






Medikal İşletmesi İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bakım Stratejisi Seçimi

Maintenance Strategy Selection with Multi Criteria Decision Making Methods for Medical Company

Rabia Akgönül¹ , Evren Can Özcan¹ , Tamer Eren¹ 

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/01/2021 **Kabul / Accepted:** 23/03/2021 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 23/03/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/06/2021

Öz

Her geçen gün rekabetin arttığı üretim sektöründe, işletmeler üretimdeki sürekliliği sağlamayı ve verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Üretimde sürekliliğin sağlanması ve verimliliğin artırılması makine/ ekipmanlar için doğru bakım faaliyetlerinin uygulanması ile mümkündür. Doğru bakım faaliyetlerinin planlı bir şekilde yapılması için en uygun bakım stratejisinin seçilmesi ciddi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Covid-19 küresel salgınında önemi artan solunum cihazları için hortum devreleri üreten bir medikal işletmesinin sürekliliğini ve verimliliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple üretim hattının en kritik elemanı olan hortum çekme makinesi için Bulanık ANP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak en uygun bakım stratejisinin seçilmesi problemi ele alınmıştır. Hortum çekme makinesi için en uygun bakım stratejisini seçmek için beş ana kriter (güvenlik, katmadeğer, maliyet, uygunluk ve teknik), on dört alt kriter ve dört alternatif (düzeltici, periyodik, duruma dayalı ve revizyon bakım) belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en uygun bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Bakım Strateji Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Covid-19, Solunum Cihazları”

Abstract

In the production sector, where competition is increasing day by day, companies aim to ensure continuity in production and increase efficiency. Ensuring continuity in production and increasing productivity is possible with the implementation of correct maintenance activities for machinery / equipment. Choosing the most appropriate maintenance strategy is of great importance in order to carry out the correct maintenance activities in a planned manner. In this study, it is aimed to ensure the continuity and increase the efficiency of a medical company that produces hose circuits for respiratory devices, whose importance has increased in the Covid 19 global epidemic. For this reason, the problem of choosing the most appropriate maintenance strategy for the hose pulling machine, which is the most critical element of the production line, by using Fuzzy ANP, TOPSIS and ELECTRE methods is discussed. Five main criteria (safety, value added, cost, suitability and technique), fourteen sub-criteria and four alternatives (corrective, periodic, condition-based and revision maintenance) have been determined to select the most appropriate maintenance strategy for the hose pulling machine. The results obtained were compared and the most appropriate maintenance strategy was selected.

Key Words

“Maintenance Strategy Selection, Multi-Criteria Decision Making Methods, Covid-19, Respiratory Devices”

1. Giriş

Bakım, şirketlerin kârlılığının istenen seviyenin üzerinde tutabilmesi ve üretimdeki sürekliliğin sağlayabilmesi amacıyla, makine ve ekipmanların beklenen performans seviyesini devam ettirebilmesi için ekonomik ömür boyunca yürütülen teknik, idari ve yönetsel faaliyetlerin bütününe denir. Bakım faaliyetlerinin temel amacı, tüm makine ve ekipmanların etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasını amacıyla oluşacak herhangi bir arızayı en kısa sürede gidermek ve beklenmeyen arızaları önlemektir. (Çamkoru ve Sayın, 2011)

Dünyada yaşanan olaylar ve gelişen teknoloji sonucunda değişen piyasa koşulları işletmeler arasında rekabeti arttırmaktadır. Bu rekabet ortamında özellikle üretim yapan işletmelerde sistemlerin küçük ya da büyük olması fark etmeksizin herhangi bir makine veya ekipmanlarda oluşacak ani ve beklenmedik arızalar planlanan üretim zamanının geç tamamlanması, istenilen ürün kalitesinin elde edilememesi ve üretimin durması gibi problemlerle üretim sistemini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu da üretim tesisleri için ek bir maliyet anlamına gelmektedir. Bu sebeple işletmeler bakımı üretimin temel proseslerinden biri haline getirerek üretimde sürekliliğin sağlanmasını, verimliliğin artırılmasını ve ek maliyetlerin engellenmesini sağlamaktadır. Bakımın planlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için her işletme kendine uygun bir bakım stratejisi belirlemelidir.

En uygun bakım stratejisinin belirlenmesi, sayıca fazla olan çok sayıda kriter ve alternatifin yanı sıra karmaşık parametreleri içerisinde barındırmasından dolayı bir çok kriterli karar verme problemidir. Çok kriterli karar verme için kullanılan yöntemler, sayıca fazla olan ve birbirlerinden farklı faktörlerin etkisini dikkate alarak en uygun seçeneği belirlemede karar vericiye yardım sağlar. İşletmeler, çok sayıda kriter ve alt kriter ile bu kriterlerin birbirleri arasındaki ilişkileri ve alternatiflerle olan ilişkileri dikkate alarak uygun yöntemlerle uygun bakım stratejilerini belirleyebilmektedir. (Cayir Ervural, vd. 2018)

Bu çalışma, Dünya'yı etkisi altına alan Covid-19 salgınında önemi her geçen gün artan ve yerli üretimi de olan solunum cihazlarının hortum devrelerini üreten bir medikal işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı; işletmenin üretim hattındaki ani durmaların önlenmesi, verimliliğin artırılması ve üretimin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Bu nedenle üretim hattının en kritik elemanı olan hortum çekme makinesi için bir bakım strateji seçimi problemi ele alınmıştır. Bulanık koşullar altında yapılan çalışmanın çözümünde Bulanık ANP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak tutarlı ve gerçeğe uygun sonuçların elde edilmesiyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür araştırmasına yer verilmiş, üçüncü bölümde en uygun bakım strateji seçimi için kullanılan yöntemlere detaylı olarak yer verilmiş, dördüncü bölümde ana ve alt kriterler açıklanmış, beşinci bölümde uygulamanın detaylarına yer verilmiş, altıncı bölümde sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için ilk yapılması gereken uygun bakım stratejisinin seçilmesidir. Literatüre bakıldığında üretim, petrol, madencilik gibi bir çok sektörde farklı yöntemler kullanılarak yapılan bakım strateji seçimi ve bakım planlama çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Sianturi vd. (1996) çalışmada; bir iplik fabrikası için kestirimci, periyodik ve düzeltici bakım olmak üzere üç uygulanabilir bakım alternatifi arasından en iyi bakım stratejisini seçmek için Bulanık AHP yöntemini kullanmıştır. Bevilacqua ve Braglia (2000), bir İtalyan petrol şirketinde en uygun bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Belirlenen 5 alternatif bakım yöntemini seçmek için makineler kritiklik analizine tabi tutulduktan sonra Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak en iyi bakım stratejisi seçilmiştir. Wang vd. (2007), çalışmada, bir elektrik santralinde farklı ekipmanlar için periyodik, düzeltici, kestirimci ve duruma dayalı bakım stratejileri arasından en iyi bakım stratejisi bulanık AHP yöntemi ile seçilmiştir. Zaeri vd. (2007) çalışmada; torna, freze, pres ve CNC makinelerinin bulunduğu bir imalat fabrikasında periyodik, düzeltici, kestirimci, duruma dayalı ve fırsatçı bakım yöntemleri arasından AHP yöntemini kullanılarak en uygun bakım stratejisi seçilmiştir. Jafari vd. (2008) tarafından ele alınan çalışmada, düzeltici bakım, periyodik bakım ve duruma dayalı bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisi seçimi için bulanık Delphi yöntemi ile SAW yöntemi birleştirilmiştir. Ilankumaran ve Kumanan (2009) tekstil endüstrisindeki çalışmada periyodik bakım, güvenilirlik merkezli bakım, duruma dayalı bakım ve kestirimci bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisini seçmek için kriterlerin ağırlıklarını hesaplamada AHP, alternatifleri sıralamada VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Önerilen yöntemin kabul edilebilir olduğundan emin olmak için TOPSIS yöntemini de uygulamışlardır. Görener (2013) bir imalat tesisi için yaptığı çalışmada, en uygun bakım stratejisini seçebilmek için emniyet, katma değer, maliyet, uygulanabilirlik ve diğer kriteri olmak üzere beş değerlendirme kriteri ve dört bakım alternatifi göz önüne alınmıştır. Çalışmada, en uygun alternatif bakım stratejisini seçmek için Bulanık-WSA ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Odeyale vd. (2013) imalat endüstrisinde düzeltici bakım, periyodik bakım ve kestirimci bakım olmak üzere üç alternatif arasından en uygun bakım stratejisi seçimini AHP yöntemini kullanarak yapmıştır. Özcan ve Eren (2014) bir doğalgaz çevrim santralinde enerji verimliliği üzerinde pozitif etkiye sahip olan bakım planlaması gerçekleştirmiştir. Santraldeki ekipmanların 9 kriter altında TOPSIS yöntemi ile kritiklik seviyeleri hesaplanmış ve 9 yıllık iş gücü ile bakım planı elde edilmiştir. Shafiee (2015) çalışmada, karmaşık bir sistem için ANP yöntemini kullanmıştır. Joshua vd. (2016) çalışmada, bir döküm endüstrisinde üretim verimliliğini artırmak için uygun bakım stratejisi ANP yöntemi ile seçilmiştir. Özcan vd. (2017) çalışmada, hidroelektrik santrallerinde bakım stratejisi seçim problemine odaklanmıştır. Hidroelektrik santrallerindeki binlerce ekipman arasından benzer etkilere sahip dokuz ekipman ve santral için en kritik ekipmanlar, TOPSIS ile

ağırlıklandırılan dokuz değerlendirme kriteri ile belirlenmiştir. Sonra AHP ile hesaplanan kriter ağırlıkları ve alternatif öncelikleri kullanılarak santralin gerçeklerini yansıtan hedef programlama modeli aracılığıyla seçilen her ekipman için bakım strateji kombinasyonları elde edilmiştir. Panchal vd. (2017) en uygun bakım stratejisinin seçimini Hindistan'daki bir gübre endüstrisi tesisinde yapmıştır. Duruma dayalı, kestirimci, periyodik, düzeltici ve güvenilirlik merkezli bakım alternatifleri arasından en uygun alternatifi seçmek için bulanık AHP ve bulanık CODAS yöntemleri birleştirilmiştir. Seiti vd. (2017), çelik haddeleme şirketi için AHP'ye dayanan risk temelli bir model geliştirilerek düzeltici, kestirimci, duruma dayalı, periyodik ve toplam üretken bakımdan oluşan 5 alternatif arasından uygun bir bakım stratejisi seçimi yapılmıştır. Hemmati vd. (2018) bir asit üretim tesisinde maliyet, risk ve katma değer etkisinin yanı sıra, bir asit imalat şirketinin farklı ekipmanlara uygun bakım stratejisi seçmek için uygulanabilir bir model oluşturulması amaçlamıştır. Çalışmada alternatifler olarak düzeltici, kapama, duruma dayalı ve periyodik bakım ele alınmıştır. Tesis için en uygun bakım stratejisini seçmek için bulanık ANP yöntemi kullanılmıştır. Yumuşak vd. (2018), bir hidroelektrik santrali için düzeltici bakım, periyodik bakım, kestirimci bakım ve revizyon bakım stratejileri arasından en uygun bakım stratejisinin seçilmesi amaçlanmıştır. Yedi elektriksel ekipman grubu üzerinde yapılan çalışmada hibrit bir AHP, TOPSIS ve Tam Sayılı Programlama metodolojisi kullanılmış ve her ekipman için farklı bir bakım stratejisi seçilmiştir. Kundakçı (2019) çalışmada bir imalat işletmesi için en iyi bakım strateji seçimi problemini ele almıştır. Bu problem, alternatifleri ve kriterleri belirli ifadelerle değerlendirmede belirsizlikler ve güçlükler içerdiğinden bulanık MOORA yöntemi kullanılmıştır. Kurian vd. (2019) çalışmada, Hindistan'daki bir çimento fabrikası için optimum bakım stratejisinin seçimini ANP yöntemi ile yapmıştır. Özcan vd. (2019), Türkiye'deki büyük hidroelektrik santrallerinden birinde 1330 elektriksel ekipman arasından en kritik ana ekipman grubu AHP-TOPSIS kombinasyonu ile belirledikten sonra bu ekipman grubu için önerilen tam sayılı programlama modeli ile en uygun bakım strateji kombinasyonu belirlenmiştir. Özcan vd. (2019) bir hidroelektrik santralinde bir bakım planlama çalışması yapmıştır. İlk olarak AHP-TOPSIS kombinasyonunu kullanarak santraldeki binlerce ekipmanın risk seviyeleri belirlenmiştir. Sonrasında periyodik ve revizyon bakım stratejileri için bütün ekipmanların departman tabanlı bakım planları yapılmıştır. Bu çalışma kullanılan yöntemlerin kombinasyonu ile literatürde bir ilk olmuştur. Özcan vd. (2020) bir hidroelektrik santrali için daha önceden yaptıkları çalışma yaptığı bakım strateji çalışması sonucu elde ettiği periyodik bakımın çizelgelemesi için 7 ana ekipman grubu belirlemiştir. Yapay sinir ağları kullanılarak santralin bir yıllık elektrik üretim tahmini yapılmıştır ve sonrasında 0-1 tam sayılı programlama kullanılarak beş farklı periyodik bakım türünün çizelgelemesi yapılmıştır. Özcan vd. (2020), 2018 yılı sonunda Türkiye'nin enerji talebinin beşte birlik kısmının karşılayan bir hidroelektrik santrali için bakım planlaması sorununu ele almıştır. İlk olarak kriterler belirlenerek kritiklik seviyeleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklar TOPSIS yönteminde kullanılarak en yüksek kritiklik düzeyine sahip 14 ekipman sıralanmıştır. YSA kullanılarak iki arıza arasındaki tahmini süre modellenmiş bir bakım planı oluşturulmuştur. Gençer vd. (2021) çalışmada, Ankara Metro'su'nun önceki yıllara ait bakım verilerini incelemiş ve Yapay Sinir Ağı modelini kullanarak her ekipmanın türüne göre arızayı etkileyen faktörler tespit etmiştir. Sonrasında ekipman arıza sıklığına göre 10 haftalık bir bakım planlaması yapılmıştır. Çalışma sonucunda trenlerin ortalama arıza süresi %27 azalırken, kesintisiz hizmet süresi %40 oranında artış göstermiştir. Özcan vd. (2021) Türkiye'deki önemli hidroelektrik santrallerinden birinde etkin bir bakım yönetimi yapmak amacıyla öncelikle binlerce ekipman arasındaki en kritik grup AHP-TOPSIS kombinasyonu ile belirlenmiştir. Daha sonra seçilen grup için önleyici, düzeltici, kestirimci ve revizyon bakım stratejileri arasından en uygun olanı literatürde az kullanılan PROMETHEE yöntemiyle belirlenerek %100 iyileştirme sağlanmıştır.

Literatüre genel olarak bakıldığında; üretim sektöründe tek makine için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak yapılan bakım strateji seçimi çalışmaları bulunmaktadır. Ancak tıbbi ürünler üreten bir işletmede yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın solunum cihazlarının hortum devrelerini üreten bir işletmede yapılmış olması diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır. Ayrıca çalışmalarda farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin kombinasyonları kullanılmasına rağmen Bulanık ANP, TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bir çalışma bulunmadığı için bu çalışma bir ilk olmuştur.

3. Kullanılan Yöntemler

Literatüre bakıldığında; bakım strateji seçimi çalışmalarında çoğunlukla kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi, alternatiflerin sıralanmasında ise TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise problemin yapısında birbiriyle ilgili ana ve alt kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericilerin dilsel ifadelerindeki belirsizliklerin daha anlaşılır hale getirilmesine olanak veren ve bu kriterler arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir ağ yapısıyla kolaylıkla değerlendirilmesi için Bulanık ANP yöntemi kullanılmıştır. Bulanık ANP yönteminin kullanılması klasik ANP'ye göre daha etkili ve gerçek hayatla daha tutarlı sonuçların elde edilmesini sağlar.

Bulanık ANP'den elde edilen sonucun kabuledilebilir olduğundan emin olmak için TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri de uygulanarak sıralaması yapılmıştır. TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri ilk sıradaki alternatifin seçilmesine ve diğer alternatiflerin de sıralanmasına olanak sağlayan, etkinlik seviyeleri yüksek olan sıralama algoritmalarıdır. Literatürde farklı karar problemlerinde karar etkinliği temelinde sağladıkları, tutarlı sonuçları sunma, uygulama kolaylığı, nitel ve nicel değer yargılarını yansıtabilme ve farklı ağırlıklara sahip değerlendirme kriterlerini işleyişlerine yansıtma gibi avantajlardan dolayı sıklıkla kullanılmaları (Velasquez ve Hester,2013) bu yöntemler seçilmiştir.

3.1. Bulanık ANP

Bulanık ANP'nin çözümünde Chang'ın (Chang, 1996) önermiş olduğu *Genişletilmiş Analiz Yöntemi Algoritması* kullanılır. Bu yöntemde göre, $X=\{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ nesne seti ve $G=\{g_1,g_2,\dots,g_m\}$ amaç seti olarak tanımlanmaktadır. Yöntem, her bir nesneyi ele

olarak g_i değerleri oluşturmakta ve her bir nesne için m genişletilmiş analiz değerleri, $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, i=1,2,\dots,n$ şeklindedir. M_{gi}^j ($j=1,2,\dots,m$) değerleri üçgen bulanık sayıları ifade etmektedir. Yöntemi 4 adımdan oluşur ve bu adımlar sırasıyla açıklanmıştır:

Adım 1: i . nesneye göre bulanık genişleme değeri eşitlik (1) gibi hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_j^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\sum_j^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

ve elde etmek için M_{gi}^j ($j=1,2,\dots,m$) değerleri üzerinde bulanık işlemler yapılır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_j^m M_{gi}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (3)$$

Yukarıdaki işlemlerden sonra eşitlik (3)'teki vektörün tersi (4)'teki eşitlik ile hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_j^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i} \right) \quad (4)$$

Adım 2: $M_2=(l_2, m_2, u_2) \geq M_1=(l_1, m_1, u_1)$ olasılık derecesinin hesaplanması $(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$ veya eşdeğeri kabul edilen (5) ile yapılır.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

d, μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasında yer alan en yüksek kesişimin ordinatıdır. M_1 ve M_2 'yi karşılaştırmak için, $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerleri gereklidir.

Adım 3: M_i ($i=1,2,\dots,k$) k konveks bulanık sayılardan daha büyük konveks bir bulanık sayının olabilmesi için olasılık derecesi şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] = \min(M \geq M_i) \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (7)$$

Varsayıldığında $k=1,2,\dots,n$; $k \neq i$ için, ağırlık vektörü şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (8)$$

Burada, A_i ($i=1,2,\dots,n$) n tane elemandan oluşmaktadır.

Adım 4: Normalize edilmiş ağırlık vektörü eşitlik (9) kullanılarak tanımlanmaktadır:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (9)$$

Bulunan W değeri bulanık bir sayı değil nümerik bir sayıdır.

3.2. TOPSIS

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi, nümerik verilerin kullanıldığı ve uygulanması sonucunda gerçekçi sonuçlar veren bir yöntemdir. 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. TOPSIS yöntemi ile alternatifler arası sıralama yapılmaktadır. Sıralama, seçilecek olan alternatifin ideal çözüme olan en yakın mesafesi ve negatif ideal çözüme olan en uzak mesafesinin belirlenmesi ile gerçekleştirilmektedir (Özcan vd. , 2017). TOPSIS yöntemini oluşturan 7 adım aşağıda açıklanmıştır;

Adım 1. Karar matrisinin oluşturulması: Üstünlüklerinin sıralanması için alternatifler karar matrisinin satırında yer alırken, en uygun alternatife karar vermede etkili olan kriterler sütünlarda yer almaktadır.

Adım 2. Standart karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisinin elemanlarının kullanılması ve aşağıda verilen eşitlik (10) yardımıyla oluşturulur.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (10)$$

Adım 3. Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması: Kriterler, standart karar matrisinin elemanları kriterlerin önem derecesine göre ağırlıklandırılır. Bütün ağırlıkların kümülatif toplamı 1'e eşit olmalıdır. Standart karar matrisinin sütunlarındaki her bir değer bulunan kriter ağırlıkları ile çarpılmasıyla ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

Adım 4. İdeal (A) çözümün ve negatif ideal (A-) çözümün oluşturulması:* Ağırlıklı standart karar matrisinin her sütunu için en büyük değer seçilerek ideal (A*) çözüm seti, en küçük değer seçilerek negatif ideal (A-) çözüm seti bulunur.

Adım 5. Ayırım ölçütlerinin (S_i^{} ve S_i⁻) hesaplanması:* Aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla ağırlıklı standart karar matrisindeki her bir karar noktasının değerlendirme faktörünün ideal çözüm ve negatif ideal çözüm setinden sapma miktarları hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (11)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (12)$$

Adım 6. İdeal çözüme göreli yakınlığın (C_i^{}) hesaplanması:* Hesaplanan ayırım ölçütlerinin kullanılmasıyla ideal çözüme göreli yakınlık eşitlik (13) yardımıyla hesaplanır. C_i^{*} değeri 0 ile 1 arasından bir değer almalıdır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (13)$$

3.3. ELECTRE

ELECTRE yöntemi, ilk kez 1966 yılında Benayoun tarafından; çeşitli alternatifler için belirlenen kriterlere göre uyum veya uyumsuzlukların her bir kriter için belirlenmiş eşik değerleri kullanılarak değerlendirme yapılan bir yöntem olarak ortaya konulmuştur. Daha sonraki çalışmalarda eksikliklere göre alternatifler arasında seçimin yapılmasında, alternatiflerin sıralanmasında veya alternatiflerin gruplanmasında yardımcı olan ELECTRE II, III, IV, TRI gibi farklı türleri geliştirilmiştir. Alternatiflerin sıralanmasını ve seçiminin yapılması açısından kolaylık sağladığından her sektörde tercih edilen bir yöntemdir (Tunca vd. 2015).

Adım 1. Karar matrisinin oluşturulması : Üstünlüklerinin sıralanması için alternatifler karar matrisinin satırında yer alırken, en uygun alternatife karar vermede etkili olan kriterler sütünlarda yer almaktadır.

Adım 2. :Standart karar matrisinin oluşturulması: Karar matrisinin elemanları kullanılarak problemde hesaplanmak istenen maliyetkriteri ya da fayda kriteri için aşağıda verilen eşitlikler kullanılır.

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (a_{kj})^2}} \quad (14)$$

$$X_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{a_{kj}}\right)^2}} \quad (15)$$

Adım 3. Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması: Kriterler, standart karar matrisinin elemanları kriterlerin önem derecesine göre ağırlıklandırılır. Bütün ağırlıkların kümülatif toplamı 1'e eşit olmalıdır. Standart karar matrisinin sütunlarındaki her bir değer bulunan kriter ağırlıkları ile çarpılmasıyla ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

Adım 4. Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin belirlenmesi: Ağırlıklı standart karar matrisi kullanılarak belirlenen uyum indekslerinin her alternatif için ikili kıyaslamalarda kullanılabilmesi amacıyla kriterler iki ayrı küme şeklinde ayrılır. A_p ve A_q ($1, 2, \dots, m$ ve $p \neq q$) uyum kümesinde A_p, A_q 'ya tercih edilir.

$$C_{(p,q)} = \{j | V_{pj} \geq V_{qj}\} \quad (16)$$

A_p, A_q 'dan daha kötü bir alternatif ise uyumsuzluk kümesi oluşturulur.

$$D_{(p,q)} = \{j | V_{pj} < V_{qj}\} \quad (17)$$

Uyum küme sayısı ile uyumsuzluk küme sayısı eşittir.

Adım 5. Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması: Uyum ve uyumsuzluk kümeleri kullanılarak uyum matrisinin oluşturulur. Matrisinin elemanları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$C_{pq} = \sum_{j^*} w_{j^*} \quad (18)$$

$$D_{pq} = \frac{(\sum_{j=0} |v_{pj^0} - v_{qj^0}|)}{(\sum_{j=0} |v_{pj^0} - v_{qj^0}|)} \quad (19)$$

Adım 6. Üstünlük karşılaştırmasının yapılması: Uyum ve uyumsuzluk indeksleri hesaplanmasından sonra alternatiflerin ikişerli olarak birbirine göre baskınlığını belirlemek için üstünlük karşılaştırması yapılmalıdır. Bu amaçla C ve D değerlerinin ortalamaları (\bar{C} ve \bar{D}) hesaplanır.

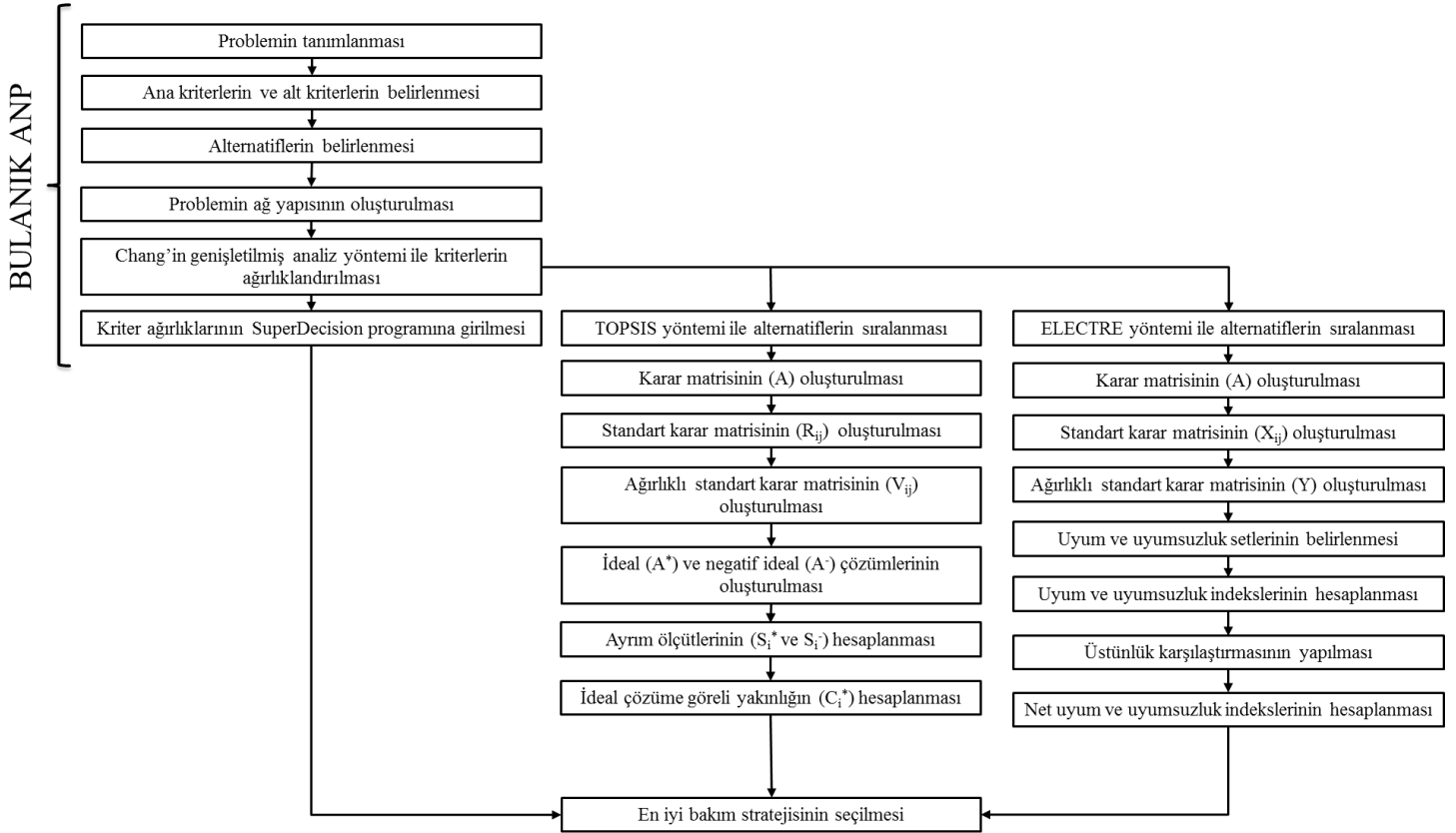
Adım 7. Net uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması: Aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak C_p ve D_p değerleri hesaplanır. C_p değerleri büyükten küçüğe, D_p değerleri ise küçükten büyüğe doğru sıralanır. En büyük "C" değeri ve en küçük "D" değerinin seçilmesiyle son sıralama oluşturulur.

$$C_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m C_{kp} \quad (20)$$

$$D_p = \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{pk} - \sum_{k=1, k \neq p}^m D_{kp} \quad (21)$$

4. Uygulama

Bu çalışma Ankara'da solunum cihazları için hortum devreleri üreten bir medikal işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bu işletmenin seçilmesindeki amaç COVID-19 salgını kapsamında hastanelerin yoğunlukla ihtiyaç duyduğu ve yerli olarak da üretilen solunum cihazlarının üretiminin aksamamasıdır. İşletmedeki bütün üretilen hortumların hammaddeden ürüne dönüştürüldüğü yer hortum çekme makinesidir. Makinenin üretimde öneminin çok büyük olduğu için herhangi bir arızanın meydana gelmesi üretimin durmasına ve siparişlerin gecikmesine sebebiyet vermektedir. Bu sebeple işletmenin en kritik makinesi olan hortum çekme makinesi için bir bakım strateji seçimi yapılması problemi ele alınmıştır. Problemin çözümünde güvenlik, katma değer, maliyet, uygunluk ve teknik kriterlerine bağlı 14 alt kriter ve düzeltici bakım, periyodik bakımı duruma dayalı bakım ile revizyon bakım olmak üzere 4 alternatif seçilerek uygun olan çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışma için problemin akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Problemin Akış Diyagramı

4.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesinde; işletme başmühendisi ile görüşülerek ve bakım strateji seçimi ile ilgili yapılan önceki çalışmalardaki kriterler incelenerek çalışmaya uygun olan 5 ana kriter ile 16 alt kriter belirlenmiştir. Ancak; Güvenlik ana kriterinin “Ürün Güvenliği” ve Teknik ana kriterinin alt kriteri olan “Ekipman Desteği” kriterleri bütün alternatifler için aynı olması nedeniyle çıkartılmıştır ve 14 alt kriterle uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışma için belirlenen ana ve alt kriterler Tablo 1’de ifade edilmiştir.

Tablo 1. Ana ve Alt Kriterler

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Kriter Açıklaması
A. Güvenlik	A1. Personel Güvenliği	İşletmede bir arıza gerçekleştiğinde ya da arızadan kaynaklanan bir olay sonucu personelin zarar görmesi
	A2. Tesis Güvenliği	İşletmede bir arıza gerçekleştiğinde ya da arızadan kaynaklanan bir olay sonucu tesiste meydana gelen zarar
B. Katma Değer	B1. Yedek Parça Stoğu	İşletmelerde bulunan makine ve ekipmanların, bakım veya onarımı aşamasında gerekli yedek parçaların stokta tutulmasının maliyeti (Bevilacqua ve Braglia, 2000)
	B2. Üretim Kayıpları	Kritik olan makine veya ekipmanın arızalanmasının üretime etkisi
	B3. Ürün Kalitesi	Makinede veya ekipmanda oluşabilecek herhangi bir arıza üretim aşamasındaki ürünün kalitesine etkisi (Momeni vd. , 2011)
C. Maliyet	C1. Donanım Maliyeti	Bakım-onarım esnasında veya arıza tespitinde kullanılan; cihazları tamamının maliyeti (Görener, 2012)
	C2. Yazılım Maliyeti	Bakım- onarım esnasından veya arıza tespiti aşamasında elde edilen verilerin analizinin yapılması için kullanılan aletlerin yazılımlarının maliyeti
	C3. Eğitim Maliyeti	Seçilen bakım stratejisinin uygulanmasında görevli olan personellerin tabi tutulacak eğitimlerin maliyeti
D. Uygunluk	D1. Kabul Görme	Seçilen bakım stratejisinin yöneticiler ve işletme personelleri için kolay anlaşılmalı, mümkün olduğunca çabuk benimsenmeli ve uygulanma açısından zor olmamalı.
	D2. Finansal Kaynak	Seçilen bakım stratejisini uygulamak için gerekli parasal kaynaklar

Tablo 2 (devam). Ana ve Alt Kriterler

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Kriter Açıklaması
E. Teknik	E1. Makine Önemi	Seçilen bakım stratejisinin uygulanacağı makinenin tesisin üretimini devam ettirebilmesi açısından önemi
	E2. Teknik Güvenilirlik	Bakım stratejisinin uygulanabilmesi için gerekli olan altyapının olmasını ve stratejinin teknik açıdan ne kadar güvenilir olduğu
	E3. Arızalar Arası Süre	Makine ve ekipmanın arızaları arasında geçen ortalama süre
	E4. Bakım Süresi	Seçilen bakım stratejisinin uygulanması için gerekli olan süre

4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Literatürdeki bakım strateji seçimi çalışmalarında genel olarak periyodik bakım, duruma dayalı bakım, toplam üretken bakım, kestirimci bakım, düzeltici bakım gibi alternatifler kullanılmıştır. Bu çalışmada hortum çekme makinesi için uygulanacak bakım stratejisi seçimi için uygulamaya katkı sağlayan işletme başmühendisinin önerileri ve literatür araştırması ile işletmenin genel durumu da göz önüne alınarak düzeltici(arizi) bakım, periyodik bakım, duruma dayalı bakım ve revizyon bakım olmak üzere 4 alternatif belirlenmiştir.

4.2.1. Düzeltici (arizi) bakım

Tesislerde kullanılan makinelerin ve ekipmanların; fiziksel özellikleri ile çalışma fonksiyonlarının gerektirdiği durumlara göre, belirli ölçme ve değerlendirme teknikleri kullanılarak, arıza oluşumunu engellemek amacıyla önceden arızayı öngörmeye dayalı bir bakım uygulamasıdır (<http://kontrolmedya.com/bakim-onarim-ve-onemi/> Erişim Tarihi: 01. 01. 2021/20:42).

4.2.2. Periyodik bakım

Makinelerin uzun sürede çalışmasını hedefleyen, ekipmanların çalışma süresinin uzatılması ve ani durmaların azalmasını sağlayan, planlı olarak yapılan bir bakım türüdür. Diğer bakım stratejileri arasında periyodik bakım en verimli ve en güvenli olanıdır. Bu bakım stratejisinde, arızaların veya ani durmaların olmasını beklenmeden periyodik olarak yapılan bakım ile olması mümkün arızalar önlenmektedir (<http://kontrolmedya.com/bakim-onarim-ve-onemi/> Erişim Tarihi: 01. 01. 2021/20:42).

4.2.3. Duruma dayalı bakım

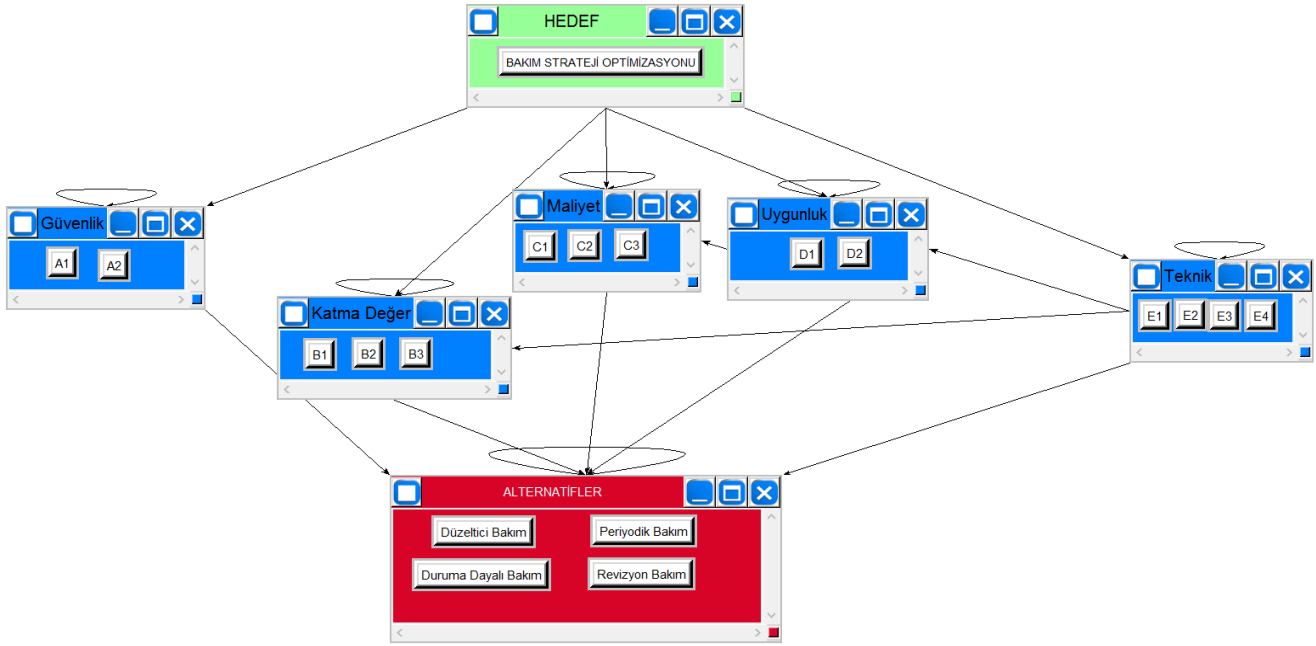
Duruma dayalı bakım stratejisinde bir dizi ölçüm ve veri toplama sistemi ile makine performansları gerçek zamanlı izlenir ve bakım kararı verilir (Bevilacqua ve Braglia, 2000). Çalışma koşullarının sürekli izlenmesi, makine/ekipmanların mevcut durumlarına göre bakım kararları alınmasını sağlar. Böylece bu bakım stratejisinde gereksiz bakımdan kaçınarak makine/ekipmanın arızadan hemen öncesine kadar çalışması sağlanmış olur (Al-Najjar ve Alsyouf, 2003).

4.2.4. Revizyon bakım

Belirli bir çalışma saatini tamamlayan makine veya ekipmanın gerekli bakımının yapılması veya gerekli görülen parçaların değiştirilmesi gibi çalışmaların yapıldığı bakım türüdür. Revizyon bakımdan çıkan makine veya ekipman yeni gibi işlevine devam eder. Bakım stratejileri arasında en kapsamlı ve en zor olanı revizyon bakımdır. Uygulanması için yüksek yatırım maliyetleri gereklidir. Ayrıca bakımı yapan personelleri geniş bilgi birikimine ve tecrübeye sahip olması gerekmektedir. Ancak revizyon bakımının uygulanması sonucunda etkili sonuçlar elde edilir.

4.3. Bulanık ANP Yöntemi

Kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra daha önce yapılmış çalışmaların ışığında ve işletme başmühendisi ile görüşülmesi sonucunda en uygun bakım stratejisinin seçimi için problemin ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu ağ yapısında, uygulamanın hedefi olan "Bakım Strateji Seçimi" tüm ana kriterler ile ilişkili olduğu için tek yönlü oklarla bağlanmıştır. Ayrıca bütün ana kriterler de kendi alt kriterleriyle ilişkili olduğu için dönel ok yardımıyla bağlanmıştır. Uygunluk ana kriterinin *Finansal Kaynak(D2)* alt kriteri Maliyet ana kriteri ile, Teknik ana kriterinin *Bakım Süresi(E4)* alt kriteri Uygunluk ana kriteri ile ve Teknik ana kriterinin *Makine Önemi(E1)* alt kriteri Katma Değer ana kriteri ile ilişkili olduğu için birbirlerine bağlanmıştır. Ayrıca bütün ana kriterler alternatifler ile ilişkili olduğu için tek yönlü oklar yardımıyla bağlanmasıyla oluşturulan ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Ana ve alt kriterler arasındaki ağ yapısı

Ağ yapısının oluşturulmasından sonra ana ve alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak karar verici grubu tarafından değerlendirilmiştir. Karar vericilerin değerlendirme yaparken dilsel ifadeler kullanması çalışmanın bulanık bir çok kriterli karar verme çalışması olmasına sebebiyet vermiştir. Elde edilen dilsel ifadelerin uygun olduğu bulanık set seçilerek Tablo 2’de gösterilmiştir. Karar vericilerin değerlendirmesi sonucu elde edilen dilsel ifadeler karşılık geldikleri bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Chang’ın Genişletilmiş Analiz Yöntemi Algoritması kullanılarak ikili matrislerde her ana ve alt kriterin ağırlıkları bulunmuştur. Kriterlerin ağırlıkları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Dilsel İfadeler ve Üçgen Bulanık Set (Kahraman vd. 2004)

Dilsel İfadeler	Önem Derecesi	Önem Derecesinin Eşiti
Eşit Önemli	(1,1,1)	(1,1,1)
Daha Önemli	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Çok Daha Önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok Fazla Önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Kesin Önemli	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

Tablo 4. Kriter Ağırlıkları

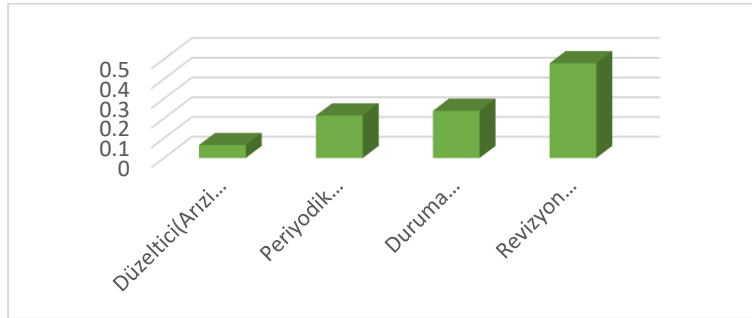
Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriter Önem Ağırlıkları	Kriter Genel Ağırlıkları
A. Güvenlik	0,169		
A1. Personel Güvenliği		0,599	0,120
A2. Tesis Güvenliği		0,401	0,080
B. Katma Değer	0,097		
B1. Yedek Parça Stoğu		0,515	0,103
B2. Üretim Kayıpları		0,417	0,083
B3. Ürün Kalitesi		0,068	0,014
C. Maliyet	0,255		
C1. Donanım Maliyeti		0,466	0,093
C2. Yazılım Maliyeti		0,347	0,069
C3. Eğitim Maliyeti		0,186	0,037

Tablo 5 (devam). Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriter Önem Ağırlıkları	Kriter Genel Ağırlıkları
D. Uygunluk	0,276		
D1. Kabul Görme		0,799	0,160
D2. Finansal Kaynak		0,201	0,040
E. Teknik	0,202		
E1. Makine Önemi		0,480	0,096
E2. Teknik Güvenilirlik		0,292	0,058
E3. Arızalar Arası Süre		0,207	0,041
E4. Bakım Süresi		0,021	0,004

Tablo 3’de görüldüğü gibi, hortum çekme makinesi için bakım strateji seçiminde ağırlığı en yüksek olan ana kriter %27.6 ile “Uygunluk” kriteridir. Onu %25.5 ile “Maliyet”, %20.2 ile “Teknik” ve %16.9 ile “Güvenlik” kriteri takip etmektedir. En düşük ağırlığa sahip kriter ise %9.7 ile “KatmaDeğer” kriteridir. Tablo 3’de alt kriterlere bakıldığında en önemli alt kriterin %16 ile “Kabul Görme” dir. Onu %12 ile “Personel Güvenliği” alt kriteri takip etmektedir. Elde edilen sonuçların gerçek hayattaki tutarlılığı karşılaştırıldığında seçilen bakım stratejisinin işletmenin yapısı ve hortum çekme makinesi için uygun olması diğer kriterlere göre daha fazla önem arz etmektedir. Uygunluktan sonra seçilen stratejinin gerçekleştirilmesi için katlanılması gereken maliyetin önemi de fazladır. Gerçek hayatla tutarlı sonuçların elde edilmesi sonucun geçerli olduğunu göstermektedir.

Kriter ağırlıklandırılmadan sonra her ana ve alt kriter için 4 alternatifle arasında olan ilişkiler ile ikili karşılaştırma matrisler oluşturularak karar verici grubu tarafından Tablo 2’deki dilsel ifadelerle değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen ifadeler bulanık sayılara dönüştürülerek Chang’ın Genişletilmiş Analiz Yöntemi Algoritması ile hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve kriter ağırlıkları Super Decision paket programına manuel olarak girilerek alternatiflerin sıralanması gerçekleştirilmiştir. Sıralama sonucu Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Bulanık ANP Sonucu Alternatiflerin Sıralanması

Bulanık ANP alternatif sıralaması için Şekil 3’e bakıldığında hortum çekme makinesi için bakım stratejileri arasında “Revizyon Bakım”ın ilk sırada olduğu, “Düzeltici(Arzi) Bakım”ın son sırada olduğu görülmektedir. Elde edilen alternatiflerin sıralanmasında hem etkili sonuçlar vermesi hem de hortum çekme makinesi için uygunluğu açısından karar verici grup tarafından beklenen bir sıralama olduğu ifade edilmiştir.

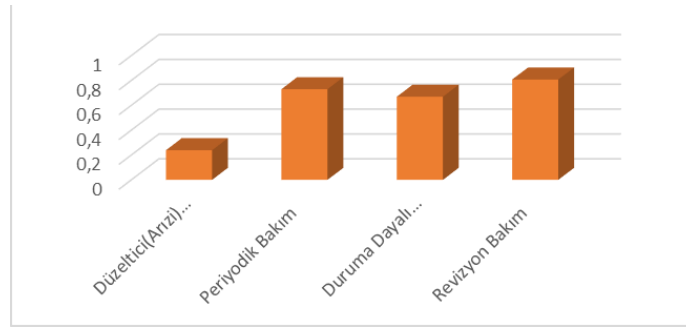
4.4. TOPSIS Yöntemi

Tablo 6. Karar Matrisi

	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3	E4
ALT. 1	1	1	2	2	2	6	6	10	1	8	1	1	2	6
ALT. 2	9	9	8	9	8	3	2	6	9	6	10	10	5	10
ALT. 3	8	8	6	5	6	5	4	6	7	7	9	9	8	7
ALT. 4	10	10	9	10	9	4	3	6	10	3	10	10	10	9

Bakım strateji seçimini etkileyen ana ve alt kriterlerin önem dereceleri Bulanık ANP yöntemi ile belirlenmiştir. Kriterlerin önem dereceleri, alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile sıralanmasında kullanılmıştır. TOPSIS yönteminde kullanılan kriterlerin önem dereceleri Tablo 3’de gösterilmektedir. TOPSIS yönteminde kullanılacak olan karar matrisi satırlara alternatiflerin sütunlara da kriterlerin yazılması ile oluşturulmuş ve karar verici grubu tarafından 1-10 puan skalası kullanılarak değerlendirilmiştir. Ortak bir değerlendirme puanı kullanılması amacıyla elde edilen puanların geometrik ortalaması alınmıştır. Oluşturulan karar matrisi Tablo

4'te gösterilmektedir. Bulanık ANP'de hesaplanan kriter ağırlıkları ve standart karar matrisi çarpılarak ağırlıklandırılmış standart karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris kullanılarak ideal çözüm ile negatif ideal çözüm setleri hazırlanmış ve sapma miktarları hesaplanmış, çözüm setlerine olan yakınlıklar sıralanmıştır. Diğer bir ifadeyle hortum çekme makinesi için uygulanacak bakım strateji alternatiflerinin sıralaması elde edilmiştir. Şekil 4 'de bulunan alternatiflerin sıralaması elde edilmiştir.



Şekil 4. TOPSIS Sonucu Alternatiflerin Sıralanması.

Şekil 4 incelendiğinde ana ve alt kriterler dikkate alınarak, %85 ile en yüksek orana sahip olan “Revizyon Bakım” TOPSIS yöntemi tarafından en uygun alternatif olarak sunulmaktadır. Elde edilen sıralamada %23 ile en düşük orana sahip olan “Düzeltici(Arızı) Bakım” alternatifinin en son sırada olduğu görülmektedir.

4.5. ELECTRE Yöntemi

TOPSIS yönteminde kullanılan karar matrisi ELECTRE yönteminde de kullanılmıştır. Öncelikle karar matrisi normalize edilerek standart karar matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra Bulanık ANP yönteminde bulunan kriterler ile standart karar matrisindeki değerler çarpılmış ve ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmuştur. Ağırlıklı standart karar matrisi kullanılarak 4 alternatif her bir kritere göre tek tek karşılaştırılmış, bunun sonucunda uyum kümesi ve uyumsuzluk kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan kümelerden yararlanılarak uyum (C) ve uyumsuzluk (D) indeksleri hesaplanmış, alternatiflerin birbirlerine göre üstünlük karşılaştırmaları yapılmıştır. Net uyum ve net uyumsuzluk indeksleri hesaplandıktan sonra net uyum (C) indeksleri küçükten büyüğe ve net uyumsuzluk (D) indeksleri büyükten küçüğe sıralanmıştır. Net uyum ve uyumsuzluk indeksleri ile sıralama sonucu Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 7. Net Uyum ve Uyumsuzluk İndeksleri

C1	-1,47583	D1	2,06573
C2	0,19101	D2	-0,22562
C3	-0,51157	D3	0,36303
C4	1,79639	D4	-2,08180

(C) değeri en büyük olan ve (D) değeri en küçük olan alternatif “en iyi bakım strateji alternatifi” olarak belirlenmiştir. TOPSIS yönteminde elde edilen sıralama sonucuyla aynı sıralama elde edilmiştir. Tablo 6'da verilen sıralama sonucuna göre ilk sıradaki “Revizyon Bakım” en iyi alternatif olarak görülürken “Düzeltici (Arızı) Bakım” son sıradaki alternatif olmuştur.

Tablo 8. ELECTRE Sonucu Alternatiflerin Sıralanması

Cp'ye göre sıralama	Dp'ye göre sıralama	Son sıralama
C4	D4	Revizyon Bakım
C2	D2	Periyodik Bakım
C3	D3	Duruma Dayalı Bakım
C1	D1	Düzeltici(Arızı) Bakım

4.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada üç farklı çok kriterli karar verme yöntemi olan Bulanık ANP, TOPSIS ve ELECTRE için uygulamalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen nihai sonuçları Tablo7'de gösterilmektedir.

Tablo 9. Sonuçların Karşılaştırılması

Alternatifler	Bulanık ANP	TOPSIS	ELECTRE
Düzeltilici(Arızı) Bakım	4	4	4
Periyodik Bakım	3	2	2
Duruma Dayalı Bakım	2	3	3
Revizyon Bakım	1	1	1

Tablo 7'ye bakıldığında alternatiflerin sıralanmasında TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin sonucunda sıralamaların aynı olduğu görülmektedir. Elde edilen alternatif sıralamalarının aynı çıkması, değerlendirilen kriterlerin birbirlerine yakınlığının çok fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bulanık ANP yönteminde elde edilen sıralamada ise sadece iki alternatifin yer değiştirdiği görülmektedir. Bu üç sıralama sonucunda ilk sırada “Revizyon Bakım” yer alırken son sırada “Düzeltilici(Arızı) Bakım” olduğu görülmüştür. Revizyon bakımın arızalar arasındaki süreyi kısaltması, teknik güvenilirliğinin yüksek olması ve güvenlik açısından diğer alternatiflere oranla daha iyi olması ile makine için en iyi alternatif olduğu düşünüldüğü için ilk sırada yer almıştır. Buna göre, kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinde tutarlı bir şekilde “Revizyon Bakım”ın en iyi alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

5. Sonuç

Dünya koşullarının giderek değişmesi sonucunda özellikle üretim yapan işletmeler arasındaki rekabet artmaktadır. Bu rekabet ortamında işletmeler makine ve ekipmanları korumaya, böylelikle üretimdeki sürekliliği sağlamaya daha fazla önem vermeye başlamıştır. Makine/ekipmandaki beklenmedik arızaların üretimdeki durmalara ve maddi kayıplara sebebiyet vermektedir. Üretimdeki bir makine ve ekipmanın ekonomik ömrü boyunca işlevine devam etmesi ve sürekliliği sağlaması için bir dizi bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bakım faaliyetlerinin planlı bir şekilde, zaman ve maliyet kaybı yaşanmadan gerçekleştirilebilmesi için uygun bakım stratejisinin seçilmesi en önemli unsurdur.

Bu çalışmada, solunum cihazları için hortum devreleri üreten bir medikal işletmesinin üretim hattındaki en önemli elemanı olan hortum çekme makinesi için uygun bakım stratejisinin seçilmesi problemi ele alınmıştır. Çalışmanın Covid-19 salgını kapsamında bir medikal işletmesinde gerçek verilerin kullanılarak yapılması literatürdeki diğer çalışmalardan farkını ortaya koymaktadır.

Çalışmada öncelikle işletme başmühendisinin önerileri ve literatürdeki çalışmaların ışığında problem için en uygun kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Daha sonra Chang'ın genişletilmiş analiz yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen kriter ağırlıkları Bulanık ANP yönteminde kullanılarak alternatiflerin sıralanması yapılmıştır. Bulanık ANP yönteminde elde edilen sonucun kabul edilebilir olduğundan emin olmak amacıyla TOPSIS ve ELECTRE yöntemlerinin de uygulaması ile hortum çekme makinesi için en uygun bakım stratejisinin seçimi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda hortum çekme makinesi için en uygun bakım stratejisi “Revizyon Bakım” olarak seçilmiştir. Revizyon bakım ile oluşabilecek arızaların sıklığı, ortalama bakım süresi ve üretimdeki kayıplar azaltılması sağlanabilecektir.

İleride yapılacak çalışmalarda belirlenen kriterlere ve alternatiflere yenileri eklenerek sayıları arttırılabilir. Ayrıca makine/ekipman sayısı çoğaltılarak bakım strateji seçimi uygulaması gerçekleştirilebilir. Problemin yapısına göre farklı bulanık yöntemler ve bulanık setler ile modellenebilir. Ayrıca işletmedeki maliyet ve zaman kayıplarının önüne geçmek için bakım strateji seçimi ve bakım planlaması birleştirilerek daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

Referanslar

- Al-Najjar B., Alsayouf, I., (2003) “ Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making”, *International Journal of Production Economics*, 84(1), 85–100.
- Bevilacqua M., Braglia M., (2000), “The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection”, *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83.
- Cayir Ervural B., Evren R., Delen D., (2018), “A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning”, *Renewable Energy*, 126, 387–402.
- Chang D.Y., (1996), “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649–655.
- Çankoru A.M., Sayın V.O., (2011), “Bakım Maliyeti Yönetimi”, “Mühendis ve Makine Dergisi”, 53(635), 16-21.
- Emovon I., Norman R. A., Murphy, A. J., (2018) “Hybrid MCDM based methodology for selecting the optimum maintenance strategy for ship machinery systems”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(3), 519–531.
- Gençer M.A., Yumuşak R., Özcan E., Eren T., (2021), “An Artificial Neural Network Model for Maintenance Planning of Metro Trains”, *Politeknik Dergisi, Erken Görünüm*.

- Görener A. (2013) “Bir imalat işletmesine bakım stratejisinin belirlenmesi”, TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, 53(627), 51-62.
- Görener A., (2012), “ Bakım stratejilerinin bulanık karar ortamında seçimi için WSA ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması”, Journal of Engineering and Natural Sciences, (216), 159–177.
- Hemmati N., Rahiminezhad Galankashi M., Imani D. M., Farughi H., (2018), “Maintenance policy selection: a fuzzy-ANP approach”, Journal of Manufacturing Technology Management, 29(7), 1253–1268.
- Hwang CL ve Yoon K., (1981), “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications.” ,Springer-Verlag.
- Iangkumaran M., Kumanan, S., (2009), “Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach”, Journal of Manufacturing Technology Management, 20(7), 1009–1022.
- Jafari A., Jafarian M., Zareei A., Zaerpoor, F., (2008), “Using Fuzzy Delphi Method in Maintenance Strategy Selection Problem”, Journal of Uncertain Systems, 2(4), 289–298.
- Joshua J., Mathew S.G., Harikrishnan A.R., (2016), “Selection of an maintenance strategy for improving the production efficiency in a casting unit”, IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering, 3(2), 138-141.
- Kahraman C., Cebeci U., Ruan D., (2004), “Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: The case of Turkey. International Journal of Production”, European Journal of Science and Technology Economics, 87(2), 171–184.
- Kundakçı N., (2019), “ Selection of Maintenance Strategy For a Manufacturing Company with Fuzzy Moora Method”, 2nd International Conference on Business, Management & Economics, Vienna/Austria.
- Kurian M.C., Shalij P.R., Pramod V.R., (2019), “Maintenance strategy selection in cement industry using analytic network process”, Journal of Quality in Maintenance Engineering.
- Momeni M., Fathi M. R. , Zarchi M. K., Azizollahi S., (2011) “A Fuzzy TOPSIS-Based Approach to Maintenance Strategy Selection: A Case Study”, Middle-East Journal of Scientific Research, 8 (3), 699-706.
- Odeyale S. O., Alamu O. J., Odeyale, E. O., (2013), “The Analytical Hierarchy Process Concept for Maintenance Strategy Selection in Manufacturing Industries”, The Pacific Journal of Science and Technology, 14(1), 223-233.
- Özcan E., Eren T., (2014), “Application of TOPSIS Method for Maintenance Planning: Natural Gas Combined Cycle Power Plant Case Study”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 6(2), 26-38.
- Özcan E., Ünlüsoy S., Eren T., (2017), “A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 1410–1423.
- Özcan E., Danişan T., Eren T., (2019), “Hidroelektrik santralların en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin seçimi için matematiksel bir model önerisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4), 498-506.
- Özcan E., Yumuşak R., Eren T., (2019), “Risk Based Maintenance in the Hydroelectric Power Plants”, Energies, 12(8), 1502.
- Özcan E., Danişan T., Eren T., (2020),” Hidroelektrik santrallarda bakım çizelgeleme için hibrid bir model önerisi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(4), 1815-1827.
- Özcan E., Danişan T., Yumuşak R., Eren T., (2020), “An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants”, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 22 (3), 400–418.
- Özcan E., Gür Ş., Eren T., (2021), “A Hybrid Model to Optimize the Maintenance Policies in the Hydroelectric Power Plants”, Politeknik Dergisi, 24(1), 75-86.
- Panchal D., Chatterjee P., Shukla R. K., Choudhury T., Tamosaitiene, J., (2017), “Integrated Fuzzy AHP-CODAS Framework for Maintenance Decision In Urea Fertilizer Industry”, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 51(3), 179–196.
- Seiti H., Tagipour R., Hafezalkotob A., Asgari F., (2017), “Maintenance strategy selection with risky evaluations using RAHP”, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 24(5-6), 257-274.
- Shafiee, M., (2015), “Maintenance strategy selection problem: an MCDM overview” Journal of Quality in Maintenance Engineering, 21(4), 378-402.
- Sianturi G., Riyanto A., Maulana R., (1996), “Maintenance Strategy Selection in Spinning Mills Industry Using Fuzzy AHP”, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020.

Tunca M.Z., Aksoy E., Bülbül H., Ömürbek N., (2015) “AHP Temelli TOPSIS ve ELECTRE Yöntemiyle Muhasebe Paket Programı Seçimi”, Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8 (1), 53-71.

Wang L., Chu J., Wu J., (2007), “Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process”, International Journal of Production Economics, 107(1), 151–163.

Velasquez M., Hester T.P.,(2013), “An analysis of multi-criteria decision making methods”, International Journal of Operations Research, 10(2), 56-66.

Yumuşak R., Özcan E., Danışın T., Eren T.,(2018), “AHP-TOPSIS-Tam Sayılı Programlama Entegrasyonu ile Hidroelektrik Santrallarda Bakım Strateji Seçimi”, Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji Ve Enerji Verimliliği Kongresi.

Zaeri M. S., Shahrabi J., Pariazar M., Morabbi A., (2007), “A combined multivariate technique and multi criteria decision making to maintenance strategy selection”, 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 621–625.

<http://kontrolmedya.com/bakim-onarim-ve-onemi/> Erişim Tarihi: 01.01.2021/20:42.