

Hibrit FUCOM-Pareto analizi-rastgele orman yöntemi kullanılarak COVID-19 onaylanmış vaka sayısının tahmin edilmesi

Prediction of the number of COVID-19 confirmed cases using the hybrid FUCOM-Pareto analysis- random forest method

Seda Hatice GÖKLER^{1*}

¹Endüstri Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye.
shgokler@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 25.01.2022
Kabul Tarihi/Accepted: 09.05.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 30.03.2022

doi: 10.5505/pajes.2022.32458
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Aralık 2019 tarihinde ortaya çıkan ve halen etkisini devam ettiren COVID-19 salgınının ardından neredeyse tüm ülkeler virüsün yayılmasını kontrol altına almak için katı önlemler uygulamak zorunda kalmıştır. COVID-19'un yayılım hızına etki eden çok sayıda kriter olması ve en etkili kriterlerin belirlenememesi yayılımın, dolayısıyla pozitif vaka ve ölüm sayısının artmasına neden olmaktadır. Uzmanların yayılımı azaltabilmesi yayılımı etkileyen kriterlerin belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle çalışmada; öncelikle yayılım hızına etki eden kriterlere ait ağırlıklar çok kriterli karar verme yöntemi olan tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) kullanılarak belirlenmiş, elde edilen kriter ağırlıkları baz alınarak yayılımı en çok etkileyen kriterler Pareto analizi ile tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen kriter baz alınarak Rastgele Orman (RO) yöntemiyle onaylanmış vaka sayıları tahmin edilmiştir. RO yöntemine ait performans kriterleri değerleri; yapay sinir ağı, karar ağacı ve destek vektör makinası gibi farklı yapay zeka yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. RO yönteminin; RMSE (3247), MAE (1714) ve RRSE (0.374) hata değerleriyle ve %92.9 gibi yüksek tahmin başarısı ile daha iyi değerler verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: COVID-19, Tam tutarlılık yöntemi, Pareto analizi, rastgele Orman, Yapay zekâ yöntemleri.

Abstract

After the COVID-19 epidemic, which emerged in December 2019 and is still in effect, almost all countries had to implement strict measures to control the spread of the virus. The ability of experts to reduce the spread primarily depends on the determination of the criteria affecting the spread. The fact many criteria that affect the rate of spread of COVID-19 and the most effective criteria cannot be determined, causes the spread, and therefore the number of positive cases and deaths to increase. Therefore, in the study; firstly, the weights of the criteria affecting the rate of spread were determined by using the full consistency method (FUCOM), which is a multi-criteria decision-making method, and the criteria that most affected the spread were determined by Pareto analysis, based on the criteria weights obtained. Then, based on the criteria obtained, the number of confirmed cases was predicted using the random forest method. The performance criteria values of the random forest were compared with different artificial intelligence methods such as artificial neural network, decision tree and support vector machine. Random forest gave the best results with error values (RMSE (3247), MAE (1714) and RRSE (0.374)). In addition, the random forest achieved a high prediction success of 92.9%.

Keywords: COVID-19, Full Consistency method, Pareto analysis, Random forest, Artificial intelligence methods.

1 Giriş

Tüm dünya, 2019 yılında Wuhan'da ortaya çıkan ve halen etkisini sürdüren COVID-19 virüsü ve varyantları ile mücadele etmektedir. COVID-19, Ocak 2022 itibari ile yaklaşık 326 milyon kişinin enfekte olmasına, 5.5 milyon kişinin ölmesine neden olmuştur [1]. COVID-19'un hızlıca yayıldığı ve salgının dünyanın her ülkesine ulaştığı bilinmektedir. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yeni koronavirüsün aşırı derecede bulaşıcı ve tehlikeli olduğunu açıklamaktadır. Devlet yöneticileri ve uzmanlar virüsün yayılımını kontrol etmek, pozitif vaka ve ölüm sayısını en aza indirmek için olağanüstü hal ilan edilmesine karar vermiş; tam kapanma, karantina, sosyal mesafe gibi pek çok önleyici düzenlemeyi yürürlüğe koymuştur. Salgını kontrol altına almak için COVID-19'un yayılım hızına etki eden kriterlerin belirlenmesi; hangi önlemlerin alınması gerektiğine karar verilmesine, yayılım hızının azaltılmasına, önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesine, hastane kaynaklarının optimum şekilde kullanılıp sağlık sistemlerinin ayakta kalmasına ve virüsün en az hasarla atlatılmasına neden olmaktadır. Ancak, COVID-19'un yayılımını etkileyen çok fazla kriter olmasına

rağmen en çok etkileyen kriterler tam olarak belirlenememiştir. Bu nedenle COVID-19 yayılımını etkileyen kriterlerin belirlenmesi çok kriterli karar verme problemi. Tam tutarlılık yöntemi (FUCOM); kriter sayısının fazla olduğu durumlarda karar vericinin daha az ikili karşılaştırma yapmasına dolayısıyla işlemlerin kolaylaşması, yapılan analizlerin güvenilirliğinin artmasına neden yeni geliştirilmiş bir çok kriterli karar verme yöntemidir. Pareto analizi de sorunlara yol açan çok fazla değişken olduğunda soruna neden olan temel değişkenlerin belirlenmesi için kullanılan bir analizdir. Çalışmada öncelikle COVID-19'un yayılım hızına etki edebilecek değişkenler uzman ekip tarafından belirlenmiş; belirlenen değişken ağırlıkları FUCOM yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra hesaplanan değişken ağırlıkları Pareto analizinde girdi olarak kullanılarak COVID-19'a etki eden temel değişkenler belirlenmiştir.

Bunun yanı sıra yapay zekâ (AI), makine öğrenimi, derin öğrenme ve büyük veri gibi yeni teknolojiler virüsün yeni ortaya çıkması nedeniyle yayılımını dolayısıyla doğrulanmış vaka sayısını etkileyen kriterler konusunda belirsizliğin hâlâ devam ettiği durumlarda COVID-19 ile mücadelenin çeşitli yönleri hakkında farklı tahminler için kullanılmaktadır [2].

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Literatürde onaylanmış vaka sayısını tahmin etmek için farklı AI yöntemleri kullanılmıştır [3]-[9].

Bunun yanı sıra COVID-19 onaylanmış vaka sayısını tahmin etmek için rastgele orman yöntemi de kullanılmıştır. Masum ve diğerleri (2020); Bangladeş ülkesi için bir aylık onaylanmış vaka ve ölüm sayılarını tahmin etmiştir. Çalışmada uzun kısa süreli bellek (LSTM), destek vektör makinası ve rastgele orman yöntemleri karşılaştırılmıştır [10]. Almazroi ve Usmani (2022); Suudi Arabistan'daki günlük onaylanmış COVID-19 vakalarını tahmin etmek için gradyan artırma, rastgele orman, ekstrem gradyan artırma ve voting regresyon yöntemi içeren ağaç tabanlı topluluk yöntemi önermektedir. Çalışmanın önemli özelliğinden biri de onaylanmış vaka sayısının yanı sıra aşılama, seyahat yasakları ve okulların/ iş yerlerinin kapatılması dahil olmak üzere dokuz bileşeni içeren 'Stringency indeks' değişkenlerini girdi olarak kullanmasıdır [11].

Ancak literatürdeki çalışmaların çoğunda onaylanmış vaka sayısına etki eden kriterler belirlerken sadece onaylanmış vaka ve ölüm sayısı göz önünde bulundurulmuştur. Bunun yanı sıra farklı yöntemler kullanılarak; sıcaklık [12]-[15], nem [12]-[16], basınç [16], yağış [13],[14], rüzgâr hızı ve yönü [13],[14],[16], radyasyon miktarları [14], [16], kar yağışı hızı ve derinliği [16], nüfus yoğunluğu [13],[14],[17], il içi hareketlilik [14], ortalama okuryazarlık oranı [18], gayri safi yurtiçi hâsıla [18], kırsal ve kentsel nüfus oranı [18], cinsiyet oranı [17],[18], ortalama yaş [17] gibi kriterler COVID-19 onaylanmış vaka sayısını tahmininde kullanılmıştır. Görüldüğü gibi COVID-19'un yayılım hızını, dolayısıyla pozitif vaka ve ölüm sayısını etkileyen çok sayıda kriter mevcuttur. Bunun yanı sıra COVID-19'u en çok etkilediği düşünülen topluluk hareketleri, görülen varyant çeşidi gibi bazı önemli kriterlerin çalışmalarda incelenmemesi literatürde bir boşluk olarak göze çarpmaktadır. Bu boşluğu doldurulması ve en etkili kriterlerin belirlenmesi için öncelikle 3 kişilik uzman ekip tarafından COVID-19 etkileyen 22 kriter belirlenmiştir (Tablo 1).

Ayrıca literatürdeki çalışmalar incelendiğinde COVID-19 yayılım hızına etki eden kriterlerin belirlenmesinde bir adet veya az sayıda ülke verilerinin incelendiği görülmektedir. Bu da salgını gerçekten etkileyen kriterlerin belirlenmemesine ve

değerlendirmenin ulusal bazlı olmasına neden olmaktadır. Ancak, ülke yöneticilerinin aldığı önleyici tedbirler, nüfusun özellikleri ve değişken davranışları, ülkelerin gelişmişlik ve sosyo-ekonomik düzeyleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle bir ülke için oluşturulan modelin farklı ülkeler için kullanılamaması anlamına gelmektedir. Çalışmada ise, COVID-19 yayılım hızını etkilediği düşünülen kriterler 17 farklı ülke için kullanılarak küresel bir model oluşturulmuştur.

Önerilen hibrit modelde; öncelikle COVID-19'un yayılımına etki eden kriterlerin; yeni çok kriterli karar verme yöntemi olan tam tutarlılık analizi (FUCOM) ve Pareto analizi kullanılarak belirlenmiş; daha sonra rastgele orman yöntemi ile onaylanmış vaka sayısının tahmin edilerek daha etkin önleyici tedbirlerin alınması amaçlanmıştır.

2 Kullanılan yöntemler

2.1 Tam tutarlılık yöntemi

Tam tutarlılık yöntemi (FUCOM) ikili karşılaştırma esasına dayanarak kriter ağırlıklarını belirleyen; Pamucar, Stevic ve Sremac (2018) tarafından geliştirilen yeni çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemidir.

FUCOM yönteminin başlıca avantajları şunlardır:

- Yöntem, analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve best worst metodu (BWM)'un aksine daha az ikili karşılaştırma yapılmasını sağlamaktadır. Bu da kriter sayısının fazla olduğu durumlarda karar vericinin daha az karar vermesine dolayısıyla işlemlerin kolaylaşp, yapılan analizlerin güvenilirliğinin artmasına neden olmaktadır. Örneğin; n kriter sayısı olmak üzere AHP yönteminde $[n(n+1)/2]$ tane, BWM yönteminde $[2n-3]$ tane ikili karşılaştırma yapılırken; FUCOM yönteminde sadece $[n-1]$ ikili karşılaştırma yeterli olacaktır. 10 kriterli bir ÇKKV problemi düşünüldüğünde AHP yöntemi için 45, BWM yöntemi için 17 ve FUCOM yöntemi için ise 9 ikili karşılaştırma yapılacaktır,
- Yöntemin diğer avantajı ise ikili karşılaştırmalarda hem tam sayıları hem de ondalıklı sayıları kullanarak değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırmasını sağlamaktadır,
- Yöntemde, kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için basit bir algoritma kullanır.

Tablo 1. Uzmanların belirlediği COVID-19 onaylanmış vaka sayısını etkileyen kriterler.

Table 1. Criteria affecting the number of confirmed cases of COVID-19 determined by experts.

Kriterler	
K ₁ Test sayısı	K ₁₂ Market ve eczanedeki hareketlilik
K ₂ Kalp rahatsızlığı olan kişi sayısı	K ₁₃ Parklardaki hareketlilik
K ₃ Diyabet hasta sayısı	K ₁₄ Toplu taşımadaki hareketlilik
K ₄ 65 yaş üstü kişi sayısı	K ₁₅ İş yerlerindeki hareketlilik
K ₅ Kişi başına düşen sağlık harcaması	K ₁₆ Konutlardaki hareketlilik
K ₆ Gayri safi milli hâsıla	K ₁₇ Doktor sayısı
K ₇ Mekanik vantilatör sayısı	K ₁₈ Turist sayısı
K ₈ Yoğun bakım yatak sayısı	K ₁₉ Küresel sağlık skoru
K ₉ Nüfus	K ₂₀ Aşı sayısı
K ₁₀ Nüfus yoğunluğu	K ₂₁ İnsani gelişim indeksi
K ₁₁ Perakende ve rekreasyondaki hareketlilik	K ₂₂ Varyant görülmesi

Yöntem, kullanışlılığı nedeniyle literatürde birçok araştırmacı tarafından çeşitli karmaşık problemlerin çözümünde tercih edilmiştir [19]. Ayrıca literatürde AHP ve BWM yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır [20]-[23].

FUCOM yönteminin adımları ve koşulları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar vericiler belirledikleri kriterleri ($C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$) en önemli kriterden en az önemli kriterine doğru sıralamaktadır (Denklem (1)). Eşitlikte yer alan e uzmana ait indisi, k ise dikkate alınan kriterin sırasını göstermektedir.

$$C_1^{(e)} > C_2^{(e)} > \dots > C_k^{(e)} \quad (1)$$

Adım 2. Kriterlerin önem değeri ($w_{jk}^{(e)}$) uzmanlar tarafından belirlendikten sonra karşılaştırmalı öncelikleri hesaplanır (Denklem (2)). Eşitlikte $\varphi_{i/j}^{(e)}$ i. kriterin j. kriterine olan karşılaştırmalı öncelik değerini göstermektedir.

$$\Phi = (\varphi_{1/2}^{(e)}, \varphi_{2/3}^{(e)}, \dots, \varphi_{k/k+1}^{(e)}) \quad (2)$$

Önem değeri her bir kriter için Likert ölçeği ile belirlenen tam bir sayı olabileceği gibi önceden belirlenen rasyonel bir sayı da olabilir. Bu aşamada önem değeri atanırken en önemli kriterde düşük, en önemsiz kriterde ise büyük puan verilmektedir.

Adım 3. Kriterlere ait ağırlık katsayılarının nihai değerleri hesaplanır. Bu aşamada ağırlık katsayılarının nihai değerleri iki koşulu sağlamalıdır.

Koşul 1: Kriterlere ait ağırlık katsayılarının nihai değerleri Adım 2'de hesaplanan karşılaştırmalı öncelik değerine eşit olmalıdır (Denklem (3)).

$$\frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+1)}^{(e)}} = \varphi_{k/k+1}^{(e)} \quad (3)$$

Koşul 2: Kriterlere ait katsayıların nihai değerleri Denklem (4)'te belirtilen matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamalıdır.

$$\varphi_{k/k+1}^{(e)} \otimes \varphi_{k+1/k+2}^{(e)} = \varphi_{k/k+2}^{(e)} \quad (4)$$

Denklem (4), Denklem (5) şeklinde de ifade edilebilir.

$$\frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+1)}^{(e)}} \otimes \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+1)}^{(e)}} = \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+2)}^{(e)}} \quad (5)$$

Denklem (6)-(7) çözülmesiyle kriterlerin ağırlık katsayılarının nihai değerleri ile DFC(χ) derecesi elde edilir. Her iki koşulu sağlayan χ karşılaştırması için tam tutarlılık değerinin (DFC) [0, 0.025] arasında olması gerekmektedir.

$$\left| \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+1)}^{(e)}} - \varphi_{k/k+1}^{(e)} \right| \leq \chi \quad (6)$$

$$\left| \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+2)}^{(e)}} - \varphi_{k/k+1}^{(e)} \otimes \varphi_{k+1/k+2}^{(e)} \right| \leq \chi \quad (7)$$

Sonuç olarak kriterlerin ağırlık katsayılarının nihai değerleri kurulan matematiksel model yardımıyla hesaplanır (Denklem (8)-(12)).

Amaç fonksiyonu

$$\min \chi \quad (8)$$

Kısıtlar

$$\left| \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+1)}^{(e)}} - \varphi_{k/k+1}^{(e)} \right| \leq \chi, \forall j \quad (9)$$

$$\left| \frac{w_{jk}^{(e)}}{w_{j(k+2)}^{(e)}} - \varphi_{k/k+1}^{(e)} \otimes \varphi_{k+1/k+2}^{(e)} \right| \leq \chi, \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j^{(e)} = 1, \forall j \quad (11)$$

$$w_j^{(e)} \geq 0, \forall j \quad (12)$$

Yöntemde karar verici olarak birden fazla uzman olması durumunda adımlar tüm uzmanlar için hesaplanıp; elde edilen kriterlerin nihai ağırlık katsayılarının değerleri bulunarak aritmetik ortalaması alınmaktadır.

2.2 Pareto analizi

Pareto analizi (80/20 kuralı), sorunlara yol açan çok sayıda değişken yerine az sayıda temel değişkenin de toplam sonucu incelemekte etkili olduğunu göstermiştir. Bunun yanı sıra sadece temel değişkenlerin ele alınması ile matematiksel işlem kolaylığı ve kısa zamanda çözüme ulaşma avantajlarının ön plana çıkacağı belirlenmiştir. Bu nedenle analiz, sorunlara yol açan temel değişkenlerin belirlenmesinde yararlanılan bir çubuk diyagramı olarak tanımlanabilmektedir.

Pareto analizi altı adımda incelenebilmektedir. İlk aşamada soruna veya hataya neden olan bütün kriterlerin listelenmesi sağlanmaktadır. İkinci aşamada kriterlere bağlı olarak meydana gelen sorunlar belirli bir zaman aralığında ölçülüp kayıt altına alınır. Üçüncü aşamada meydana gelen sorunlar büyükten küçüğe doğru sıralanır. Dördüncü adımda ise sıralanan sorunların birikimli toplamları hesaplanır. Beşinci ve altıncı aşamalarda ise x ekseninde sorunların, y ekseninde sorunlara ait meydana gelme sayılarının olduğu Pareto grafiği çizilip yorumlaması yapılır. Yorumlama aşamasında birikimli toplamları %80 olan olan değişkenler temel değişken olarak ele alınmaktadır.

2.3 Rastgele orman

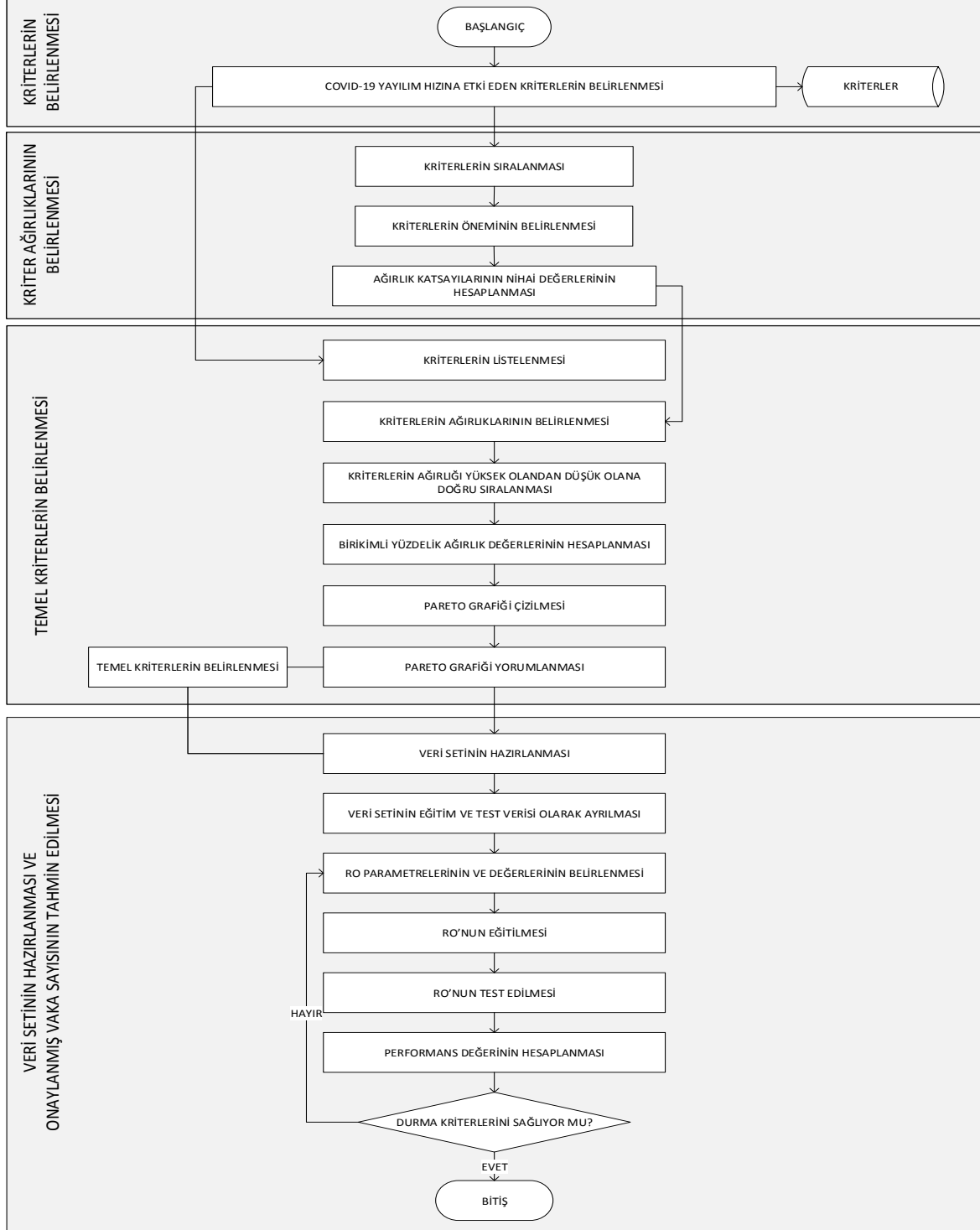
Rastgele orman (RO); birden çok karar ağacının birleştirilmesi ile oluşan, hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılan bir yapay zeka yöntemidir [24]. Yeterli ağaca sahip olması durumunda aşırı uyum sorununun üstesinden gelmesi, eksik verilerle de çalışabiliyor olması RO yönteminin en büyük avantajlarından. Literatürde RO'nun iyi sonuçlar verdiği çok sayıda çalışma vardır [25],[26].

RO oluşturulurken iki önemli parametre belirlenmelidir [27]. Bunlardan ilki her bir düğümde kullanılan nitelik (değişken) sayısını belirten M değeridir. İkinci değişken ise oluşturulacak ağaç sayısıdır. Bunun dışında maksimum derinlik, önbudama, rassal bölmeler, yerel rassal çekirdek kullanımı ve paralel uygulama özelliği hem yöntemin performansını hem de hızını değiştiren kriterler olarak belirlenmiştir.

RO yönteminde yer alan ağaçlarda oluşan tahminlerin ortalaması alınarak ortalama bir tahmin üretilir. Tahminlerde kullanılan eşitlik; amaç fonksiyonu öklidyen ise Denklem 13 ile öklidyen değilse Denklem 14 ile hesaplanmaktadır. Denklemlerde yer alan P_{ort} ortalama tahmin değerini, P_i i. ağaca ait tahmin değerini, α öklidyen olmayan ortalama tahmin değerini ve t_i i, ağacın eğim açısını ifade etmektedir (Denklem 13-14).

$$P_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N} \quad (13)$$

$$\alpha = \text{atan} 2 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sin t_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos t_i \right) \quad (14)$$



Şekil 1. Hibrit FUCOM-Pareto analizi- RO yöntemi akış şeması.
Figure 1. Hybrid FUCOM-Pareto analysis-RO method flow chart.

RO yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir.

- a1. Toplam N tane niteliğin içerisinde M tane nitelik seç,
- a2. N nitelik arasından en iyi ayırma noktasını kullanarak düğümü hesapla,
- a3. a1'de oluşturulan düğümü çocuk düğümlere ayır
- a4. T düğüm sayısına ulaşılan kadar a1. ve a3. adımlarını tekrarla,
- a5. n tane ağaç oluşturmak için n kere a1. ve a4. adımlarını tekrarla.

3 Uygulama

Çalışmanın birinci aşamasında, COVID-19 onaylanmış vaka sayısını etkileyen kriterler 3 tıp uzmanı tarafından belirlenmiştir. İkinci aşamada belirlenen kriterlere ait nihai ağırlık katsayısı FUCOM yöntemi ile hesaplanmıştır. Kriterlerin belirlenmesi, sıralanması ve nihai ağırlık katsayılarının belirlenmesi sürecinde de uzman ekip görev almıştır. Üçüncü aşamada Pareto analizi ile onaylanmış vaka sayısına etki eden temel kriterler belirlenmiştir. Belirlenen temel kriterler RO yönteminde girdi olarak kullanılarak onaylanmış vaka sayıları tahmin edilmiştir.

Uygulamada FUCOM yöntemine ait matematiksel modelin çözümünde LINGO 19, Pareto analizinin çözümünde Minitab 18, ANN yönteminin çözümünde Matlab R2018A, RO, KA ve DVM yöntemlerinin çözümünde ise RapidMiner Studio 9.8 programlarından yararlanılmıştır.

3.1 Kullanılacak kriterlerin belirlenmesi

Kriterlerin belirlenmesinde görev alan uzman ekip bir ilçe sağlık müdürü ve 2 adet tıp doktorundan oluşmaktadır. Uzman ekip, COVID-19 yayılım hızını etkilediğini düşündükleri 22 adet kriter belirlemiştir. Bu kriterler Tablo 2'de verilmiştir.

3.2 Kriter ağırlıklarının belirlenmesi

Kriterlerin ağırlık katsayılarının belirlenmesi için FUCOM yönteminden yararlanılmıştır. İlerleyen adımlarda sadece birinci uzman için işlemler gösterilmiştir. Aynı işlemler diğer iki uzman için de yapılmıştır.

Adım 1. Kriterlerin sıralanması:

Birinci adımda uzmanlar ayrı ayrı kriterleri sıralamıştır (Tablo 3).

Tablo 2. Girdi ve çıktı değişkenleri.

Table 2. Input and output variables.

	Notasyon	Kaynak
Girdi değişkenleri		
Test sayısı	K_1	[28]
Kalp rahatsızlığı olan kişi sayısı	K_2	[29]
Diyabet hasta sayısı	K_3	[29]
65 yaş üstü kişi sayısı	K_4	[30]
Kişi başına düşen sağlık harcaması	K_5	[31]
Gayri safi milli hâsıla	K_6	[32]
Mekanik vantilatör sayısı	K_7	[33]
Yoğun bakım yatak sayısı	K_8	[33]
Nüfus	K_9	[34]
Nüfus yoğunluğu	K_{10}	[34]
Perakende ve rekreasyondaki hareketlilik	K_{11}	
Market ve eczanedeki hareketlilik	K_{12}	
Parklardaki hareketlilik	K_{13}	
Topluluk hareketleri	Toplu taşımadaki hareketlilik İş yerlerindeki hareketlilik Konutlardaki hareketlilik	[35]
Doktor sayısı	K_{17}	[36]
Turist sayısı	K_{18}	[37]
Küresel sağlık skoru	K_{19}	[38]
Aşı sayısı	K_{20}	[39]
İnsan gelişim indeksi	K_{21}	[40]
Varyant görülmesi	K_{22}	[41]
Çıktı değişkeni		
Onaylanmış vaka sayısı		[28]

Tablo 3. Uzmanların kriterlere atadığı önem değerleri ve sıralamaları.

Table 3. The importance values assigned by the experts to the criteria and their rankings.

Kriter	Önem Değeri			Sıralama			Kriter	Önem Değeri			Sıralama		
	U_1	U_2	U_3	U_1	U_2	U_3		U_1	U_2	U_3	U_1	U_2	U_3
K_1	2.0	2.0	2.0	3	2	3	K_{12}	2.6	3.0	3.2	8	7	8
K_2	5.2	6.5	5.0	18	20	16	K_{13}	5.6	6.0	5.6	21	17	20
K_3	5.1	6.3	5.2	17	19	17	K_{14}	1.5	1.0	1.5	2	1	2
K_4	5.0	6.1	5.3	16	18	18	K_{15}	2.4	3.6	2.8	7	9	7
K_5	3.2	4.3	3.6	11	11	11	K_{16}	5.5	5.7	5.5	19	16	19
K_6	4.0	5.3	4.0	14	14	14	K_{17}	3.3	4.5	3.7	12	12	12
K_7	3.0	3.2	3.3	9	8	9	K_{18}	7.0	6.8	7	22	21	22
K_8	3.1	4.0	3.4	10	10	10	K_{19}	6.0	7.0	4.5	20	22	15
K_9	2.3	2.7	2.7	6	6	6	K_{20}	1.0	1.8	1.0	1	3	1
K_{10}	2.2	2.5	2.5	5	5	5	K_{21}	4.5	5.0	6.0	15	13	21
K_{11}	3.4	5.5	3.8	13	15	13	K_{22}	2.1	2.0	2.3	4	4	4

Adım 2. Kriterlerin karşılaştırmalı önem değerinin belirlenmesi.

Sıralanmış kriterlere uzmanlar tarafından (1-7) arasında önem değerleri ($\square_{c_j(k)}$) verilmiştir (Tablo 3). Verilen önem değerleri tamsayı olabileceği gibi; 2.2, 7.5 gibi ondalık sayılar da olabilir. Önem değeri belirlenirken en önemli kritere düşük, en önemsiz kritere büyük puan verilmelidir. Önem değerleri baz alınarak kriterlerin karşılaştırmalı önem değerleri hesaplanmıştır (Denklem15).

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_{K_{20}}}{K_{14}} &= \frac{1.5}{1.0} = 1.500 & \frac{\varphi_{K_{14}}}{K_1} &= \frac{2.0}{1.5} = 1.333 \\ \frac{\varphi_{K_1}}{K_{22}} &= \frac{2.1}{2.0} = 1.050 & \frac{\varphi_{K_{22}}}{K_{10}} &= \frac{2.2}{2.1} = 1.048 \\ \frac{\varphi_{K_{10}}}{K_9} &= \frac{2.3}{2.2} = 1.045 & \frac{\varphi_{K_9}}{K_{15}} &= \frac{2.4}{2.3} = 1.043 \\ \frac{\varphi_{K_{15}}}{K_{12}} &= \frac{2.6}{2.4} = 1.083 & \frac{\varphi_{K_{12}}}{K_7} &= \frac{3.0}{2.6} = 1.154 \\ \frac{\varphi_{K_7}}{K_8} &= \frac{3.1}{3.0} = 1.033 & \frac{\varphi_{K_8}}{K_5} &= \frac{3.2}{3.1} = 1.032 \\ \frac{\varphi_{K_5}}{K_{17}} &= \frac{3.3}{3.2} = 1.031 & \frac{\varphi_{K_{17}}}{K_{11}} &= \frac{3.4}{3.3} = 1.030 \\ \frac{\varphi_{K_{11}}}{K_6} &= \frac{4.0}{3.4} = 1.176 & \frac{\varphi_{K_6}}{K_{21}} &= \frac{4.5}{4.0} = 1.125 \\ \frac{\varphi_{K_{21}}}{K_4} &= \frac{5.0}{4.5} = 1.111 & \frac{\varphi_{K_4}}{K_3} &= \frac{5.1}{5.0} = 1.102 \\ \frac{\varphi_{K_3}}{K_2} &= \frac{5.2}{5.1} = 1.020 & \frac{\varphi_{K_2}}{K_{16}} &= \frac{5.5}{5.2} = 1.058 \\ \frac{\varphi_{K_{16}}}{K_{13}} &= \frac{5.6}{5.5} = 1.018 & \frac{\varphi_{K_{13}}}{K_{19}} &= \frac{6.0}{5.6} = 1.071 \\ \frac{\varphi_{K_{19}}}{K_{18}} &= \frac{7.0}{6.0} = 1.167 \end{aligned} \quad (15)$$

Adım 3. Kriterlerin ağırlık katsayılarının nihai değerlerinin belirlenmesi

Bu adımda öncelikle kriterlerin nihai ağırlık katsayısının iki koşulu sağladığı kontrol edilir.

a. Ağırlık katsayısının nihai değerleri şu koşulu sağlamalıdır (Denklem 16).

$$\begin{aligned} \frac{w_{20}}{w_{14}} &= 1.500 & \frac{w_{14}}{w_1} &= 1.333 & \frac{w_1}{w_{22}} &= 1.050 \\ \frac{w_{14}}{w_{22}} &= 1.048 & \frac{w_1}{w_{10}} &= 1.045 & \frac{w_{22}}{w_9} &= 1.043 \\ \frac{w_{10}}{w_{15}} &= 1.083 & \frac{w_9}{w_{12}} &= 1.154 & \frac{w_{15}}{w_7} &= 1.033 \\ \frac{w_{12}}{w_8} &= 1.032 & \frac{w_7}{w_5} &= 1.031 & \frac{w_8}{w_{17}} &= 1.030 \\ \frac{w_5}{w_{11}} &= 1.176 & \frac{w_{17}}{w_6} &= 1.125 & \frac{w_{11}}{w_{21}} &= 1.111 \\ \frac{w_6}{w_4} &= 1.102 & \frac{w_{21}}{w_3} &= 1.020 & \frac{w_4}{w_2} &= 1.058 \\ \frac{w_3}{w_{16}} &= 1.018 & \frac{w_2}{w_{13}} &= 1.071 & \frac{w_{16}}{w_{19}} &= 1.071 \end{aligned} \quad (16)$$

b. Ağırlık katsayılarının nihai değerleri Eşitlik 5 ile tanımlanan matematiksel geçişlilik koşulunu sağlamalıdır (Denklem 17).

$$\begin{aligned} \frac{w_{20}}{w_1} &= 2.00 & \frac{w_{14}}{w_{22}} &= 1.4 & \frac{w_1}{w_{10}} &= 1.10 & \frac{w_{22}}{w_9} &= 1.10 \\ \frac{w_{10}}{w_{15}} &= 1.09 & \frac{w_9}{w_{12}} &= 1.13 & \frac{w_{15}}{w_7} &= 1.25 & \frac{w_{12}}{w_8} &= 1.19 \\ \frac{w_7}{w_5} &= 1.07 & \frac{w_8}{w_{17}} &= 1.06 & \frac{w_5}{w_{11}} &= 1.06 & \frac{w_{17}}{w_6} &= 1.21 \\ \frac{w_{11}}{w_{21}} &= 1.32 & \frac{w_6}{w_4} &= 1.25 & \frac{w_{21}}{w_3} &= 1.13 & \frac{w_4}{w_2} &= 1.04 \\ \frac{w_3}{w_{16}} &= 1.08 & \frac{w_2}{w_{13}} &= 1.08 & \frac{w_{16}}{w_{19}} &= 1.09 & \frac{w_{13}}{w_{18}} &= 1.25 \end{aligned} \quad (17)$$

Koşullar sağlandığı için matematiksel model kurulabilmektedir (Denklem 18)- (Denklem 20).

Uzman 1- min X

$$\begin{cases} \left| \frac{w_{20}}{w_{14}} - 1.500 \right| \leq X, \left| \frac{w_{14}}{w_1} - 1.333 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_1}{w_{22}} - 1.050 \right| \leq X, \left| \frac{w_{22}}{w_{10}} - 1.048 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{10}}{w_9} - 1.045 \right| \leq X, \left| \frac{w_9}{w_{15}} - 1.043 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{15}}{w_{12}} - 1.083 \right| \leq X, \left| \frac{w_{12}}{w_7} - 1.154 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_7}{w_8} - 1.033 \right| \leq X, \left| \frac{w_8}{w_5} - 1.032 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_5}{w_{17}} - 1.031 \right| \leq X, \left| \frac{w_{17}}{w_{11}} - 1.030 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{11}}{w_6} - 1.176 \right| \leq X, \left| \frac{w_6}{w_{21}} - 1.125 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{21}}{w_4} - 1.111 \right| \leq X, \left| \frac{w_4}{w_3} - 1.020 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_3}{w_2} - 1.020 \right| \leq X, \left| \frac{w_2}{w_{16}} - 1.058 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{16}}{w_{13}} - 1.018 \right| \leq X, \left| \frac{w_{13}}{w_{19}} - 1.071 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{19}}{w_{18}} - 1.167 \right| \leq X, \left| \frac{w_{20}}{w_1} - 2.000 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{14}}{w_{22}} - 1.400 \right| \leq X, \left| \frac{w_1}{w_{10}} - 1.100 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{22}}{w_9} - 1.095 \right| \leq X, \left| \frac{w_{10}}{w_{15}} - 1.090 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_9}{w_{12}} - 1.130 \right| \leq X, \left| \frac{w_{15}}{w_7} - 1.250 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{12}}{w_8} - 1.192 \right| \leq X, \left| \frac{w_7}{w_5} - 1.066 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_8}{w_{17}} - 1.064 \right| \leq X, \left| \frac{w_5}{w_{11}} - 1.062 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{17}}{w_6} - 1.211 \right| \leq X, \left| \frac{w_{11}}{w_{21}} - 1.323 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_6}{w_4} - 1.250 \right| \leq X, \left| \frac{w_{21}}{w_3} - 1.133 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_4}{w_2} - 1.040 \right| \leq X, \left| \frac{w_3}{w_{16}} - 1.079 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_2}{w_{13}} - 1.077 \right| \leq X, \left| \frac{w_{16}}{w_{19}} - 1.090 \right| \leq X, \\ \left| \frac{w_{13}}{w_{18}} - 1.250 \right| \leq X \\ \sum_{j=1}^{22} w_j = 1, w_j \geq 0, \forall j \end{cases} \quad (18)$$

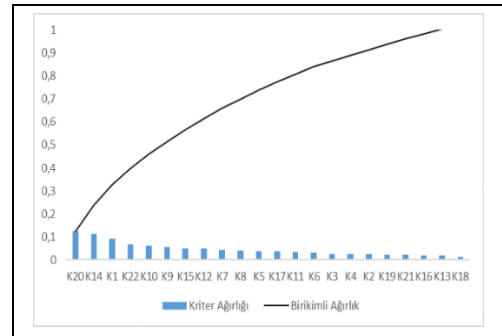
$$\begin{aligned}
 & \text{Uzman 2 - min } X \\
 & \left| \frac{w_{14}}{w_1} - 1.200 \right| \leq X, \left| \frac{w_1}{w_{20}} - 1.500 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{20}}{w_{22}} - 1.111 \right| \leq X, \left| \frac{w_{22}}{w_{10}} - 1.250 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{10}}{w_9} - 1.080 \right| \leq X, \left| \frac{w_9}{w_{12}} - 1.111 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{12}}{w_7} - 1.067 \right| \leq X, \left| \frac{w_7}{w_{15}} - 1.125 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{15}}{w_8} - 1.111 \right| \leq X, \left| \frac{w_8}{w_5} - 1.075 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_5}{w_{17}} - 1.047 \right| \leq X, \left| \frac{w_{17}}{w_{21}} - 1.111 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{21}}{w_6} - 1.060 \right| \leq X, \left| \frac{w_6}{w_{11}} - 1.038 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{11}}{w_{16}} - 1.036 \right| \leq X, \left| \frac{w_{16}}{w_{13}} - 1.053 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{13}}{w_4} - 1.017 \right| \leq X, \left| \frac{w_4}{w_3} - 1.033 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_3}{w_2} - 1.032 \right| \leq X, \left| \frac{w_2}{w_{18}} - 1.046 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{18}}{w_{19}} - 1.029 \right| \leq X, \left| \frac{w_{14}}{w_{20}} - 1.800 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_1}{w_{22}} - 1.667 \right| \leq X, \left| \frac{w_{20}}{w_{10}} - 1.389 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{22}}{w_9} - 1.350 \right| \leq X, \left| \frac{w_{10}}{w_{12}} - 1.200 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_9}{w_7} - 1.185 \right| \leq X, \left| \frac{w_{12}}{w_{15}} - 1.200 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_7}{w_8} - 1.250 \right| \leq X, \left| \frac{w_{15}}{w_5} - 1.194 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_8}{w_{17}} - 1.126 \right| \leq X, \left| \frac{w_5}{w_{21}} - 1.163 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{17}}{w_6} - 1.178 \right| \leq X, \left| \frac{w_{21}}{w_{11}} - 1.100 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_6}{w_{16}} - 1.075 \right| \leq X, \left| \frac{w_{11}}{w_{13}} - 1.091 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{16}}{w_4} - 1.071 \right| \leq X, \left| \frac{w_{13}}{w_3} - 1.051 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_4}{w_2} - 1.066 \right| \leq X, \left| \frac{w_3}{w_{18}} - 1.079 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_2}{w_{19}} - 1.076 \right| \leq X \\
 & \sum_{j=1}^{22} w_j = 1, w_j \geq 0, \forall_j
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{zman 3- min } X \\
 & \left| \frac{w_{20}}{w_{14}} - 1.500 \right| \leq X, \left| \frac{w_{14}}{w_1} - 1.333 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_1}{w_{22}} - 1.150 \right| \leq X, \left| \frac{w_{22}}{w_{10}} - 1.087 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{10}}{w_9} - 1.080 \right| \leq X, \left| \frac{w_9}{w_{15}} - 1.089 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{15}}{w_{12}} - 1.143 \right| \leq X, \left| \frac{w_{12}}{w_7} - 1.031 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_7}{w_8} - 1.030 \right| \leq X, \left| \frac{w_8}{w_5} - 1.059 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_5}{w_{17}} - 1.028 \right| \leq X, \left| \frac{w_{17}}{w_{11}} - 1.027 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{11}}{w_6} - 1.053 \right| \leq X, \left| \frac{w_6}{w_{19}} - 1.125 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{19}}{w_2} - 1.111 \right| \leq X, \left| \frac{w_2}{w_3} - 1.040 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_3}{w_4} - 1.019 \right| \leq X, \left| \frac{w_4}{w_{16}} - 1.038 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{16}}{w_{13}} - 1.018 \right| \leq X, \left| \frac{w_{13}}{w_{21}} - 1.071 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{21}}{w_{18}} - 1.167 \right| \leq X, \left| \frac{w_{20}}{w_1} - 2.000 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{14}}{w_{22}} - 1.533 \right| \leq X, \left| \frac{w_1}{w_{10}} - 1.250 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{22}}{w_9} - 1.174 \right| \leq X, \left| \frac{w_{10}}{w_{15}} - 1.176 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_9}{w_{12}} - 1.245 \right| \leq X, \left| \frac{w_{15}}{w_7} - 1.178 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{12}}{w_8} - 1.062 \right| \leq X, \left| \frac{w_7}{w_5} - 1.091 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_8}{w_{17}} - 1.089 \right| \leq X, \left| \frac{w_5}{w_{11}} - 1.056 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{17}}{w_6} - 1.081 \right| \leq X, \left| \frac{w_{11}}{w_{19}} - 1.185 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_6}{w_2} - 1.250 \right| \leq X, \left| \frac{w_{19}}{w_3} - 1.155 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_2}{w_4} - 1.060 \right| \leq X, \left| \frac{w_3}{w_{16}} - 1.058 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_4}{w_{13}} - 1.057 \right| \leq X, \left| \frac{w_{16}}{w_{21}} - 1.090 \right| \leq X, \\
 & \left| \frac{w_{13}}{w_{18}} - 1.250 \right| \leq X \\
 & \sum_{j=1}^{22} w_j = 1, w_j \geq 0, \forall_j
 \end{aligned} \tag{20}$$

Uzman 1'e ait matematiksel modelin çözümüyle elde edilen tam tutarlılıktan sapma değeri ($\chi=0.00018$), [0-0.025] aralığında bulunduğu için geçişlilik koşulunu da sağladığı görülmektedir. Bu da kriterlere ait nihai ağırlıklar katsayı değerlerinin yüksek tutarlılığını gösterir. FUCOM ile ilgili tüm işlemler diğer 2 uzman için de tekrarlanmış modeller ayrı ayrı çözülerek kriterler için nihai ağırlıklar katsayı değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması ilerleyen aşamalarda kullanılacaktır (Tablo 4).

3.3 Yayılımı etkileyen temel kriterlerin belirlenmesi

COVID-19 yayılım hızına etki eden temel kriterler; FUCOM yöntemiyle bulunan nihai ağırlık değerleri baz alınarak pareto analizi ile belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Pareto analizi grafiği.
Figure 2. Pareto analysis graph.

Pareto analizinde öncelikle FUCOM yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıklarına göre sıralanıp yüzde ve birikimli yüzde değerleri elde edilmiştir. Pareto analizi sonucunda COVID-19 yayılım hızına en çok etki eden yani ağırlığı toplamı %80 olan kriterler yayılım hızına etki eden temel kriterler olarak belirlenmiştir (Tablo 5).

Bu kriterler; aşı sayısı (K_{20}), toplu taşıma istasyonlarındaki hareketlilik (K_{14}), test sayısı (K_1), varyant görülmesi (K_{22}), nüfus yoğunluğu (K_{10}), nüfus (K_9), iş yerlerindeki hareketlilik (K_{15}), market ve eczanelerdeki hareketlilik (K_{12}), mekanik vantilatör sayısı (K_7), yoğun bakım yatak sayısı (K_8), kişi başına düşen sağlık harcaması (K_5), doktor sayısı (K_{17}) ve perakende ve rekreasyon yerlerindeki hareketlilik (K_{11}) kriterleridir (Tablo 5).

3.4 Veri setinin hazırlanması

RO yönteminde ve karşılaştırma yapılan diğer yapay zeka yöntemlerinde Pareto analizi sonucunda temel kriter olarak

belirlenen K_{20} , K_{14} , K_1 , K_{22} , K_{10} , K_9 , K_{15} , K_{12} , K_7 , K_8 , K_5 , K_{17} ve K_{11} kriter değerleri girdi olarak; onaylanmış vaka sayıları ise çıktı olarak kullanılmıştır.

Oluşturulan veri setinin sütunlarında COVID-19 onaylanmış vaka sayısını etkileyen 13 girdi değişkeni değerleri yer alırken; satırlarında her ülke için aşılamanın başladığı tarihten Temmuz 2021 tarihine kadar elde edilen 1926 değişken verisine yer verilmiştir. Veri setini oluşturmak için rastgele seçilen 17 farklı ülkeden veriler toplanmış, tüm ülke verilerinden tek bir veri seti elde edilmiştir. Verilerin toplandığı ülkeler alfabetik sıraya göre; Amerika Birleşik Devletleri (\bar{U}_1), Avustralya (\bar{U}_2), Avusturya (\bar{U}_3), Birleşik Krallık (\bar{U}_4), Çek Cumhuriyeti (\bar{U}_5), Fransa (\bar{U}_6), Güney Kore (\bar{U}_7), İtalya (\bar{U}_8), Japonya (\bar{U}_9), Macaristan (\bar{U}_{10}), Meksika (\bar{U}_{11}), Norveç (\bar{U}_{12}), Polonya (\bar{U}_{13}), Portekiz (\bar{U}_{14}), Slovakya (\bar{U}_{15}), Türkiye (\bar{U}_{16}), Yeni Zelanda (\bar{U}_{17})'dir. Veri seti, alan kısıtlaması nedeniyle her ülke için yalnızca ilk veri satırı gösterilerek Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 4. Uzmanlara bağlı olarak belirlenen nihai ağırlık katsayı değerleri.

Table 4. The final weight coefficient values determined according to experts.

	Uzmanlar			Ortalama nihai ağırlıklar katsayı değerleri	Uzmanlar			Ortalama nihai ağırlıklar katsayı değerleri	
	U_1	U_2	U_3		U_1	U_2	U_3		
K_1	0.065	0.129	0.079	0.091	K_{12}	0.050	0.049	0.047	0.049
K_2	0.025	0.019	0.030	0.025	K_{13}	0.023	0.022	0.017	0.021
K_3	0.026	0.020	0.029	0.025	K_{14}	0.087	0.150	0.105	0.114
K_4	0.026	0.021	0.028	0.025	K_{15}	0.055	0.040	0.054	0.050
K_5	0.041	0.032	0.042	0.038	K_{16}	0.024	0.023	0.017	0.021
K_6	0.033	0.025	0.037	0.032	K_{17}	0.040	0.030	0.041	0.037
K_7	0.044	0.045	0.045	0.045	K_{18}	0.019	0.018	0.009	0.015
K_8	0.042	0.035	0.044	0.040	K_{19}	0.022	0.017	0.033	0.024
K_9	0.057	0.055	0.058	0.057	K_{20}	0.131	0.085	0.157	0.124
K_{10}	0.060	0.060	0.063	0.061	K_{21}	0.029	0.027	0.010	0.022
K_{11}	0.039	0.025	0.039	0.034	K_{22}	0.062	0.076	0.068	0.069

Tablo 5. Kriterlere ait Pareto analizi değerleri.

Table 5. The Pareto analysis values of the criteria.

Kriterler	Ort. w	Yüzde	Birikimli yüzde	Kriterler	Ort.w	Yüzde	Birikimli yüzde
K_{20}	0.124	0.124	0.124	K_{17}	0.037	0.037	0.774
K_{14}	0.114	0.114	0.238	K_{11}	0.034	0.034	0.809
K_1	0.091	0.091	0.329	K_6	0.032	0.032	0.840
K_{22}	0.069	0.069	0.398	K_3	0.025	0.025	0.865
K_{10}	0.061	0.061	0.459	K_4	0.025	0.025	0.890
K_9	0.057	0.057	0.516	K_2	0.025	0.025	0.915
K_{15}	0.050	0.050	0.565	K_{19}	0.024	0.024	0.939
K_{12}	0.049	0.049	0.614	K_{21}	0.022	0.022	0.961
K_7	0.045	0.045	0.659	K_{16}	0.021	0.021	0.982
K_8	0.040	0.040	0.699	K_{13}	0.021	0.021	1.003
K_5	0.038	0.038	0.737	K_{18}	0.015	0.015	1.018

Ort. w: Ortalama nihai ağırlıklar katsayı değerleri.

Tablo 6. Onaylanmış vaka sayısını tahmin etmek için kullanılan veri seti.

Table 6. Dataset used to predict confirmed cases.

Ülkeler	Temel Girdi Değişkenleri													Çıktı Değişkeni Vaka Sayısı
	K ₁ (bin)	K ₅	K ₇	K ₈	K ₉ (milyon)	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₄	K ₁₅	K ₁₇	K ₂₀	K ₂₂	
Ü ₁	5789	9536	245000	294	3295	356	-131	-56	-300	-254	26	1356773	4	38278
Ü ₂	8486	5187	1314	91	2550	32	-169	-20	-406	-133	368	0	4	1
Ü ₃	2125	5851	2500	218	9006	1067	-607	-293	-541	-557	52	1314	4	1592
Ü ₄	5369	4356	13175	66	6789	2729	-634	-231	-639	-446	281	165844	4	46295
Ü ₅	6732	3428	3529	116	1071	1372	-656	-299	-517	-616	41	3452	3	10862
Ü ₆	7007	116	122578	77	6756	-406	-376	327	-14	40260	398	51286	4	3106
Ü ₇	3710	2013	9795	106	5127	5280	-24	177	-83	-66	236	1424	4	355
Ü ₈	16905	2700	5324	125	6046	2059	-547	-204	-604	-541	398	4735	4	16202
Ü ₉	4529	135	347778	4428	1265	-303	-203	241	-46	37330	750	12286	4	1297
Ü ₁₀	5130	894	2560	138	9660	1080	-377	-99	-361	-216	341	1925	1	573
Ü ₁₁	4053	535	2050	12	1290	664	-303	33	-356	-330	238	2755	4	5996
Ü ₁₂	1759	7464	800	8	5421	145	-109	29	-446	-186	292	0	4	402
Ü ₁₃	3905	797	10100	69	3785	1240	-484	-260	-513	-487	238	11300	3	13464
Ü ₁₄	3409	2661	1400	42	1020	1124	-264	-70	-457	-443	51	2791	3	2093
Ü ₁₅	9351	2062	600	92	5460	1131	-699	-271	-614	-571	342	425	3	2989
Ü ₁₆	16985	455	17000	465	8434	1049	-503	-36	-373	-293	185	279452	4	8962
Ü ₁₇	10349	4204	334	46	4822	182	-73	-10	-417	-63	36	65	2	0

3.5 Onaylanmış vaka sayılarının RO yöntemiyle tahmin edilmesi

Hazırlanan veri seti, eğitim ve test verileri olarak iki alt gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada toplam veri satırının %70'i (1926×0.7=1348) eğitim için kullanılmıştır. Kalan veriler ise (1926×0.3=578) test için ayrılmıştır. RO yönteminde optimum sonucu bulabilmek için bazı hiperparametrelere ızgara arama çapraz doğrulama (grid search cross validation) yöntemi uygulanmıştır. ızgara arama çapraz doğrulama ile herbir yonteme ait, tüm hiperparametre kombinasyonları denenmiş ve en iyi performans skoruna sahip en iyi hiperparametre seti bulunmuştur. ızgara arama yönteminde kullanılan minimum ve maksimum değerler ile ızgara arama çapraz doğrulama yöntemi ile bulunan optimum sonuçlar Tablo 7'de özetlenmiştir. Veri setindeki değerler sayısal olduğu için 'least-square' ayırma kriteri olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. RO yöntemi için kullanılan hiperparametre ve değerleri.

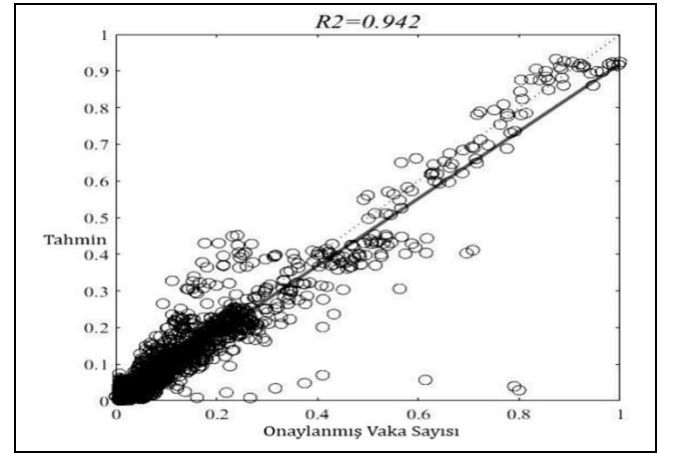
Table 7. Hyperparameters and their values used for the random forest method.

Hiperparametre	Min	Max	Adım sayısı	Opt. değer
Ağaç sayısı	1	100	10	80
Maksimum derinlik	-1	100	10	39
Önbudama	√	χ		χ
Rassal bölmeler	√	χ		χ
Yerel rassal çekirdek kullanımı	√	χ		√
Paralel uygulama özelliği	√	χ		χ

Uygulandı: √ Uygulanmadı: χ

4 Sonuçlar

RO yöntemi tahmini sonucunda gerçekleşen onaylanmış vaka sayısı ile tahmin edilen onaylanmış vaka sayısı %92.9 oranında benzemektedir (Şekil 3). Değerler 45° açı ile bir çizgi üzerinde yer aldığı için sonuçların benzerlik gösterdiği şekilsel olarak da görülmektedir.



Şekil 3. Gerçekleşmiş ve tahmin edilen vaka sayısı.

Figure 3. The actual and the predicted number of cases.

Uygulama sonunda Hibrit FUCOM-Pareto analizi- RO yönteminin; karar ağacı (KA), destek vektör makinesi (DVM), yapay sinir ağı (YSA) gibi diğer yapay zeka yöntemleriyle karşılaştırması yapılarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Karşılaştırılan yapay zekâ yöntemleri hiperparametrelerinin belirlenmesi için de ızgara arama çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. KA yönteminde ayırma kriteri olarak 'least-square' uygulanmıştır. Kullanılan diğer hiperparametreler de Tablo 8'de görülmektedir.

Tablo 8. KA yöntemi için kullanılan hiperparametre ve değerleri.

Table 8. Hyperparameters and their values used for the decision tree method.

Hiperparametre	Min	Max	Adım Sayısı	Opt. Değer
Güven parametresi	0	∞	10	∞
Minimum yaprak sayısı	1	100	10	31
Minimum bölünme	1	100	10	100
Önbudama	$\sqrt{\chi}$	χ		χ
Budama	$\sqrt{\chi}$	χ		$\sqrt{\chi}$
Maksimum derinlik	-1	100	10	50
Önbudama alternatifi sayısı	0	100	10	0

Uygulandı: $\sqrt{\chi}$ Uygulanmadı: χ

DVM için kernel çeşidi olarak 'dot', 'radyal' ve 'anova' seçilmiştir. En iyi sonucu veren kernel çeşidinin 'anova' olduğu belirlenmiştir. Kullanılan diğer hiperparametreler ise Tablo 9'da görülmektedir.

Tablo 9. DVM yöntemi için kullanılan hiperparametre ve değerleri.

Table 9. Hyperparameters and their values used for the support vector machine method.

Hiperparametre	Min	Max	Adım Sayısı	Opt. Değer
Gamma parametresi	0	100	10	40
C parametresi	0	100	10	70
Max iterasyon sayısı	1	100	10	100
Çekirdek önbelleği	0	100	10	60
Yakınsak tolerans marjı	0	100	10	80

YSA yönteminde seçilen ve ızgara yönteminde kullanılan hiperparametreler ile belirlenen optimum değerleri ise Tablo 10'da verilmiştir.

Çalışmada öncelikle küçük bir veri seti için Halving Izgara Arama (HGS) yöntemi kullanılmış ve yapay zeka yöntemlerine etki eden hiperparametreler tespit edilmiştir. Daha sonra tüm veri seti için, belirlenen tüm hiperparametrelerle kombinasyon yapılarak optimum değerler bulunmuştur. Çalışmada destek vektör makinesine ait HGS yöntemi ile belirlenen 6 hiperparametre için 483153 kombinasyon, karar ağacına ait HGS yöntemi ile belirlenen 7 hiperparametre için 644204

kombinasyon, rassal ormana ait HGS yöntemi ile belirlenen 6 hiperparametre için 1936 kombinasyon ve yapay sinir ağına ait HGS yöntemi ile belirlenen 7 hiperparametre için 720 kombinasyon kullanılarak mümkün olan tüm ızgara aramalar uygulanmıştır.

Hibrit FUCOM-Pareto analizi- RO yöntemi, RMSE, MAE, RRSE ve R^2 gibi istatistiksel performans kriterleri ve hesaplama süreleri kullanılarak KA, DVM ve YSA yöntemleriyle karşılaştırılmıştır (Tablo 11). Tablo 11'de eğitim ve test verileri için ayrı ayrı performans kriterleri gösterilmiştir. Eğitim veri setine ait RMSE, MAE ve RRSE değerlerinin test veri setine göre düşük ve R^2 değerinin de yüksek olması yapay zeka yöntemlerinde ezberlemenin olmadığını göstermektedir.

Tablo 10. YSA yöntemi için kullanılan hiperparametre ve değerleri.

Table 10. Hyperparameters and their values used for the ANN method.

Hiperparametre Değerleri				Opt. Değer
Eğitim fonksiyonu	BFG BR	GDM LM	GDA	BR
Öğrenme fonksiyonu	Learngd	Learngdm		Learngd
Gizli katman sayısı	2	5		m 5
Transfer fonksiyonu	ReLu	Logsig	Tansig	ReLu
(Gizli katman)				
Transfer fonksiyonu	Logsig	Purelin	Tansig	Tansig
(Çıktı katmanı)				
Nöron sayısı	10	30		30
İterasyon sayısı	100	1000		884

BFG: BFGS Quasi-Newton, BR: Bayesian Regularization, GDM: Gradient Descent with Momentum Backpropagation, LM: Levenberg-Marquardt, GDA: Gradient descent with Adaptive Learning Rate Backpropagation. ReLu: Rectified linear unit, Logsig: Standard sigmoid, Tansig: Hyperbolic tangent sigmoid, Purelin: Doğrusal (linear) fonksiyon

Tablo 11. Yapay zeka yöntemlerinin karşılaştırılması.

Table 11. Comparison of the artificial intelligence methods.

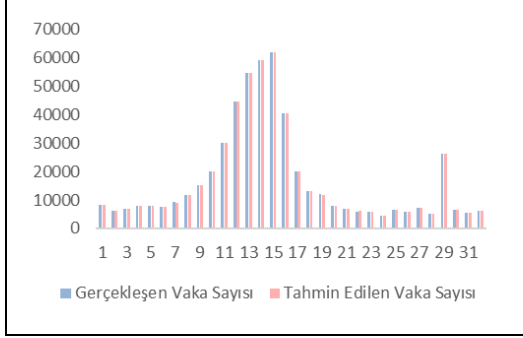
Performans Kriterleri	Yöntemler							
	Hibrit Yöntem		KA Yöntemi		DVM Yöntemi		YSA Yöntemi	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test	Eğitim	Test
RMSE	2957	3247	3294	3496	3152	3317	3366	3452
MAE	1354	1714	1567	1872	1690	1921	2469	2539
RRSE	0.362	0.374	0.387	0.407	0.393	0.411	0.395	0.436
R^2	0.953	0.929	0.935	0.915	0.928	0.915	0.923	0.912
Hesaplama süresi*	25 dk. 13 sn.		195 dk. 38 sn.		190 dk. 15 sn.		64 dk. 33 sn.	

Hibrit Yöntem: Hibrit FUCOM-Pareto analizi- Rastgele orman KA: Karar ağacı DVM: Destek vektör makinası YSA: Yapay sinir ağı.

*: Tüm hiperparametre kombinasyonlarının çözümü için kullanılan toplam eğitim süreleridir.

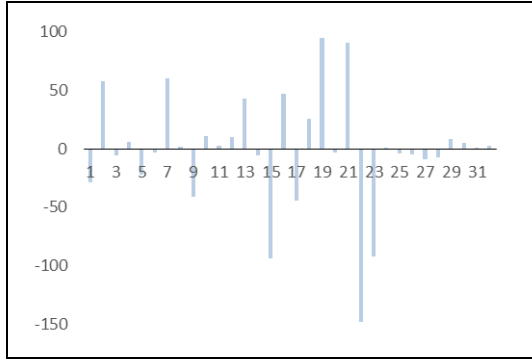
Karşılaştırma sonucunda oluşturulan hibrit FUCOM-Pareto analizi- rastgele orman yönteminin diğer yapay zeka yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Çalışmada ayrıca, Türkiye'ye ait 32 test verisi için gerçekleşen ve tahmin edilen onaylanmış vaka sayıları karşılaştırılmış (Şekil 4), vaka sayıları arasındaki farklar grafik olarak verilmiştir (Şekil 5). Şekil 5'te yer alan pozitif değerler; gerçekleşen onaylanmış vaka sayısının tahmin edilen vaka sayısından fazla olduğunu gösterirken, negative olan değerler tam tersi durumu ifade etmektedir.



Şekil 4. Türkiye için gerçekleşen ve tahmin edilen vaka sayıları

Figure 4. The actual and the predicted number of cases for Turkey.



Şekil 5. Türkiye için gerçekleşen ve tahmin edilen vaka sayıları farkları.

Figure 5. The variance between the actual and the predicted number of cases for Turkey.

5 Tartışma ve sonuç

Son zamanlarda ortaya çıkan COVID-19 salgınının ardından tüm ülkeler virüsün yayılmasını kontrol altına almak için önlemler ve düzenlemeler getirmek zoruna kalmıştır. Bu aşamada hangi önlemlerin uygulanması gerektiğini değerlendirirken COVID-19 yayılımına etki eden temel kriterlerin belirlenmesi önemli bir konudur.

Çalışmada öncelikle COVID-19 yayılımına etki edebilecek kriterler uzman ekip tarafından belirlenmiş, FUCOM yöntemi kullanılarak bu kriterlere ait ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplamalarda bulunan nihai ağırlık değerleri Pareto analizinde kullanılarak sonuçlarda %80 etki gösteren kriterler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yetkililerin alması gereken başlıca önlemler; aşılamanın hızlandırılması, toplu taşıma istasyonlarındaki hareketliliğin azaltılması, test sayısının artırılarak semptom göstermeyen veya az gösteren COVID-19 virüsü taşıyan hastaların belirlenmesi, varyantlara karşı özel

önlemlerin alınması, kalabalık aktivitelerin minimuma indirilmesi olarak belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen temel kriterler baz alınarak RO yöntemi ile onaylanmış vaka sayıları tahmin edilmiştir. Hibrit yöntemle belirlenen tahmin değerleri KA, DVM ve YSA gibi farklı yapay zeka yöntemleri ile karşılaştırılarak daha iyi sonuçlar verdiği açıklanmıştır.

Çalışmanın kısıtlaması sadece uzman tarafından belirlenen kriterlerin ele alınmasıdır. Gelecek çalışmalarda COVID-19 yayılımına etki eden daha fazla kriter incelenerek çalışmanın genişletilmesi amaçlanmaktadır. Bunun yanı sıra yapay zeka yöntemlerinin optimum hiperparametre değerlerinin belirlenmesi konusunda ızzara arama yönteminin yerine sezgisel yöntemlerin kullanılması planlanmaktadır.

6 Discussion and conclusion

After the recent COVID-19 outbreak, all countries have had to introduce measures and regulations to control the spread of the virus. It is an important issue to determine the basic criteria affecting the spread of COVID-19 when evaluating which measures should be applied at this stage.

In the study, first of all, the criteria that could affect the spread of COVID-19 were determined by the expert team, and the weights of these criteria were calculated using the FUCOM method. The final weight values found in the calculations were used in the Pareto analysis, and criteria with 80% effect on the results were determined. The main measures to be taken by the authorities as a result of the study; accelerating vaccination, reducing the mobility in public transport stations, increasing the number of tests, identifying patients with the COVID-19 virus who show little or no symptoms, taking special precautions against variants, and minimizing crowded activities. In addition, the number of confirmed cases was estimated by the RF method based on the determined basic criteria. The prediction values determined by the hybrid method were compared with different artificial intelligence methods such as DT, SVM and ANN, and it was explained that it gave better results.

The limitation of the study is that only the criteria determined by the expert are considered. It is aimed to expand the study by examining more criteria affecting the spread of COVID-19 in future studies. In addition, it is planned to use heuristic methods instead of the grid search method in determining the optimum hyperparameter values of artificial intelligence methods.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Seda Hatice GÖKLER fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında ve sonuçların incelenmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

8 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.

9 Kaynaklar

- [1] WHO. "Coronavirus (COVID-19) Dashboard". <https://covid19.who.int/> (23.09.2021).

- [2] Devaraj J, Elavarasan RM, Pugazhendhi R, Shafiullah GM, Ganesan S, Jeysree AK, Khan IA, Hossain E. "Forecasting of COVID-19 cases using deep learning models: Is it reliable and practically significant?". *Results in Physics*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.103817>
- [3] Gumaie A, Al-Rakhami M, Al Rahhal MM, Albogamy FR, Al Maghayreh E, AlSalman, H. "Prediction of COVID-19 confirmed cases using gradient boosting regression method". *Computers, Materials and Continua*, 66(1), 315-329, 2021.
- [4] Singh V, Poonia RC, Kumar S, Dass P, Agarwal P, Bhatnagar V, Raja L. "Prediction of COVID-19 corona virus pandemic based on time series data using Support Vector Machine". *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography*, 23(8), 1583-1597, 2020.
- [5] Hao Y, Xu T, Hu H, Wang P, Bai Y. "Prediction and analysis of corona virus disease 2019". *PloS One*, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239960>
- [6] Singh S, Parmar KS, Makkhan SJS, Kaur J, Peshoria S, Kumar J. "Study of ARIMA and least square support vector machine (LS-SVM) models for the prediction of SARS-CoV-2 confirmed cases in the most affected countries". *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110086>
- [7] Shahid F, Zameer A, Muneeb M. "Predictions for COVID-19 with deep learning models of LSTM, GRU and Bi-LSTM". *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110212>
- [8] Rustam F, Reshi AA, Mehmood A, Ullah S, On BW, Aslam W, Choi GS. "COVID-19 future forecasting using supervised machine learning models". *IEEE Access*, 8, 101489-101499, 2020.
- [9] Unlu R, Namli E. "Machine learning and classical forecasting methods based decision support systems for COVID-19". *CMC-Computers Materials & Continua*, 64(3), 1383-1399, 2020.
- [10] Masum AKM, Khushbu SA, Keya M, Abujar S, Hossain SA. "COVID-19 in Bangladesh: A Deeper Outlook into The Forecast with Prediction of Upcoming Per Day Cases Using Time Series". *Procedia Computer Science*, 178, 291-300, 2020.
- [11] Almazroi AA, Usmani RSA. "COVID-19 cases prediction in Saudi Arabia using tree-based ensemble models". *Intelligent Automation and Soft Computing*, 32(1), 389-400, 2022.
- [12] Gupta S, Raghuwanshi GS, Chanda A. "Effect of weather on COVID-19 spread in the US: A prediction model for India in 2020". *Science of the Total Environment*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138860>
- [13] Behnood A, Golafshani EM, Hosseini SM. "Determinants of the infection rate of the COVID-19 in the U.S. using ANFIS and virus optimization algorithm (VOA)". *Chaos Solitons and Fractals*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110051>
- [14] Ahmadi M, Sharifi A, Dorosti S, Ghouschi SJ, Ghanbari N. "Investigation of effective climatology parameters on COVID-19 outbreak in Iran". *Science of the Total Environment*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138705>
- [15] Goswami K, Bharali S, Hazarika J. "Projections for COVID-19 pandemic in India and effect of temperature and humidity". *Diabetes and Metabolic Syndrome Clinical Research and Reviews*, 14(5), 801-805, 2020.
- [16] Al-Rousan N, Al-Najjar H. "The correlation between the spread of COVID-19 infections and weather variables in 30 Chinese provinces and the impact of Chinese government mitigation plans". *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 24(8), 4565-4571, 2020.
- [17] Ahmad F, Almuayqil SN, Mamoona H, Shahid N, Wasim Ahmad K, Kashaf J. "Prediction of COVID-19 cases using machine learning for effective public health management". *Computers, Materials, & Continua*, 66(3), 2265-2282, 2021.
- [18] Kumar A, Rani P, Kumar R, Sharma V, Purohit SR. "Data-driven modelling and prediction of COVID-19 infection in India and correlation analysis of the virus transmission with socio-economic factors". *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 14(5), 1231-1240, 2020.
- [19] Pamucar D, Ecer F, Devenci M. "Assessment of alternative fuel vehicles for sustainable road transportation of United States using integrated fuzzy FUCOM and neutrosophic fuzzy MARCOS methodology". *Science of The Total Environment*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147763>
- [20] Nunić ZB. "Evaluation and selection of Manufacturer PVC carpentry using FUCOM-MABAC model". *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1(1), 13-28, 2018.
- [21] Zavadskas EK, Nunić Z, Stjepanović Ž, Prentkovskis O. "A novel rough range of value method (R-ROV) for selecting automatically guided vehicles (AGVs)". *Studies in Informatics and Control*, 27(4), 385-394, 2018.
- [22] Pamucar D, Lukovac V, Božanić D, Komazec N. "Multi-criteria FUCOM-MAIRCA model for the evaluation of level crossings: case study in the Republic of Serbia". *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1, 108-129, 2018.
- [23] Prentkovskis O, Erceg Ž, Stević Ž, Tanackov I, Vasiljević M, Gavranović M. "A new methodology for improving service quality measurement: delphi-FUCOM-SERVQUAL model". *Symmetry*, 10(12), 757-782, 2018.
- [24] Breiman, L. "Random forests". *Machine Learning*, 45(1), 5-32, 2001.
- [25] Tekin MC, Tunali V. "Yazılım geliştirme taleplerinin metin madenciliği yöntemleriyle önceliklendirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(5), 615-620, 2019.
- [26] Sağbaş EA, Ballı S. "Akıllı telefon algılayıcıları ve makine öğrenmesi kullanılarak ulaşım türü tespiti". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 376-383, 2016.
- [27] Pal M. "Random forest classifier for remote sensing classification". *International Journal Of Remote Sensing*, 26(1), 217-222, 2005.
- [28] Our World in Data. "Coronavirus Pandemic (COVID-19)". <https://ourworldindata.org/coronavirus> (01.10.2021).
- [29] Our World in Data. "Coronavirus (COVID-19) Testing". <https://ourworldindata.org/coronavirus-testing> (01.10.2021).
- [30] Wikipedia. "List of Countries by Age Structure". https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_age_structure (05.10.2021).
- [31] Wikipedia. "List of Countries by Total Health Expenditure Per Capita". https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_total_health_expenditure_per_capita (05.10.2021).

- [32] Wikipedia. "Gross National Income". https://en.wikipedia.org/wiki/Gross_national_income (05.10.2021).
- [33] Wikipedia. "List of Countries by Hospital Beds". https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_hospital_beds (05.10.2021).
- [34] Wikipedia. "List of Countries and Dependencies by Population Density". https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_and_dependencies_by_population_density (05.10.2021).
- [35] COVID-19 Community Mobility Reports. "CSV documentation". <https://www.google.com/covid19/mobility> (10.10.2021).
- [36] OECD. "World Health Organization's Global Health Workforce Statistics". <https://data.worldbank.org/indicator/SH.MED.PHYS.ZS> (01.10.2021).
- [37] World Tourism Organization. "Yearbook of Tourism Statistics, Compendium of Tourism Statistics and data files". <https://data.worldbank.org/indicator/ST.INT.ARVL> (01.10.2021).
- [38] Nuclear Threat Initiative, John Hopkins Bloomberg School of Public Health. "Global Health Security Index 2019". <https://www.ghsindex.org> (12.11.2021).
- [39] COVID-19 Map-Johns Hopkins Coronavirus Resource Center. "Global Map". <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (10.11.2021).
- [40] Data Center. "Human Development Reports". <http://hdr.undp.org/en/data> (10.11.2021).
- [41] Dünya Sağlık Örgütü, World Health Organization. "COVID-19 Weekly Epidemiological Update, 15 June 2021". <https://www.who.int/publications/m> (12.11.2021).