



Veri Madenciliğinde Birliktelik Kuralları ile Bir CNC Tezgahı İçin Arıza Analizi

Sena KUMCU* - Bahar ÖZYÖRÜK **

Öz

İşletmeler için imalatta kullanılan makinelerin uygun bakım politikalarını uygulayarak çalışır durumda tutulmaları çok önemlidir. Geçmişte ortaya çıkan arızaların analiz edilmesi ile gelecek dönemlerde ortaya çıkması muhtemel arızaların öngörülmesi için pek çok çalışma yapılmaktadır. Son zamanlarda bakım alanında veri madenciliği yöntemlerinden sıkça yararlanılmaktadır. Bu çalışmada; otomotiv sektöründe yer alan bir işletmenin önemli bir süreci olan bakım-onarım faaliyetleri ele alınmıştır. İşletmenin arıza oranı yüksek olan bir CNC tezgâhında meydana gelen, üretimin çok ciddi ölçüde durmasına neden olan arıza ve etki faktörlerinin ilişkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda CNC tezgâhının bir yıllık arıza verisi üzerinde veri madenciliği yöntemlerinden birliktelik kuralları uygulanmıştır. Uygulama, SPSS Modeler 18.2 programı ile Apriori algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kurallar analiz edilip yorumlanarak işletmeye ekonomik açıdan katkı sağlayacak bakım stratejileri ortaya konularak sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri Madenciliği, Birliktelik Kuralları, Ekipman Bakımı.

* Arş.Gör., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, senakumcu@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9648-6281.

** Doç.Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, bahar@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5434-6697.

Fault Analysis of a CNC Machine with Association Rules in Data Mining

Abstract

It is very important for businesses to keep the machines used in manufacturing in working condition by applying appropriate maintenance policies. Many studies are carried out to analyze the malfunctions that have occurred in the past and to predict the malfunctions that may occur in the future periods. Recently, data mining methods have been used frequently in the field of maintenance. In this study; maintenance and repair works, which are an important activity of an enterprise operating in the automotive sector, are discussed. It is aimed to determine the relationships between the failure and impact factors that occur in a CNC machine with a high failure rate of the enterprise and cause the production to stop very seriously. For this purpose, association rules, one of the data mining methods, were applied on the one-year failure data of the CNC machine. The application was carried out using the SPSS Modeler 18.2 program and the Apriori algorithm. By analyzing and interpreting the obtained rules, maintenance strategies that will contribute to the business economically have been put forward and the results have been interpreted.

Keywords: Data Mining, Association Rules, Maintenance.

Giriş

İşletmelerde, ekipman bakımı kesintisiz üretim için anahtar rol oynamaktadır. Yapılacak bakım, ekipmanın çalışma süresini ve verimliliğini etkilemektedir. Makine teçhizatının arızalanması her zaman yüksek maliyetlere (örneğin üretim kayıpları, düşük kalite) ve güvenlik sorunlarına sebep olmaktadır. Bu sebeple, güvenilirlik, arıza tespiti ve takım tezgâhlarının arızalarının önlenmesi konuları bakım mühendisliğinde çok önemli konulardır.

Endüstriyel sistemler tarafından toplanan büyük miktarda veriden, veri madenciliği yöntemlerini kullanarak, üretim hattında meydana gelen süreçler, olaylar ve alarmlar hakkında bilgi edinmek mümkündür. Ayrıca bu veriler analiz edildiğinde, üretim sürecinden ve sistem dinamiklerinden değerli bilgiler ortaya çıkmaktadır. Verilere dayalı analitik yaklaşımlar uygulayarak, bakım maliyetini azaltma, makine arızalarını azaltma, bakım-onarım durdurmasını azaltma, yedek parça stoğunu azaltma, yedek parça ömrünü artırma, üretimi artırma, operatör

güvenliğinde iyileşme, bakım doğrulaması, ekonomik avantajlar sağlanması gibi stratejik karar verme için yorumlayıcı sonuçlar bulmak mümkün olmaktadır (Carvalho vd., 2019).

Veri tabanlarındaki yığın veri içerisinde daha önce bilinmeyen keşfedilmemiş ilginç bilgiler çıkarılmasını sağlayan birçok veri madenciliği tekniği ünümüz bilgisayar dünyasında çok önemli bir yere sahiptir. Bu tekniklerden biri de birliktelik kuralıdır. Birliktelik kuralı; veri tabanı içerisinde yer alan nesnelere veya niteliklerin bir arada gerçekleşme durumlarını ortaya koymaya çalışarak birbirleriyle ilişkilerini inceleyen bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, Ankara'da otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmedeki arıza oranı yüksek olan bir Computer Numerical Control (CNC) tezgâhında gerçekleştirilmiştir. CNC makinasının bir yıllık arıza verileri kullanılarak arızaların ve nedenlerinin tezgâh duruş süresi, yedek parça bekleme süresi, tamir süresi, bakımıcının gelme süresi gibi üretimin duruş süresine etki eden faktörlerle ilişkilerini belirlemek için birliktelik kurallarından Apriori algoritması uygulanmıştır.

Elde edilen birliktelik kurallarının değerli ve ilginç olması çok önemlidir. Bu kuralların ne derece ilginç olduğu ise "lift" değeri ile ölçülmektedir (Giudici ve Figini, 2009). Bu çalışmada da minimum destek ve güven değerlerini sağlayan kurallar içerisinde ilginç ve değerli kurallar lift değeri ile belirlenmiş ve CNC tezgâhının duruş süresiyle en çok ilişkili olan arızalar ve nedenleri için önleyici bakım stratejisi oluşturulması amaçlanmıştır. Bu sayede işletmenin bakım maliyetleri azaltılarak işletmeye ekonomik açıdan katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bu makalenin ilerleyen kısımlarında ilk olarak endüstriyel sistemlerdeki bakım politikalarına değinilmiştir. İkinci bölümde bakım alanında birliktelik kurallarını uygulayan çalışmalara, üçüncü bölümde birliktelik kuralları ve Apriori algoritmasının işleyişine, dördüncü bölümde çalışmada kullanılan veri setinin ön işleme sürecine ve son olarak beşinci bölümde SPSS modeller 18.2 programında Apriori algoritmasının uygulama kısmına yer verilmiştir.

1. Endüstriyel Sistemlerde Bakım Politikaları

İşletmeler günümüzde rekabet gücünü korumak için sürekli iyileştirme ve geliştirme içerisinde olmalıdır. Bu açıdan başarılı bir üretim gerçekleştirmek için

üretim kaybına yol açan ekipman arıza süresi ve bakım maliyetinin nasıl azaltılacağı kritik bir konudur. Bu sebeple uygun bakım politikalarının uygulanması işletmeler açısından çok önemlidir.

Endüstriyel ürünlerin veya ekipmanların değerlendirilmesinde güvenilirlik her zaman önemli bir unsur olmuştur. Bu nedenle bakım, fiziksel bir varlığın faydalı ömrü boyunca tatmin edici bir güvenilirlik düzeyi sağlamanın etkili bir yolu olarak uygulanmıştır (Cooke vd., 1997).

Bakım faaliyetlerinin yönetiminde dört yaklaşımdan ya da politikadan bahsedilebilir. Bu politikalar; tamir bakım politikası, koruyucu (önleyici) bakım politikası, kestirimci bakım politikası ve toplam üretken (verimli) bakım politikasıdır. Aşağıda bu yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir (Köksal, 2015:7-8):

Tamir Bakım Politikası: Bu yöntemin özelliği arıza olduktan sonra müdahalenin veya tamirin yapılmasıdır. Ayrıca bu bakıma acil bakım, arıza bakım veya plansız bakım da denilmektedir.

Koruyucu (Önleyici) Bakım Politikası: Tesis ve donanımın belirli bir programa göre arıza oluşma koşulu aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme ve revizyon yolları ile kullanılabilirlik süresinin artırılması çalışmalarıdır. Bu tür bakımlar planlı bakım olarak adlandırılmaktadır. Önleyici bakım kavramı aşağıdaki şekillerde uygulanabilmektedir:

- **Kestirimci Bakım:** Gerektiğinde özel cihazlar kullanarak yapılan periyodik gözlem, muayene ile parça ve donanımın bakım-onarım gereksinimlerinin belirlenerek en uygun zamanda gerçekleştirilmesidir. Böylece parça ömürlerinden daha uzun süre yararlanılmaktadır.

- **Toplam Üretken (Verimli) Bakım Politikası:** Günlük üretim ve hizmet faaliyetlerinin yanı sıra tüm çalışanların grup odaklı katılımını ve operatörlerin otonom bakım yapmasını hedefleyen toplam kalite yönetimi felsefesinin bakım fonksiyonuna uyarlandığı bir bakım sistemidir.

İşletmeler için yukarıda tanımlanmış olan bakım politikaları tek başına ya da birlikte kullanılarak makina teçhizatının düzgün çalışmasını sağlamaktadır. Bu çalışmaya dahil edilen işletme için ilerleyen bölümlerde CNC makinalarında arıza analizi kapsamında veri madenciliği tekniklerinden birliktelik kuralları uygulanmış

ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda işletmeye fayda sağlamak için önleyici bakım politikasının önemli olduğu görülmüştür.

2. Literatür Araştırması

Bakım alanında çalışan birçok yönetici etkin bakım prosedürlerinin uygulanmamasının önündeki ana engelin tesis, ekipman ve süreçler hakkında bilgi eksiliği olduğunu söylemektedir (Marquez ve Gupta, 2006). Zaman içerisinde veri tabanında toplanan veriler arttıkça geleneksel istatistiksel analiz yöntemleri verilerdeki gizli bilginin açığa çıkarılmasında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle günümüzde birçok alanda olduğu gibi bakım alanında da veri madenciliği uygulamaları oldukça yaygındır.

Literatürde bakım alanında veri madenciliği uygulamaları incelendiğinde daha çok arıza tespiti ve tahminine ilişkin çalışmaların yer aldığı ve yapay sinir ağları (Tian, 2012; Zhang vd., 2013); destek vektör makineleri (Susto vd., 2015) ve karar ağaçları (He vd., 2013) gibi veri madenciliği tekniklerinin en çok kullanılan yöntemler olduğu görülmüştür. Bu bölümde ise çalışmanın da konusunu oluşturan birliktelik kuralları madenciliğini bakım alanında ele alan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir;

Young vd. (2010), havacılık endüstrisinde bakım uygulamaları geliştirmek için ortaya çıkan arızaların nedenlerini anlamak ve arızaları teşhis etmek amacıyla çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu doğrultuda arıza nedenleri ve düzeltici eylemler arasındaki ilişkileri birliktelik kuralları analizi ile belirlemişlerdir.

Maquee vd. (2012), bir şehir otobüs ağının bakım sisteminin verimliliğini analiz etmek amacıyla çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Topladıkları bakım verilerini veri ön işleme sürecinden geçirdikten sonra k-means kümeleme algoritmasıyla otobüsleri kümelemişler ve öklid mesafesini kullanarak kümeleri kategorize etmişlerdir. Son aşama olarak her bir otobüsün kümelere yerleştirilmesine neden olan ilişkiler belirlemek için birliktelik kuralları analizini kullanmışlardır.

Djatna vd. (2015), ahşap kapı endüstrisinde kullanılan kalıplama makinesinin toplam üretken bakım uygulaması için birliktelik kuralları madenciliğini kullanmışlardır. Birliktelik kuralları ile elde edilen dinamik kurallar toplam üretken bakım stratejisini oluşturmalarını hızlandırmış ve bu kurallara dayanılarak alınan önlemler daha güvenilir hale gelmiştir.

Bin vd. (2016), yaptıkları çalışmalarında yüksek hızlı trenlerin arızalarının günlük bakımlarıyla ilişkisini değerlendirmek için birliktelik kurallarına dayanan FP (Frequent Pattern)-Growth algoritmasını kullanmışlardır.

Doostan vd. (2017), bir elektrik dağıtım sisteminde meydana gelen arızalar ve nedenleri arasındaki ilişkileri tespit edebilmek amacıyla birliktelik kuralları madenciliğini kullanmışlardır.

Liu ve Peng (2017), CNC takım tezgahlarında arıza konumları ve arıza nedenleri arasında arıza korelasyon faktörünü incelemek için ömür boyu arıza verileri üzerinde birliktelik kuralları madenciliğini uygulamışlardır. Çalışmalarında çok sayıda arıza alt sistemi verisi olması bakımından sadece CNC güç sistemine ilişkin arıza verisi üzerinde çalışmışlardır.

Duan vd. (2019), gerçekleştirdikleri çalışmalarında CNC tezgâhının erken arıza teşhisi ve kalan yaşam ömrünü tahmin edebilmek amacıyla Bayesian kontrol tekniğine dayanan gizli yarı Markov Modelini geliştirmişlerdir.

Zheng vd. (2020), veri madenciliği teknolojisini iletişim ağları alarm analizinde uygulamışlardır. Bu doğrultuda ağ alarmları ve arıza nedenleri arasında ilişkilerin belirlenmesi için bulanık mantık tabanlı bir birliktelik kuralı algoritması önermişlerdir.

Liu vd. (2020), bina soğutma makinelerinin arıza teşhisini ve bu arızalara neden olan faktörlerin analizini gerçekleştirmişlerdir. Birliktelik kurallarına dayalı sınıflar oluşturarak soğutucu gruplar için arıza teşhis modeli oluşturmuşlardır.

Liang vd. (2020), çalışmalarında ağır hizmet tipi bir CNC tezgâhındaki termal hataları tahmin etmek için Uzun Kısa Vadeli Hafıza (LSTM) ağları kullanmışlardır.

Yapılan literatür araştırması sonucunda CNC tezgahlarında arıza analizine ilişkin birliktelik kurallarını ele alan çalışmaların oldukça az sayıda olduğu ve bu çalışmalarında detaylı olarak ele alınmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışma ile CNC tezgâhlarında üretimin ciddi ölçüde durmasına yol açan arıza ve nedenleri arasındaki ilişkinin detaylı bir şekilde incelenerek literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

3. Birliktelik Kuralları ve Apriori Algoritması

Veri madenciliği, önceden bilinmeyen örüntüleri keşfetmeyi sağlayan yığın veri içerisinden ilginç bilgilerin elde edilmesini sağlayan bir süreçtir. Bilgisayar odaklı günümüz dünyasında, veri tabanlarındaki keşfedilmeyi bekleyen büyük çaptaki örüntüler veri madenciliğini önemli bir hale getirmektedir (Rakotomalala vd., 2021).

Birliktelik kuralları madenciliği çalışmaları ilk kez 1993 yılında Agrawal tarafından başlatılmıştır. Agrawal ve Srikant 1994 yılında, günümüzde en çok bilinen ve uygulanan algoritma olan Apriori algoritmasını geliştirmişlerdir (Agrawal ve Srikant, 1994). Birliktelik kuralları modellemesinde temel amaç, kullanılabilir veri tabanından ilginç olan ilişkilendirme kurallarını bulmaktır. İlginçlik, çeşitli yollarla ölçülebilmektedir. Burada, kuralların gözlemlenen sıklığıyla ilgili istatistiksel ilginçliği göz önünde bulundurulmaktadır. Belirli bir kural $A \rightarrow B$ için, $N_{A \rightarrow B}$ mutlak frekansı sayısı yani bu kuralın en az bir kez gözlemlenme sayısı olsun. Başka bir deyişle, $N_{A \rightarrow B}$ kuralın karşıladığı işlem sayısını ölçmektedir. Ayrıca tekrarlanan diziler dikkate alınmamaktadır. $A \rightarrow B$ kuralının destek değeri, kuralı karşılayan işlem sayısının toplam işlem sayısına bölünmesiyle elde edilir. Eşitlik 1’de destek değerinin formülü gösterilmiştir.

$$\text{destek}\{A \rightarrow B\} = \frac{N_{A \rightarrow B}}{N} \quad (1)$$

Destek, bir kuralın ilginçliğinin oldukça yararlı bir ölçüsüdür; genellikle daha az sıklık rastlanan kuralları filtrelemek için kullanılır. Kuralın güveni $A \rightarrow B$, kuralı karşılayan işlem sayısının, kuralın gövdesini içeren işlem sayısına bölünmesiyle elde edilir. Bu formül eşitlik 2’de gösterilmiştir.

$$\text{güven}\{A \rightarrow B\} = \frac{N_{A \rightarrow B}/N}{N_A/N} = \text{destek}\{A \rightarrow B\} \frac{N_{A \rightarrow B}}{N} \quad (2)$$

Güven, bir ilişkilendirilme kuralının en sık kullanılan ilginçlik ölçüsüdür; iki öğe arasındaki ilişkinin gücünü ölçmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, pazar sepeti analizinde, dernek kuralı $A \rightarrow B'$ nin güveni ne kadar yüksekse, bir müşteri A’da ürün satın alırsa, B ürününü de satın alma olasılığı o kadar yüksektir.

Birliktelik kurallarında kullanılan bir diğer hesaplama ise “lift” değeridir. Lift değeri formülü eşitlik 3’te gösterilmiştir.

$$lift\{A \rightarrow B\} = \frac{güven\{A \rightarrow B\}}{destek\{B\}} = \frac{destek\{A \rightarrow B\}}{destek\{A\} destek\{B\}} \quad (3)$$

Eşitlik 3’te lift değeri 1’den küçük ise; A’nın görülmesinin B’nin görülmesi üzerinde negatif korelasyona sahip olduğunu; 1’den büyük olması A’nın görülmesinin B’nin görülmesi üzerinde pozitif korelasyona sahip olduğunu ifade etmektedir. Bunun anlamı birinin görülmesi ile diğerinin görülmesi ilişkilidir demektir. Eğer lift değeri 1 ise bu iki nesnenin birbirinden bağımsız olduğu anlamına gelmektedir (Giudici ve Figini, 2009).

Bu çalışmada, literatürde birliktelik kurallarından en çok kullanılan yöntem olan Apriori algoritması kullanılmıştır. Apriori algoritması; bir küme minimum eşik değerini sağlamıyorsa bu kümenin alt kümeleri de minimum eşik değerini sağlayamaz anlayışına göre çalışmaktadır. Algoritma ilk olarak veri tabanını tarar ve ögelerin kümede kaç kez geçtiğine dair sayıyı tespit eder. Ögelerin destek sayısı başlangıçta belirlenmiş olan minimum destek değerinin altında ise ögeler kalan kümelere dahil edilmeden ayıklanır (Cios vd., 2007).

4. Veri Seti ve Veri Ön İşleme Süreci

Çalışmada, CNC tezgahında 01.01.2020 ile 11.03.2021 tarihleri arasında meydana gelen arıza verileri kullanılmıştır. Excel kayıt formatında temin edilen veri seti 3155 satır ve 7 özellik sütundan oluşmaktadır. Ayrıca bu veri setinde 401 satır eksik veri ve 330 satır “tanımsız” arıza neden koduna sahip veri bulunmaktadır. Veri ön işleme sürecinde bu veriler silinerek veri setindeki eksik veriler temizlenmiştir. Eksik veriler temizlendikten sonra string veri tipinde yazılan arıza tanımları incelenerek yanlış yazımdan kaynaklanan gürültülü veriler tespit edilmiş ve düzeltilmiştir. Bu süreç sonucunda 76 kategori arıza tipi ve 12 kategori tezgahı durduran kök nedenler belirlenmiştir.

Böylece veri ön işleme sonucunda 2424 satır ve 7 özellik sütunundan oluşan veri seti elde edilmiştir. Ham veri setine ait özellikler Tablo 1’de özetlenmiştir. Daha sonra birliktelik kuralları analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla interval veri tipine sahip “tezgah duruş süresi”, “yedek parça bekleme süresi”, “tamir süresi”, “arıza tespit süresi”, “bakımcı bekleme süresi” verileri eşit aralıklara bölünerek “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere 4 seviye grubuna ayrılmıştır. Özelliklerin kesikleştirilmesi işleminden sonra elde edilen veri setinin özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Veri seti kategorik hale getirildikten sonra veri ambarına

dönüştürülerek tüm değişkenlerin $\{1,0\}$ değerlerini aldığı şekilde yeniden düzenlenmiştir. Satırda yer alan arıza çeşitleri sütunda yer alan özelliklere sahipse '1' değeri, değilse '0' değeri atanmıştır.

Tablo 1. Ham Veri Setinin Özellikleri

Ham Veri Seti		
Özellik Adı	Açıklama	Veri Tipi
Arıza tipi	Arızayı tanımlayan metin içerikli bilgi	String
Tezgâhı durduran kök neden kodu	Tezgâhın durma nedenini belirten metin içerikli bilgi	String
Arıza tespit süresi	Arıza meydana geldikten tespit edilinceye kadar geçen süre	Interval
Bakımcı gelme süresi	Arıza tespitinden sonra bakımcı gelene kadar geçen süre	Interval
Tamir süresi	Arızanın tamir edildiği süre	Interval
Yedek parça bekleme süresi	Yedek parçanın gelmesi için geçen süre	Interval
Tezgâh duruş süresi	Tezgâh üretim yapmadan bekleme süresi	Interval

Tablo 2. Özelliklerin Kesikleştirilmesi Sonrasında Elde Edilen Veri Seti

Dönüştürülen Veri Seti	
Özellik Adı	Veri Tipi
Arıza tipi	Nominal (76 kategori)
Tezgâhı durduran kök nedenler	Nominal (12 kategori)
Arıza tespit süresi	Ordinal (düşük, orta, yüksek ve çok yüksek)
Bakımcı gelme süresi	Ordinal (düşük, orta, yüksek ve çok yüksek)
Tamir süresi	Ordinal (düşük, orta, yüksek ve çok yüksek)
Yedek parça bekleme süresi	Ordinal (düşük, orta, yüksek ve çok yüksek)
Tezgâh duruş süresi	Ordinal (düşük, orta, yüksek ve çok yüksek)

5. Uygulama

5.1. Metodoloji

Yapılan bu çalışmada, SPSS Modeler 18.2 programındaki “Modelling” özelliğinde bulunan “Apriori” algoritması kullanılmış ve birliktelik kuralları analizi gerçekleştirilmiştir. SPSS Modeler programının kolay kullanabilecek bir arayüzü ve kısa sürede sonuca ulaşabilecek görsel bir çalışma ortamı mevcuttur. Araştırmacının kullanmak isteyeceği tüm fonksiyonlar ara yüzün alt tarafında bulunan bir araç çubuğunda ikonlar halinde yer almaktadır. Birliktelik kurallarının elde edilmesi için yapılması gereken, gerekli ikonların analiz sayfasına taşınarak birbirlerine bağlantılarının yapıldıktan sonra çalıştırılmasıdır.

Yaygın kullanılması ve tercih edilen bir program olması, kullanım kolaylığı, farklı kaynaklardan elde edilen veri setlerinin kolay entegre edilebilmesi ve orta ölçek büyüklüğündeki veri setine uygunluğundan dolayı bu çalışmanın uygulama bölümündeki analizlerin SPSS Modeler programı ile gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Uygulama çalışmasında, öncelikle tüm veri seti için SPSS Modeler programı çalıştırılıp lift değerlerine göre sıralanan ilginç kurallar elde edilmiştir. Bu kurallardan tezgâh duruş süresine yüksek ve çok yüksek derecede etkileyen kurallar yorumlanmıştır. Ayrıca tezgâh duruşunu ciddi ölçüde etkileyen faktörleri daha ayrıntılı analiz etmek için web grafik arayüzü kullanılmıştır.

5.2. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, apriori algoritması %1 minimum destek ve %50 minimum güven eşik değerinde çalıştırılmış ve 65 adet birliktelik kuralı elde edilmiştir. Kuralların tümü incelendiğinde minimum destek değerine sahip kuralın destek oranı % 1,031, maksimum destek değerine sahip kuralın destek oranı %48,55 olarak gözlemlenirken, aynı çizelgede minimum güven değerine sahip kuralın güven oranı % 50, maksimum güven değerine sahip kuralın güven oranı %83,33, minimum lift değerine sahip kuralın lift değeri 0,92, maximum lift değerine sahip kuralın lift değeri 3,58 olarak gözlenmiştir. Ayrıca yedek parça bekleme süresinin düşük olduğu arıza olmadığı için birliktelik kurallarına dahil edilmemiştir. Tablo 3'te bu birliktelik kurallarından lift değerine göre belirlenen güçlü ilk 20 kural gösterilmiştir.

Tablo 3'te yer alan kurallardan çalışmanın amacına uygun olarak anlamlı bilgiler elde etmemiz açısından elde edilen kurallardan tezgâh duruş süresinin yüksek ve çok yüksek olduğu kurallar yorumlanmıştır.

Tablo 3. Birliktelik Kuralları

<i>Kural</i>	<i>Ardıl</i>	<i>Öncül</i>	<i>Destek</i>	<i>Güven</i>	<i>Lift</i>
1	Yedek parça süresi orta	Fener mili arızası ve profesyonel bakım eksikliği	1,114	59,259	3,582
2	Tezgah duruş süresi çok yüksek	Tabla arızası ve profesyonel bakım eksikliği	1,073	53,846	2,754
3	Tamir süresi düşük	Konveyör arızası ve kısa duruş	1,485	75,000	2,453
4	Tezgah duruş süresi düşük	Thermal trip arızası ve kısa duruş	1,691	65,854	2,441
5	Tezgah duruş süresi düşük	Stocker arızası ve kısa duruş	1,856	64,444	2,389
6	Tezgah duruş süresi düşük	Thermal trip arızası	2,228	61,111	2,265
7	Tamir süresi düşük	APC arızası ve kısa duruş	1,031	68,000	2,224
8	Tezgah duruş süresi düşük	Stocker arızası	2,021	59,184	2,194
9	Tezgah duruş süresi düşük	Konveyör arızası ve kısa duruş	1,485	58,333	2,162
10	Tamir süresi yüksek	ATC arızası ve dış etkenler (sıcaklık,titreşim vb.)	3,053	59,459	2,123

Tablo 3 Devamı. Birliktelik Kuralları

<i>Kural</i>	<i>Ardıl</i>	<i>Öncül</i>	<i>Destek</i>	<i>Güven</i>	<i>Lift</i>
11	Tamir süresi düşük	APC arızası	1,238	63,333	2,072
12	Tamir süresi düşük	X eksen arızası ve kısa duruş	1,444	62,857	2,056
13	Tezgah duruş süresi yüksek	Shifter arızası ve profesyonel bakım eksikliği	1,031	52,000	1,942
14	Tamir süresi düşük	Spindel arızası ve kısa duruş	3,548	58,140	1,902
15	Tamir süresi düşük	Stocker arızası ve kısa duruş	1,856	57,778	1,890
16	Bakımcı gelme süresi düşük	Stocker arızası ve kısa duruş	1,856	55,556	1,886
17	Tamir süresi yüksek	Shifter arızası ve profesyonel bakım eksikliği	1,031	52,000	1,856
18	Bakımcı gelme süresi yüksek	Shifter arızası ve kısa duruş	1,526	54,054	1,851
19	Tamir süresi yüksek	Hidrolik sistem arızası	3,094	50,667	1,809
20	Tamir süresi düşük	Stocker arızası	2,021	55,102	1,803

Tablo 3'te de görüldüğü gibi, ikinci kurala göre; profesyonel bakım eksikliğinden kaynaklanan Tabla ünitesi arızası ile tezgâh duruş süresinin çok yüksek seviyelerde olmasının tüm arıza kayıtları içerisindeki olasılığı %1,073'tür.

Profesyonel bakım eksikliğinden kaynaklanan Tabla ünitesi arızalarında %53,85 olasılıkla tezgâh duruş süresi çok yüksek seviyede gerçekleşmektedir. Profesyonel bakım eksikliği olan Tabla ünitesi arızası tezgâh duruş süresinin çok yüksek seviyede gerçekleşmesini 2,75 kat artırmaktadır.

Onuncu kurala göre; dış etkenlerden kaynaklı ATC ünitesi arızasının ve tamir süresinin yüksek derecede olmasının tüm arıza kayıtları içerisindeki olasılığı %3,053'tür. Dış etkenlerden kaynaklanan ATC ünitesi arızalarında %59,46 olasılıkla tamir süresi yüksek derecede gerçekleşmektedir. Dış etkenlerden kaynaklanan ATC ünitesi arızası tamir süresinin yüksek derecede gerçekleşmesini 2,12 kat artırmaktadır.

On üçüncü ve on yedinci kural birlikte ele alındığında; profesyonel bakım eksikliğinden kaynaklı Shifter ünitesi arızasının tezgâh duruş süresinin yüksek ve tamir süresinin yüksek olmasının tüm arıza kayıtları içerisindeki olasılığı %1,031'dir. Bakım eksikliğinden kaynaklı shifter ünitesinin arızasında %52 olasılıkla tezgâh duruş süresi ve tamir süresi yüksek derecede gerçekleşmektedir. Bakım eksikliğinden kaynaklı shifter ünitesi arızası tezgâh duruş süresinin yüksek seviyede gerçekleşmesini 1,94 kat artırırken, tamir süresinin yüksek olmasını %1,86 kat artırmaktadır.

On sekizinci kurala göre; shifter ünitesi arızasından kaynaklı kısa duruşlar ve bakımcı gelme süresinin yüksek olmasının tüm arıza kayıtları içerisindeki olasılığı %1,52'dir. Shifter ünitesinin arızasından kaynaklı kısa duruşlar gerçekleştiğinde %54 olasılıkla bakımcı gelme süresi de yüksek derecede gerçekleşmektedir. Shifter ünitesinin arızasından kaynaklı kısa duruşlar bakımcı gelme süresinin yüksek derecede gerçekleşmesini 1,85 kat artırmaktadır.

On dozunca kurala göre; hidrolik sistem arızası ve tamir süresinin yüksek olmasının tüm arıza kayıtları içerisindeki olasılığı %3,1'dir. Hidrolik sistem arızalarında %51 olasılıkla tamir süresi de yüksek derecede gerçekleşmektedir. Hidrolik sistem arızası, tamir süresinin yüksek derecede gerçekleşmesini 1,81 kat artırmaktadır.

Lift değerlerine göre elde edilen ilginç kurallar haricinde SPSS Modeller programının web grafik arayüzü ile destek değerlerinin dikkate alındığı güçlü kurallar oluşturulmuştur. Bu kurallarda tezgâh duruş süresinin yüksek olduğu ve çok

yüksek olduğu arızalar ve etki faktörleri analiz edilmiştir. Web grafik sonuçları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Web Grafik Arayüzü Sonuçları

Şekil 1’de gösterilen güçlü bağlantılar arasındaki ilişkilere bakıldığında daha koyu renge sahip bağlantıların daha güçlü bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen güçlü bağlantılara göre bazı anlamlı bilgiler elde edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda şu yorumlar yapılabilir;

ATC arızası (A3) ile birlikte kısa duruşun gerçekleştiği (N6) gözlenmiştir ve ikisinin beraber görüldüğü arızalarda bakımçı gelme süresinin yüksek (BY) olduğu ve buna bağlı olarak tezgahın yüksek (DY) derecede durduğu görülmektedir.

Bir diğer anlamlı bilgiye göre; profesyonel bakım eksikliğinin sebep olduğu (N8), ATC ünitesinin (A3) arıza tespit zamanının yüksek olması (AY), tezgahın yüksek (DY) derecede durmasına yol açtığı görülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

İmalat sektöründe makine teçhizatının duraksamadan çalışması işletme verimliliği açısından çok önemlidir. Makine teçhizatının sürekli çalışması için farklı bakım politikaları kullanılmaktadır. Günümüzde artık veri madenciliği

yöntemlerinin bakım alanında kullanılması çok yaygınlaşmıştır. Neredeyse tüm alanlarda faydalanılan veri madenciliği, özellikle imalat sektörünün önemli bir faaliyeti olan bakım-onarım çalışmalarının sürdürülmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Ankara’da otomotiv sektöründe yer alan bir işletmedeki bakım-onarım faaliyetleri ele alınmıştır. Bakım-onarım faaliyetlerinin etkin yönetilmesi için veri madenciliği yöntemlerinden biri olan birliktelik kurallarından yararlanılmıştır. Yapılan bu çalışma ile işletmenin arıza oranı yüksek olan bir CNC tezgâhında meydana gelen, üretimin çok ciddi ölçüde durmasına neden olan arıza ve etki faktörlerinin ilişkilerini incelemek ve bu alanda literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Uygulama, arızaların en çok yaşandığı bir CNC tezgâhına ait 01.01.2020 ile 11.03.2021 tarihleri arasında meydana gelen 3155 adet arıza verisinin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Daha doğru analizler gerçekleştirmek ve elde ettiğimiz bilgilerin güvenilirliğini arttırmak amacıyla bu arıza verileri veri ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Birliktelik kurallarının elde edilmesinde; yaygın kullanılması, tercih edilen bir program olması, kullanım kolaylığı, farklı kaynaklardan elde edilen veri setlerinin kolay entegre edilebilmesinden dolayı SPSS Modeler 18.2 programında Apriori algoritması kullanılmıştır. Algoritma %1 minimum destek ve %50 minimum güven değerinde çalıştırılmış ve 65 adet birliktelik kuralı elde edilmiştir. Tablo 3’te bu kurallardan lift değerlerine belirlenen ilginç 20 kural verilmiş ve çalışmanın amacına uygun anlamlı bilgiler elde etmemizi sağlayan kurallar yorumlanmıştır. Ayrıca tezgâh duruşunu yüksek ve çok yüksek ölçüde etkileyen faktörleri daha iyi analiz edebilmek için ise web grafik arayüzü ile güçlü ve anlamlı kurallar elde edilmiştir. Bu kurallardan elde edilen bulgular da açıklanmış ve yorumlanmıştır.

Elde edilen birliktelik kuralları doğrultusunda CNC tezgâhında profesyonel bakım eksikliğinden ve dış etkenlerden meydana gelen tabla, ATC, shifter ve hidrolik sistem ünitelerinde meydana gelen arızaların; yedek parça bekleme süresi, bakımçı gelme süresi ve tamir süresinin çok yüksek olması ile ilişkili olduğu ve dolayısıyla tezgâh duruş süresini çok ciddi ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu durumun önüne geçilebilmesi için işletmenin aşağıda yer alan bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirmesi önerilmektedir;

- Geniş bakım-onarım ekibiyle çalışılarak kullanılan araç sayısı da artırılmalıdır. Ayrıca personeline uygulanan bakım politikasının hedeflerine ulaşması için farkındalık kazandırmalıdır. Bu sayede makine arıza yaptığı anda bakım ekibinin arızaya derhal müdahale etme olasılığı daha yüksek olacağı için tezgâh duruş süresi de kısalmaktadır.

- Tabla, ATC, shifter ve hidrolik sistem ünitelerinin koruyucu bakımlarına ağırlık verilmesi gerekmektedir. Bu sayede belirlenen bakım programının periyodik bir şekilde uygulanmasıyla arızaların sebep olduğu kısa duruş süreleri azaltılarak üretimin ciddi şekilde aksatılması engellenebilir. Ayrıca koruyucu bakım ile sistem arıza yapmadan önce önlem alıcı işlemlerle makine kullanılabilirlik oranları artırılıp tamir zamanları daha güvenilir bir duruma getirilebilir.

- Makinaların güvenilirlik derecesi artırılmalıdır, bu sayede üretimde kullanılacak makinaların, fiyatları yüksek fakat ömürleri uzun olan tiplerini seçerek beklenmeyen arızaları azaltmak mümkün olacaktır.

- İşletmenin yedek parça yönetiminin iyi yapması ve kontrollü bir şekilde yedek parça stoğu bulundurması gerekmektedir. Bu sayede tezgâh duruş süresini ciddi ölçüde etkileyen yedek parça bekleme süresinde iyileşme sağlanacaktır.

Bu çalışmada ele alınan işletmenin yukarıda önerilen bakım-onarım faaliyetlerini gerçekleştirmesi durumunda; makine arızalarına müdahale etme zamanı, yedek parça temin zamanı, tamir bakım zamanını azaltılacağı için işletme üretim kapasitesini daha etkin kullanabilecektir. Bu doğrultuda önleyici bakım politikası kapsamında veri madenciliği tekniklerinden birliktelik kurallarının uygulanması işletmeye ekonomik açıdan fayda sağlayacaktır.

Extended Summary

In industries, equipment maintenance plays a key role in continuous production, affecting the uptime and efficiency of the equipment. Since failure of machinery equipment always causes high costs (e.g. production losses, low quality) and safety hazards, reliability, fault detection and prevention of machine tool failures are very important issues in maintenance engineering.

It is possible to learn about the processes, events and alarms occurring on the production line by using data mining methods from large amounts of data

collected by industrial systems. By applying data-driven analytical approaches, it is possible to find interpretive results for strategic decision-making such as reducing maintenance cost, reducing machine failures, reducing maintenance-repair stoppage, reducing spare parts stock, increasing production, improving operator safety, maintenance verification, providing economic benefits (Carvalho et., 2019).

Many data mining techniques that enable interesting previously unknown information to be extracted from the bulk data in databases have a very important place in today's computer world. One of these techniques is the rule of unity. Association rule is used as a method that examines the relationships of objects or attributes in the database by trying to reveal their interconnected state.

In the manufacturing sector, the operation of machinery equipment without hesitation is very important for operational efficiency. Different maintenance policies are used for continuous operation of machinery equipment. Today, the use of data mining methods in the field of maintenance has become very common. Data mining, which is used in almost all areas, is especially critical for maintaining maintenance and repair works, which are an important activity of the manufacturing sector. However, as a result of the literature research, it was seen that the studies that dealt with the analysis of the failures occurring in CNC machines with the association rules are few studies and they are not discussed in detail in these studies.

This work was carried out at a CNC machine with a high failure rate in an automotive company in Ankara. Using one year of fault data of the CNC machine, the Apriori algorithm was applied from the association rules to determine the relationship of failures and causes with factors affecting the production's downtime such as machine downtime, spare parts waiting time, repair time, maintenance personnel waiting time, and fault detection time. In this way, it is aimed to contribute economically to the operation by reducing the maintenance costs of the enterprise.

In this study, 65 association rules with a minimum support value of 1% and a minimum trust of 50% were obtained. These rules are sorted by lift values in order to determine the interesting ones. In addition, strong and meaningful rules have been obtained with web graphic analysis in order to better analyze the factors that affect bench posture to a high and very high extent. The findings of these rules have been explained and interpreted. Failures in Table, ATC, Shifter and Hydraulic System units caused by lack of professional maintenance and external factors in the CNC

machine in accordance with the resulting association rule; spare parts waiting time has been associated with a very high maintenance personnel waiting time and repair time, and therefore significantly affects machine downtime. In order to prevent this situation, it is recommended that the enterprise carry out the following maintenance policies;

- They should increase the number of vehicles and maintenance team. In addition, they should raise awareness of staff to achieve the goals of the enterprise's care policy. In this way, the machine downtime will also be reduced as the maintenance team will be more likely to respond immediately to the failure as soon as the machine fails.

- Protective maintenance of Table, ATC, Shifter and Hydraulic System units should be emphasized. In this way, by periodically implementing the specified maintenance program, short downtime caused by failures can be reduced and production can be prevented from being seriously disrupted. In addition, with preventive maintenance, machine availability rates can be increased and repair times can be made more reliable with precautionary procedures before the system fails.

- The reliability of the machines should be increased, so it will be possible to reduce unexpected failures by selecting the types of machines to be used in production, which are high in price but have a long lifespan.

- The management of spare parts of the enterprise should be well managed. In this way, the longer waiting times for spare parts will be eliminated and that significantly affects the machine downtimes will be reduce.

In this study that if the enterprise applied the maintenance-repair activities suggested above; their intervene time of machine failures, waiting times for spare parts and maintenance time of machines will be reduced. Therefore, enterprise will use the production capacity effectively. In this direction, the application of association rules, one of the data mining techniques, within the scope of preventive maintenance policy will provide economic benefits to the enterprise.

Kaynakça

Kitaplar

- Cios, K. J., Pedrycz, W., Swiniarski, R. W., ve Kurgan, L. A. (2007). *Data mining: a knowledge discovery approach*. Springer Science and Business Media.
- Giudici, P., Figini, S. (2009). *Applied Data Mining for Business and Industry Applied Data Mining for Business and Industry*, Second Edition, John Wiley & Sons.
- Köksal, M. (2015). *Bakım Planlaması*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Rakotomalala, R., Rokach, L., and Maimon, O. (2007). *Data Mining Data Mining with Decision Trees-Theory and Applications* (Vol. 61). World Scientific Publishing.

Makaleler

- Carvalho, T. P., Soares, F. A. A. M. N., Vita, R., Francisco, R. da P., Basto, J. P., and Alcalá, S. G. S. (2019). A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance. *Computers and Industrial Engineering*, 137, 106024.
- Cooke, R., and Paulsen, J. (1997). Concepts for measuring maintenance performance and methods for analysing competing failure modes. *Reliability Engineering and System Safety*, 55(2), 135–141.
- Djatna, T., and Alitu, I. M. (2015). An Application of Association Rule Mining in Total Productive Maintenance Strategy: An Analysis and Modelling in Wooden Door Manufacturing Industry. *Procedia Manufacturing*, 4, 336–343.
- Doostan, M., Chowdhury, B. H. (2017). Power distribution system fault cause analysis by using association rule mining. *Electric Power Systems Research*, 152, 140–147.
- Duan, C., Makis, V., and Deng, C. (2019). Optimal Bayesian early fault detection for CNC equipment using hidden semi-Markov process. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 122, 290–306.
- He, S. G., He, Z., and Wang, G. A. (2013). Online monitoring and fault identification

of mean shifts in bivariate processes using decision tree learning techniques. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(1), 25–34.

Liang, Y. C., Li, W. D., Lou, P., and Hu, J. M. (2020). Thermal error prediction for heavy-duty CNC machines enabled by long short-term memory networks and fog-cloud architecture. *Journal of Manufacturing Systems*.

Liu, G., Peng, C. (2017). Research on Reliability Modeling of CNC System Based on Association Rule Mining. *Procedia Manufacturing*, 11, 1162–1169.

Liu, J., Shi, D., Li, G., Xie, Y., Li, K., Liu, B., and Ru, Z. (2020). Data-driven and association rule mining-based fault diagnosis and action mechanism analysis for building chillers. *Energy and Buildings*, 216, 109957.

Marquez, A. C., Gupta, J. N. (2006). Contemporary maintenance management: process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313-326.

Maquee, A., Shojaie, A. A., and Mosaddar, D. (2012). Clustering and association rules in analyzing the efficiency of maintenance system of an urban bus network. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*, 3(3), 175–183.

Susto, G. A., Schirru, A., Pampuri, S., McLoone, S., and Beghi, A. (2015). Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(3), 812–820.

Tian, Z. (2012). An artificial neural network method for remaining useful life prediction of equipment subject to condition monitoring. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(2), 227-237.

Zhang, Z., Wang, Y., and Wang, K. (2013). Fault diagnosis and prognosis using wavelet packet decomposition, Fourier transform and artificial neural network. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(6), 1213–1227.

Zheng, Q., Li, Y., and Cao, J. (2020). Application of data mining technology in alarm analysis of communication network. *Computer Communications*, 163, 84–90.

Sempozyum, Kongre ve Konferans Bildirileri

Agrawal, R., and Srikant, R. (1994). Fast Algorithms for Mining Association Rules.

Proc. of 20th International Conference on Very Large Data Bases, {VLDB'94}, 487–499.

Bin, Z., and Wensheng, X. (2016). An Improved Algorithm for High Speed Train's Maintenance Data Mining Based on MapReduce. *International Conference on Cloud Computing and Big Data, CCBD 2015*, 59–66.

Young, T., Fehskens, M., Pujara, P., Burger, M., and Edwards, G. (2010). Utilizing data mining to influence maintenance actions. *In 2010 IEEE AUTOTESTCON*, 267–271.