




Mavi yaka performans değerlendirmesinde kullanılacak ölçütlerin belirlenmesi için AHP temelli bir matematiksel model

An AHP based mathematical model to determine the criteria used in the worker performance evaluation

Büşra TUTUMLU¹ , Tuğba SARAÇ^{2*} , Müjgan SAĞIR² 

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye
busra.tutumlu@dpu.edu.tr

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
tsarac@ogu.edu.tr, mujgan.sagir@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 14.03.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 15.06.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 27.05.2021

doi: 10.5505/pajes.2021.46020
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Mavi yaka personelin performansının değerlendirilmesi için kullanılacak ölçütler, beyaz yaka personelin performansının değerlendirilmesinde kullanılacak olanlara göre çok daha fazla çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle hangi ölçütlerin kullanılacağını belirlemek daha zordur. Performansın sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için olabildiğince tüm ölçütlerin dikkate alınması gereklidir. Ancak tanımlanan her yeni ölçüt yeni bir veri grubunun toplanmasını ve değerlendirilmesini gerektirir. Oysa her çalışana ait toplanması gereken her yeni veri grubu, işletmeler için yeni bir iş yükü anlamına gelmektedir ve bu nedenle işletme yöneticileri mümkün olduğu kadar az ölçüt kullanarak personelinin performansını en sağlıklı şekilde değerlendirebilmek isterler. Klasik performans değerlendirme çalışmalarında kullanılacak ölçütler genellikle uzmanlar tarafından sadece performansın değerlendirilmesine katkısı düşünülerek belirlenmektedir. Bu durumda veri toplama yükü çok fazla olabilmekte ve pratikte yöntemin kullanılabilmesini olanaksız hale getirebilmektedir. Bu çalışmada ise öncelikle işçi performansları uzmanlar tarafından belirlenmiş ölçütler kullanılarak Analitik Hiyerarşi Prosesi ile hesaplanmış daha sonra ise önerilen çok amaçlı matematiksel model kullanılarak tüm ölçütleri temsil edebilecek ve toplam veri toplama yükü en az olan ölçütler belirlenmiştir. Performans değerlendirme belli periyotlar ile sürekli yapıldığından tüm ölçütleri temsil edebilecek daha az sayıdaki ölçüt ile çalışılması, veri toplama yükünün ciddi bir şekilde azalmasını ve böylece önerilen yöntemin pratik hayatta kullanılabilmesini sağlamaktadır. Önerilen yöntem bir plastik enjeksiyon fabrikasında uygulanmıştır. Sonuç olarak uzmanlar tarafından belirlenen toplam 40 ölçütten 30'u seçilmiş, tüm ölçütlerin seçildiği durumda elde edilen performans puanından sadece %4'lük bir sapma ile verilerin elde edilme zorluğu %26 azaltılmıştır.

Anahtar kelimeler: Performans değerlendirme, Analitik hiyerarşi prosesi, Matematiksel model.

Abstract

The criteria to be used for evaluating the performance of workers vary much more than those used to evaluate the performance of office personnel. Therefore, it is more difficult to determine which criteria to use. All criteria, as much as possible, should be taken into account to evaluate the performance healthily way. However, each new criterion defined requires the collection and evaluation of a new data set. However, each new data group that needs to be collected for each employee means a new workload for businesses, and therefore business managers want to be able to evaluate the performance of their workers in the healthiest way, using as few criteria as possible. In this study, a mathematical model was proposed to determine which criteria to be used in evaluating worker performance with AHP, and the proposed approach is applied using data from a sample business and the obtained results are discussed. The criteria to be used in classical performance evaluation studies are generally determined by experts only considering their contribution to performance evaluation. In this case, the data collection workload can be too high and it may make it impossible to use the method in practice. In this study, firstly, workers' performances were calculated with Analytic Hierarchy Process using the criteria determined by the experts, and then, using the proposed multi-objective mathematical model, the criteria that could represent all the criteria with the minimum total data collection workload were determined. Since performance evaluation is carried out continuously in certain periods, working with fewer criteria that can represent all criteria ensures that the data collection workload is drastically reduced and thus the proposed method can be used in practical life. The proposed method has been applied in a plastic injection factory. As a result, 30 out of a total of 40 criteria determined by the experts were selected, with a deviation of only 4% from the performance score obtained when all criteria were selected, the workload of obtaining data was reduced by 26%.

Keywords: Performance evaluation, Analytic hierarchy process, Mathematical model.

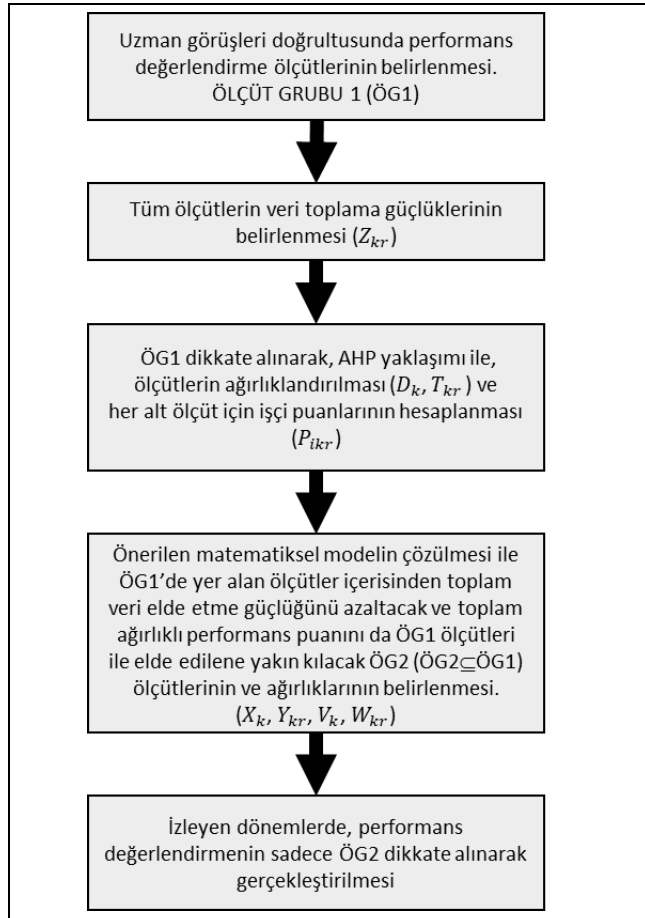
1 Giriş

İşletmelerin en önemli kaynaklarından birisi insan kaynağıdır. Çalışanların performanslarının değerlendirilmesi, hem işletmelerin insan kaynağı açısından verimliliklerini belirleyebilmelerini hem de çalışanların kendi performanslarını görebilmelerini sağlamaktadır. Performans değerlendirme, bireyin yaptığı işe ve bu iş için sahip olduğu niteliklere göre kişisel olarak analiz edilmesi ve onun işini

başarma düzeyinin belirlenmesidir [1]. Helvacı'ya [2] göre performans değerlendirme, çalışma sonuçlarını iyileştirmek için performans verilerini toplama ve yayma işlemlerini kapsar. İşletmelerde bulunan uzman kişiler tarafından performans değerlendirme için gerekli veriler toplanıp, bu veriler çalışanların ücret artışları, terfi, eğitim ihtiyacının belirlenmesi, uygun işe atanması vb. durumlar için kullanılır. Beyaz yaka personelin yaptığı işlerin yapısal olarak birbirine benzerlik göstermesi, bu personel grubunun değerlendirmesinde

*Yazışılan yazar/Corresponding author

kullanılacak ortak ölçütlerin belirlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak mavi veya personel için aynı şey geçerli değildir. Mavi veya personelin performansını değerlendirmek için kullanılacak ölçütler, çalıştığı bölüme ve yaptığı işe göre değişebilmektedir, bu nedenle bir işletmede çalışan tüm mavi veya personel için bir değerlendirme yapılmak istendiğinde çok fazla ölçüt ortaya çıkabilmektedir. Performansın gerçeği yansıtabilecek doğrulukta hesaplanabilmesi için tüm ilgili ölçütlerin olabildiğince dikkate alınması gereklidir. Ancak, dikkate alınacak her ölçüt, değerlendirme sistemine yeni bir veri grubunun eklenmesi anlamına gelir. Her verinin elde edilme güçlüğü ise aynı değildir. Bazı ölçütler için kullanılacak veriler otomatik olarak toplanabilir veya bilgi sisteminden kolayca elde edilebilirken bazı ölçütlerin değerlendirme sistemine dahil edilebilmesi için veri girişi gerekmektedir. Veri girişi gerektiren ölçütlerin fazla olması işletmeler için ayrı bir işgücü gerektirir ve kullanımları tercih edilmez. Bu nedenle bu çalışmada işletmelerin mümkün olan en az işyüküyle en doğru performans değerlendirmesini yapabilmeleri amaçlanmıştır ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve matematiksel modelleme yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Öncelikle tüm işçilerin performansı, tüm ilgili ölçütler dikkate alınarak AHP yöntemi ile hesaplanmış sonrasında ise bu değerlerden en az uzaklaşacak ve en az işyükü gerektirecek şekilde hangi ölçütlerin seçilmesi gerektiği, iki amaçlı bir matematiksel model yardımıyla ve ϵ -kısıt yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın temel adımları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Temel adımlar.
Figure 1. The basic steps.

Bu çalışmada ana amaç, değerlendirmeleri önceden tutarlı bir şekilde gerçekleştirilmiş belirli sayıda ölçütün (ÖG1) içinden, ilerideki iş yükünü azaltmak amacıyla, daha az sayıda ölçütü seçmektir. Ölçütleri belirlerken hem toplam veri elde etme güçlüğünün hem de tüm ölçütler kullanılarak hesaplanan performans puanlarından sapmaların en küçüklenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda öncelikle tüm ölçütler (ÖG1) dikkate alınarak AHP yöntemi ile tüm işçilerin performans puanları hesaplanır. Bu değerler önerilen çok amaçlı matematiksel modele parametre olarak verilir ve model yardımıyla izleyen dönemlerde performans değerlendirmesinde kullanılacak ölçüt kümesi (ÖG2) belirlenir.

Çalışmanın izleyen bölümünde literatür araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölümde AHP yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ele alınan problem ve geliştirilen matematiksel model ayrıntıları ile sunulmuştur. Yapılan uygulama beşinci bölümde, elde edilen sonuç ve öneriler ise son bölümde verilmiştir.

2 Literatür araştırması

Literatürde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) farklı alanlarda birçok çalışmada kullanılmaktadır. Alan sınırlaması yapmaksızın yapılacak bir literatür çalışması son derece geniş kapsamlı olacaktır, ancak bir fikir vermesi açısından, çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarının sadece “yenilenebilir enerji kaynakları” konusunda kullanımını ele alan bir literatür araştırmasında [3] 2001-2018 yılları arasında ve yalnızca ScienceDirect veri tabanından 81 çalışmaya erişildiği belirtilmektedir. Bu çalışmalar Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerini problem çözümlerinin farklı aşamalarında kullanmış olup yalnızca ölçütleri ağırlıklandırma konusunda bile 81 çalışmanın 46’sının AHP yaklaşımını kullandığı gösterilmiştir. Gul [4], iş sağlığı ve güvenliğinde risk değerlendirme amacıyla kullanılan çok ölçütlü karar verme tekniklerini değerlendirdiği bir çalışmada, literatürde yer alan yaklaşık 40 farklı teknik incelenmiş ve AHP tekniğinin en yaygın olarak kullanıldığı gösterilmiştir. Bu kadar spesifik alt alanlarda bile diğer yaklaşımlar arasında AHP’nin ağırlıklı kullanımını, tekniğin literatürde yaygın kullanımına bir göstergedir. Bir başka literatür çalışmasında [5] AHP’nin en yaygın kullanılan çok kriterli karar verme tekniği olduğu belirtilerek, sadece bulanık AHP tekniğinin diğer bulanık karar verme yaklaşımları ile birlikte kullanıldığı çalışmalar için bir literatür araştırması yapılmıştır.

AHP, pek çok konuda olduğu gibi insan kaynakları alanında da kullanılmıştır. Lidinska ve Jablonsky [6] bir danışmanlık işletmesinde çalışanların performanslarının değerlendirilmesi için AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmada her çalışanın performansının farklı projelerde yüklenen farklı sorumluluklar dikkate alınarak değerlendirilmesi önemli bir güçlük olarak ortaya çıkmış ve öncelikle projeler ağırlıklandırılmıştır. Lee [7] çalışanların performanslarını değerlendirirken aynı zamanda nitel faktörlerin de dikkate alınması için AHP temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada insan kaynakları birimi ve iki yöneticiden oluşan bir ekip değerlendirmeyi gerçekleştirmiştir.

Çalışan performansının ya da çalışanın iş ortamındaki öneminin çalışmalarda çeşitli farklı amaçlarla da değerlendirildiğine rastlanmaktadır. Sedaghat [8], verimlilikteki artışı değerlendirirken üç önemli etken olarak insan kaynağı, finans ve yönetsel performansını birlikte ele almıştır. Bulanık AHP yanısıra TOPSIS, VIKOR ve SAW yöntemlerinin kullanıldığı bütünlük bir yaklaşım önerilmiştir.

Bir başka çalışmada ise iş ortamında çalışanları olumlu yönde etkileyen faktörlerin analizi ve ardından mevcut iş ortamının değerlendirilmesi amacıyla bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır [9].

AHP tekniğini farklı amaçların ağırlıklandırılması amacıyla matematiksel modeller ile birlikte kullanan çok sayıda çalışmaya da rastlanmaktadır. Zhang vd. [10] ve Ervural vd. [11], AHP'yi çok amaçlı matematiksel modellerde amaç fonksiyonlarının ağırlıklarının belirlenmesinde kullanmışlardır. Florez ve Rodriguez-Rojas [12], Falsini vd. [13], Schniederjans ve Garvin[14], Kokangul ve Susuz [15], Supçiller ve Erbilek [16], Gür vd. [17] buna örnek verilebilir.

Son yıllarda e-ticaret uygulamalarının yaygınlaşması ile literatürde çok sayıda e-ticaret performans ölçütü tanımlanmıştır. Bu ölçütler; web sitesi tasarımı, teknik sorunlar, gizlilik ve güvenlik, teslimat, satış sonrası hizmetler ve ödeme vb. konulardadır. Ramanathan [18] e-ticaret ölçütlerinin önem derecelerini tahmin etmek için bir matematiksel model önermişlerdir. Geliştirilen matematiksel modelde ters-AHP mantığı kullanılmıştır. Web sitelerinin tercih ettikleri skor ve ölçütlerin web sitelerine göre ağırlıklarının bilindiği varsayılarak ölçütlerin önem dereceleri belirlenmektedir.

Çalışanların performanslarının değerlendirilmesinde AHP yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, genellikle çalışan işe alma, ödüllendirme, eğitim ve geliştirme, ücretlendirme vb. durumlar için performans değerlendirme yapıldığı görülmektedir. Sahai ve Ciby [19], bir imalat işletmesinde AHP yöntemini kullanarak çok ölçütlü performansa dayalı yıllık mükemmellik ödül sistemi geliştirmişlerdir. Yıllık mükemmellik ödülleri için maliyet bilinci, süreçlerde iyileştirme, yenilikçilik, kalitede iyileştirme, güvenlik bilinci ve müşteri odaklılık olmak üzere toplam altı ölçüt için çalışanlar değerlendirilmiştir. Lele [20], Hindistan'daki bir bankanın bir şubesinde AHP yöntemi ile performans değerlendirme sürecini bütünleştirmiştir. Toplam altı ana ölçüt ve her ana ölçüt için üçer tane alt ölçüt belirlenmiştir. Almeida vd. [21] ise çalışanların teknik ve sosyal becerilerini değerlendirerek ve AHP yöntemini kullanarak en çevik ekip oluşturulmasını ve eş zamanlı olarak atanmasını sağlayan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir.

Bazsova [22], akademik çalışanların performansının değerlendirilmesi için bir yetkinlik modeli oluşturmuştur. Bogdanovic ve Miletic [23], AHP ve PROMETHEE yöntemlerini birlikte kullanan entegre bir yaklaşım uygulayarak en uygun personeli seçmeyi amaçlamıştır. Nurhayati [24], çalışanların değerlendirilmesi için iş tutumu, potansiyel, yetenek, kişilik ve performans ölçütlerini ele almıştır.

İncelenen literatür dikkate alındığında, çalışanların performanslarının genellikle az sayıda ölçüt ile değerlendirildiği görülmektedir. Oysa gereğinden az sayıda ölçüt kullanmak performansın doğru hesaplanamaması riskini doğurmaktadır. Öte yandan çok fazla ölçüt ile çalışmak da veri toplama iş yükünü artırmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, öncelikle uzmanlar tarafından performans değerlendirmesinde etkili olabilecek tüm ölçütler (ÖG1) belirlenmiştir. Bu ölçütler kullanılarak, AHP yöntemi ile tüm işçilerin performans puanları hesaplanmıştır. Daha sonra önerilen matematiksel model kullanılarak tüm ölçütleri temsil edebilecek daha az sayıda ölçüt (ÖG2) toplam veri elde etme güçlüğüne ve tüm ölçütlerin dikkate alındığı performans puanlarından sapmaları enküçükleyecek şekilde belirlenmiştir. Böylece hem

performans puanlarının doğruluğu korunurken hem de belli periyotlar ile tekrarlanması gereken performans değerlendirme çalışmalarında gerekecek iş yükü önemli ölçüde azaltılmıştır.

İzleyen bölümde Analitik Hiyerarşi Prosesi tekniği açıklanmaktadır.

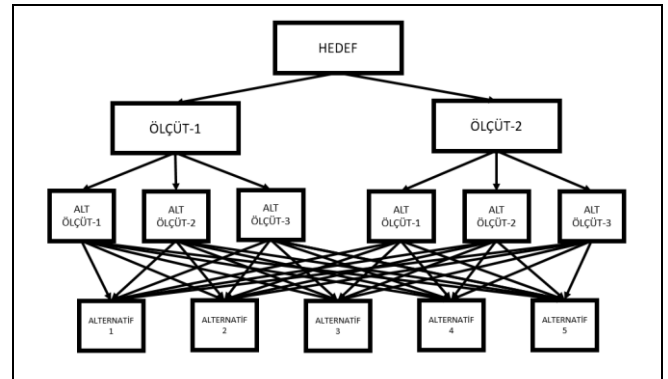
3 Analitik hiyerarşi prosesi

Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar problemlerini hiyerarşik bir yapıda ele alan ve ikili karşılaştırma mantığına dayanan çok ölçütlü bir karar verme tekniğidir. İkili karşılaştırma, ilgilenilen iki karakteristiğin hangisinin kaç kat daha önemli olduğunun değerlendirilmesidir. İnsan beyninin pek çok ölçütle de karşılaştıra bunları ikili ikili karşılaştıra ve bir sıraya koyduğu gösterilmiştir [25]. Bu yaklaşım karar vermeyi sistematik hale getirirken karar alma sürecini de hızlandırır. En önemli özelliklerinden birisi, sayısal değerler ile ifade edilemeyen ölçütlerin değerlendirilebilmesidir. Temel adımları aşağıdaki gibidir:

1. Amaç, ölçüt ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik yapının oluşturulması,
2. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması,
3. Ölçüt ve seçeneklerin ağırlıklarının elde edilmesi,
4. Tutarlılık oranlarının hesaplanması ve kontrolü.

Adım 1: Amaç, ölçüt ve alternatifler belirlenerek hiyerarşik yapının oluşturulması.

Hiyerarşik bir yapı oluşturmak için öncelikle problemin amacı, ölçütleri ve alternatifleri belirlenmelidir. Özellikle ölçütlerin belirlenmesi önemlidir. Ölçütler doğru bir şekilde belirlenemezse, karar vericinin amacına uygun çözüm elde edilemeyebilir. Gerekmesi halinde bazı ölçütler alt ölçütlere de ayrılabilir. Şekil 2'de örnek bir hiyerarşik yapı gösterilmiştir. En alt seviyede seçenekler yer almaktadır.



Şekil 2. Hiyerarşik yapı.

Figure 2. Hierarchical structure.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra, ölçütlerin birbirleri ile ve her ölçüt için alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Karşılaştırma işlemleri Tablo 1'de verilen, Saaty tarafından geliştirilen ve 1-9 arasındaki sayılardan oluşan temel ölçek (fundamental scale) kullanılarak gerçekleştirilir.

İkili karşılaştırma matrisi A 'nın genel gösterimi Denklem (1)'de yer almaktadır. A matrisindeki değerler birer ikili karşılaştırma yargısına karşılık gelmekte olup tablodaki w_i/w_j ifadesi, i .

ölçütün j . ölçüte göre önem derecesini göstermektedir. $\frac{w_i}{w_j}$ ifadesi yerine a_{ij} değeri tahminleyici olarak kullanılır. Tüm ölçütlerin göreceli ağırlıkları (relative weights), ölçütler birbirleriyle karşılaştırılarak bu matris sayesinde bulunur. Seçenekler de her ölçüt açısından ayrı bir ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak ağırlıklandırılırlar.

Tablo 1. Temel ölçek [25].

Table 1. Basic scale [25].

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli olması	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli düzeyde önem	Tecrübe ve yargı faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli düzeyde önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatla görülür.
9	Aşırı düzeyde önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük bir güvenliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	

Adım 3: Ölçüt ve seçeneklerin ağırlıklarının elde edilmesi

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, bir ikili karşılaştırma matrisinde değeri bulunmak istenen ağırlık vektörüdür. A matrisinin sağdan w vektörü ile çarpımı sonucu $Aw = nw$ denklemi elde edilir. Çözüm, matris boyutu n 'nin A matrisinin bir temel özdeğeri (*principal eigenvalue*) olması halinde vardır. Yanısıra elde edilen çözümün tutarlı olması gerekmektedir. Tutarlılık, matrisin enbüyük özdeğeri λ_{max} 'ın n 'e eşit olması durumunda sağlanmaktadır [26].

$$Aw = \begin{bmatrix} A_1 & \dots & A_n \\ \vdots & & \vdots \\ A_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = nw \quad (1)$$

Ağırlık vektörünü yaklaşık olarak bulmak için çeşitli yöntemler vardır:

1. Yöntem: Aritmetik Ortalama ile

İkili karşılaştırma matrisinde, her bir sütunun toplamı hesaplanır ve matrisin her bir elemanının değeri normalize edilmiş bir matris oluşturmak için kendi sütun toplamına bölünür. Daha sonra, normalleştirilmiş matristeki her satır için ortalama değerler hesaplanır,

2. Yöntem: Geometrik Ortalama ile

İkili karşılaştırma matrisindeki her satırın geometrik ortalaması hesaplanır. Normalleştirilmiş değerler, hesaplanan her değer bu değerlerin toplamına bölünmesiyle elde edilir,

3. Yöntem: Kare Matris ile

İkili karşılaştırma matrisinin karesi hesaplanır ve her satırdaki değerler toplanır. Daha sonra bu değerler, normalleştirilir.

Adım 4: Tutarlılık oranlarının hesaplanması ve kontrolü

Bulunan ağırlık değerlerinin tutarlılığı kontrol edilmelidir. Tutarsızlık oranı (IR), karşılaştırma matrislerinin tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından geliştirilmiş olup Denklem (2)'deki gibi hesaplanır ve 0,1'den büyük olmaması istenir [25]:

CI : Tutarlılık indeksi,
 RI : Rassallık göstergesi.

olmak üzere,

$$IR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

şekindedir.

Denklem (3) ve Denklem (4)'te tutarlılık indeksi ve ikili karşılaştırma matrisinin temel özdeğer formülü verilmiştir.

a_{ij} : İkili karşılaştırma matrisi değerleri (i, j),

w_j : j . ölçütün ağırlığı,

λ_{max} : İkili karşılaştırma matrisinin temel özdeğeri,

n : Matrisin boyutu.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right\} \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

1-15 büyüklüğündeki matrisler için Rassallık Göstergesi (RI) değerleri Tablo 2'deki gibi belirlenmiştir [25].

Tablo 2. 1-15 Boyutlu matrisler için RI değerleri.

Table 2. RI values for 1-15 dimensional matrices.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53	1.56	1.57	1.59

4 Ele alınan problem ve geliştirilen matematiksel model

Ele alınan problemde performansları değerlendirilecek n adet işçi, performans değerlendirilmesinde kullanılacak, uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiş, K adet ana ölçüt ve bir ana ölçüt için en fazla R adet alt ölçüt mevcuttur. Bu ölçütler, Ölçüt Grubu 1 (ÖG1) olarak adlandırılmıştır. Önerilen matematiksel modelin temel amacı, tutarlılık analizleri yapılmış ÖG1 içinde, ilerideki iş yükünü azaltmak amacıyla, daha az sayıda ölçütü seçmektir. Ölçütleri belirlerken hem toplam veri elde etme güçlüğünün hem de tüm ölçütler kullanılarak hesaplanan performans puanlarından sapmaların enküçülenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda öncelikle tüm ölçütler (ÖG1) dikkate alınarak AHP yöntemi ile tüm işçilerin performans puanları hesaplanır. Bu değerler önerilen çok amaçlı matematiksel modele parametre olarak verilir. Ve model yardımıyla izleyen dönemlerde performans değerlendirmesinde kullanılacak ölçüt kümesi (ÖG2) belirlenir. Modele ilk ağırlığı (D_k) parametre olarak verilen herhangi bir k . ana ölçüt, değerlendirme sonucunda seçilecek ya da seçilmeyecektir. Tüm ölçütler dikkate alındığında kullanılmış olan k . ana ölçüt model tarafından da seçildi ise yeni ağırlığı V_k olarak model tarafından hesaplanmaktadır.

Geliştirilen modele, tüm ölçütleri dikkate alarak AHP ile elde edilen ağırlık değerlerinin (ana ve alt ölçütler için) 'parametre' olarak verildiğine dikkat edilmelidir. Bu sayede, bu ideal

durumdan istenen göstergeler açısından olabilecek en küçük sapma hesaplanabilir olmaktadır.

Önerilen çok amaçlı model (M_{CA}), sadece seçilen ölçütleri kullanarak tüm gerekli ikili karşılaştırma matrislerini oluşturur ve AHP ile ilgili gerekli hesaplamaları yapar.

Geliştirilen matematiksel model, bu modele ait indis kümeleri, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda sunulmuştur.

İndisler:

- i : İşçi ($i=1,2,\dots,N$)
 k,l : Ana ölçüt ($k,l=1,2,\dots,K$)
 r,s : Alt ölçüt ($r,s=1,2,\dots,R$)

Parametreler:

- A_{kl} : Tüm ana ölçütlerin normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin (k,l), elemanının değeri,
 B_{krs} : k . ana ölçütün alt ölçütlerinin tüm ölçütler dikkate alındığında normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin (r,s), elemanının değeri,
 D_k : k . ana ölçütün tüm ölçütler dikkate alındığında ağırlığı,
 T_{kr} : k . ana ölçütün r . alt ölçütünün tüm ölçütler dikkate alındığında ağırlığı,
 Z_{kr} : k . ana ölçütün r . alt ölçütünün verilerini elde etme zorluğu,
 P_{ikr} : k . ana ölçütün r . alt ölçütü için i . işçinin puanı,
 M : Çok büyük bir sayı,
 μ : Çok küçük bir sayı,
 C : Seçilebilecek en fazla alt ölçüt sayısı.

Karar değişkenleri:

- V_k : Seçilen k . ana ölçütün ağırlığı,
 H_{kl} : Seçilen ana ölçütlerin normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin (k,l), elemanının değeri,
 TA_l : Seçilen ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisindeki seçilen l . ana ölçüt için sütun toplamı,
 W_{kr} : Seçilen k . ana ölçütün seçilen r . alt ölçütünün ağırlığı,
 N_{krs} : Seçilen k . ana ölçüte ait alt ölçütlerin normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin (r,s), elemanının değeri,
 TB_{ks} : Seçilen k . ana ölçüte ait alt ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisindeki seçilen s . alt ölçüt için sütun toplamı,
 X_k : k . ana ölçüt seçilirse 1, dd.0,
 Y_{kr} : k . ana ölçütün r . alt ölçütü seçilirse 1, dd.0.

(M_{CA}):

Amaç fonksiyonları:

$$enk f_1 = \sum_i \left(\sum_k \sum_r (D_k T_{kr} P_{ikr}) - \sum_k \sum_r (V_k W_{kr} P_{ikr})^2 \right) \quad (5)$$

$$enk f_2 = \sum_k \sum_r (Z_{kr} Y_{kr}) \quad (6)$$

Kısıtlar:

$$TB_{ks} = \left(\sum_r B_{krs} Y_{kr} \right) Y_{ks} \quad \forall_{k,s} \quad (7)$$

$$N_{krs} = \frac{B_{krs} Y_{kr} Y_{ks}}{TB_{ks} + \mu} \quad \forall_{k,r,s} \quad (8)$$

$$W_{kr} = \frac{\sum_s N_{krs}}{\sum_s Y_{ks} + \mu} \quad \forall_{k,r} \quad (9)$$

$$TA_l = \left(\sum_k A_{kl} X_k \right) X_l \quad \forall_l \quad (10)$$

$$H_{kl} = \frac{A_{kl} X_k X_l}{TA_l + \mu} \quad \forall_{k,l} \quad (11)$$

$$V_k = \frac{\sum_l H_{kl}}{\sum_l X_l + \mu} \quad \forall_k \quad (12)$$

$$\sum_r Y_{kr} \geq X_k \quad \forall_k \quad (13)$$

$$\sum_r Y_{kr} \leq X_k M \quad \forall_k \quad (14)$$

$$V_k, H_{kl}, TA_l, W_{kr}, N_{krs}, TB_{ks} \geq 0 \quad \forall_{k,l,r,s} \quad (15)$$

$$X_k, Y_{kr} \in \{0,1\} \quad \forall_{k,r} \quad (16)$$

Matematiksel modelin iki amacı vardır. Bu amaçlar Denklem (5) ve Denklem (6)'da verilmiştir. İlk amaç, tüm ölçütler dikkate alındığında hesaplanan ağırlıklı toplam performans puanı ile seçilecek ölçütler belirlendiğinde hesaplanan ağırlıklı toplam performans puanı arasındaki farklarının kareleri toplamının en küçüklenmesidir. İkinci amaç ise seçilecek ölçütler için gerekli verilerin elde edilme zorluklarının toplamının en küçüklenmesidir. Denklem (7), seçilen ana ölçütün alt ölçütlere karşı gelen ikili karşılaştırma matrisinde, seçilen alt ölçütün sütun toplamını hesaplayan kısıttır. Denklem (8), seçilen ana ölçüte ait alt ölçütlerin normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin elemanlarının değerini gösteren kısıttır. Öz vektörünün değerini hesaplayan kısıt ise Denklem (9)'da gösterilmektedir. Denklem (10), ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisindeki seçilen ana ölçütün sütun toplamını hesaplamayı sağlayan kısıttır. Seçilen ana ölçütlerin normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin elemanlarının değeri Denklem (11)'deki kısıtla ifade edilmektedir. Denklem (12)'deki kısıt ise ilgili özvektörün hesaplanması içindir. Denklem (13) ve Denklem (14), ilişki kısıtlarıdır. Eğer alt ölçüt seçildiyse, alt ölçütün ait olduğu ana ölçütün de seçildiğini göstermektedir. Denklem (15) ve Denklem (16), işaret kısıtlarıdır.

Geliştirilen matematiksel model çok amaçlı olduğundan, çözümünde ε -kısıt yöntemi kullanılmıştır. ε -kısıt literatürde çok amaçlı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan çözüm yöntemlerinden birisidir. ε -kısıt yönteminde amaçlardan birisi amaç fonksiyonu olarak seçilirken diğer amaçlar kısıt olarak ele alınmaktadır. Böylelikle çok amaçlı modeller tek amaçlı modellere dönüştürülmektedir [27]. (M_{CA}) modeli ε -kısıt yöntemi kullanılarak, (M_{EK}) modeline dönüştürülmüştür.

(M_{EK}):

Amaç fonksiyonu:

$$enk f_1$$

Kısıtlar:

Denklem (7)-(16)

$$f_2 \leq \varepsilon \quad (17)$$

Bu çalışmada, birinci amaç fonksiyonu sürekli, ikinci amaç fonksiyonu ise kesikli değerler almaktadır. Bu nedenle, ilk amaç, amaç fonksiyonu olarak seçilip, ikinci amaç ise modele kısıt olarak eklenmiştir. ε 'un alabileceği en küçük değer, hiçbir kriterin seçilmediği durumdaki veri elde etme zorluğudur yani sıfırdır. Enbüyük değer ise tüm kriterler seçildiğindeki toplam veri elde etme zorluğudur. (M_{EK}) modeli, ε 'un en küçük ve enbüyük değerleri arasında kalan tüm tamsayı değerleri için çözüldüğünde ve eniyi çözümler elde edildiğinde, tüm pareto eniyi çözümlere ulaşılması garanti edilmiş olur.

5 Uygulama

Önerilen mavi yaka performans değerlendirme yaklaşımı, bir plastik enjeksiyon fabrikasının boyahane bölümünde çalışan işçilerin performanslarını hesaplamak için uygulanmıştır. Performans değerlendirmede kullanılacak ölçütler (ÖG1) belirlenirken işletmenin politikaları, çalışanların iş yükleri, işin yapılış şekli ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Toplam 6 ana ölçüt belirlenmiştir. Burada AHP uygulamalarındaki 7±2 ilkesine uyulmuş [26] ve ikili karşılaştırma matrislerinde matris boyutunun 9'dan büyük olmamasına çalışılmıştır. Her ana ölçüt farklı alt ölçütlere ayrılmıştır. Belirlenen ölçütler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Performans değerlendirmede kullanılan ana ve alt ölçütler (ÖG1).

Table 3. Main and sub-criteria (OG1) used in performance evaluation.

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler
Temel Ölçütler-1	İletişim Kurabilme
	Müşteri Odaklılık
	Sorumluluk (Fazla Mesaiye Kalma İsteği vb.)
	Sonuç Odaklılık
	Kurum Aidiyeti
Temel Ölçütler-2	Özgüven (İnisiyatif Kullanma vb.)
	Amirlerine Saygı
	Problem Çözme Yeteneğine Sahip Olma
	Deneyim
	Eğitim Durumu
Teknik Ölçütler-1	Stres Altında Çalışabilme
	Ekip Çalışmasına Uyum
	Başkalarını Motive Etme
	İşi Tam Yapma (Rutin İşleri Takip Edebilme vb.)
	İşi Sahiplenme
Teknik Ölçütler-2	Hızlı ve Dinamik Olma
	Kapasite Kullanımı (%)
	Fire (%)
	İç Redler
	Dış Redler
Boyahane Bölümü için Ölçütler-1	Firelerin Zamanında Girilmesi
	Devam Durumu (%)
	Ürünleri Tanıma
	İşletme Kurallarına Uyma
	Temizlik/Düzen
Boyahane Bölümü için Ölçütler-2	Makine, Takım ve Donanım Sorumluluğu (Makine Koruma)
	İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Kurallarına Uyma
	Birden Fazla Operasyonda Çalışabilme/Zor Görevleri Başarma
	Bilgisayar Bilgisi
	Mesleki Yetkinlik (Eğitim Seviyesinin İşe Uygunluğu)
Boyahane Bölümü için Ölçütler-1	Duruşa Sebep Olma
	Fırın Çalıştırabilme
	Aparat Dizebilme
	Boya Hazırlayabilme
	Zımparalama Yapabilme
Boyahane Bölümü için Ölçütler-2	Son Kontrol ve Ambalajlama Yapabilme
	Yatay Robot Kullanabilme
	Dikey Robot Kullanabilme
	Cross-cut Testi Yapabilme
	Tek Başına Boya Yapabilme

Ölçütler belirlendikten sonra ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında uzmanlar tarafından her bir ölçütün diğer ölçütlere göre önem derecesi Saaty Ölçeği kullanılarak belirlenmiştir. Tablo 4'te Teknik Ölçütler-1'in alt ölçütlerinin

ikili karşılaştırma matrisi örnek olarak verilmiştir. Örneğin; kapasite kullanım oranı (KK), iç redler ölçütünden (İ-R) 4 kat daha önemlidir.

Tablo 4. Teknik ölçütler-1'in alt ölçütleri için ikili karşılaştırma matrisi.

Table 4. Paired comparison matrix for the sub-criteria of technical criteria-1.

	KK (%)	F (%)	İ-R	D-R	FZG	DD (%)
KK (%)	1	2	4	0.20	7	4
F (%)	0.50	1	2	0.25	5	5
İ-R	0.25	0.50	1	0.20	6	5
D-R	5	4	5	1	8	8
FZG	0.14	0.20	0.17	0.13	1	0.33
DD (%)	0.25	0.20	0.20	0.13	3	1

KK: Kapasite Kullanımı, F: Fire, İ-R: İç Redler, D-R: Dış Redler, FZG: Firelerin zamanında girilmesi, DD: Devam durumu.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra aritmetik ortalama yöntemi ile ölçüt ağırlıkları elde edilmiş, ardından matrislerin tutarlı olup olmadığı hesaplanmıştır. Tablo 5'te tüm karşılaştırma matrislerinin tutarsızlık oranları verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm matrisler tutarlıdır.

Tablo 5. Tüm karşılaştırma matrislerinin tutarsızlık oranları.

Table 5. Inconsistency ratios of all comparison matrices.

İkili karşılaştırma Matrisleri	Tutarsızlık Oranı (≤ 0.1)
Ana Ölçütler	0.065
Temel Ölçütler-1'in Alt Ölçütleri	0.075
Temel Ölçütler-2'in Alt Ölçütleri	0.100
Teknik Ölçütler-1'in Alt Ölçütleri	0.095
Teknik Ölçütler-2'in Alt Ölçütleri	0.090
Boyahane Bölümü için Ölçütler-1'in Alt Ölçütleri	0.079
Boyahane Bölümü için Ölçütler-2'in Alt Ölçütleri	0.056

İşletmelerin her ölçüt için gerekli verileri her değerlendirme döneminde yeniden elde etmesi kolay değildir. Bu nedenle işletme tarafından her ölçütün elde edilme zorluğu belirlenmiştir. Zorluk değerlerinin belirlenmesinde kullanılan skala Tablo 6'da ve ölçütlerin elde edilme zorluğu için işletme tarafından verilen puanlar Tablo 7'de verilmiştir. Ayrıca boyahane bölümündeki mavi yakalı çalışanlar, her ölçüt için 1-5 ölçeğinde değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Ölçütlerin elde edilme zorluğunun değerlendirilmesinde kullanılan skala.

Table 6. The scale used to evaluate the difficulty of obtaining the criteria.

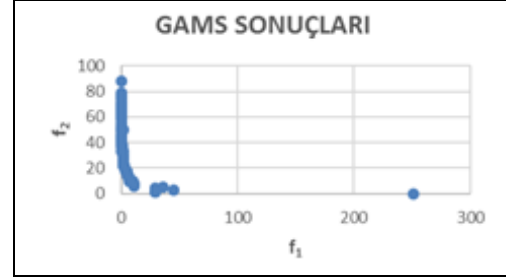
Skala	Açıklaması
1	Çok kolay
2	Kolay
3	Orta
4	Zor
5	Çok zor

Gerekli parametreler belirlendikten sonra geliştirilen matematiksel model, Intel® Core(TM) i5-4210U CPU @2.40 GHz işlemcisi, 8 GB Ram olan bir bilgisayarda her ε değeri için ortalama 541 sn.'de çözülmüştür. Matematiksel model, GAMS

23.7 ile kodlanmış ve tamsayı doğrusal olmayan bir model olduğundan Bonmin çözücüsü kullanılmıştır. Elde edilen çözümlerin grafiği Şekil 3'te ve tüm ε değerleri için çözümler ise Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8'in ilk sütununda ε değerleri verilmiştir. ε değerleri [0,88] aralığında değer alabilmektedir. Çünkü ikinci amacın hiçbir ölçüt seçilmediğinde alabileceği değer '0', tüm ölçütler seçildiğinde ise alabileceği değer '88' dir. Tablonun ikinci ve üçüncü sütunlarında sırasıyla birinci ve ikinci amaç fonksiyonlarının aldığı değerler (f_1, f_2) son sütunda ise seçilen toplam kriter sayısı (α) verilmiştir. Tablo 8'den görülebileceği gibi ε değeri arttıkça f_1 değeri azalmakta f_2 değeri ise artmaktadır. Bu durum, amaç fonksiyonlarının birbiri ile çeliştiğini kanıtlamaktadır. Tablodaki ε değeri '88' iken tüm ölçütler seçildiği için f_1 değeri sıfırdır. Eğer işletme f_1 değerinden yani tüm ölçütler ile değerlendirilen performans puanından %2'lik bir sapmaya razı olursa, ölçüt sayısı 40'dan 32'ye verilerin elde edilme zorluğu ise 88'den 68'e

düşmektedir. Çalışmanın uygulandığı işletmede 30 ölçüt için değerlendirme yapılması planlanmıştır. Bu durumda Tablo 8'de seçilen ölçüt sayısının 30 olduğu ε değeri 77'dir. ε değeri '77' iken elde edilen sonuçlara göre %4'lük bir sapmaya katlanarak verilerin elde edilme zorluğu 88'den 65'e düşürülmüştür.



Şekil 3. Elde edilen çözümlerin grafiği.

Figure 3. Graph of the solutions.

Tablo 7. Ölçütlerin elde edilme zorluğu.

Table 7. Difficulty obtaining metrics.

	1. Ana Ölçüt	2. Ana Ölçüt	3. Ana Ölçüt	4. Ana Ölçüt	5. Ana Ölçüt	6. Ana Ölçüt	7. Ana Ölçüt	8. Ana Ölçüt
1. Ana Ölçüt	3	3	2	2	3	2	1	2
2. Ana Ölçüt	1	1	4	3	2	2	2	1
3. Ana Ölçüt	4	4	4	5	5	2	-	-
4. Ana Ölçüt	3	2	1	2	2	3	-	-
5. Ana Ölçüt	1	1	3	1	1	1	1	-
6. Ana Ölçüt	3	1	1	1	2	-	-	-

Tablo 8. Tüm ε değerleri için çözümler.

Table 8. Solutions for all ε values.

ε	f_1	f_2	α	ε	f_1	f_2	α	ε	f_1	f_2	α
0	251.39	0	0	31	1.68	27	16	62	0.11	61	29
1	29.7	1	1	32	1.85	28	18	63	0.1	58	29
2	29.7	1	1	33	0.83	32	18	64	0.17	53	24
3	45	3	1	34	0.67	33	20	65	0.12	61	26
4	29.1	4	2	35	2.02	33	23	66	0.15	60	29
5	35.8	5	2	36	0.78	34	23	67	0.18	67	32
6	11	6	5	37	0.78	34	23	68	0.18	62	29
7	11.5	7	6	38	0.97	36	24	69	0.02	68	33
8	11.5	7	6	39	0.97	36	24	70	0.1	64	29
9	11.5	7	6	40	0.76	38	25	71	0.09	61	28
10	6.98	10	7	41	0.54	40	24	72	0.04	61	29
11	10.4	10	8	42	0.49	42	23	73	0.13	64	27
12	7.31	12	9	43	0.49	43	24	74	0.06	70	33
13	7.22	13	10	44	0.62	41	23	75	0.07	66	31
14	6.34	14	11	45	0.47	44	24	76	0.05	74	34
15	5.29	15	12	46	0.48	38	23	77	0.04	65	30
16	5.13	16	12	47	0.42	44	25	78	0.04	70	33
17	5.31	14	11	48	0.49	46	26	79	0.03	76	34
18	4.51	18	11	49	0.53	44	24	80	0.02	77	35
19	4.92	17	13	50	1.89	50	29	81	0.02	71	33
20	3.4	18	10	51	0.62	45	24	82	0.02	68	32
21	2.47	21	13	52	0.56	45	25	83	0.02	68	32
22	2.78	22	16	53	0.48	51	28	84	0.02	68	32
23	2.38	22	16	54	0.45	50	28	85	0.02	68	32
24	2.38	22	16	55	0.45	50	28	86	0.04	75	34
25	2.03	25	17	56	0.42	41	23	87	0.01	79	36
26	2.03	25	17	57	0.43	37	21	88	0	88	40
27	2.03	25	17	58	0.46	55	25				
28	1.96	27	18	59	0.6	51	21				
29	1.67	29	16	60	0.61	60	26				
30	1.91	30	18	61	0.49	49	22				

Veri toplama zorluğunda %26'lık bir iyileşme sağlanmıştır. Böylelikle her performans değerlendirmesinde 40 ölçüt yerine bu ölçütleri temsil edebilen 30 ölçüt (ÖG2) kullanılarak işletmenin iş yükü azaltılmıştır. Aşağıda elenen 10 ölçüt verilmiştir.

- İletişim kurabilme,
- Problem çözüme yeteneğine sahip olma,
- Hızlı ve dinamik olma,
- Firelerin zamanında girilmesi,
- Ürünleri tanıma,
- Temizlik/Düzen,
- Makine, takım ve donanım sorumluluğu (Makine koruma)
- Son kontrol ve ambalajlama yapabilme,
- Dikey robot kullanabilme,
- Cross-cut testi yapabilme.

Elde edilen çözüm incelendiğinde, Boyahane Bölümü-1 ölçütünün tüm alt ölçütlerinin seçildiği görülmüştür. Bu ölçütler için gerekli verilerin elde edilmesinin uzmanlar tarafından kolay olarak değerlendirilmesinin ve ana ölçütler karşılaştırıldığında, bu ana ölçütün diğer çoğu ana ölçüte göre önem derecesinin yüksek olmasının, bu sonucu ortaya çıkardığı düşünülebilir. Tablo 9'da ϵ değeri '77' iken elde edilen ana ölçütlerin önem dereceleri yer almaktadır.

Tablo 9. Ana ölçütlerin önem dereceleri.

Table 9. Importance of the main criteria.

Ana ölçütler	Önem Dereceleri
Temel Ölçüt-1	0.083
Temel Ölçüt-2	0.326
Teknik Ölçütler-1	0.198
Teknik Ölçütler-2	0.081
Boyahane-1	0.258
Boyahane-2	0.053

6 Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada mavi yaka personelin performanslarının değerlendirilmesinde, veri toplama iş yükünü (güçlüğünü) azaltmak amacıyla, tüm ölçütler dikkate alındığında elde edilen ağırlıklı toplam performans puanına olabildiğince yakın ağırlıklı toplam performans puanını verecek daha az sayıda ölçütün belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla AHP yaklaşımının gerektirdiği hesaplamaları yapacak bir matematiksel model önerilmiştir. Bu kapsamda önce tüm ölçütlerin dikkate alınması durumu için hiyerarşik yapı oluşturulmuş ve ölçütlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Tüm ölçütlerin dikkate alındığı durumda hesaplanan performans değerleri ideal değer olarak kabul edilirse, ideal değerden en az sapacak ve veri toplama güçlüğünü olabildiğinde azaltacak şekilde hangi ölçütlerin seçilmesi gerektiği ise önerilen çok amaçlı matematiksel model kullanılarak belirlenmiştir. Önerilen matematiksel model her mümkün ölçüt alt kümesi için ikili karşılaştırma matrisleri ve AHP ile ilgili gerekli tüm hesaplamaları yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen model örnek bir işletmede uygulanmış ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen ölçütlerden, en az sayıda ölçüt seçilerek çalışanların performanslarının değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

Geliştirilen matematiksel model AHP uygulamalarında önemli olan tutarsızlık hesaplamasını yapmamaktadır. Ancak önerilen yöntemin ilk aşamasında, tüm ölçütler tutarlılık kontrolü yapılarak ağırlıklandırılmakta ve geliştirilen modele bu ağırlık değerleri parametre olarak verilmektedir. Tutarlı bir matristen belirli sayıda ölçüt çıkarıldığında geriye kalan matris hala tutarlı olmakta böylece modelin seçtiği ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisleri de tutarlı kalmaktadır. Bu nedenle önemli olan konu modele girdi olarak verilen ilk ağırlık değerlerinin tutarlı bir matristen elde edilmiş olmasıdır. Öte yandan modelin ancak belirli sayıda ölçütün önceden ağırlıklandırıldığı ve seçeneklerin bu ölçütler açısından değerlendirildiği bir durumda kullanılabileceği açıktır. Önerilen matematiksel modelde, seçilen ölçütlerin verilerinin elde edilme güçlüğü toplamının enküçüklenmesi istenirken, elde etme güçlüğü yüksek ve düşük iki ölçütün bu toplamda yer alabilmesi mümkündür. Aynı toplama sahip ikiserli ölçüt setleri (örneğin 1+5=6 ile 3+3=6'yı veren ölçütler), aslında kendi içinde farklı zorluk derecesinde olabilecektir. Bu durumda elde etme güçlüğü 5 olan bir ölçüt de seçilebilecektir. Bu amaç fonksiyonunun, seçilen ölçütlerin elde etme güçlük değerlerinin enbüyüğünü enküçükleyecek şekilde ele alınması izleyen çalışma konusudur.

Yapılan çalışma hem erişilebilen literatür dikkate alındığında ilk olma özelliği taşıdığı için literatüre hem de mavi yaka personelin performansını değerlendirmek isteyen ancak veri toplama ve değerlendirme güçlüğü nedeniyle bunu gerçekleştiremeyen işletmelere bu güçlüğü aşma fırsatı sunduğu için uygulama alanına önemli bir katkı sunmaktadır.

7 Conclusions

In this study, to reduce the data collection workload (difficulty) in performance evaluation of workers, it is aimed to determine a smaller number of criteria that will give the weighted total performance score as close as possible to the weighted total performance score obtained when all criteria are taken into account. For this purpose, a mathematical model is proposed to make calculations required by the AHP approach. In this context, a hierarchical structure was created for all criteria to be considered first, and the weights of the criteria were obtained. If the calculated performance values are accepted as the ideal value in the case of all criteria taken into consideration, it is determined which criteria should be selected so that they deviate least from the ideal value and reduce the difficulty of data collection as much as possible. The model is designed to perform all necessary calculations regarding the binary comparison matrices and AHP for every possible subset of criteria. The developed model was applied in a company, and by considering the maximum number of criteria that could be accepted by the managers, it was enabled to evaluate the performance of the workers with the least number of criteria.

The developed mathematical model does not calculate the inconsistency, which is essential in AHP applications. However, all criteria are weighted by proving the consistency, and these weight values are given as parameters to the developed model. When a certain number of criteria is removed from a coherent matrix, the remaining matrix is still consistent, so the pairwise comparison matrices of the criteria chosen by the model also remain consistent. Therefore, the initial weight values given as input to the model must be obtained from a constant matrix. On the other hand, it is clear that the model can only be used in a

situation where criteria can be weighted previously, and options can be evaluated in terms of these criteria.

In the proposed mathematical model, it is possible that the sum of the difficulties in obtaining the data of the selected criteria is desired to be minimized, while two criteria with high and low difficulty in obtaining can be included in this total. Twice sets of criteria with the same total (for example, criteria that give $1+5=6$ and $3+3=6$) may actually have different difficulty levels. In this case, a criterion with a difficulty of obtaining 5 can also be selected. The discussion of this objective function in such a way as to minimize the maximum difficulty of obtaining the data of selected criteria is the subject of the following study.

The study made a significant contribution to the literature as it is the first in the accessible literature. It provides the opportunity to overcome this difficulty for businesses that want to evaluate the performance of workers but collecting and evaluating data cannot do this due to difficulty.

8 Yazar katkı beyanı

Bu çalışmada Büşra TUTUMLU, literatür taraması, matematiksel modelin geliştirilmesi, geliştirilen modelin uygulanması ve sonuçlarının incelenmesi başlıklarında; Tuğba SARAÇ, fikrin oluşması, matematiksel modelin geliştirilmesi, geliştirilen modelin uygulanması ve sonuçlarının incelenmesi başlıklarında; Müjgan SAĞIR, literatür taraması, AHP yönteminin uygulanması ve sonuçların incelenmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

10 Kaynaklar

- [1] Korkmaz M, Duru MN. "Performans değerlendirmenin insan kaynakları yönetimindeki önemi üzerine uygulamalı bir araştırma". *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 31, 3-26, 2013.
- [2] Helvacı MA. "Performans yönetimi sürecinde performans değerlendirmenin önemi". *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 35(1-2), 155-169, 2002.
- [3] Shao M, Han ZX, Sun JW, Xiao CS, Zhang SL, Zhao YX. "A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection". *Renewable Energy*, 157, 377-403, 2020.
- [4] Gul M. "A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions". *Human and Ecological Risk Assessment*, 24(7), 1723-1760, 2018.
- [5] Kahraman C, Onar SC, Oztaysi B, Seker S, Karasan A. "Integration of Fuzzy AHP with other multicriteria methods: A state of the art survey". *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 35(1-2), 61-92, 2020.
- [6] Lidinska L, Jablonsky J. "AHP model for performance evaluation in a Czech management consulting company". *Central European Journal of Operations Research*, 26(1), 239-258, 2018.
- [7] Lee A. "Integrating Performance Evaluation with HR Analytics Using Analytic Hierarchy Process". *International Journal of Modern Agriculture*, 9(3), 1439-1453, 2020.
- [8] Sedaghat M. "A productivity improvement evaluation model by integrating AHP, TOPSIS and VIKOR methods under fuzzy environment (case study: state-owned, partially private and private banks in Iran)". *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 47(1), 235-258, 2013.
- [9] Yıldız D, Temur GT. "Evaluation of positive employee experience using hesitant fuzzy analytic hierarchy process". *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 38(1), 1043-1058, 2020.
- [10] Zhang HJ, Xie Z, Lin HC, Li SY. "Power capacity optimization in a photovoltaics-based microgrid using the improved artificial bee colony algorithm". *Applied Sciences*, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10092990>
- [11] Ervural BC, Evren R, Delen D. "A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning". *Renewable Energy*, 126, 387-402, 2018.
- [12] Florez LAP, Rodriguez-Rojas YL. "Evaluation and selection of providers procedure based on the hierarchical analysis process and a mixed integer/linear programming". *Ingenieria*, 23(3), 230-251, 2018.
- [13] Falsini D, Fondi F, Schiraldi MM. "A logistics provider evaluation and selection methodology based on AHP, DEA and linear programming integration". *International Journal of Production Research*, 50(17), 4822-4829, 2012.
- [14] Schniederjans MJ, Garvin T. "Using the analytic hierarchy process and multi-objective programming for the selection of cost drivers in activity-based costing". *European Journal of Operational Research*, 100(1), 72-80, 1997.
- [15] Kokangul A, Susuz Z. "Integrated Analytic Hierarchy Process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount". *Applied Mathematical Modelling*, 33(3), 1417-1429, 2009.
- [16] Supçiller AA, Erbilek P. "Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama ile bir üniversite kütüphanesindeki kısmi zamanlı personellerin çizelgelenmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 1-12, 2021.
- [17] Gür Ş, Hamurcu M, Eren T. "Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 437-443, 2017.
- [18] Ramanathan R. "A mathematical programming model for estimating the importance levels of performance criteria and an application in e-commerce". *Expert Systems with Applications*, 39(2), 2067-2072, 2012.
- [19] Sahai S, Ciby MA. "Using AHP for annual excellence rewards: A case study of manufacturing companies". *International Transaction Journal of Engineering Management & Applied Sciences & Technologies*, 12(3), 1-9, 2021.
- [20] Lele A. "Integrating performance evaluation with HR analytics using analytic hierarchy process". *International Journal of Modern Agriculture*, 9(3), 1439-1453, 2020.
- [21] Almeida F, Adao D, Martins C. "Decision support system for assigning members to agile teams". *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, 12(2), 43-60, 2019.

- [22] Bazsova B. "Proposal and evaluation of the competency model of the academic employee". *Proceedings of the International Conference: Quantitative Methods in Economics: Multiple Criteria Decision Making*, 17, 25-32, 2016.
- [23] Bogdanovic D, Miletic S. "Personnel evaluation and selection by multicriteria decision making method". *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 48(3), 179-196, 2014.
- [24] Nurhayati S. "Application of computer-assisted analytic hierarchy process method to evaluate employee performance". *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/2/022033>
- [25] Saaty TL. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, USA, RWS Publications, 2000.
- [26] Saaty TL, Ozdemir MS. "Why the magic number seven plus or minus two". *Mathematical and Computer Modelling*, 38, 233-244, 2003.
- [27] Tosarkani BM, Amin SH. "A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: Multi-objective approach". *Expert Systems with Applications*, 92, 12-26, 2018.