

Meyve Suyu Dolum Hatlarında Güvenilirlik Analizi

Reliability Analysis in Fruit Juice Bottling Lines

Aydın KOÇAK, Ege Üniversitesi, Türkiye, aydin.kocak@ege.edu.tr
Funda İŞÇİOĞLU, Ege Üniversitesi, Türkiye, funda.iscioglu@ege.edu.tr

Öz: Makinelerin plansız duruşları imalat sistemlerinde hayati bir öneme sahiptir. Özellikle alternatif makinelerin olmadığı seri bağlı sistemlerde makinelerin kesintisiz çalışarak hattın mümkün olduğunca az durması gereklidir. Bir hattaki duruş sayısının fazla ve bununla beraber tamir sürelerinin uzun olması kapasiteyi düşürmekte, siparişlerin zamanında teslimatını geciktirmekte ve fireleri artırarak maliyet artışına sebep olmaktadır. Bu anlamda arıza ve tamir verileri kullanılarak hatlarda yapılan güvenilirlik analizleri, hatların iyileştirilmesinde rehber niteliği taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada benzer iki meyve suyu dolum hattında güvenilirlik analizi yapılarak hem imalat hatlarında iyileştirme noktalarını tespit etmek hem de hatlardaki üretim planlama ve bakım faaliyetlerinde karar desteğinin sağlanacağı bir alt yapının kurulması amaçlanmaktadır. 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.

Anahtar Sözcükler: Güvenilirlik Analizi, Arıza ve Tamir Verileri, Kullanılabilirlik

Abstract: Unexpected failures of machines are extremely important in manufacturing systems. Especially in series systems without backup units, a line should not fail and machinery should operate smoothly. Due to high numbers of failure and thereby, long repair times in a line, line capacity decreases and the delivery time of orders is subject to a delay and as a result, there is an increase concerning prices. In this sense, reliability analysis by using failure and repair data in the lines provide guidance in improving the lines. This study aims to determine potential areas for improvement and to set up a substructure in which both production is performed in line with the schedule and a decision-making support for maintenance activities is provided by carrying out the reliability analysis of two similar fruit juice bottling lines. Thus, a reliability analysis is performed for the lines and the five machines in both lines by using the data of failure and repair times for a period covering 5.5 months. First of all, nature of the failure regarding each machine is identified and then, the descriptive statistics of the lines and the machines in each line are obtained by the use of repair and failure data. The most appropriate distributions are determined for the machinery and the lines by the use of failure and repair data. By using the most appropriate distributions for the machinery and the lines, reliability estimations are obtained and the availability is calculated while the results are compared in terms of machinery and lines.

Keywords: Reliability Analysis, Failure and Repair Data, Availability

1. Giriş

İmalatın çıktı ve kalite düzeyi; müşteriye hızlı cevap verebilmek, rekabet avantajı sağlayabilmek ve maliyet etkin çalışabilmek için önemli bir konudur. Fakat imalatta yaşanan duruşlar kapasiteyi doğrudan etkilemektedir. İmalattaki duruşlar sadece üretim oranını değil aynı zamanda verimliliği düşürerek üretim planlamasını da zorlaştırmaktadır (Seifoddini ve Djassemi, 2001:66). Özellikle seri bağlı imalat hatlarında duruşlar çok daha kritik hale gelmektedir. Hat içerisinde bir makinenin duruşu tüm hattı durdurduğundan dolayı mümkün olduğunca az duruş gerçekleşmelidir. Bu nedenle hat içerisindeki her bir makinenin güvenilirliğinin belirlenmesi hayati bir öneme sahiptir. Bir hattın güvenilirliği; üretilen ürün miktarı, ürün kalitesi, yüksek bakım maliyetleri ve terminlerin gecikmesine ve verimsizliğe neden olan arıza türleri ile ilgilidir (Zhang ve diğerleri, 2014:9114). Bir imalat sisteminde arızaların sık olması güvenilirliği düşürmekte dolayısıyla bu durum kullanılabilirlik oranının da düşmesine neden olmaktadır (Tsarouhas, 2012a:2243). Bu anlamda güvenilirlik analizi imalat süreçlerinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Tsarouhas ve Arvanitoyannis, 2010:51). Ayrıca bir duruşun belli bir süre uzun olması makinedeki yarı mamulün fire olmasına yol açabilir. Güvenilirlik analizi ile bir sistemdeki en düşük güvenilirliğe sahip alt sistem ya da birleşen tespit edilerek darboğazların belirlenmesi mümkündür (Barabady ve Kumar, 2008:647). Bu darboğazlar sistemin iyileştirilmesinde yol göstericidir. Sonuç olarak güvenilirlik analizi ile hem makine ve hat performansının iyileştirilmesi mümkün olmakta hem de üretim planlama için makine ve hattın kullanılabilirliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada birbirinin aynısı iki adet 1 lt.'lik meyve suyu dolum hattı üzerinde 5,5 aylık arıza ve tamir verileri kullanılarak makine ve hat bazında güvenilirlik analizi yapılmıştır. Arıza ve tamir verileri incelenerek makine ve hat bazında arıza ve tamir süreleri hesaplanmıştır. Oluşturulan yapı üzerinden makine ve hatların uygun istatistiksel dağılımları belirlenerek güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Fabrika içerisinde 1lt.'lik meyve suyu dolum hattı sadece iki tane bulunmakta ve bu iki hat birbirinin aynısı olarak çalışmaktadır. Bu nedenle hatların güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranları etkin bir üretim planlama açısından önemlidir. Ayrıca hatlardaki makinelerin güvenilirlik oranları, bakım planlaması faaliyetlerine yol gösterici nitelik taşıyacaktır. Bu anlamda çalışma sonuçlarının her iki hattın üretim programının yapılmasına ve bakım planlamasına destek sağlayacağı hedeflenmektedir. Güvenilirlik hesaplamaları için belli bir dağılım türünün varsayımı yerine hem hat hem de makine bazında arıza ve tamir sürelerinin dağılımları ayrı ayrı incelenerek en uygun dağılımlar belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle makinaların arıza ve tamir

sürelerine ait en uygun dağılımlar belirlenmeye çalışılmış ve belirlenebilen dağılımlar için makine bazında güvenilirlik tahminleri parametrik olarak, uygun dağılımın belirlenmediği durumlarda ise parametrik olmayan tahmin yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Hat bazında ise hem arıza hemde tamir sürelerine uyan parametrik dağılım olmadığından dolayı hat bazında güvenilirlik tahminleri parametrik olmayan tahmin yöntemleri ile tahminlenmeye çalışılmıştır. Yapılan güvenilirlik tahminlerinin, hem parametrik hem de parametrik olmayan tahmin yöntemleri kullanılarak elde edilmesi, bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran temel farklılık olarak görülmektedir. Bununla beraber iki aynı hatta güvenilirlik analizi yapılarak karşılaştırılması çalışmanın diğer bir farklılığıdır. Bu çerçevede çalışmanın dört temel amacı bulunmaktadır:

1. Makine ve hatların güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranlarının belirlenmesi
2. Her bir dolun hattında darboğaz yaratan makinenin tespit edilmesi
3. Hat ve makine bazında arıza türü analizinin yapılması
4. Hatların güvenilirlik ve kullanılabilirlik açısından değerlendirilmesi

Çalışmanın ikinci bölümünde güvenilirlik analizi açıklanarak üçüncü bölümde literatür çalışması yapılmıştır. Dördüncü bölümde çalışmanın konusu olan meyve suyu hattı ve makineler açıklanmıştır. Beşinci bölümde veri toplama aşaması, altıncı bölümde arıza türleri ve analizi gerçekleştirilmiştir. Yedinci bölümde makine ve hat bazında tanımlayıcı istatistiklere yer verilmiştir. Sekizinci bölümde makine ve hat bazında güvenilirlik analizi yapılmıştır. Son bölüm olan dokuzuncu bölümde ise tüm analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada parametrik güvenilirlik tahminleri Mathcad 15 programı ile, hesaplanan diğer tüm istatistikler ve analiz sonuçları ise Minitab 15 programları yardımıyla elde edilmiştir.

2. Güvenilirlik Analizi

Güvenilirlik, bir sistemin belirlenen çalışma koşulları altında amaçlanan fonksiyonunu belli bir süre için yerine getirebilmesinin olasılığı olarak tanımlanabilir (Kuo ve Zuo, 2003:1). Diğer bir deyişle, sistemin veya bileşenlerinin bozulma oranlarının analizidir. Bir sistemin güvenilirliğini hesaplamak için sistemin herhangi bir anda çalışma olasılığı ile ilgilenildiğinden, bu olasılık hesabı için gerekli veriler önem arz etmektedir. Güvenilirlik hesabı için gerekli olan veriler arızalanma süreleri ve tamir süreleridir. Bu süreler hem sistem için hem de sistemi oluşturan bileşenler için farklı yollar ile toplanabilir. Bir sistemin güvenilirliğini hesaplamak için, öncelikli olarak sistemi oluşturan bileşenlerin güvenilirlikleri uygun istatistiksel yöntemler kullanılarak hesaplanmalı, sonrasında sistem ile bileşenlerin ilişkileri analiz edilerek sistem için güvenilirlik hesabı yapılmalıdır. Fakat bunun için öncelikli olarak sistemin veya bileşenlerin içinde buldukları koşulların da incelenmesi gerekmektedir. Bileşenlerin veya sistemin yaşam zamanlarını etkileyen faktörler değerlendirilmelidir. Farklı koşullar altında aynı bileşen veya sistemler farklı güvenilirlik değerlerine sahip olabilmektedirler.

İstatistiksel olarak güvenilirlik analizi, parametrik ve parametrik olmayan metotlar olarak iki ana kategoride incelenebilir. Bu metotlar farklı varsayımlar altında uygulanıyor olsa da literatürde her iki yöntemin kullanılarak farklılıklarının ortaya konulduğu çalışmalar mevcuttur (Kalaiselvan ve Rao Bhaskara, 2016:691-693). Parametrik olan metotların temel varsayımı, verinin belli bir olasılık dağılımı sergilemesidir ve buradaki amaç bu dağılım parametrelerinin tahmin edilerek çıkarımlarda bulunmaktır (Barlow ve Proschan, 1981:73). Parametrik olmayan metotlarda ise verinin, sistemin veya bileşenlerin yaşam zamanı için spesifik bir dağılım belirlenemez (Hollander ve Proschan,1984:613, Lewis, 2004:215). Parametrik yöntemler güvenilirlik analizi çalışmalarında daha sık kullanılmaktadırlar. Bazı spesifik dağılımların belli alanlara daha çok uygun olduğu uygulama çalışmaları ile denenmiştir. Bu dağılımlar, çalışmaların başında varsayımsal olarak kabul görerek, güvenilirlik ile ilgili bazı hesaplamalar yapılabilmektedir. Parametrik yöntemleri kullanılırken bileşen veya sistemin yaşam zamanını en iyi tahminleyen dağılım, eldeki yaşam zamanı verisi yani örneklem verisi ile belirlenir. Bu dağılım bir ürünün ortalama yaşam zamanı, belirli bir anda bozulma olasılığı ve bozulma oranı gibi önemli karakteristiklerini tahminlemek için kullanılır.

Bir güvenilirlik çalışmasında asıl amaç, sistem hakkında bilgiyi arttırmaktır. Şöyle ki; güvenilirlik analizi ile bileşenlerin yaşam zamanları verileri kullanılarak hem bileşenler hem de sistem hakkında yaşam tahminleri yapılarak sistemdeki bozulma sıklığı analiz edilir. Bununla beraber sistemdeki geliştirilmesi veya çevre koşullarının iyileştirilmesi gereken en zayıf bileşenler belirlenir ve bakım oranım çalışmalarının planlaması yapılır.

Bir sistemin güvenilirlik hesaplamasında öncelikli olarak bileşenlerin güvenilirlikleri ele alınır. Örneğin sistem n bileşenden oluşuyorsa, herhangi bir bileşenin (i. bileşen olsun, $i=1,2,\dots,n$) güvenilirlik hesabında bileşenin arızalanmasına kadar geçen süresi rastgele değişken T_i ile ifade edildiğinde, bileşenin herhangi bir t anındaki güvenilirliği;

$$R_i(t) = P(T_i > t) = 1 - P(T_i \leq t) = 1 - F_i(t)$$

ile elde edilir. Burada $F_i(t)$, bileşenin kümülatif yaşam zamanı dağılımı başka bir deyişle arızalanma olasılığı olarak da ifade edilir. Bileşen için ortalama arızalanma süresi (OAS) ise;

$$OAS_i = \int_0^{\infty} t f_i(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - F_i(t)) dt = \int_0^{\infty} R_i(t) dt$$

ile hesaplanmaktadır. Burada $f_i(t)$ i. bileşenin yaşam zamanı rastgele değişkenine ait yoğunluk fonksiyonudur. Sisteme ait bileşenin güvenilirlik tahminleri, bileşenlere ait bozulma zaman verileri kullanılarak tahmin edildikten sonra, sistem

güvenilirlik tahminlemeye geçilebilir. Bunun için sistem ve bileşenlerin yapısal olarak ilişkileri incelenmelidir. Sistem güvenilirlik modelleme teknikleri burada önem kazanmaktadır. Çünkü basit anlamda bileşenlerin sistem içerisindeki dizilimleri veya sistemin dinamik veya durağan bileşenlere sahip olması, ya da yedek birimlerin varlığı gibi unsurlar sistem için güvenilirlik hesaplama yöntemini etkilemektedir. Literatürde sistemin, özellikle sistemi etkileyen faktörler ile beraber değerlendirildiği güvenilirlik analizinde farklı sistem güvenilirlik modelleme teknikleri kullanılıyor olsa da, sıklıkla kullanılan tekniklerden biri güvenilirlik blok diyagramlarıdır. Bir blok diyagramı, sistemin bileşenlerinin ve sisteme nasıl bağlandıklarının grafiksel bir gösterimidir (Wang, 2013:17). Literatürde seri, paralel, n'den k çıkışlı sistemler gibi bazı özel sistem yapılarının güvenilirlik hesaplamaları blok diyagramları ile ifade edilerek, farklı teknikler kullanılarak yapılmaktadır (Kuo ve Zuo:232). Bir sistemin yapısal olarak blok diyagramı ile ifade edilmesi, sistem güvenilirliğinin bileşen güvenilirlikleri ile hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Örneğin seri bir sistemin güvenilirliğinde her bir bileşenin çalışma olasılığı ya da güvenilirliği R_i ile ifade edildiğinde, sistemin güvenilirliği $\prod_{i=1}^n R_i$ ile hesaplanabilmektedir. Eğer bir sistemde sisteme ait yaşam zamanı verileri mevcut olmadığında, bileşen yaşam zamanı verileri kullanılarak bileşenlerin güvenilirlikleri tahmin edilerek, blok diyagramı yöntemi ile sistem ve bileşenler arasındaki yapısal ilişki modellenerek, sistem güvenilirliği tahmini yapılabilmektedir.

3. Literatür Çalışması

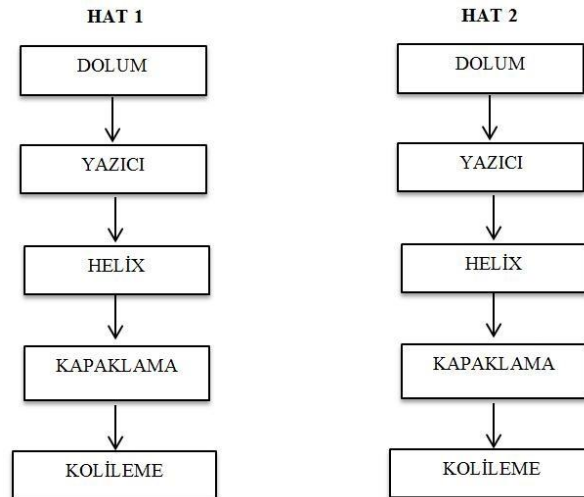
Literatürde farklı üretim süreçlerinde makine ve hat bazında güvenilirlik analizinin yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır.

Tsarouhas (2012a), bir yiyecek üretim hattında güvenilirlik, kullanılabilirlik ve bakım kolaylığı (reliability, availability ve maintainability-RAM) analizi üzerine çalışmıştır. Tsarouhas (2012b), dört pizza üretim hattının arıza verilerini kullanarak hatların karşılaştırmalı performans analizini gerçekleştirmiştir. Tsarouhas, Varzakas ve Arvanitoyannis (2009), strudel üretim hattında; Tsarouhas, Arvanitoyannis ve Varzakas (2009) ise peynir üretim hattında güvenilirlik ve bakım kolaylığı analizini gerçekleştirmişlerdir. Tsarouhas ve Arvanitoyannis, bira paketleme hattında (2010) ve limoncello üretim hattında (2012) güvenilirlik analizi ve bakım kolaylığı analizi çalışması yapmışlardır. Tsarouhas, Arvanitoyannis ve Ampatzis (2009), bir meyve suyu şişeleme hattında güvenilirlik ve bakım kolaylığı analizi üzerine çalışmışlardır. Liberopoulos ve Tsarouhas (2005), arıza verilerinin istatistiksel analizi ile güvenilirlik analizini pizza üretim hattında yapmışlardır. Zhang ve diğerleri (2014), yaptıkları çalışmada bir piston üretim hattında tamir ve arıza verilerini kullanarak uygun dağılımlara göre güvenilirlik ve bakım kolaylığı analizini gerçekleştirmişlerdir. Vineyard, Amoako-Gyampah ve Meredith (1999), arıza türlerinin dağılımına göre esnek imalat sistemlerinde güvenilirlik analizi üzerine çalışmışlardır. Barabady ve Kumar (2008), bir maden işletmesini alt sistemlerine ayırarak her bir alt sistemin arıza verilerinin dağılımına göre madenin güvenilirlik analizini gerçekleştirmişlerdir.

Öztürk ve Elevli (2013), dört adet CNC tezgahının güvenilirlik analizini, arıza verilerinin olasılık dağılımlarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Uzun ve Özdoğan (2011), bir cam üretim hattında Weibull dağılımıyla güvenilirlik analizine dayalı önleyici bakım planlaması üzerinde çalışmışlardır. Atamer ve Çavdar (2009) ise tek kademeli dişli kutusunun güvenilirlik analizini Weibull dağılımına dayalı olarak gerçekleştirmişlerdir.

4. Meyve Suyu Dolum Hattı

Bu çalışma birbirinin aynısı olan sadece 1lt.'lik meyve suyu dolumu yapılan iki hatta gerçekleştirilmiştir. Her bir hatta dolum, yazıcı, Helix, kapaklama ve kolileme olmak üzere beş makine bulunmaktadır. Bu makineler birbirine seri bağlı olarak üretim hattını oluşturmaktadır. Şekil 1'de her iki hattın blok diyagramı gösterilmektedir



Şekil 1. Meyve Suyu Dolum Hattı Blok Diyagramı

Meyve suyunun kendisi Şuruphane adı verilen iş istasyonunda üretildikten sonra hattın başlangıcı olan dolum makinesine gelmektedir. Burada bobin halindeki kartondan kutu yapılarak yapıştırılır, meyve suyu dolumu yapılır, azot basılıp kapaksız olarak kapatılarak yazıcıya gönderilir. Yazıcıdan sonra kutu Helix makinesinden geçerek kapakların takıldığı kapaklama makinesine gelir. Sonrasında ise kutular 12'şerlik gruplar halinde kolileme makinesinde kolilenir.

Dolum makinesi; otomatik ekleme ünitesi, aseptik oda, çene sistemi, hareket ünitesi, son katlayıcı, elektrik kabini ve servis ünitesi olmak üzere yedi temel üiteden oluşmaktadır. Otomatik ekleme, kutu yapmak için kullanılan kağıt bobin bittikten sonra diğer bobine otomatik geçilmesini sağlayan üitedir. Bu ünite dolum makinesinin duraksız üretim yapabilmesi için kullanılmaktadır. Meyve suyu kutusunun sterilize edildiği ünite aseptik oda ünitesidir. Burada kutu, peroksit adı verilen kimyasal ile sterilize edilerek azot gazı basılır. Çene sistemi, kutuya form veren ünite olup burada kutunun kesme ve yapışma operasyonları gerçekleşmektedir. Hareket ünitesi, dolum makinesinin tüm hareketlerini veren motorların bulunduğu üitedir. Son katlayıcı ünitesi ise kutuların katlama süreçlerinin gerçekleştiği bölümdür. Burada kutuların kulak tabir edilen iki yan tarafındaki kısımları yapıştırılmaktadır. Elektrik kabini, dolum makinesinin bütün elektrik aksamının bulunduğu yerdir. Servis ünitesi ise hava ve su ile çalışan dolum makinesinin suyunu soğutulduğu, hava basıncının ayarlandığı üitedir. *Yazıcı*, kutu üzerine üretim tarihi, son kullanım tarihi ve parti numarası gibi bilgiler yazıldığı makinedir. *Helix makinesi*, helezon şeklinde bir yapıya sahip olup dolumdan gelen meyve sularının içeride belli bir miktar depolanmasını sağlar. *Kapaklama makinesi*, dolum makinesinden kapaksız olarak çıkan kutuların kapaklandığı makinedir. *Kolileme makinesinde* ise kapağı yapışmış, tarihi vurulmuş kutular 12'lik gruplara getirilerek kağıt karton kolilerin içerisine yerleştirilmektedir.

5. Veri Toplama

Firma haftada beş gün, üç vardiya toplam 24 saat çalışmaktadır. Molalar ve öğlen yemeği zamanlarında operatörler değişmeli olarak çalışmakta ve dolayısıyla makineler durmamaktadır. Çalışma kapsamına 02.01.2017-15.06.2017 arası 5,5 aylık (163 gün) bir periyodun arıza ve tamir verileri alınmıştır. Firmanın hatlardaki makine duruş kayıtları alınarak hem makine hem de hat bazında arızalanma süreleri (time to failure) ve tamir süreleri (time to repair) zaman periyodu aralığında dakika olarak hesaplanmıştır. Bir makine çalışmadığında arızalanmayacağı varsayımı altında tatil ve hattın çalışmadığı günler hesaba katılmamıştır. Çalışma Hat 1 ve Hat 2 olmak üzere iki meyve suyu dolum hattında gerçekleştirilmiştir. Firmada normal koşullarda hafta sonu üretim olmamakla beraber iş yoğunluğuna göre hafta sonu da üretim zaman zaman gerçekleşmiştir. Çalışma kapsamında Hat 1 toplamda 127 gün, Hat 2 ise 118 gün çalışmıştır.

Arızalanma süresi (AS), bir makinenin ya da hattın çalışmaya başladığı zaman ile herhangi bir arızadan dolayı durduğu zaman arasındaki süreyi ifade etmektedir. Tamir süresi (TS) ise, bir makinenin ya da hattın herhangi bir arızadan dolayı durduğu ve tamir süreci gerçekleştikten sonra tekrar çalışmaya başladığı zaman arasındaki süredir. Bu süreye tamir ekibinin gelme, gerekli parça ve araç gerecin sağlanma, tamir ve test süresi dahildir.

6. Arıza Türleri ve Analizi

Arıza türleri üretim hattının arıza verileri analiz edilerek ve üretim sorumluları ile görüşerek tespit edilmiştir. Buna göre çalışma kapsamında dolum makinesinin dokuz arıza türü belirlenmiştir. Bununla beraber arıza verilerinde arıza ayrıntısı olmadığından dolayı yazıcı, Helix, kapaklama ve kolileme makinelerinin her biri için tüm arızaları içerisine alan tek bir arıza türü makine adı altında toplanmıştır. Sonuç olarak aşağıda ayrıntıları açıklanan toplam 13 arıza türü çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Strip arızası: Otomatik ekleme ünitesinde kutu kapanırken kutunun kapanış yerine strip adı verilen bir şerit yapıştırılmaktadır. Bu süreçte şerit doğru çizgide yapışmadığında dolum makinesinde duruş yaşanmaktadır. Bununla beraber strip çekmeyi sağlayan motordan dolayı da arıza oluşmaktadır.

Kâğıt arızası: Otomatik ekleme ünitesinde bir kağıt bobin bitip diğer bobine geçişte birbirine yapışma sorunları yaşanmaktadır. Ayrıca bobinlerde kağıt kopması da kağıt arızası içerisinde yer almaktadır.

Azot arızası: Aseptik odada kutu içerisinde basılan azotun basıncı belirlenen değerler arasında olmaz ise dolum makinesi kendisini durdurmaktadır. Bununla beraber azot akışı belli bir debi değeri altına düştüğünde azot arızası yaşanmaktadır. Ayrıca azot sıcaklığı da belli bir dereceden yüksek ise azot arızası gerçekleşmektedir.

Peroksit arızası: Aseptik odada kutu kartonunu sterilize etmek için kullanılan peroksitin sıcaklığı 80 derecenin altına düştüğü zaman kağıt yeterli derecede sterilize olmadığından dolayı dolum makinesi kendiliğinden durmaktadır. Ayrıca peroksitin konsantrasyonunun 30-50 değerleri arasında olmaması durumunda da bu arıza yaşanmaktadır.

Son katlayıcı arızası: Son katlayıcı ünitesi içerisinde yer alan aktarma kayışı, baskı ünitesi, pulldown ve pressure device mekanizmalarının bozulmasından dolayı kutuların ünite içerisinde sıkışması ve dönmesi gibi durumlarda dolum makinesinde duruş yaşanmaktadır. Ayrıca kulakların yapışması için ısı ve hava dengesini sağlayan mekanizmanın kalibrasyonunun bozulmasından dolayı yapışmanın doğru sıcaklık ve basınç değerlerinde gerçekleşmemesinden dolayı da bu arıza yaşanmaktadır.

Servis ünitesi arızası: Dolum makinesinin servis ünitesinde meydana gelen su hortumu patlaması, soğutma suyu basıncının düşmesi ve hava ile ilgili tüm duruşlar bu kapsamda yer almaktadır.

Fotosel arızası: Çene ünitesinde kutuların üzerindeki barkodu fotoseller okumaktadır. Fotoselin barkodu nem, su, bozulma gibi nedenlerle okumaması durumunda dolum makinesi durmaktadır.

Hidrolik arızası: Kutunun kapanması sırasında yapıştırma ve kapama işlemleri çene ünitesi içerisinde yer alan hidrolik sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir. Burada bir arıza olması kutunun doğru kapanmamasına neden olarak duruş yaşanmaktadır. Ayrıca hidrolik ünitenin basıncı kesmede 80 bar, baskıda ise 100 bar olmalıdır. Bu değerlerin altına düştüğü zaman dolum makinesi durmaktadır.

Elektriksel arıza: Dolum makinesinin elektrik ünitesinde sıcaklık arızaları, emniyet arızaları, röle arızaları ve diğer elektriksel arızalar meydana gelmektedir.

Yazıcı arızası: Kutu üzerinde yazılması gereken yazıların eksik yazılmasından doğan arızalardır. Yazma sırasında titreşim, püskürtme ve mürekkep kaynaklı duruşlar yazıcı arızası altında toplanmıştır.

Helix arızası: Helix makinesinin zincirlerinin aşınması, uzaması ve mekanik aksamlarında bozulma meydana gelmesi sonucu makine içinden geçen kutular devrilerle duruş yaşanmaktadır.

Kapaklama arızası: Giriş ünitesindeki fren sisteminin düzgün çalışmaması, senkron arızası, kutu deliğini gören kameranın kalibrasyonunun bozulması ve zambak ünitesi arızaları nedeniyle kutu üzerinde kapağın yapıştırılması gereken standart delikle kapağın örtüşmediği ve yeterince iyi yapışmadığı durumlarda kapaklama makinesinde duruş yaşanmaktadır.

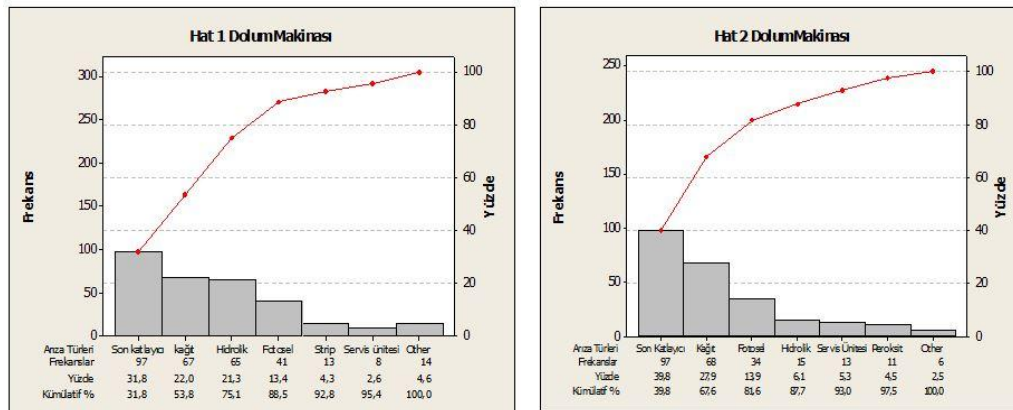
Kolileme arızası: Kalitesiz kartonlu koliler, gruplama ünitesindeki mekanik arızalar, 12'lik kutu grubunu kolinin içine iten itici kol arızaları ve zambak ünitesi arızalarından dolayı kolileme makinesi durmaktadır.

Arıza verileri incelendiğinde Hat 1'de toplam 1019, Hat 2'de ise 688 arıza yaşandığı görülmüştür. Bu arızaların sıklığı hat ve makine bazında Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Makine ve Hat Bazında Arıza Sayıları

HAT 1			HAT 2		
Makine	Arıza Türü	Sayı	Makine	Arıza Türü	Sayı
DOLUM	Son katlayıcı	97	DOLUM	Son katlayıcı	97
	Kağıt	67		Kağıt	68
	Hidrolik	65		Hidrolik	15
	Fotosel	41		Fotosel	34
	Strip	13		Strip	2
	Servis ünitesi	8		Servis ünitesi	13
	Elektriksel	7		Elektriksel	0
	Azot	4		Azot	4
	Peroksit	2		Peroksit	11
	Toplam	304		Toplam	244
YAZICI	Yazıcı	10	YAZICI	Yazıcı	9
HELİX	Helix	72	HELİX	Helix	72
KOLİLEME	Kolileme	384	KOLİLEME	Kolileme	244
KAPAKLAMA	Kapaklama	249	KAPAKLAMA	Kapaklama	119
	Toplam	1019		Toplam	688

Tablo 1'de görüldüğü gibi Hat 1'de en çok kolileme makinesinde duruş yaşanırken Hat 2'de ise dolum ve kolileme makinesi en çok duruş yaşanan makinelerdir. Şekil 2'deki dolum makinelerinin pareto analizine göre Hat 1'deki dolum makinesinde en çok son katlayıcı arızası yaşanmakta olup duruşların %75'i son katlayıcı, kağıt ve hidrolik arızalarından kaynaklandığı görülmektedir. Hat 2 dolum makinesinde ise en çok son katlayıcı arızası yaşanmakta olup duruşların %82'si son katlayıcı, kağıt ve fotosel arızalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. Hat 1 ve Hat 2' deki Dolum Makineleri Arıza Türleri Pareto Grafikleri

7. Makine ve Hat Bazında Tanımlayıcı İstatistikler

Bu bölümde her bir makine ve hattın arızalanma ve tamir sürelerinin tanımlayıcı istatistikleriyle birlikte makine ve hatlara ait kullanım oranları verilmiştir. Bir makinenin herhangi bir andaki kullanım oranı, makinenin o anda hazır bulunması olarak da ifade edilebilir. Aslında bu oran, bir makinenin gerektiği zaman memnun edici düzeyde çalışma olasılığıdır. Kullanılabilirlik oranının artması demek, makinenin üretimde geçirdiği sürenin artması ve buna bağlı olarak kayıp zaman maliyetinin azalmasıdır. Bir makine için kullanılabilirlik aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Kullanılabilirlik} = \frac{\text{Ortalama AS}}{(\text{Ortalama AS} + \text{Ortalama TS})}$$

Tablo 2. Hat 1 için Arızalanma ve Tamir Sürelerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Makine	N	Min	Maks	Ort	Arızalanma Süresi				
					Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Basıklık Katsayısı	Kullanılabilirlik
Dolum	304	1	5180	545.849	925.601	1.6957	2.7305	7.9514	
Yazıcı	10	1027	48720	17495.10	16093.30	0.9199	1.1570	0.4514	
Helix	72	13	30031	2405.21	5417.98	2.2526	3.6489	14.2213	
Kapaklama	249	2	6493	710.912	1049.41	1.4761	2.3647	6.3286	
Kolileme	384	1	5578	465.987	737.681	1.5831	3.1545	13.1447	
Hat 1	1019	1	3139	166.110	309.468	1.8630	4.90725	33.1882	
Makine	N	Min	Maks	Ort	Tamir Süresi				
					Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Basıklık Katsayısı	Kullanılabilirlik
Dolum	304	2	180	11.7993	19.0759	1.6167	6.6501	48.9160	0.978841
Yazıcı	10	5	56	20.80	18.5999	0.8942	1.1334	-0.3453	0.998813
Helix	72	3	60	10.8194	8.8673	0.8196	3.2795	14.2826	0.995522
Kapaklama	249	3	355	17.4217	25.1661	1.4445	10.0712	131.254	0.976080
Kolileme	384	4	106	13.9974	11.1382	0.7957	3.7587	20.5376	0.970838
Hat 1	1019	2	355	14.0206	17.9804	1.2824	9.55894	145.011	0.922164

Tablo 2’de görüldüğü gibi toplam 1019 duruş yaşanan Hat 1’in tanımlayıcı istatistikleri incelendiğinde hatta en çok kolileme makinesinde arıza gerçekleştiği görülmektedir. Buna bağlı olarak 0,97 ile kullanılabilirlik oranı en düşük bu makine iken en yüksek kullanılabilirlik oranına 0,99 ile yazıcı sahiptir. Hattın kullanılabilirlik oranı ise 0,92’dir. Hat 1’in ortalama arızalanma süresi 166 dakika iken ortalama tamir süresi ise 14 dakikadır. Değişim katsayısının bir makine ya da hat için 1’den büyük olması, değişkenliğinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu anlamda hatta arızalanma süreleri açısından değişim katsayısı en yüksek makine 2,25 ile Helix makinesidir. Bu sonuç makinenin arızalanma sürelerinde yüksek bir değişkenlik olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde tamir sürelerinde 1’den büyük en yüksek değişim katsayısı 1,6 ile dolum makinesine aittir. Hat bazında tanımlayıcı istatistiklere ek olarak çeyreklik(kuartil) değerleri de hesaplanmıştır. Buna göre Hat 1 için birinci çeyrek(Ç1) 20, ikinci çeyrek(Ç2) 61 ve üçüncü çeyrek(Ç3) 174 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre Hat 1’deki arızaların %25’i 20 dakika,%50’si 61 dakika ve %75’i ise 174 dakika içerisinde gerçekleşmesi beklendiği görülmektedir.

Tablo 3. Hat 2 için Arızalanma ve Tamir Sürelerine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Makine	N	Min	Maks	Ort	Arızalanma Süresi				
					Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Basıklık Katsayısı	Kullanılabilirlik
Dolum	244	1	6371	696.180	1080.430	1.5519	2.6116	7.9111	
Yazıcı	9	2109	56536	18596.22	15436.90	0.8301	2.1074	5.6479	
Helix	72	1	30450	2321.26	4868.575	2.0974	4.0016	18.8364	
Kapaklama	119	6	11654	1433	1952.39	1.3624	2.6982	9.4365	
Kolileme	244	5	6391	686.537	1037.435	1.5111	2.6266	7.9999	
Hat 2	688	1	3176	238.089	365.774	1.5363	3.19315	13.5611	
Makine	N	Min	Maks	Ort	Tamir Süresi				
					Standart Sapma	Değişim Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Basıklık Katsayısı	Kullanılabilirlik
Dolum	244	2	138	12.2418	15.4385	1.2611	5.0297	33.2724	0.982720
Yazıcı	9	4	31	18.2222	9.7183	0.5333	-0,1068	-1.6405	0.999021
Helix	72	2	106	12.0833	14.0349	1.1615	4.9964	29.9161	0.994821
Kapaklama	119	5	115	16.0084	16.2431	1.0147	3.6445	15.9880	0.988952
Kolileme	244	3	75	13.8525	11.9792	0.8648	2.9237	9.5971	0.980222
Hat 2	688	2	138	13.5262	14.2842	1.0560	4.22337	24.3742	0.946243

Hat 2’de en çok 244 adet ile dolun ve kolileme makinesinde arıza yaşanmıştır. Buna karşın dolun ve kolileme makinesinin kullanılabilirlik oranı sırasıyla 0,982 ve 0,980’dir. Hattaki en yüksek kullanılabilirlik oranı 0,99 ile yazıcıya aittir. Hat 2’nin kullanılabilirlik oranı ise 0,94 olarak belirlenmiştir. Hat 2’nin ortalama arızalanma süresi 238 dakika iken ortalama tamir süresi ise 13,5 dakikadır. Hat 2’de arızalanma süresi açısından 1’den büyük en yüksek değişim katsayısı Helix makinesine aittir. Tamir süresi açısından ise en fazla değişkenlik dolun makinesinde yaşanmaktadır. Hat 2 için hesaplanan çeyreklik değerleri ise; Ç1 için 28, Ç2 için 92 ve Ç3 için 295 olarak bulunmuştur. Bu durum ise Hat 2 için arızaların %25’i 28 dakika, %50’si 92 dakika ve %75’i ise 295 dakika içerisinde gerçekleşmesi beklenmektedir şeklinde yorumlanabilir.

8. Makine ve Hat Bazında Güvenilirlik Analizi

Makine ve hat bazında güvenilirlik analizi için öncelikle AS ve TS verilerini modellemede kullanılacak en uygun dağılımlar belirlenmiştir. Bunun için Anderson-Darling Testi uygulanmıştır. Tablo 4 ve Tablo 5’de tüm makineler için sırasıyla Hat 1 ve Hat 2 bazında AS ve TS verileri kullanılarak hesaplanan Anderson-Darling Test istatistiği değerleri ilgili olasılık değerleri ile birlikte verilmiştir. Test istatistiği değeri, ilgili olasılık değeri ile beraber değerlendirilip küçük test istatistiği değerleri için $p > 0.05$ olanlar anlamlı kabul edilerek en uygun dağılım belirlenmiştir. Tablo 4 incelendiğinde Hat 1’de AS verisi dağılımı dolun makinesi için Johnson dönüşüm yöntemi ile normal dağılım, yazıcı makinesi için 3 parametli Weibull dağılımı, Helix makinesi için log-normal dağılım, kolileme makinesi için Johnson dönüşüm yöntemi sonucu normal dağılım olarak belirlenmiştir. Kapaklama makinesi için AS dağılımı parametrik olan herhangi bir dağılıma uygunluk göstermemektedir. TS verisi dağılımları ise; yazıcı makinesi için 3 parametli Weibull dağılımı ve Helix makinesi için log-lojistik dağılım olarak belirlenmiştir. Benzer olarak dolun, kapaklama ve kolileme makineleri TS verileri herhangi bir parametrik dağılıma uygunluk göstermemektedir.

Tablo 4. Hat 1 için AS ve TS Anderson-Darling İstatistik Değerleri

Dağılım	Arızalanma Süresi				
	Dolun	Yazıcı	Helix	Kapaklama	Kolileme
Normal Dağılım	40.035 (<0.005)	0.649 (0.063)	13.655 (<0.005)	25.346 (<0.005)	44.456 (<0.005)
Log-normal Dağılım	1.464 (<0.005)	0.322 (0.464)	0.375 (0.405)	2.756 (<0.005)	1.165 (<0.005)
Üstel Dağılım	62.418 (<0.003)	0.236 (0.464)	27.469 (<0.003)	37.110 (<0.003)	37.657 (<0.003)
Weibull Dağılımı	1.537 (<0.010)	0.254 (>0.250)	1.129 (<0.010)	1.771 (<0.010)	1.729 (<0.010)
3-parametli Weibull Dağılımı	0.971 (0.017)	0.313 (>0.500)	0.564 (0.149)	1.386 (<0.005)	1.419 (<0.005)
Gamma Dağılımı	3.996 (<0.005)	0.250 (>0.250)	2.798 (<0.005)	2.484 (<0.005)	4.270 (<0.005)
Lojistik Dağılım	29.326 (<0.005)	0.572 (0.088)	10.147 (0.005)	18.733 (<0.005)	30.935 (<0.005)
Log-lojistik Dağılım	1.807 (<0.005)	0.312 (>0.250)	0.475 (0.195)	3.024 (<0.005)	1.625 (<0.005)
Johnson Dönüşümü	0.440 (0.290)	-	-	-	0.338 (0.503)
Dağılım	Tamir Süresi				
	Dolun	Yazıcı	Helix	Kapaklama	Kolileme
Normal Dağılım	54.970 (<0.005)	0.997 (0.007)	5.574 (<0.005)	35.159 (<0.005)	54.970 (<0.005)
Log-normal Dağılım	2.880 (<0.005)	0.452 (0.213)	0.564 (0.140)	3.466 (<0.005)	2.880 (<0.005)
Üstel Dağılım	20.098 (<0.003)	0.586 (0.352)	6.234 (<0.003)	16.389 (<0.003)	20.098 (<0.003)
Weibull Dağılımı	18.417 (<0.010)	0.644 (0.080)	2.428 (<0.010)	12.758 (<0.010)	18.417 (<0.010)
3-parametli Weibull Dağılımı	9.547 (<0.005)	0.466 (0.261)	0.794 (0.043)	6.833 (<0.005)	9.547 (<0.005)
Gamma Dağılımı	13.751 (<0.005)	0.675 (0.090)	1.447 (<0.005)	9.843 (<0.005)	13.751 (<0.005)
Lojistik Dağılım	17.976 (<0.005)	0.992 (<0.005)	2.394 (<0.005)	15.695 (<0.005)	17.976 (<0.005)
Log-lojistik Dağılım	1.453 (<0.005)	0.464 (0.195)	0.531 (0.133)	2.452 (<0.005)	1.453 (<0.005)
Johnson Dönüşümü	-	-	-	-	-

Tablo 5 incelendiğinde ise; Hat 2’de AS verisi dağılımı, yazıcı ve Helix makineleri için 3 parametli Weibull dağılımları, kolileme makinesi için Johnson Dönüşüm Yöntemi sonucu normal dağılım olarak belirlenmiştir. Dolun makinesi için AS dağılımı parametrik olan herhangi bir dağılıma uygunluk göstermemektedir. TS verisi dağılımları ise; yazıcı makinesi için 3 parametli Weibull dağılımı, Helix makinesi için log-lojistik dağılım ve kolileme makinesi için Johnson Dönüşüm Yöntemi sonucu normal dağılım olarak belirlenmiştir. Dolun ve kolileme makineleri TS verileri herhangi bir parametrik dağılıma uygunluk göstermemektedir.

Tablo 5. Hat 2 için AS ve TS Anderson-Darling İstatistik Değerleri

Arızalanma Süresi					
Dağılım	Dolum	Yazıcı	Helix	Kapıklama	Kolileme
Normal Dağılım	25.958 (<0.005)	0.979 (0.007)	11.637 (<0.005)	10.290 (<0.005)	26.475 (<0.005)
Log-normal Dağılım	2.432 (<0.005)	0.592 (0.086)	0.357 (0.446)	0.763 (0.046)	1.251 (<0.005)
Üstel Dağılım	44.585 (<0.003)	0.742 (0.213)	21.579 (<0.003)	5.657 (<0.003)	26.172 (<0.005)
Weibull Dağılımı	1.231 (<0.010)	0.543 (0.153)	0.321(>0.250)	0.326 (>0.250)	1.713 (<0.010)
3-parametrelili Weibull Dağılımı	0.895 (<0.024))	0.642 (0.098)	0.303 (>0.500)	0.261 (>0.500)	1.009 (0.013)
Gamma Dağılımı	1.772 (<0.005)	0.520 (0.213)	1.168 (0.007)	0.622 (0.131)	3.217 (<0.005)
Lojistik Dağılım	18.937 (<0.005)	0.676 (0.042)	8.244 (<0.005)	7.431 (<0.005)	19.113 (<0.005)
Log-lojistik Dağılım	2.587 (<0.005)	0.508 (0.145)	0.421 (>0.250)	0.674 (0.046)	1.691 (<0.005)
Johnson Dönüşümü	-	-	-	-	0.301 (0.577)
Tamir Süresi					
Dağılım	Dolum	Yazıcı	Helix	Kapıklama	Kolileme
Normal Dağılım	28.239 (<0.005)	0.318 (0.465)	10.443 (<0.005)	14.604 (<0.005)	24.410 (<0.005)
Log-normal Dağılım	1.860 (<0.005)	0.414 (0.261)	1.119 (0.006)	2.098 (<0.005)	3.390 (<0.005)
Üstel Dağılım	10.080 (<0.003)	0.949 (0.115)	6.350 (<0.003)	9.902 (<0.003)	21.679 (<0.003)
Weibull Dağılımı	8.363 (<0.010)	0.389 (>0.250)	4.573 (<0.010)	6.794 (<0.010)	11.763 (<0.010)
3-parametrelili Weibull Dağılımı	3.671 (<0.005)	0.386 (0.406)	3.102 (<0.005)	1.707 (<0.005)	6.131 (<0.005)
Gamma Dağılımı	7.030 (<0.005)	0.392 (>0.250)	3.263 (<0.005)	5.329 (<0.005)	8.554 (<0.005)
Lojistik Dağılım	13.755 (<0.005)	0.363 (>0.250)	4.165 (<0.005)	7.480 (<0.005)	12.660 (<0.005)
Log-lojistik Dağılım	1.571 (<0.005)	0.416 (0.249)	0.520 (0.145)	1.225 (<0.005)	2.178 (<0.005)
Johnson Dönüşümü	-	-	-	0.591 (0.121)	-

Hat 1 ve Hat 2’deki AS ve TS verilerine ait uygun olan parametrik dağılımlar için parametre tahminleri En-Çok Olabilirlik Tahminleme (Maximum Likelihood Estimation, MLE) yöntemi ile elde edilerek hem dağılıma ait yoğunluk fonksiyonları hem de parametre tahmin sonuçları Tablo 6’da gösterilmiştir. Herhangi bir parametrik dağılıma uygunluk sağlamayan AS ve TS verilerine sahip makinelerin tahminleri ise parametrik olmayan Kaplan-Meier analizi ile yapılmıştır.

Tablo 6. Hat 1 ve Hat 2 için En Uygun AS ve TS Dağılımları ve İlgili Dağılımların Parametre Tahmin Değerleri

Hat 1				
Makine	AS		TS	
	Yoğunluk Fonksiyonları	En-çok Olabilirlik Tahmin Edicileri	Yoğunluk Fonksiyonları	En-çok Olabilirlik Tahmin Edicileri
Dolum	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ Dönüşüm Denklemi: $1.57511 + 0.430055 \ln\left(\frac{t-0.693328}{5538.76-t}\right)$	$\hat{\mu}$: 0.00995 $\hat{\sigma}$: 0.95946	-	-
Yazıcı	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	$\hat{\beta}$: 1.40500 $\hat{\eta}$: 22590.07187 $\hat{\gamma}$: - 2969.26319	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	$\hat{\beta}$: 0.98633 $\hat{\eta}$: 17.38173 $\hat{\gamma}$: 3.30643
Helix	$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(ln t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$\hat{\mu}$: 6.07278 $\hat{\sigma}$: 1.95410	$f(t) = \frac{\alpha}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\alpha-1}$ $\left(1 + \left(\frac{t}{\lambda}\right)^\alpha\right)^2$	$\hat{\alpha}$: 2.14900 $\hat{\lambda}$: 0.34130
Kapıklama	-	-	-	-
Kolileme	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ Dönüşüm Denklemi: $1.98429 + 0.565633 \ln\left(\frac{t-0.551878}{5795.09-t}\right)$	$\hat{\mu}$: -0.00526 $\hat{\sigma}$: 1.02364	-	-
Hat 2				
Makine	AS		TS	
	Yoğunluk Fonksiyonları	En-çok	Yoğunluk Fonksiyonları	En-çok

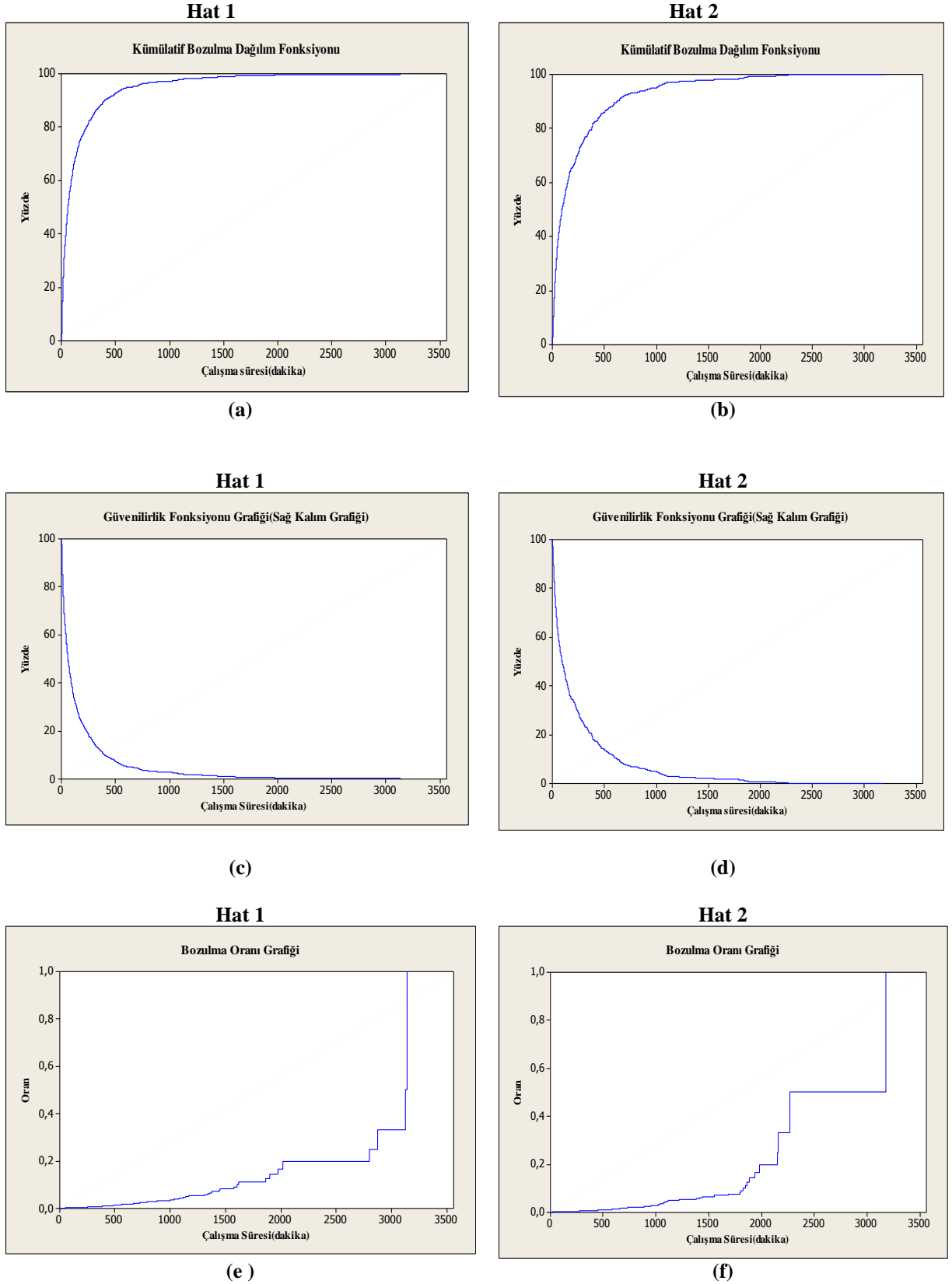
		<i>Olabilirlik Tahmin Edicileri</i>		<i>Olabilirlik Tahmin Edicileri</i>
Dolum	-	-	-	-
Yazıcı	$f(t) = \frac{(t)^{\alpha-1}}{\theta^\alpha \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt} e^{-\frac{t}{\theta}}$	$\hat{\alpha}: 1.82315$ $\hat{\theta}: 10200.05134$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	$\hat{\beta}: 2.17919$ $\hat{\eta}: 21.13081$ $\hat{\gamma}: -0.47013$
Helix	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	$\hat{\beta}: 0.52401$ $\hat{\eta}: 1206.35212$ $\hat{\gamma}: 0.36606$	$f(t) = \frac{\alpha}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\alpha-1} \left(1 + \left(\frac{t}{\lambda}\right)^\alpha\right)^{-2}$	$\hat{\alpha}: 2.17860$ $\hat{\lambda}: 0.33626$
Kapaklama	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	$\hat{\beta}: 0.73928$ $\hat{\eta}: 1181.55341$ $\hat{\gamma}: 3.78216$	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ Dönüşüm Denklemi: $-2.08823 + 1.06759 \ln(t - 4)$	$\hat{\mu}: 0.01339$ $\hat{\sigma}: 1.05783$
Kolileme	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ Dönüşüm Denklemi: $1.68600 + 0.506437 \ln\left(\frac{t-4.78388}{6555.19-t}\right)$	$\hat{\mu}: 0.01896$ $\hat{\sigma}: 1.00247$	-	-

Hat 1 ve Hat 2 ‘deki makinelere ait yaşam zamanı tahminleri, parametrik dağılıma uyan AS verilerine sahip makineler için MLE ve herhangi bir parametrik dağılıma uymayan AS verilerine sahip makineler için Kaplan-Meier analiz yöntemi ile elde edildikten sonra ilgili sonuçlar Tablo 7 ile özetlenmiştir.

Tablo 7. Hat 1 ve Hat 2 için Makineler Bazında Yaşam Zamanı Tahmin Sonuçları
M 1: Dolum , M 2: Yazıcı, M 3: Helix , M 4: Kapaklama , M 5: Kolileme

	<i>Hat 1</i>					<i>Hat 2</i>				
	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>	<i>M5</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>	<i>M5</i>
t=200 dk (yaklaşık 3 saat)			0.228					0.338		
t=300 dk (5 saat)	0.437	0.939	0.292	0.546	0.460	0.525	1	0.677	0.767	0.539
t=400 dk (yaklaşık 6.5 saat)			0.152					0.245		
t=500 dk (yaklaşık 8 saat)	0.364	0.936	0.269	0.487	0.369	0.471	0.999	0.618	0.698	0.452
t=1000 dk (yaklaşık 16 saat)			0.098					0.177		
t=2000 dk (yaklaşık 30 saat)	0.314	0.933	0.253	0.390	0.307	0.406	0.998	0.571	0.640	0.391
			0.073					0.141		
	0.276	0.931	0.241	0.377	0.261	0.373	0.998	0.533	0.591	0.345
			0.027					0.049		
	0.170	0.917	0.207	0.241	0.141	0.225	0.992	0.404	0.414	0.214
			0.005					0.006		
	0.084	0.888	0.176	0.096	0.056	0.090	0.974	0.272	0.229	0.106

Bu çalışmada ele alınan sistemde, Hat 1 ve Hat 2 için güvenilirlik tahminlemede hatlara ait veri seti dağılımları herhangi parametrik bir dağılıma uygunluk göstermemektedir. Bu nedenle hat güvenilirlik tahminlerinde de Kaplan-Meier analizi kullanılmıştır. Hat 1 için ortalama yaşam zamanı 166.11 dakika olarak tahmin edilirken Hat 2 için bu tahmin değeri 238.089 olarak elde edilmiştir. Bu analiz sonucu elde edilen tahmin sonuçları Şekil 3’de grafik gösterimleri ile verilmiştir. Şekil 3’de (a) ve (b) ile verilen grafikler sırası ile Hat 1 ve Hat 2 için AS kümülatif dağılım fonksiyonlarını, (c) ve (d) sırasıyla Hat 1 ve Hat 2 için güvenilirlik tahmin sonuçlarını, (e) ve (f) de yine sırasıyla Hat 1 ve Hat 2 için bozulma oranı tahminlerini göstermektedir. Bu grafiklere göre Hat 1 güvenilirlik tahminlerinin Hat 2’ye göre daha düşük olduğu söylenebilir. Bozulma oranları Hat 1 ve Hat 2 için 2000 dakikaya kadar yaklaşık değerler alınırken, 2000 dakikadan sonra Hat 2 için bozulma oranları daha yüksektir.



Şekil 3. Hat 1 ve Hat 2 için Yaşam Zamanı Grafikleri

9. Sonuç ve Değerlendirme

İmalat hatlarının üretim oranlarını arttırmak için hatlardaki arızalanma sıklığını, arıza sürelerini ve tamir sürelerini azaltarak, duruşların makine ve hatlar üzerindeki etkilerini en aza indirmek gerekmektedir. İki tane meyve suyu dolum hattının arıza ve tamir verileri kullanılarak güvenilirlik analizinin yapıldığı bu çalışmada temel amaç, hat ve makinelerin

güvenilirlik ve kullanılabilirliğin artması için çözüm önerileri sunmaktır. Bu anlamda çalışmanın temel sonuçları aşağıdaki gibidir:

- ✓ Hat 2'nin kullanım oranı 0,94 ile 0,92 kullanım oranına sahip Hat 1'den yüksektir.
- ✓ Kolileme makinesi, Hat 1 ve Hat 2'de kullanım oranı en düşük makinedir. Bu makinenin her bir hattaki kullanım oranı sırasıyla 0,97 ve 0,98'dir.
- ✓ Hat 1'de 166 dakikada bir arıza yaşanırken, arızaların tamir ortalaması 14 dakikadır. Buna karşın Hat 2'de arızalanma oranı 238 dakika olup, arızaların tamir ortalaması 13,5 dakikadır.
- ✓ Her iki hattın arızalanma süresi açısından değişim katsayısı birden büyük olduğu için değişkenliği yüksektir. Tamir süresi açısından ise Hat 1'in değişkenliğinin yüksek, Hat 2'nin ise değişim katsayısının 1'e yakın olmasından dolayı değişkenliğinin düşük olduğu söylenebilir.
- ✓ Hat 1'in güvenilirlik ve kullanım oranlarının artırılması için en çok iki arıza yaşanan ve toplam arızaların %67'sine sahip kolileme ve dolun makinelerine odaklanılmalıdır. Dolun makinesinde ise toplam arızaların %75'ine neden olan son katlayıcı, kağıt ve hidrolik arızaları öncelik verilmesi gereken arızalardır. Hat 2'de ise benzer bir şekilde toplam arızaların %70'ine sahip dolun ve kolileme makineleri bakım ve iyileştirme faaliyetleri açısından öncelikli makinelerdir. Dolun makinesinde ise son katlayıcı, kağıt ve fotosel arızaları duruşların % 82'sini kapsamaktadır. Her iki hatta bakım ve iyileştirme çalışmalarına yol göstermesi için kolileme makinesi başta olmak üzere diğer makinelerde de arıza türleri analizi yapılarak duruş verileri bu arıza türlerine göre alınmalıdır.
- ✓ Makine bazında güvenilirlik oranları bir vardiya süresi olan 8 saat açısından değerlendirildiğinde Hat 1'de en düşük güvenilirlik oranı 0,24 ile Helix makinesine ait olmasına karşın 0,27 ve 0,26 ile sırayla dolun ve kolileme makinelerinin güvenilirlik oranları da bu orana oldukça yakındır. Hat 1'deki en yüksek güvenilirlik oranı 0,93 ile yazıcıya aittir. Hat 2 için 8 saatlik güvenilirlik oranları incelendiğinde 0,34 güvenilirlik oranı ile kolileme makinesi en düşük orana sahiptir. Bu hatta en yüksek güvenilirlik oranı 0,99 ile yazıcıya aittir. Her iki hattaki 8 saatlik güvenilirlik oranları karşılaştırıldığında Hat 2'deki makinelerin güvenilirliklerinin yüksek olduğu görülmektedir.
- ✓ Hat bazında güvenilirlik oranları bir vardiya süresi olan 8 saat açısından incelendiğinde Hat 2'nin güvenilirlik oranı 0,14 ile Hat 1'in güvenilirliği oranı olan 0,07'den yüksektir.
- ✓ Üretim planlama faaliyetlerinde güvenilirlik ve kullanılabilirlik açısından yüksek olan Hat 2'ye öncelik verilebilir.
- ✓ Tanımlayıcı istatistiklere ek olarak hesaplanan çeyrekler arası açıklık değerine göre Hat 1 için arızaların %50'si 20. ve 174. dakikalar arasında gerçekleşmesi beklenmektedir. Bununla beraber Hat 2 için ise arızaların %50'si de 28. ve 295. dakikalar arasında gerçekleşmesi beklendiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre hatlardaki bakım planlaması yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Atamer, Ŗeref ve Çavdar, Kadir. 2009. "Tek Kademeli DiŖli Kutusunun Güvenilirlik Analizi." *Uludađ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 14:39-53.
- Barabady, Javad ve Kumar, Uday. 2008. "Reliability Analysis of Mining Equipment: A Case Study of a Crushing Plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran." *Reliability Engineering and System Safety* 93: 647-653.
- Barlow, R. A. ve Proschan, F. 1981. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Model*. Michigan: To Begin With.
- Hollander, M. ve Pena, E. D. 2004 "Nonparametric Methods in Reliability." *Statistical Science* 19(4):644-651.
- Kalaiselvan, C. ve Rao Bhaskara, L. 2016. "Comparison of Reliability Techniques of Parametric and Non-Parametric Method." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 19:691-699.
- Kuo, W. ve Zuo, M. J. 2003. *Optimal Reliability Modelling, Principles and Applications*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Lewis, E.E. 2004. *Introduction to Reliability Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Liberopoulos, George ve Tsarouhas, Panagiotis. 2005. "Reliability Analysis of An Automated Pizza Production Line." *Journal of Food Engineering* 69: 79-96.
- Öztürk, Erkan ve Elevli, Ŗermin. 2013. "CNC Tezgahlarının Bakım Verilerinin İstatistiksel Deđerlendirmesi." *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ 2013 Özel Sayısı* 351-364.
- Seifoddini, H. ve Djassemi, M. 2001. "The Effect of Reliability Consideration on Application of Quality Index." *Computer and Industrial Engineering* 40: 65-77.
- Tsarouhas, Panagiotis, Varzakas, Theodoros H. ve Arvanitoyannis, Ioannis S. 2009. "Reliability and Maintainability Analysis of Strudel Production Line with Experimental Data – A Case Study." *Journal of Food Engineering* 91: 250-259.
- Tsarouhas, Panagiotis, Arvanitoyannis, Ioannis S. ve Varzakas, Theodoros H. 2009. "Reliability and Maintainability Analysis of Cheese (Feta) Production Line in A Greek Medium-Size Company: A Case Study." *Journal of Food Engineering* 94: 233-240.
- Tsarouhas, Panagiotis, Arvanitoyannis, Ioannis S. ve Ampatzis, Zafirıs D. 2009. "A Case Study of Investigating Reliability and Maintainability in A Greek Juice Bottling Medium Size Enterprise (MSE)." *Journal of Food Engineering* 95: 479-488.
- Tsarouhas, Panagiotis ve Arvanitoyannis, Ioannis S. 2010. "Assessment of Operation Management for Beer Packaging Line Based on Field Failure Data: A Case Study." *Journal of Food Engineering* 98: 51-59.
- Tsarouhas, Panagiotis ve Arvanitoyannis, Ioannis S. 2012. "Reliability and Maintainability Analysis to Improve The Operation of the Limoncello Production Line." *International Journal of Food Science and Technology* 47: 1669-1675.
- Tsarouhas, Panagiotis. 2012a. "Reliability, Availability and Maintainability Analysis in Food Production Lines: A Review." *International Journal of Food Science and Technology* 47: 2243-2251.
- Tsarouhas, Panagiotis. 2012b. "A Comparative Study of Performance Evaluation Based on Field Failure Data for Food Production Lines." *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 17(1): 26-39.
- Uzun, Arzu ve Özdoğan, Ahmet. 2011. "Güvenirlik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlaması." *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 20(1): 303-320.
- Vineyard, Michael, Amoako-Gyampah, Kwasi ve Meredith, Jack R. 1999. "Failure Rate Distributions for Flexible Manufacturing Systems: An Empirical Study." *European Journal of Operational Research* 116: 139-155.
- Wang, R. T. 2013. *Energy-Efficient Fault Tolerant Systems*. Bölüm: Reliability Evaluation Techniques. New York: Springer.
- Zhang, Ding, Zhang, Yingjie, Yu, Mingrang ve Chen, Yun. 2014. "Reliability Defects Identification of Serial Production Systems: Application to a Piston Production Line." *Arabian Journal for Science and Engineering* 39: 9113-9125.