internal storage lines with automatic storage. Failure frequency and repair maintenance times were calculated and interpreted in terms of line design and buffer stock levels.

Alıntı / Cite

Koruca, H.İ., Kocaer, E.R., (2019). Otomatik Üretim Sistemlerinde Verimlilik Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(4), 897-905.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

H.İ. Koruca, 0000-0002-2448-1772
E.R. Kocaer, 0000-0002-1822-7540

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.07.2018
Revizyon Tarihi / Revision Date	11.04.2019
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.05.2019
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2019

1.Giriş

Üretim işletmelerinde aynı ve benzer ürünlere ilgi veya müşteri taleplerindeki artış üretim hızının

artırılmasını gerektirir. Üretim hızı da üretim sisteminin otomasyon derecesine, teknolojisine bağlıdır. Bununla birlikte, rekabet ortamında işletmeler yaşamını sürdürebilmek için maliyetlerini

* İlgili yazar / Corresponding author: halilkoruca@sdu.edu.tr, 02462118009

düşürerek, ürünlerinin kalitesini yükselterek ve verimliliklerini artırarak rakiplerden daha üstün duruma gelebilirler. Bu tür işletmelerde üretim faktörlerini, kaynaklarını en etkin kullanmak rekabetin ön koşulu haline gelmiştir.

Birden fazla mamulün üretildiği günümüz modern işletmelerinde üretim planlama çalışmaları, üretilen mamuller için en uygun miktarların belirlenmesi amacı ile yapılmaktadır. Hangi mamulden ne kadar üretileceği belirlenmeye çalışılırken farklı amaçlar içinden sadece birini dikkate alan yöntemlerle planlama çalışması yapmak yetersiz kalmaktadır. Çünkü günümüz işletmelerinde, kapasitenin tam kullanılması, boş beklemlerin azaltılması, tedarik süresinin kısaltılması, stokların belirli bir seviyede tutulması sonucu kârın maksimize edilmesi hedeflenirken birbiriyle çelişen bu farklı amaçların yönetilmesi gerekmektedir. (Bumin ve Erol, 1992).

Bu çalışmada, meyveli içecekler üreten bir firmanın üretim hattının duruş süreleri ve frekansları incelenmiştir. Hattın arasına tampon stok yerleştirme ve tampon stok miktarı ilgili senaryolar sonucunda verimlilik ve üretim miktarı analiz edilmiştir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

İşletmelerde kullanılan makine ve teçhizatlar nominal kapasiteleri seviyesine çoğunlukla ulaşamamaktadır. Bunun nedenleri ise, iş gücü verimliliğinin düşük olması, makine arızaları, yönetimin organizasyon karar verme yetersizliği ve diğer ekonomik koşullardan kaynaklanmaktadır. Arızaların sebep olduğu makine duruşları da kapasitenin yeterince kullanılmasına engel olmaktadır. Bakım ve onarımın yetersiz olması işletme veriminin ve kalitenin düşmesine neden olmakta, sonuçta ürün maliyetlerini arttırmaktadır (Düzakın ve Demircioğlu, 2005).

İşletmelerde bakım- onarım sistemi üretimin ve/veya hizmetin gerçekleştirildiği tesis, hat, makine ve teçhizat etkinliği ve verimliliği belirlenmiş yönetim politikalarıyla teknik özellikleri uygun, yeterli bir seviyede tutulması sağlamak üzere kurulur. Belli bir kullanım süresinden sonra aşınma ve yıpranma sonucunda tesis, hat, makine ve teçhizatın kapasite ve hassasiyetleri düşer. İşletme yönetimi ise gerek üretim hızının ve gerekse üretim kalitesinin düşmemesi ister. Bunun için tesis ve/veya hat uygun bir bakım- onarım politikası ile çalıştırılması gerektirir. Uygun bakım-onarım sistemi kurulması ile katlanılacak maliyetler dikkatle analiz edilmelidir (Baraçlı vd., 2001).

Her bir iş istasyonundaki amaç, tasarlanan çevrim süresi içinde bitirilmeli ki, normal olarak hattın aynı anda hareket etmesi mümkün gelsin. Bu nedenle, herhangi bir iş istasyonu arızalandığında veya

durdurulduğunda, tüm iş istasyonlarının da durdurulması gerekir. Tahmin edebileceği gibi, bir üretim sürecinde parçanın kısa süreli alet veya makine ayarlaması, kalite kontrolü, ekipmanın arızalanması vb. gibi nedenlerle çeşitli küçük duruşlar veya arızalar olacaktır. Bu küçük durmalar verimliliği önemli ölçüde düşürür. Dolayısıyla, iş istasyonları arasındaki bir tampon stok bulundurmaya akış yönü iş istasyonlarının, tampon bitinceye veya durdurulan iş istasyonunun iyileştirilmesi tamamlanmaya kadar görevlerini sürdürmelerine izin vermek amacıyla, yukarıda belirtilen sorunu hafifletecek tampon stok ve miktarı tasarlanırlar (Chomnawung vd, 2016).

Üretim hattındaki makineler arasında tampon stok bulundurmaya arıza duruşlarında üretimin devam etmesini sağlar. Üretim kesilmediği için duruşlardan kaynaklanan üretim kayıpları tüm sistemi etkilemez ve minimum seviyeye düşer. Tampon stoklar üretimin kesilmemesi için üretim hattının hemen yanında bulunan stoktur. Bu duruma uyan çok sayıda örnekler üç grupta toplanabilir (Perry ve Posner, 2000).

1) Tampon stokun üretimdeki bir makine tarafından yapılması durumu; Örneğin, araba üretim hattında gövdeyi oluşturan metali kesen makine, üretim hattı için gereğinden daha fazla sayıda üretilip stoklanması, duruş anında üretimin kesilmesini engeller.

2) Birçok parçadan oluşan bir ürün için; Üretim makinelerinde gerektiğinden daha fazla üretilir ise, duruş anında makine monte işlemi kesilmeden devam edilebilir.

3) Seri haldeki makineler için; Makinenin durduğu anda tampon stoku kullanılarak üretim kesilmeden devam eder. Bir otomatik transfer hattının verimliliği, hattın birkaç aşamaya bölünmesi ve aşamalar arasında tampon depoların yerleştirilmesiyle de arttırılabilir.

Buzacott (1967), hat transfer makinelerinde tampon stokların otomatik sabit çevrim üzerindeki etkisinin teorik bir çalışmasının sonuçları verilmektedir. Çalışmada verimlilikteki iyileşmenin aşama sayısına, aşamaların göreceli başarısızlık oranına, tamponların kapasitesine ve aşama tamir sürelerinin dağılımına bağlı olduğu gösterilmektedir. Ayrıca sürekli bir akış hattında, üç makine ve iki tampon ile ara tamponların optimum stok seviyelerinin belirlenmesi için denklemler türetilmiştir.

Hillier ve So (1991) çalışmalarında, makine arızasında bir üretim hattı performansını araştırıp, tampon boyutunun hat performansına etkisini incelemiştir.

Wijngaard (1979) çalışmasında, iki üretim biriminin farklı üretim oranlarına, farklı arıza oranlarına ve farklı tamir oranlarına sahip olduğu durumlarda, kademeli tampon stokların iki aşamalı üretim hattının çıktısı üzerindeki etkisi ele almıştır. Sınırlı tamponlu iki aşamalı bir aktarma hattının sabit durma süresi ile geometrik durma süresi dağılımı arasındaki hat verimliliği karşılaştırılmıştır.

Enginarlar vd. (2002), istenen üretim hızını ulaşmak için gerekli olan en küçük tampon stok kapasitesini araştırmışlardır.

Prombanpong vd., (2013), çalışmasında otomatik bir transfer hattında tampon stok kapasitesinin karmaşıklığını belirleyebilmek ve tampon stok sonucunda bölünen istasyonların bölünme etkisini azaltmak için iş istasyonları arasındaki tampon stok kapasitesi tasarımını araştırmışlardır.

Koçak ve İşçioğlu (2018), meyve suyu dolmuş hattında güvenilirlik analizi yaparak imalat hatlarında arıza yapan makineler için bakım faaliyetlerinin sağlanacağı alt yapının kurulmasını amaçlamışlardır. Bunun için 5,5 aylık arıza ve tamir verileri kullanılarak her iki hattaki beş makinenin ve hatların güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, öncelikle her bir makinenin arıza türleri belirlenerek arıza ve tamir verileriyle makine ve hatların tanımlayıcı istatistikleri elde edilmiştir. Her bir makinenin arıza ve tamir verilerinin dağılımları incelenerek en uygun dağılım tespit edilmiştir. Bu dağılımlara göre iki hat için makine ve hat bazında güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

Lopes (2018), kalite kontrol politikasının üretilen ürünlerin yüzdesinin kontrol edildiği kusurlu üretim sistemine etkisini incelemiştir. Her çevrimden sonra önleyici bakım yapılmakta ve talebi karşılamak için bir tampon stok oluşturulmuştur ve kontrol sırasında tespit edilen kusurlu parçaların tekrar çalışmak üzere gönderilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Model, parti başına beklenen toplam maliyeti en aza indirme hedefi ile formüle edilmiştir. Sonuç olarak, ürünlerde hataların olasılığının en uygun miktar üretim ve kontrol edilen parti yüzdesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Koruca vd. (2018), otomatik üretim hattına sahip bir gıda işletmesinde süt dolumunun yapıldığı UHT hattında farklı tampon stok seviyeleri analiz edilmiştir. Otomatik üretim hattı olarak UHT birimindeki 200 ml'lik sade ve aromalı paket sütleri üreten A3 Speed Slim makinesinin bulunduğu hat analiz edilmiştir. Hat üzerindeki işlemler farklı otomatik makineler tarafından gerçekleştirilmektedir. Makinelerin arıza duruş süreleri ve arızalanma frekansları farklılık göstermektedir. Arıza ve tamir bakım sürelerinin

değişken olması sistem verimliliğini etkilemektedir. En uygun seviyedeki üretim hızı, stok miktarı seviyesi ve verimlilik analiz edilmiştir.

3. Otomatik Üretim Hatlarında Performans Ölçme Parametreleri

Bir otomatik üretim hattı, birden çok otomatik iş istasyonunun parçalarını bir istasyondan diğer istasyona transfer eden bir taşıma sistemi yardımıyla birbirine bağlanmasından oluşur. İşlenmemiş/ham bir iş parçası hattın bir ucundan girer ve parça üretim hattında ilerledikçe işleme basamakları sırasıyla gerçekleştirilir. Üretim hattının performansını ölçmek için; çevrim süresi, üretim hızı, hat verimliliği ve üretim tamamlanma süresi gibi parametreler verimliliği değerlendirmede dikkate alınabilir.

3.1. Çevrim Süresi

Otomatik üretim hattının çalışmasında parçalar önce birinci istasyona gelir, orada işlendikten sonra belirli aralıklarla bir sonraki istasyonlara aktarılır. Parçanın ilk istasyona geldiği ve son istasyondan çıktığı ana kadar geçen süre çevrim süresi olarak adlandırılmaktadır. Çevrim süresi transfer süresine maksimum işlem süresinin eklenmesi ile bulunmaktadır (Groover, 1987).

$$T_c = \text{Maks} \{ T_{si} \} + T_r \quad (1)$$

T_r : Transfer süresi olarak da adlandırılan tekrar konumlandırma süresidir (dk).

T_{si} : i istasyonundaki işlem süresi (dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

3.2. Gerçek Ortalama Çevrim Süresi

Transfer hattının operasyonu sırasında planlı durmalar, gelişigüzel arızalar ve hatalar durmalara yol açar. Hat duruşlar hattın ortaya çıkan ortalama üretim çevrim süresi ideal çevrim süresinden fazla olmasına olur. Gerçek ortalama çevrim süresi ise;

$$T_p = T_c + F * T_d \quad (2)$$

ile hesaplanır.

T_p : Gerçek ortalama çevrim süresi (dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

F: Durma frekansı (hat duruşu/çevrim)

T_d : Hat duruşu başına ortalama süre (dk)

Durma frekansı (F) ise şu şekilde bulunur:

$$F = \sum_{i=1}^n p_i \quad (3)$$

$$P_i = \frac{\text{Yıllık Hata Sayısı}}{\text{Yıllık Üretim Yapılan Gün Sayısı}} * \frac{1}{\text{Günlük Üretim Miktarı}} \quad (4)$$

p_i : İstasyonun arızalanma olasılığı
 n : İstasyon sayısı.

3.3. Üretim Hızı

Üretim hattından veya makineden birim zamanda üretilen miktar üretim hızı (R_p) olarak tanımlanır.

$$R_p = \frac{1}{T_p} \quad (5)$$

$$R_c = \frac{1}{T_c} \quad (6)$$

$$E = \frac{T_c}{T_p} \quad (7)$$

R_p : Gerçek ortalama üretim hızı (parça/dk)

T_p : Gerçek ortalama çevrim süresi (dk)

R_c : İdeal ortalama üretim hızı (parça/dk)

T_c : Hattaki ideal çevrim süresi (dk)

3.4. Hat Verimliliği

a) Arızasız Durumda Hat Verimliliği: Üretim hattının çalışır kalma oranını olarak tanımlamaktadır. Hat verimliliği ideal çevrim süresinin gerçek çevrim süresine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$E = \frac{T_c}{T_p} = \frac{T_c}{T_c + F \cdot T_d} \quad (8)$$

$$D = \frac{F \cdot T_c}{T_p} = \frac{F \cdot T_d}{T_c + F \cdot T_d} \quad (9)$$

E: Üretim hattında çalışır kalma oranı

D = Durma oranı

b) Arızalı Durumda Hat Verimliliği: Bir iş istasyonu arızalandığı durumda üretim hattındaki diğer makineler/ iş istasyonu beslenemediği için durmak zorunda kalmaktadır. Bu nedenle hat verimliliği azalmaktadır. Verimliliğin azalmasını engellemek için hat birkaç kademeye ayrılabilir. Aşağıda verimlilik hesabı ile ilgili formül verilmiştir (Groover,1987).

$$E_b = E_0 + D'_1 h(b) E_2 \quad (10)$$

E_b : b kapasiteli tampon stok deposu olan iki basamaklı hattın toplam hat verimliliği.

E_0 : Tampon stok olmadan hat verimliliği.

$D'_1 h(b) E_2$: Tampon stok kapasitesi sıfırdan büyük olduğu durumlarda verimlilik artışını gösterir.

$h(b)$: Tampon stok kapasitesi.

Birinci kısımdaki hattın arızalı olduğu toplam süresinin oranı:

$$D'_1 = \frac{F_1 T_d}{T_c + (F_1 + F_2) T_d} \quad (11)$$

$h(b)$ 'nin hesaplanması:

$$h(b) = \frac{r^*(1-K^b)}{1-r^* K^b} \quad (12)$$

$$K = \frac{1+r - \frac{T_c}{T_d}}{1+r - r^* \frac{T_c}{T_d}} \quad (13)$$

Arıza frekansı oranı:

$$r = \frac{F_1}{F_2} \quad (14)$$

3.5. Üretim Tamamlanma Süresi

Bir ürünün bir üretim hattındaki tüm istasyondan geçerek tamamlanma süresi formülü aşağıdaki gibidir (Groover, 1987).

$$MLT = n * T_c + T_0 \quad (15)$$

n : İş istasyonu sayısı

T_0 : Bekleme (arıza) süresi

4. Uygulama: Bir Meyve Suyu Üretim Tesisinde Verimlilik Analizi

Üretim sürecinde makine arızalanması, güç kesintisi, molalar gibi birçok faktör duruşlara neden olmaktadır. Meydana gelen bu duruşlar verimliliği ve üretim miktarını önemli ölçüde etkilemektedir. Üretim hatlarının durumdan fazla etkilenmemesi için hat kenarlarına tampon stok veya hat bölünerek tampon stok yerleştirilmesi ile tüm hattın durması önlenir. Bu durum, herhangi bir sebepten dolayı gerçekleşen duruşlarda tüm hattın verimliliğini etkilenmeyecek ve üretim miktarı artacaktır.

Bu çalışma, Isparta'da faaliyet gösteren meyve suyu içeceği üreten bir firmada şişeye içecek dolumu ve paketleme hattında gerçekleştirilmiştir. Üretim hat kenarlarına tampon stok koyularak verimliliğin ve üretim miktarlarının artması amaçlanmaktadır.

Firmanın üretim hattındaki, arızasız üretim kapasitesi teorik olarak 1.224.000 şişe/gündür. İşletme, Mayıs - Aralık 2017 döneminde 138.334.440 şişe/yıl kapasite ile üretim gerçekleştirmiştir.

4.1. Mevcut Durum İş Akışı

Üretimi gerçekleştirilen içeceğin iş akışı Şekil 1'de verilmiştir. Üretim aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- 1. Şuruphane:** Üretilen içeceğin ana malzemesi şurup bu birimde üretilir. Üretimi biten şurup ise doluma gönderilir.
- 2. Boş Kutu:** Dolumu gerçekleştirilecek olan boş kutular burada üretilir. Boş kutular yıkandıktan sonra doluma gönderilir.

3. **Dolum:** Şuruphane ve boş kutu hattından beslenen bu hatta otomatik üretim makineleri ile dolum yapılır.
4. **Kapaklama:** Dolum işlemi biten içecek kutuları bu hatta kapaklanır.
5. **Kodlama:** Kapaklama işlemi biten kutular bu hatta gelir. Burada üretim tarihi, üretim yeri ve son kullanma tarihi kodlanır.
6. **Paketleme:** Üretimi biten içecekler paketlenerek dağıtımaya hazır hale getirilir.
7. **Paletleme:** Paketlenen ürünler depolara sevk edilerek dağıtımaya gönderilir.



Şekil 1: Mevcut Sistemin Üretim/İş Akışı

4.2. İstasyonların Arıza Süreleri

İş akışına göre istasyonların arıza durumundaki toplam duruş/ arıza süreleri ve arızalanma sıklıkları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1: İstasyonların Arızalanma Süresi ve Sıklığı

İstasyon	Arıza Süresi (dk)	Arızalanma Sıklığı (defa)
Şuruphane	26	344
Boş Kutu	27	367
Dolum	61	342
Kapaklama	23	376
Kodlama	29	361
Paketleme	37	351
Paletleme	25	382

4.3. Mevcut Sistem Analizi

a) Mevcut Çevrim Süresi

Üretim hattının mevcut çevrim süresi Eşitlik (1)'den

$$T_c = \frac{1020}{1224000} = 0,000833 \text{ dk olarak bulunur.}$$

Tüm istasyonlarda bir ürünün işlenme süresi eşit kabul edilmiştir.

b) Makinelerin Arızalanma Frekansları

Üretim hattı toplam 166 gün çalışmıştır ve arızasız üretim kapasitesi teorik olarak 1.224.000 şişe/gündür. Makinelerin arızalanma sıklıkları Tablo 1'de verilmiştir. Makinelerin arızalanma sıklıkları Eşitlik (4) kullanılarak;

$$P_{\text{Şuruphane}} = \frac{344}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000016929$$

$$P_{\text{Boş Kutu}} = \frac{367}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018060$$

$$P_{\text{Dolum}} = \frac{342}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000016830$$

$$P_{\text{Kapaklama}} = \frac{376}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018503$$

$$P_{\text{Kodlama}} = \frac{361}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000017765$$

$$P_{\text{Paketleme}} = \frac{351}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000017273$$

$$P_{\text{Paletleme}} = \frac{382}{166} * \frac{1}{1224000} = 0,0000018799$$

olarak bulunur.

c) Hattın Verimliliği

Üretim hattının verimliliği Eşitlik (8) kullanılarak bulunur.

$$F = \sum_{i=1}^7 p_i = 0,0000124159$$

$$T_d = \frac{26 * 344 + 61 * 342 + 23 * 376 + 29 * 361 + 37 * 351 + 25 * 382 + 27 * 367}{344 + 367 + 342 + 376 + 361 + 351 + 382}$$

$$= 32,2508 \text{ dk}$$

$$E_{\text{Hat}} = \frac{0,000833}{0,000833 + (0,000012159 * 32,2508)} = 0,679$$

d) Üretim Hızı

Birim zamanda üretilen üretim miktarı Eşitlik (6) 'dan;

$$R_c = \frac{0,68}{0,000833} = 817 \text{ şişe/dk}$$

e) Üretim Tamamlanma Süresi

Her istasyonun günlük arıza süreleri bulunmuş ve her istasyon için Eşitlik (15) kullanılarak üretim tamamlanma süresi hesaplanmıştır.

Tablo 2: Üretim Tamamlanma Süresi

İstasyon	Günlük Arıza Süresi	Üretim Tamamlanma Süresi
Şuruphane	2	2,000833
Boş Kutu	4	4,000833
Dolum	11	11,000833
Kapaklama	3	3,000833
Kodlama	9	9,000833
Paketleme	8	8,000833
Paletleme	6	6,000833

4.3. Tampon Stok İlave Edilmesi Durumları

Mevcut sistemde bulunan makinalardan birinin arızalanması diğer makinaları ve üretimi

durdurmaktadır. Üretimin durması verimliliğin azalmasını ve belirli maliyetleri beraberinde getirmektedir. Üretimin durmaması için tampon stok bitene kadar üretim devam edeceğinden bir miktar tampon stoğun bulundurulması üretim kaybını ve maliyetlerini azaltacaktır.

4.3.1. Hattın İki Kısma Ayrılması Durumu

Üretim hattında yedi istasyonu bulunan üretim hattı ikiye ayrıldığında; birinci kısım Şuruphane - Boş Kutu, Dolu bölümlerinden oluşturulmuştur. İkinci kısım Kapaklama, Kodlama, Paketleme ve Paletleme kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 2: İki Kısma Ayrılan ve Eklenen Tampon Stok

Birinci kısmın frekansı:

$$F_1 = \sum_{i=1}^3 p_i = 0,0000051819$$

İkinci kısmın frekansı:

$$F_2 = \sum_{i=1}^4 p_i = 0,0000072340$$

Gerçek ortalama üretim süresi Eşitlik (2) ile hesaplanmaktadır. İkiye ayrılan hatların gerçek ortalama üretim süreleri ise;

$$T_{p1} = 0,000833 + 0,0000051819 * 32,2508$$

$$T_{p1} = 0,0010001210 \text{ dk.}$$

$$T_{p2} = 0,000833 + 0,0000072340 * 32,2508$$

$$T_{p2} = 0,0010663028 \text{ dk.}$$

Eşitlik (7)'den birinci kısmın verimliliği;

$$E_1 = \frac{0,000833}{0,0010001210} = 0,83$$

Eşitlik (7)'den ikinci kısmın verimliliği;

$$E_2 = \frac{0,000833}{0,0010663028} = 0,78$$

a) İki Kısma Ayrılan Hattın 5000 Şişe Stoklu Tampon Durumu

Üretim hattında 5000 şişe tampon stok bulunması durumunda hat verimliliği;

$$D'_1 = \frac{0,0000051819 * 32,2508}{0,000833 + (0,0000051819 + 0,0000072340) * 32,2508}$$

$$D'_1 = 0,135493548$$

Eşitlik 12'den h(b)'nin bulunması;

$$K = \frac{1 + 0,716326531 - \frac{0,000833}{32,2508}}{1 + 0,716326531 - 0,716326531 * \frac{0,000833}{32,2508}}$$

$$K = 0,9999957310$$

$$h(b) = \frac{0,716326531 * (1 - 0,9999957310^{5000})}{1 - 0,716326531 * 0,9999957310^{5000}}$$

$$h(b) = 0,0506289160$$

Verimlilik;

$$E_{5000} = E_0 + D'_1 h(b) E_2$$

$$E_{5000} = 0,68 + 0,135493548 * 0,0506289 * 0,78$$

$$E_{5000} = 0,69$$

İki kısma ayrılan hattın üretim hızı;

$$Rc = \frac{0,69}{0,000833} = 829 \text{ şişe/dk}$$

b) İki Kısma Ayrılan Hattın 20000 Şişe Tampon Stok Yerleştirilmesi

Dolum hattı ile Kapaklama hattı arasında PVC bantlı konveyörden koyulması düşünülmüştür. Üretim hattında 20000 şişe tampon stok bulunması durumunda hat verimliliği aşağıdaki gibi bulunur.

Eşitlik 12'den h(b)'nin bulunması;

$$r = \frac{0,0000051819}{0,000007234} = 0,716326531$$

$$K = \frac{1 + 0,716326531 - \frac{0,000833}{32,2508}}{1 + 0,716326531 - 0,716326531 * \frac{0,000833}{32,2508}}$$

$$K = 0,9999957310$$

$$h(b) = \frac{0,716326531 * (1 - 0,9999957310^{20000})}{1 - 0,716326531 * 0,9999957310^{20000}}$$

$$h(b) = 0,1712611732$$

Verimlilik;

$$E_{20000} = E_0 + D'_1 h(b) E_2$$

$$E_{20000} = 0,679 + 0,135493548 * 0,1712611732 * 0,78$$

$$E_{20000} = 0,70$$

İki kısma ayrılan hattın üretim hızı;

$$R_c = \frac{0,70}{0,000833} = 840 \text{ şişe/dk}$$

c) İki Kısma Ayrılan Hatta Sonsuz Kapasiteli Tampon Stoklu Durumu

Yedi istasyonu bulunan hattın iki kısma ayrıldığı ve iki hat arasında sonsuz adet kapasiteli bantlı konveyör yerleştirildiği durumda verimliliğin hesaplanabilmesi için durma frekanslarının eşit olduğu kabul edilir.

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = 0,0000062079$$

(Ayrılan hatların frekansların eşit olabilmesi için toplam frekansın ortalaması alınır.)

Eşitlik (2)'den ortalama üretim süresi;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000062079 * 32,2508$$

$$T_p = 0,0010332119 \text{ dk}$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,0010332119} = 0,81 \text{ olarak bulunur.}$$

İki kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,81}{0,000833} = 973 \text{ şişe/dk}$$

4.4. Hattın Üç Kısma Ayrılması Durumu

Üretim hatları iki kısma ayrıldığı, Makine arızalarının yoğun olduğu Paketleme bölümüne de bir tampon stok koyulduğunda ne gibi değişiklikler olacağı bu kısımda araştırılmıştır. Hat birinci kısım; Şuruphane, Boş kutu, Dolum, İkinci kısım; Kapaklama, Kodlama. Üçüncü kısım; Paketleme, Paletleme olarak ayrılmıştır.



Şekil 3: Üç Kısma Ayrılan ve Eklenen Konveyör

a) Üç Kısma Ayrılan Hatta Sonsuz Kapasiteli Tampon Stoklu Durumu

Yedi istasyonu bulunan hattı üç kısma ayırıp bu üç hat arasında sonsuz adet kapasiteli bantlı tampon konveyör eklenirse verimliliğin hesaplanabilmesi için durma frekanslarının eşit olması gerekmektedir.

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = 0,0000041386$$

Eşitlik (2)'den ortalama üretim süresi;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000041386 * 32,2508$$

$$T_p = 0,0009664746$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,0009664746} = 0,86$$

Üç kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,86}{0,000833} = 1033 \text{ şişe/dk olarak bulunur.}$$

4.5. Her Bir İstasyon/ Makineler Arasına Sonsuz Kapasiteli Tampon Stok Yerleştirilmesi Durumu

Yedi hat bulunan üretim sistemimizde bütün hatların arasında sonsuz kapasiteli tampon stok yerleştirildiği durum;

$$F = \sum_{i=1}^7 P_i = 0,0000124159$$

$$F_1 = F_2 = F_3 \dots = F_7 = 0,0000017737$$

Ortalama üretim süresi eşitlik (2) kullanılarak;

$$T_p = 0,000833 + 0,0000017737 * 32,2508$$

$$T_p = 0,000890203 \text{ dk.}$$

Eşitlik (7)'den verimlilik;

$$E_{\infty} = \frac{0,000833}{0,000890203} = 0,94$$

Yedi kısma ayrılan sonsuz kapasiteli hattın üretim hızı Eşitlik (6)'dan;

$$R_c = \frac{0,94}{0,000833} = 1129 \text{ şişe/dk}$$

5. Sonuç

Bu çalışmada, meyve suyu şişe dolum tesisinde otomatik üretim hattındaki makine arızaları, meyve suyu içecekleri üreten bir işletmenin otomatik üretim sistemi; makineler, makinelerin arızalanma süreleri ve arızalanma frekansları verilerinden yararlanarak mevcut sistemin verimliliği hesaplanmıştır. Mevcut duruma ilave bir tampon stok, ilave iki tampon stok ve her bir istasyonun arasında bir tampon stok yerleştirildiği senaryolar oluşturulmuştur. Bununla birlikte oluşturulan stoklardan 5000, 20000 ve sonsuz stoklu durumlardaki verimlilik ile üretim miktarları hesaplanmıştır (Tablo 3).

2017 yılında Mayıs – Aralık döneminde elde edilen verilere göre verimlilik %67,9 hesaplanmıştır. Üretim hızı ise 817 şişe/ dk olarak hesaplanmıştır.

Makine arızalarının yoğun olduğu istasyonlar tespit edilmiş ve istasyonlarda hat iki kısma ayrılarak, tüm hattın tamir/ onarım işlemlerinden mümkün olduğunca az etkilenmesi istenmiştir. Üretim sistemi iki kısma ayrılarak, sisteme 5000 ve 20000 stok kapasiteli PVC bantlı konveyör yerleştirilmiştir. Yerleştirilen 5000 stok kapasiteli tampon stok hat verimliliği %69 ve 20000 stok kapasiteli tampon stoklu hat verimliliği %70 olarak elde edilmiştir. Mevcut sistem ile arasında küçük bir verimlilik artışı olduğu görülmektedir. Sisteme sonsuz kapasiteli tek tampon stoklu konveyör eklendiğinde verimlilik %81'e yükselmiştir. Üretim hızı ise %19'luk bir artışla 973 şişe/dk olarak hesaplanmıştır.

Üretim sistemini makine arızalarının yoğun olduğu istasyonlarda hat üç kısma ayrılarak incelendiğinde, verimlilik %86 olarak hesaplanmıştır. Üretim hızı ise %26'lık bir artışla 1033 şişe/dk yükselmiştir.

Yedi istasyonu bulunan üretim sistemine her istasyon için sonsuz kapasiteli tampon stok yerleştirilmiştir. Verimlilik %94 üretim miktarı ise 1129 şişe/dk hesaplanmıştır.

Tablo 3. Verimlilik – Üretim Miktarı

Durum	Tampon Stok Miktarı	Verimlilik	Üretim Miktarı (şişe/dk)
Mevcut Durum	-	0,679	817
Hattın İki Kısma Ayrılması Durumu	5000 Tampon Stok	0,69	829
	20000 Tampon Stok	0,70	840
	Sonsuz Tampon Stok	0,81	973
Hattın Üç Kısma Ayrılması Durumu	Sonsuz Tampon Stok	0,86	1033
Hattın Yedi Kısma Ayrılması Durumu	Sonsuz Tampon Stok	0,94	1129

Hattın verimliliğini artırmak için üretim hattının ikiye, üçe ayrılarak ara stok yerleştirilmesi ve de her bir makine için ara stok yerleştirilmesi durumunda verimlilik ve üretim hızı hesaplamaları Tablo 3'de verilmiştir. Bu sonuçlarda, bantlı konveyör tampon stok eklenmesi durumunda verimliliği ve üretim hızını az da olsa artırdığı görülmektedir. Bununla birlikte üretim hattının sonsuz stok kapasiteli çalışması durumunda %38 artırdığı hesaplanmıştır.

Fakat, istasyonlar arasına tampon stok eklemek üretim hattı kurma amacına uygun değildir.

Bu sonuçlardan, üretim hattı için getirilebilecek en uygun öneri, tampon stok konveyörünün eklenmesi ile verimliliğin ve üretim miktarının artacağı yönünde sonuçlar elde edilmiştir. Buna karşın, hattın çevresinde oluşan stoklar ve stok bulundurma maliyeti dikkate alınması ve oluşan yönetim karmaşıklığı, çeşitli sorunlara da neden olabileceğinden göz ardı edilmemelidir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Baraçlı, H., Çoşkun, S., Eser, A., 2001. Toplam Kalite Programlarının Başarılı Olarak Uygulanabilmesinde Toplam Üretken Bakım Tekniği. MMO Dergisi, 331- 340.
- Bumin, B., Erol, S., 1992. Çok Ürünlü Üretim Sistemlerinde Amaç Programlama Yaklaşımı. Verimlilik Dergisi (21), 4: 1992: 109-124.
- Buzacott, J. A., 1967. Automatic Transfer Lines with Buffer Stocks. International Journal of Production Research, 5(3), 183-200.
- Chomnawung, Y., Prombanpong, S., ve Klavohm, C. 2016. A Buffer Analysis in a Transfer Production Line. MATEC, 68, 4.
- Düzakın, E., Demircioğlu, M., 2005. Bakım Stratjileri ve Bekleme Hattı Modeli Uygulaması. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 211 – 230.
- Enginarlar, E., Li, J., Zhang, R., ve Meerkov, S. M. 2002. Buffer Capacity for Accommodating Machine Downtime in Serial Production Lines. International Journal of Production Research, 601-624.
- Groover, M., 1987. Automation Production Systems and Computer - Integrated Manufacturing, 4, 441 – 471.
- Gürtekin, 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, 33-37.
- Hillier, S. F., So, K. C., 1991. The Effect Of Machine Breakdowns And İnterstage Storage On The Performance Of Production Line Systems.

International Journal Of Production Research, 29, 2043-2055.

Koçak, A., İşçioğlu, F., 2018. Meyve Suyu Dolum Hatlarında Güvenilirlik Analizi. Journal Of Yaşar University, 13(50), 185-196.

Koruca, H.İ., Kaya, Ü., Özen, D.Ö., 2018. Otomatik Paketleme Sisteminin Arıza/ Tamir Bakım İşletmelerinde Verimlilik ve Tampon Stok Seviyesi Belirlenmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 18, 823-838.

Lopes, Rodrigo, 2018. Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system. Computers & Industrial Engineering Journals, 126, 650 - 656.

Perry, D., Posner, M.J.M., 2000. A Correlated M/G/1 Type Queue with Randomized Server Repair and Maintenance Modes.

Prombanpong, S., Kaewyu, J., Thanadulhaveedech, N., Matwangsang, M., 2013. A Buffer Design For Mitigation Downtime Effect In An Automated Transfer Line. International Journal of Innovation, Management and Technology, 4, 155-158.

Wijngaard, J., 1979. The effect of Inter-Stage Buffer Storage on the Output of Two Unreliable Production Units in Series, with Different Production Rates. AIIE Transaction, 42-47.