



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# İş sağlığı ve güvenliği kapsamında kullanılan kişisel koruyucu donanım miktarının tahminine yönelik bir model

## *A model for estimating amount of personal protective equipment employed within occupational health and safety*

*Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Burak ŞENOL<sup>1</sup>, Metin DAĞDEVİREN<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-6418-2486*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0003-2121-5978*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Şenol M.B., Dağdeviren M., “İş sağlığı ve güvenliği kapsamında kullanılan kişisel koruyucu donanım miktarının tahminine yönelik bir model”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 895-900, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.723956

# İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanım Miktarının Tahminine Yönelik Bir Model

## A Model for Estimating Amount of Personal Protective Equipment Employed within Occupational Health and Safety

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Beyaz eşya sektörü için ihtiyaç duyulan koruyucu maske miktarının tahmini üzerinde duruldu. / The estimation of the amount of protective mask needed for the white goods industry was emphasized.
- ❖ Zaman serilerini içeren en kapsamlı model olan ARIMA 2 farklı parametre seti ile denendi. / ARIMA, most comprehensive model including time series, was tested with 2 different parameter sets.
- ❖ Tahminler koruyucu maskelerin gerçekleşen kullanım miktarlarına yakın sonuçlar verdi. / The estimates gave close results to the actual use of protective masks.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, bir beyaz eşya üretim tesisinde ihtiyaç duyulan maske miktarı ARIMA ile tahmin edilmiştir. / In this study, the amount of mask needed in a white goods manufacturing facility was estimated by ARIMA.

### Amaç (Aim)

Bu çalışmada Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımlarının tahmini için bir model geliştirilmiştir. / In this study, a model was developed for the prediction of Personal Protective Equipment (PPE) usage.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede solunum koruyucu maskelerin 2015-2019 yıllarındaki kullanım miktarı incelenmiş, 2020-2022 yılları için maske miktarı ARIMA ile tahmin edilmiştir. / In an enterprise operating in the white goods sector, the amount of use of respiratory protective masks in 2015-2019 was examined, and the amount of masks was estimated by ARIMA for 2020-2022.

### Özgünlük (Originality)

KKD kullanımı miktarının tahminine yönelik bir çalışma literatürde görülemez. Bu makalede KKD miktarlarının tespitinde ARIMA modeli ilk kez kullanılmış ve bilimsel/istatistiksel bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. / A study for estimating the amount of PPE use could not be seen in the literature. In this article, ARIMA model was used for the first time in determining the amounts of PPE and a scientific / statistical approach was introduced.

### Bulgular (Findings)

Tahminler gerçekleşen KKD kullanım miktarlarına yakın sonuçlar vermiştir. ARIMA modeli 2 farklı parametre seti ile denenmiş ve bu setlerden biri 2020 yılının ilk 3 ayında gerçekleşen rakamlara yakınsamıştır. / Estimates gave close results to actual PPE usage amounts. ARIMA model was tried with 2 different parameter sets and one of these sets converged to the figures in the first 3 months of 2020.

### Sonuç (Conclusion)

Dijitalleşme çağında insan-makine arakesiti çalışmaları ergonomik açıdan oldukça önemli bir duruma gelmiştir. Operatörün makine başında çalışması ISG tedbirlerinin alınmasına bağlıdır ve KKD kullanımı bu tedbirlerin en başında gelmektedir. Gelecek çalışmalarda işletme genelinde kullanılan tüm kişisel koruyucu donanımlar için de ARIMA yöntemiyle tahminler yapılabilir ve böylelikle KKD maliyetleri düşürülebilir. / In the age of digitalization, human-machine intersection studies have become very important ergonomically. Operation of operator at machine depends on taking OHS measures, and the use of PPE comes first. In future studies, estimations can be made with ARIMA method for all personal protective equipment used throughout the enterprise and PPE costs can be reduced.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Kullanılan Kişisel Koruyucu Donanım Miktarının Tahminine Yönelik Bir Model

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Burak ŞENOL<sup>1\*</sup>, Metin DAĞDEVİREN<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye  
<sup>2</sup>Yükseköğretim Kurulu, Denetleme Kurulu Başkanlığı, Ankara, Türkiye  
 (Geliş/Received :20.04.2020; Kabul/Accepted : 29.04.2020)

## ÖZ

İş Sağlığı ve Güvenliği (ISG) çalışmaları incelendiğinde risklerin analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı miktarının tahminine yönelik bir çalışma literatürde görülemedi. Bu çalışmada işletmelerin KKD kullanımlarının tahmini için Otoregresif Entegre Hareketli Ortalamalar (ARIMA) temel alınarak bir model geliştirilmiştir. Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maskesi ihtiyacı tahmin edilmiştir. Yapılan tahminlerle KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. Endüstri çağında insan-makine arasında artan ilişkiler, insana uyumlu işletmelerin oluşturulmasını gerektirmektedir ve bu anlamda ergonomi bilimi, verimliliği artırmak için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından istifade edebilir. Yapılan KKD tahminleri solunum koruyucu maskelerin gerçekleştiren kullanım miktarlarına yakın sonuçlar vermiştir. Koruyucu maskelerin kullanım miktarının tahmini için yapılan bu çalışma gelecekte işletme genelinde kullanılan diğer kişisel koruyucu donanımların tahmini için de uygulanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** İş sağlığı ve güvenliği, ergonomi, kişisel koruyucu donanım, tahmin yöntemleri, ARIMA.

## A Model for Estimating Amount of Personal Protective Equipment Employed within Occupational Health and Safety

### ABSTRACT

When Occupational Health and Safety studies are examined, it is seen that many different methods are employed in the risk analysis process, but there is no study in the literature to estimate the amount of Personal Protective Equipment (PPE) usage, which is one of the precautions to be taken after risk analysis. In this study, a model was developed based on Autoregressive Integrated Moving Averages (ARIMA) for estimation of PPE usage of enterprises. In an enterprise operating in the white goods sector, the usage data of respiratory protective masks in 2015-2019 has been examined and the need for respiratory protective masks that may arise for 2020-2022 has been estimated. The effectiveness of our method was examined by comparing the estimates made with the amount of PPE usage. Increasing relationships between man and machine in the industrial era require the creation of human-compatible businesses, and in this sense, ergonomics can benefit from occupational health and safety practices in order to improve productivity. The PPE estimates made gave close results to the actual use of respiratory protective masks. This study for the estimation of the amount of use of protective masks can also be applied for the prediction of other personal protective equipment used throughout the business in the future.

**Keywords:** Occupational health and safety, ergonomics, personal protective equipment, forecasting methods, ARIMA.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İşçilerin iş kazalarına uğramalarını önlemek amacı ile güvenli çalışma ortamını oluşturmak için alınması gereken tedbirler dizisine iş güvenliği denir. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında iş kazalarının sınıflandırılması ve sıklıklarının belirlenmesi, riskin bileşenlerinin ortaya çıkarılması ve alternatif risk değerlendirme metodlarının geliştirilmesi konularında risk analizi ve değerlendirmesi ile ilgili literatürde çok

çeşitli çalışmalar yapılmıştır [1-13]. Risk analizi kapsamında nitel ve nicel birçok metodlar; Sebep-Sonuç Analizi [1], Başlangıç Tehlike Analizi [2], FMEA [3], Bulanık-AHP [4], VIKOR [5] metodları kullanılmıştır. Literatürde ayrıca risk analizine ve çalışanların iş güvenliği bilinçlerinin artırılmasına yönelik çok çeşitli sektörlerde; tıp [5], havacılık [6], otomotiv [7], liman hizmetleri [8], bilgi teknolojilerinde [9] uygulamalar da bulunmaktadır [10]. İş sağlığı güvenliği kapsamında literatürde yer alan risk analiz çalışmalarının bir kısmında da bulanık mantık kullanılmıştır [4-8, 11-13].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mburaksenol@gazi.edu.tr

Literatürdeki ISG çalışmaları incelendiğinde risk analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımını konusunda ihtiyaç duyulabilecek malzeme miktarının tahminine yönelik bilimsel bir uygulama görülemez. Oysa ISG işyerlerinde, işin yürütülmesi sırasında ortaya çıkabilecek tehlikelerden ve sağlığa zarar verebilecek koşullardan, çalışanları korumak ve onlara daha iyi bir çalışma ortamı sağlayabilmek adına yapılan önlemleri ve KKD kullanımını da içermektedir. Bu çalışma, risk analizi sonucunda ihtiyaç duyulabilecek KKD kullanım miktarının tahminine yönelik bir yöntem önerilmesi nedeniyle; literatürdeki risk analizi çalışmalarından ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır. İşletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde KKD maliyetlerinin önemli bir yeri vardır [14]. Risk değerlendirmesi ile KKD ihtiyacı olup olmadığına karar verilir.

İSG açısından risk değerlendirmesi tehlikelerden kaynaklanan riskin büyüklüğünü tahmin etme ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verme sürecidir. Risk değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Sapma Analizi (SA), Sebep-Sonuç Analizi, Eğer Öyleyse Analizi, Başlangıç Tehlike Analizi gibi nitel veya nicel birçok yöntem kullanılmaktadır. Risk analizi ve değerlendirmesi sonucunda çalışanların KKD kullanarak faaliyetlerine devam etmeleri gerekebilir. İşletmeler ISG maliyetlerini yönetebilmek için KKD kullanımına yönelik doğru tahminlerde bulunmak zorundadırlar. Bunun için, geçmiş KKD verilerinin analiz edilmesi ve uygun tahmin modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada işletmelerin KKD kullanım ihtiyaçlarının tahmini için bir model geliştirilmiştir. Endüstri çağında makine-insan arasındaki artan ilişkiler, insana uyumlu çevre, eşya, makine, ofis vb. fiziksel çevre birimlerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu anlamda ergonomi bilimi en önemli üretim faktörü olan işgücünün rahat, kolay ve sağlıklı bir şekilde üretim ve ekonomik faaliyetlerini sürdürebilmesine imkân sağlayacak şekilde fiziksel çevrenin insana uyumlaştırılması üzerinde çalışırken, verimliliği artırmak için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından da istifade edilebilir.

KKD tahmin modeli geliştirilirken zaman serilerinden istifade edilmiştir. Bir zaman serisinin  $t$  zamanındaki gözlem değeri  $Y_t$  olarak gösterilebilir [15].  $Y_t$  tek bir değere sahipse zaman serisi deterministik,  $Y_t$  tesadüfi değişkense ve olasılık kurallarına göre çeşitli değerler alabiliyorsa stokastiktir [16]. Ayrıca, zaman serisini oluşturan değişkenin ortalama ve varyansı zamandan bağımsız ise durağan zaman serisi, değilse durağan olmayan zaman serisidir [16]. Box-Jenkins modelleri olarak bilinen stokastik süreç modellerinde zaman serileri durağan veya bazı dönüşümlerle durağan yapılabilen kesikli stokastik süreçlerdir [17]. Otoregresif (AR) modeller ilk defa Yule tarafından, hareketli

ortalama modelleriyse (MA) Shutsky tarafından ileri sürülmüştür [16]. Bu iki modelin birleşimi olan otoregresif hareketli ortalamalar (ARMA) modeli Wald tarafından geliştirilmiştir [17]. Durağan zaman serilerine uygulanabilen ARMA genel stokastik süreç modelinin yanında, durağan olmayan zaman serileri için otoregresif entegre hareketli ortalamalar (ARIMA) modeli önerilmiştir [18].

Beş bölümden oluşan bu çalışmada birinci bölümde çalışmanın önemi ve gerekçesi üzerinde durulmuş ve zaman serileri literatürüne bir giriş yapılmıştır. İkinci bölümde literatürde bulunan otoregresif modeller, hareketli ortalama modelleri ile otoregresif entegre hareketli ortalamalar modelinin teorik altyapısı üzerinde durulmuş; zaman serileriyle ilgili uygulama alanlarına literatürden örnekler verilmiştir. Üçüncü bölümde, model parametrelerini belirleme, hesaplama, kontrol ve tahmin olmak üzere dört aşamadan oluşan yöntemimiz açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, ARIMA modelleri kullanılarak beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren ve T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca "Tehlikeli Çalışma Alanı" olarak belirlenmiş bir işletmede yapılan uygulama sonuçları sunulmuştur. İşletmenin KKD tahmin modeli, otoregresif entegre hareketli ortalamalar temel alınarak oluşturulmuş, 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maskesi ihtiyacı tahmin edilmiş ve yapılan tahminlerle gerçekleşen KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. Yapılan tahminler gerçek verilere oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Beşinci bölümde çalışmaya ilişkin değerlendirmeler yapılarak ileriki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR (LITERATURE)

Zaman serisine en az parametre ile en iyi uyumu sağlayan stokastik süreç modelinin belirlenmesi halinde, yapılan tahminler daha doğru olacaktır [19]. Bunun için zaman serisinin analiz edilerek serinin özellikleri ve eğimi belirlenmelidir. Genel model sınıfı ve geçici modeller belirlenerek modellerin uygunluğu test edilir. Model uygunsa serinin gelecek dönemlerde aynı eğimi göstereceği varsayımıyla tahminlerde bulunulabilir [20]. Genel model sınıfı ve geçici modellerin belirlenmesinde serinin hata terimlerinin ardışık değerleri arasındaki ilişkisi olan otokorelasyon ile iki değişkenin birlikte değişme ölçüsü olan otokovaryans kullanılır [2]. Bir zaman serisinin durağan olması, serinin zaman içinde belirli bir değere doğru yaklaşması, daha açık bir ifadeyle; sabit ortalama, sabit varyans ve gecikme seviyesine bağlı kovaryansa sahip olmasıdır. [17] Bunun yanında durağan olmama durumu çeşitli sebeplerden kaynaklanabilir, ancak en önemlisi birim köklerdir [16, 21]. Bu durum AR ( $p$ ) modeli üzerinde gösterilebilir;

$$Y_t = \mu + a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots + \psi_p a_{t-p} \quad (1)$$

Doğrusal durağan stokastik süreç modelinin en genel gösterimi Eş.(1)'de verilmiştir. Burada “ $\mu$  ve  $\psi_j$ ” ler stokastik sürecin sabit parametreleri ve “ $a_t, a_{t-1} \dots a_{t-p}$ ” birbirinden bağımsız ortalamaları sıfır, varyansları  $\sigma_a^2$  olan normal dağılıma sahip tesadüfi değişkenler hata terimleridir [16, 21]. AR ( $p$ ) mertebeli otoregresif stokastik süreç modellerini Eş.(1)'den aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t \quad (2)$$

Eş.(2)'de  $Y_t$  gözlem değeri; “ $\delta, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_p$ ” sabitleri ile “ $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ ” geçmiş “ $p$ ” döneme ilişkin gözlem değerleri, “ $a_t$ ” ise “ $t$ .” dönem hata teriminin doğrusal fonksiyonudur.  $E[Y_t] = E[Y_{t-1}] = E[Y_{t-2}] = \dots = E[Y_{t-p}] = \mu$  ve  $E[a_t] = 0$  olduğundan Eş. (3) elde edilir.

$$\mu = E[Y_t] = \delta + \psi_1 \mu + \psi_2 \mu + \dots + \psi_p \mu \quad (3)$$

Eş.(3)'den  $\mu = \delta / (1 - \psi_1 - \psi_2 - \psi_3 - \dots - \psi_p)$  bulunur. Bu AR ( $p$ ) modelinin ortalamasının sabit olduğunu gösterir. Eş. (2)'de “ $y_t = Y_t - \delta$ ” şeklinde farklar alınarak yazılırsa;

$$\gamma_0 = E[Y_t, y_t] = E[Y_t (\psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t)] \quad (4)$$

$$\gamma = \psi_1 E[Y_t, Y_{t-1}] + \psi_2 E[Y_t, Y_{t-2}] + \dots + \psi_p E[Y_t, Y_{t-p}] + E[Y_t, a_t]$$

$$E[Y_t, a_t] = E[a_t^2] = \sigma_a^2 \text{ ve } \gamma_0 = \psi_1 \gamma_1 + \psi_2 \gamma_2 + \dots + \psi_p \gamma_p + \sigma_a^2 \quad (5)$$

Aralarında “ $k$ ” dönem fark olan gözlem değerlerinin otokovaryansı ;

$$\gamma_k = E[Y_{t-k}, y_t] = E[Y_{t-k} (\psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t)] \quad (6)$$

$$\gamma_k = \psi_1 E[Y_{t-k}, Y_{t-1}] + \psi_2 E[Y_{t-k}, Y_{t-2}] + \dots + \psi_p E[Y_{t-k}, Y_{t-p}] + E[Y_{t-k}, a_t]$$

$$\gamma_k = \psi_1 \gamma_{k-1} + \psi_2 \gamma_{k-2} + \dots + \psi_p \gamma_{k-p} \quad (7)$$

ARIMA modellerinin türetilmesinde sıkça kullanılan Yule-Walker denklemi;

$$g_k = \psi_1 g_{k-1} + \psi_2 g_{k-2} + \dots + \psi_p g_{k-p}; \quad k > 0 \quad (8)$$

Sonuç olarak Eş.(2)'den üretilen AR (1) modeli  $Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + a_t$  şeklindedir. Burada “ $\psi=1$ ” olursa, denklem rassal olarak ilerler ve birim kök problemiyle, durağan olmama durumuyla karşılaşırız. Ancak, eğer “ $|\psi| < 1$ ” ise,  $Y_t$  zaman serisi durağandır.

Literatürde, elektrik kullanımı, yakıt tüketimi, enerji üretimi-dağıtımı vb. alanlarda zaman serilerine yönelik çalışmalar çoğunluktadır [21,22]. Zaman serileriyle ilgili olarak; sanayi elektrik tüketimi [23], enerji planlaması [24], traktör ihtiyacının belirlenmesi [25], kuraklık beklentileri-yağış miktarının tahmin edilmesi [26], teknoloji kullanımı-yayımları [20] alanlarında çalışmalar bulunmaktadır.

### 3. YÖNTEM (METHOD)

ARIMA modeli her bir değişkenin kendi geçmiş veya gecikmeli değerleriyle stokastik hata terimleriyle tanımlanabilmesini sağlar. Bir zaman serisini ARIMA ( $p, q$ ) modelini uygulayabilmek ve durağanlaştırmak

amacıyla “ $d$ ” kere farklılaştırırsak, orijinal zaman serisinin ARIMA ( $p, d, q$ ) olduğunu söyleyebiliriz [19]. Bir ARIMA modelinde zaman serisi ya durağandır ya da birkaç farklılaşma ile durağanlaştırılmıştır [25]. Yöntemimiz model parametrelerini belirleme, hesaplama, kontrol ve tahmin olmak üzere dört aşamadan oluşur.

#### Aşama-1 Model parametrelerinin ( $p, d, q$ ) belirleme:

Otokorelasyon fonksiyonu (ACF), parça otokorelasyon fonksiyonu ve sonuç korelogramı kullanılarak modele uygun parametreler ( $p, d, q$ ) belirlenir. Korelogram; gecikme uzunluğunda ACF ve PACF'lerin yerini belirler. “ $k$ ” gecikmesindeki ACF, “ $g_k$ ” ile gösterilir;  $g_k = \gamma_k / \gamma_0$ ’dır. Burada “ $\gamma_k$ ”, “ $k$ ” gecikmesinin kovaryansı ve “ $\gamma_0$ ” ise varyansdır. Kovaryans ve varyans aynı birimlerle hesaplandığı için “ $g_k$ ” değeri birimsizdir ve “-1, +1” arasında bir değer alır. Zaman serilerinde  $Y_t$  ve  $Y_{t-k}$  arasındaki korelasyonun temel sebebi,  $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, \dots, Y_{t-k+1}$  arasındaki gecikmelerdir. Parça otokorelasyonu aradaki,  $Y$ ’lerin etkisinin çıkarıldığı,  $Y_t$  ve  $Y_{t-k}$  arasındaki korelasyondur. Eğer, korelogram ve birim kök incelemesi ile göze çarpan bir sonuç elde edilemez ise elimizdeki veri durağan değildir. Dolayısıyla, durağanlık sağlayana kadar veriyi farklılaştırmamız gerekir. Daha sonra, durağanlaştırılan veri ve korelogramına dayanarak modelin parametreleri ( $p, d, q$ ) belirlenir.

**Aşama-2 Hesaplama:** Bu aşamada, Aşama 1’de elde edilen model katsayıları hesaplanır.

**Aşama-3 Kontrol:** Aşama 1’de elde edilen modelin veri setine uyum sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Aşama 2’de hesaplanan değerler ile gerçek değerler arasındaki farklar bulunur. Farkların otokorelasyonları ile parça korelasyonlarından herhangi birinin istatistiki olarak anlamlı olup olmadığı kontrol edilir. İstatistiki bir anlamlılık yoksa farkların tümüyle rassal olduğu ve başka bir ARIMA modeli aramaya gerek olmadığı kabul edilir.

**Aşama-4 Tahmin:** Aşama 3.de kontrol edilen ARIMA modeli ile tahminler yapılır [27-28].

### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren ve T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığınca “Tehlikeli Çalışma Alanı” olarak belirlenmiş bir işletmede ARIMA yöntemi kullanılarak bir uygulama yapılmıştır. Bu işletmede KKD kapsamında güvenlik gözlükleri, çapak gözlüğü, kaynakçı gözlüğü, baretler, kulaklıklar, solunum koruyucu maskeler, yüz siperleri, elektrikçi eldivenleri, hassas işler eldiveni, kaynakçı eldivenleri, mekanik işler eldiveni, çelik örgü eldiveni, lateks eldivenler, sıcak işler eldiveni, çelik burunlu ve çelik tabanlı ayakkabılar, anti-statik ESD önlükler, iş tulumları, vb. kullanılmaktadır. Bu işletmede kimyasal işlemler, kaplama ve boyama atölyelerinde sıklıkla

ihtiyaç duyulan ürünlerden biri de maskelerdir, bu nedenle gelecek yıllarda ortaya çıkabilecek maske miktarlarını tahmin etmek için bir model oluşturulmuştur.

**Çizelge 1.** 2015-2019 yılları arası solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri (Usage data of respiratory protective masks between 2015-2019)

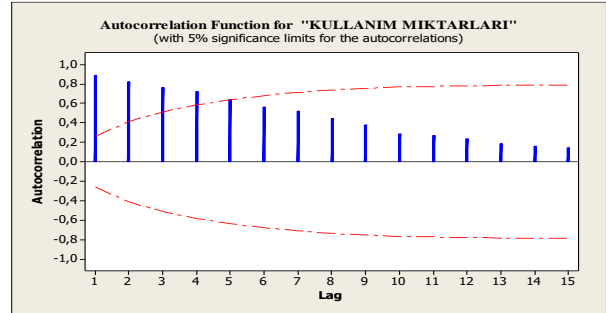
Aylar/Yıllar	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	387	506	488	689	628
Şubat	432	508	496	696	603
Mart	474	505	551	715	609
Nisan	490	507	550	726	608
Mayıs	446	418	566	716	619
Haziran	499	484	608	678	627
Temmuz	500	465	604	648	655
Ağustos	505	489	615	639	639
Eylül	485	392	649	625	630
Ekim	428	490	668	632	665
Kasım	525	481	667	623	691
Aralık	516	489	687	603	689

**Aşama-1 Model parametrelerinin (p,d,q) belirlenmesi:** İşletmede 2015-2019 yılları arasındaki solunum koruyucu maske kullanımına ait veriler Çizelge 1’de sunulmuştur. ARIMA modeli Çizelge-1’de yer alan veriler esas alınarak oluşturulmuştur. Solunum koruyucu maske kullanımına ait uygun bir ARIMA modeli belirleyebilmek için öncelikle Çizelge 1’deki verilerin durağan olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bunun için Çizelge 2’de verilen durağan süreçlerdeki ACF ve PACF’lerin genel davranışları ile Çizelge 1’de sunulan veri setinin zaman serisine ait otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve parça otokorelasyon fonksiyonu (PACF) grafikleri karşılaştırılmalıdır.

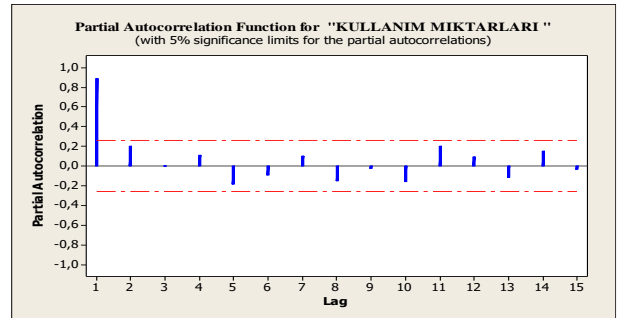
**Çizelge 2.** Durağan süreçlerde ACF ve PACF’lerin davranışları (Behavior of ACF and PACF in stationary processes)

Model	ACF	PACF
MA (q)	q adım sonra kesilir.	Azalarak 0’a yaklaşır.
AR (p)	Azalarak 0’a yaklaşır.	p adım sonra kesilir.
ARMA (p,q)	Azalarak 0’a yaklaşır.	Azalarak 0’a yaklaşır.

Zaman serisine ait otokorelasyon ve parça otokorelasyon fonksiyonu grafikleri Şekil 1 ve 2’de sunulmuştur. Durağan süreçlerde ACF değerlerinin genel davranışları ile Şekil 1 karşılaştırılırsa, otokorelasyon fonksiyonu üstel bir düşüş göstermekle birlikte 4. gecikmeden sonra kesilmektedir, bu nedenle veri setimizin MA (4) modeline benzediği değerlendirilebilir. Durağan süreçlerde PACF değerlerinin genel davranışları ile Şekil 2 karşılaştırılırsa; parça otokorelasyon fonksiyonu 1. gecikmeden sonra kesilmektedir, bu nedenle veri setimizin AR (1) sürecine benzediği değerlendirilebilir.



**Şekil 1.** Otokorelasyon fonksiyonu grafiği (Autocorrelation function graph)



**Şekil 2.** Parça otokorelasyon fonksiyonu grafiği (Part autocorrelation function graph)

Veri setimizin durağan bir yapıda olmaması nedeniyle farklılaştırılması gerekmektedir. Veri setini durağan hale getirmek için ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modelleri kullanılmıştır. Zaman serisini oluşturan süreç hem geçmiş gözlem değerlerinin etkisini hem de mevsimsel hareketleri içeriyorsa karışık stokastik süreç olarak adlandırılır [15]. ARMA (p, q), modelinin en genel gösterimi Eş.9 ve Eş.10’da verilmiştir.

$$Y_t = \delta + \psi_1 Y_{t-1} + \psi_2 Y_{t-2} + \dots + \psi_p Y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (9)$$

$$W_t = Y_t - Y_{t-1}, \quad W_{t-j} = Y_{t-j} - Y_{t-j-1} \quad (10)$$

Birbirini izleyen gözlem değerlerinin farkları alınarak veri setimizi durağan hale getirebiliriz. ARIMA (p, 1, q) 1. dereceden farkı alınarak durağanlaştırılmış durağan olmayan doğrusal stokastik süreç modellerini Eş. (9) ve Eş. (10) kullanılarak bulabiliriz.

$$W_t = \psi_1 W_{t-1} + \psi_2 W_{t-2} + \dots + \psi_p W_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (11)$$

Bu durumda ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modelleri şu şekilde olur;

$$\text{ARIMA (0, 1, 4)} \quad W_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \theta_3 a_{t-3} - \theta_4 a_{t-4}$$

$$\text{ARIMA (1, 1, 0)} \quad W_t = \psi_1 W_{t-1} + a_t \quad (12)$$

**Aşama-2 Hesaplama:** Eş. (11) kullanılarak elde edilen ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA (1, 1, 0) modellerinin katsayıları hesaplanmıştır. Aşağıdaki aşamalarda modeller incelendiğinde modellerin her ikisinin de verilere uyduğu ( $p > 0,05$ ) görülmektedir.

**Aşama-3 Kontrol:** Modified Box-Pierce test sonuçları da tüm gecikmelerde ( $m = 12, 24, 36$  ve  $48$ ) yüksek  $p$  değerleri vererek ( $p > 0,05$ ) modellerin uygunluğunu desteklemektedir [18]. ARIMA modeli seçiminde öncelikli tercih en az parametre ile en iyi uyumu sağlayan modele verilmektedir. Bu çalışmada ARIMA (0, 1, 4) modeli (parametreler:  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \sigma_a^2$ ), ARIMA (1, 1, 0) modeline (parametreler:  $\psi_1, \sigma_a^2$  ve  $s_{1,1,0}^2$ ) göre daha fazla parametre içermektedir, ancak ortalama kareler ( $s_{0,1,4}^2 = 987,2 < s_{1,1,0}^2 = 1021,3$ ) açısından ARIMA (0, 1, 4) veri setimize daha iyi uyum sağlamıştır.

**Aşama-4 Tahmin:** Çizelge 3'de ARIMA (0, 1, 4) ve ARIMA(1, 1, 0) modellerinin 2020-2022 yılları için tahmin değerleri yer almaktadır. İki ARIMA modeliyle de elde edilen tahmin değerlerinin yükselen bir trend içinde olduğu görülmektedir.

**Çizelge 3.** Solunum koruyucu maske tahmin sonuçları (Respiratory protective masks predictions)

Ay	ARIMA (1,1,0)			ARIMA (0,1,4)		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Ock	695,24	750,58	814,45	693,24	749,58	818,37
Şub	700,05	755,74	815,24	698,35	758,26	819,75
Mrt	702,02	760,14	820,61	704,15	769,83	827,17
Nis	709,65	769,35	825,92	708,74	778,25	829,73
May	712,41	778,72	828,84	713,96	784,53	837,94
Haz	719,78	779,47	838,79	718,83	785,34	845,79
Tem	722,14	788,25	840,38	725,16	790,13	849,53
Ağs	729,25	789,55	844,57	730,29	794,63	848,39
Eyl	733,78	798,12	850,69	735,25	802,46	858,02
Ekm	736,15	791,78	858,42	738,48	798,50	862,40
Kas	743,32	804,25	860,18	745,32	807,61	867,13
Ara	748,21	808,14	867,38	752,18	809,41	879,62

ARIMA tahminleri, 2020 yılı ilk 3 aylık dönemi için gerçekleşen KKD kullanım miktarları ile ortalama mutlak sapma ve ortalama mutlak hata yüzdesi açısından karşılaştırılmıştır. ARIMA (0, 1, 4) modeli  $12,83$  ortalama mutlak sapma ile  $1,87$  ortalama mutlak hata yüzdesine ve ARIMA (0, 1, 1) modeli  $16,45$  ortalama mutlak sapma ile  $2,31$  ortalama mutlak hata yüzdesine sahiptir. Bu değerlere göre yapılan karşılaştırmada da ARIMA (0, 1, 4) modeli ile yapılan tahminler gerçek verilere daha yakın sonuçlar vermekte, ortalama kareler ile yapılan değerlendirme sonuçlarını ( $s_{0,1,4}^2 = 987,2 < s_{1,1,0}^2 = 1021,3$ ) desteklemektedir.

Sonuç olarak katsayıların da modele dâhil edilmesiyle solunum koruyucu maskeler için tahmin modelimiz ARIMA (0, 1, 4),  $W_t = 4,965 - 0,3511a_{t-1} + 0,1398a_{t-2} - 0,1149a_{t-3} + 0,3302a_{t-4}$  şeklinde belirlenmiştir. Endüstri çağında makine-insan arasındaki artan ilişkiler, insana uyumlu çevre, eşya, makine, ofis, vb. gibi fiziksel çevre birimlerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu anlamda ergonomi bilimi en önemli üretim faktörü olan işgücünün rahat, kolay ve sağlıklı bir şekilde üretim ve ekonomik faaliyetlerini sürdürebilmesine imkân sağlayacak şekilde fiziksel çevrenin insana uyumlaştırılması üzerinde çalışırken verimliliği artırmak

için iş sağlığı güvenliği uygulamalarından da istifade edilebilir. İşletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde KKD maliyetlerinin önemli bir yeri vardır. İşletmeler KKD giderlerini yönetebilmek için KKD kullanımına yönelik doğru tahminlerde bulunmak zorundadırlar. Bunun için, geçmiş KKD verilerinin analiz edilmesi ve uygun tahmin modelleri oluşturulması gerekmektedir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada işletmelerde KKD kullanım ihtiyaçlarının tahmini için zaman serilerinden istifade edilerek bir model geliştirilmiştir. Beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin KKD tahmin modeli, otoregresif entegre hareketli ortalamalar temel alınarak oluşturulmuştur. 2015-2019 yıllarındaki solunum koruyucu maskelerin kullanım verileri incelenmiş, 2020-2022 yılları için ortaya çıkabilecek solunum koruyucu maske ihtiyacı tahmin edilmiş ve yapılan tahminlerle 2020 yılının ilk üç ayında gerçekleşen KKD kullanım miktarları karşılaştırılarak yöntemimizin etkinliği incelenmiştir. ARIMA (0, 1, 4) modelinde elde edilen tahminler gerçek verilere daha yakın sonuçlar vermiştir.

Gelecek çalışmalarda işletme genelinde kullanılan tüm kişisel koruyucu donanımlar; güvenlik gözlükleri, baretler, kulaklıklar, elektrikli eldivenleri, çelik burunlu ve çelik tabanlı ayakkabılar, anti-statik ESD önlükler, iş tulumları, vb. için de ARIMA temel alınarak tahminler yapılabilir. Bunun yanında, işletmelerin KKD kullanımını optimize etmeye yönelik bir atama modeli ya da makine çizelgelemeyle birlikte KKD atamasını da planlayan bir çizelgeleme modeli geliştirilebilir. Matematiksel modellerin sonuçları ile yapılan tahminler karşılaştırılarak optimum bir KKD ihtiyaç planlaması yapılabilir. Böylelikle işletmelerin İSG'ye ayırdıkları bütçe içerisinde önemli bir yer tutan KKD maliyetleri düşürülebilir.

Literatürdeki ISG çalışmaları incelendiğinde risklerin analizi sürecinde çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmekle birlikte, risk analizi sonrasında alınacak önlemlerin başında yer alan KKD kullanımı konusunda ihtiyaç duyulabilecek malzeme miktarının tahminine yönelik bilimsel bir uygulama görülemediği. Bu çalışma, risk analizi sonucunda ihtiyaç duyulabilecek KKD kullanım miktarının tahminine yönelik bir yöntem önerilmesi nedeniyle; literatürdeki diğer risk analizi ve İSG çalışmalarından ayrılmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Marhavilas P.K., Koulouriotis D., Gemeni V., “Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: on a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5): 477-523, (2011).
- [2] Pinto A., Nunes I.L., Ribeiro R.A., “Occupational risk assessment in construction industry—overview and reflection”, *Safety Science*, 49(5): 616-624, (2011).
- [3] Zhang Z., Chu X., “Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty”, *Expert Systems with Applications*, 38: 206-214, (2011).
- [4] Padma T., Balasubramanie P., “A fuzzy analytic hierarchy processing decision support system to analyze occupational menace forecasting the spawning of shoulder and neck pain”, *Expert Systems with Applications*, 38: 15303-15309, (2011).
- [5] Liu H.C., Liu L., Liu N., Mao L. X., “Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment”, *Expert Systems with Applications*, 39: 12926-12934, (2012).
- [6] Hadjimichael M., “A fuzzy expert system for aviation risk assessment”, *Expert Systems with Applications*, 36: 6512-6519, (2009).
- [7] Kutlu A.C., Emekçioğlu M., “Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS based fuzzy AHP”, *Expert Systems with Applications*, 39: 61-67, (2012).
- [8] Mokhtari K., Ren J., Roberts C., Wang J., “Decision support framework for risk management on sea ports and terminals using fuzzy set theory and evidential reasoning approach”, *Expert Systems with Applications*, 39: 5087-5103, (2012).
- [9] Fan Z.P., Suo W.L., Feng B., “Identifying risk factors of it outsourcing using interdependent information: an extended DEMATEL method”, *Expert Systems with Applications*, 39: 3832-3840, (2012).
- [10] Ceylan H., Başhelvacı V.S., “Risk analysis with risk assessment matrix method: an application”, *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2): 25-33, (2011).
- [11] Samantra C., Datta S., Mahapatra S.S., “Risk assessment in it outsourcing using fuzzy decision-making approach: an Indian perspective”, *Expert Systems with Applications*, 41: 4010-4022, (2014).
- [12] Mandal S., Maiti J., “Risk analysis using FMEA: fuzzy similarity value and possibility theory based approach”, *Expert Systems with Applications*, 41: 3527-3537, (2014).
- [13] Yılmaz N., Şenol, M.B., “İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1): 77-87, (2017).
- [14] Personal protective equipment guidelines for health care facility staff, *Annals of Emergency Medicine*, 68(3): 406-407, (2016).
- [15] Montgomery D. C., Jennings C., Kulahci M., “*Introduction to time series analysis and forecasting*”, USA, (2008).
- [16] Lu Y., AbouRizk S.M., “Automated box–jenkins forecasting modeling”, *Automation in Construction*, 18(5): 547-558, (2009).
- [17] Lee C.M., Ko C.N., “Short-term load forecasting using lifting scheme and ARIMA models”, *Expert Systems with Applications*, 38(5): 5902-5911, (2011).
- [18] Ediger V. Ş., Akar S., “ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey”, *Energy Policy*, 35(3): 1701-1708, (2007).
- [19] Erdoğdu E., “Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: a case study of Turkey”, *Energy Policy*, 35: 1129-1146, (2007).
- [20] Christodoulos C., Michalakelis C., Varoutas D., “Forecasting with limited data: combining ARIMA and diffusion models”, *Technological Forecasting and Social Change*, 77(4): 558-565, (2010).
- [21] Pappas S.Sp., Ekonomou L., Karamousantas D.Ch., Chatzarakis G.E., Katsikas S.K., Liatsis P., “Electricity demand loads modeling using autoregressive moving average (ARMA) models”, *Energy*, 33: 1353-1360, (2008).
- [22] Bianco V., Manca O., Nardini S., “Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models”, *Energy*, 34: 1413-1421, (2009).
- [23] Dilaver Z., Hunt L.C., “Industrial electricity demand for Turkey: a structural time series analysis”, *Energy Economics*, 33(3): 426-436, (2011).
- [24] Abdel-Aal R.E., Al Gami A.Z., “Forecasting monthly electric energy consumption in esatern saudi arabia using univariate time series analysis”, *Energy*, 22(11): 1059-1069, (1997).
- [25] Unakıtan G., Akdemir B., “Tractor demand projection in Turkey”, *Biosystems Engineering*, 97(1): 19-25, (2007).
- [26] Yurekli K., Kurunc A., “Simulating agricultural drought periods based on daily rainfall and crop water consumption”, *Journal of Arid Environments*, 67: 629-640, (2006).
- [27] Chavez S.G., Bernat J.X., Coalla H.C., “forecasting energy production and consumption in northern Spain”, *Energy*, 24, 183-198, (1999).
- [28] Zhang G.P., “Time series forecasting using hybrid ARIMA and neural network model”, *Neurocomputing*, 50: 159-175, (2001).