

## Altın Fiyatlarındaki Değişimin Saklı Markov Modeli İle İncelenmesi

### Examination of Change in Gold Prices with Hidden Markov Model

#### Özet

Önemli yatırım araçlarından biri olan altın, piyasalar üzerindeki etkisi sebebiyle dünya çapında birçok yatırımcı tarafından takip edilmektedir. Bu sebeple altın fiyatlarının tahmini ve etkileyen faktörlerin belirlenmesi önemli problemlerden biridir. Bu çalışmada, altın fiyatlarındaki yüzdesel değişim oranı ve sebepleri saklı Markov modelleri ile tahmin edilmiştir. Bunun için 2013-2023 yılları arası altın, dolar, faiz ve enflasyon oranı verileri kullanılmıştır. Altın fiyatlarındaki yüzdesel değişim gözlemler olarak tanımlanırken, altın fiyatlarını etkileyen dolar, faiz ve enflasyon oranlarından mümkün 18 saklı durum elde edilmiştir. Saklı Markov modeli birinci temel probleminin çözümünde ileri yön algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile 2 aylık dönemlerde karşılaşılabilecek gözlem dizisi olasılıkları hesaplanmıştır. Bu dönemde altın fiyatlarındaki yüzdesel değişimin 0,5'ten büyük olması olasılığı %23,6 olarak bulunmuştur. Gözlem dizilerini en iyi açıklayan saklı durumlar Viterbi algoritması ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar gerçek veriler ile karşılaştırıldığında yüksek doğruluk oranlarının elde edildiği gözlenmiştir.

#### Abstract

Gold, which is one of the important investment instruments, is followed by many investors around the world due to its impact on the markets. For this reason, the estimation of gold prices and the determination of the affecting factors is one of the important problems. In this study, the percentage change in gold prices and its causes are estimated with hidden Markov models. Gold, dollar, interest and inflation rate data between 2013-2023 were used. Percentage change in gold prices is defined as observations and 18 possible hidden state are obtained from dollar, interest and inflation rates that affect gold prices. The forward algorithm is used to solve the first fundamental problem of the hidden Markov model. Observation sequence probabilities in 2-month periods were calculated with this algorithm. In this period, the probability of the percentage change in gold prices to be greater than 0,5 was found to be 23,6%. Hidden states that best explain the observation sequences are examined with the Viterbi algorithm. It has been observed that high accuracy rates are obtained by comparing the results with real data.

#### Giriş

Altın, yüzyıllardan beri hem ticari hem finansal yatırım aracı olarak kullanılan değerli madenlerden biridir. Kuyumculuk, elektronik, sağlık gibi birçok sektörde kullanım alanı bulunan altın, farklı kişi ve kurumlarca değişik sebeplerden dolayı talep edilmektedir (Barca ve Arabacı, 2020: 203). Altın fiyatları, finansal ve reel piyasalar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, altın fiyatlarındaki dalgalanmalar farklı sektör yatırımcıları ve ekonomik karar alıcılar için önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Altın fiyatlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır (Doğanalp vd., 2016: 412; Küçüksoy ve Yalçın, 2017: 2). Finansal piyasalardaki belirsizlik, ekonomik ve siyasi politikalar altın fiyatlarındaki dalgalanmalara neden olan temel faktörler arasındadır. Bu faktörler dikkate alındığında, gelecekteki altın fiyatlarının tahmin edilmesi, finansal piyasalardaki yatırım kararlarının alınmasında büyük bir rol oynamaktadır. Piyasa ve siyasi belirsizliklerin olduğu dönemlerde altın fiyatlarının tahmin edilebilirliği daha düşüktür (Tuna vd., 2014: 28;

#### Ayşenur Akın Vargeloğlu

Arş. Gör., Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi,  
İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye,  
aysenurakin@gazi.edu.tr  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0002-3949-025X>

#### Yaprak Arzu Özdemir

Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi,  
İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye,  
yaprak@gazi.edu.tr  
Orcid No: <https://orcid.org/0000-0003-3752-9744>

#### Makale Türü / Article Type

Research Article / Araştırma Makalesi

#### Anahtar Kelimeler

Saklı Markov Modeli, Saklı Markov Modeli Algoritmaları, Altın Fiyatları Tahmini.

#### Keywords

Hidden Markov Model, Hidden Markov Model Algorithms, Gold Price Forecast

JEL Codes: C13, C19, G10

Submitted: 24 / 08 / 2023

Accepted: 03 / 10 / 2023

Söylemez, 2020: 271-272). Bu anlamda siyasi belirsizlikler sayısal olarak elde edilemediğinden, bu tür çalışmalara dahil edilmesi mümkün olmamaktadır.

Saklı Markov modelleri, Markov modellerinin özel bir hali olarak tanımlanmaktadır. Saklı Markov modellerinde gözlem değeri bilinirken gözlemin meydana geldiği durumlar bilinmemektedir. Modelin "saklı" olarak tanımlanması durumların bilinmemesinden kaynaklanmaktadır. Saklı Markov modelleri gözlem verileri ile saklı durumlar arası ilişkinin modellenmesinde kullanılır (Danışman, 2021: 10). Markov zincirleri yöntemi ile altın fiyatlarının tahmin edilmesi konusunda birçok çalışma bulunmaktadır (Demirci, 2020; Çam ve Kılıç, 2018). Ancak altın fiyatlarındaki değişimlerin nedenlerinin incelenmesinde yani altın fiyatlarını etkileyen dolar, petrol fiyatları, faiz, enflasyon oranları gibi faktörlerin hangi durumlarda altın fiyatlarını nasıl etkileyeceğinin araştırılmasında Markov zincirleri yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada altın fiyatlarındaki değişimler ve bu değişimlerin nedenleri saklı Markov modelleri ile incelenmiştir. Saklı Markov modelleri ilk olarak Baum ve Petrie tarafından 1966 yılında literatüre kazandırılmıştır. Baum ve Petrie çalışmalarında saklı Markov modellerinin temellerini oluşturan istatistiksel çıkarım yöntemlerini tanıtmışlardır (Baum ve Petrie, 1966: 164-171). Baum ve arkadaşları 1970'li yıllarda yaptıkları çalışmalar ile parametre tahmininde kullanılan algoritmalar ve saklı Markov modelleri yapısını geliştirmişlerdir (Baum ve Egon, 1967; Baum ve Shell, 1968; Baum ve Ark.,1970; Baum, 1972). Saklı Markov modelleri 1970'li yıllarda ilk olarak "konuşma tanıma" alanında uygulanmıştır. 1980'lerden itibaren konuşma tanıma, doğal dil işleme, biyoinformatik alanlarının yanı sıra gelişen teknoloji ile birlikte sağlık, mühendislik, ekonomik, deprem tahminleri vb. birçok alanda uygulanmıştır (Danışman ve Kocer, 2021; Bedelci, 2022; Manogaran vd., 2018; Dönmez ve Alp, 2019). Ekonomik alanda da saklı Markov modelleri ile ilgili yapılan önemli çalışmalar bulunmaktadır. Öz (2009), 2002-2007 yılları arası IMKB hisse senedi fiyatlarını içsel faktörleri kullanarak saklı Markov modeli ile tahmin etmiştir. Saklı Markov modeli ile etkin sonuçlar elde edilmiştir. Can ve Öz (2009), çalışmalarında saklı Markov modelleri ile dolar kurlarındaki değişimi ve altında yatan saklı durumları tahmin etmişlerdir. Çalışmada dolar kurundaki yüzdesel değişimler gözlem dizisi olarak alınırken, saklı durumlar ise faiz ve ödemeler dengesi verileri yardımıyla belirlenmiştir. Dolar fiyatlarının kısa dönemli gelecek tahminleri ve altında yatan saklı durumlar belirlenmiştir. Özcan (2015), saklı Markov modellerinin temel yapısını ele almışlardır. Saklı Markov modellerinin konuşma tanıma ve finansal tahminleme alanlarındaki kullanımı detaylı olarak incelenmiştir. Dağlıoğlu ve Kırıl (2018), Borsa İstanbul 100 endeks değerinin değişim oranı ve hangi içsel faktörlerden etkilendiğini saklı Markov modelleri ile tahmin etmişlerdir. Baum-Welch algoritması ile parametreler yeniden tahmin edilerek etkin sonuçlar elde edilmiştir. Danışman (2021), bağımlılık yapısının bulunduğu saklı markov modellerini önermiştir. Önerilen modellerin performansları deneysel ve vaka çalışmaları ile incelenmiştir. Önerilen modellerin başarısı deprem ve günlük hisse senedi fiyatları verileri ile ele alınmıştır. Sinanoğlu (2021), 2016-2020 yılları arası BİST30 endeks verilerini kullanarak saklı Markov modeli ile hisse senedi piyasalarının gelecek yönünü tahmin etmiştir. Kılıç (2022), saklı Markov modellerinin başlangıç parametrelerinin seçimi için tekrarlayan sinir ağı kullanarak hibrit bir model önermiştir. 2000 ve 2021 yılları arası S&P 500 ve Nasdaq günlük kapanış fiyatları ve günlük EUR/USD verileri ile önerilen hibrit modelin daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Altın fiyatları ve getirileri ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların bazıları şu şekildedir: Demirci (2020), altın fiyatlarını Markov zincirleri yöntemi ile tahmin etmiştir. 2016-2018 yılları arası günlük gram altın fiyatları kullanılarak 3 ve 5 durumlu geçiş matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların, altın yatırımcıları için yönlendirici nitelikte olduğu ifade edilmiştir. Shen ve arkadaşları (2020), altın fiyatlarının tahmininde regresyon, ARIMA ve saklı Markov modelleri yöntemlerini kullanmışlardır. Saklı Markov modelleri ile yapılan tahminlerin daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Söylemez (2020), altın fiyatlarının tahmininde çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Modelin girdi değişkenleri Brent petrol, VIX endeksi, Dow Jones Endeksi ve ABD Dolar Endeksi olarak belirlenerek farklı nöron sayıları için altın fiyatları tahmin edilmiştir. Nöron sayısının 20 olduğu modelde altın fiyatları %98,44 oranında doğru tahmin edilmiştir. Luo ve arkadaşları (2022), petrol ve altın fiyatlarında gerçekleşen oynaklığın tahmin edilmesinde Heterojen

Otoregresif (HAR) çerçevesinde sonsuz saklı Markov modelini kullanmışlardır. WTI petrol ve altın vadeli işlemlerine ilişkin günlük veriler ile tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Tahmin modeline duyarlılıkla ilgili göstergeler eklenerek modelin performansının arttığı saptanmıştır. Mallak ve Abdoh (2022), altın fiyatlarını Markov zinciri ve bulanık durumlu Markov zincirleri ile tahmin etmişlerdir. Bulanık durumlu Markov zincirleri ile yapılan tahminlerin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu bulunmuştur. Mamplata ve arkadaşları (2022), altın, gümüş, platin ve paladyumun doğru ve etkili fiyat modellemesini saklı Markov modeli ile değerlendirmişlerdir. Soykan (2023), altın volatilitelerini 2005-2020 yılları arası günlük gram altın fiyatlarını kullanarak ARCH, GARCH, TGARCH ve MSGARCH yöntemleri ile modellemiştir. MSGARCH modelinin daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır. Kantar ve Kilimci (2023), altın endeksi yönünün tahmini için derin öğrenme temelli hibrit bir yöntem önermişlerdir. Finansal duygu analizini gerçekleştirmek için bir sosyal medya platformu olan Twitter verileri kullanılmıştır. Derin öğrenme modellerinden olan MLP, CNN, LSTM, CNN-LSTM, ConvLSTM yöntemleri ile tahminler gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, altın endeksi yönü tahmininde etkin bulunmuştur.

Altın fiyatlarındaki değişim ve bu değişimin sebepleri saklı Markov modelleri ile incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, Saklı Markov modelleri ve çözüm algoritmalarından ileri yön ve Viterbi algoritmaları tanıtılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise model algoritmalarının uygulaması yer almaktadır. Uygulama kısmında 2013-2023 yılları arası gram altın fiyatlarının yüzdesel değişimi aylara göre hesaplanmış ve bu değişimlere neden olan durumlar saklı Markov modelleri ile incelenmiştir. Gelecek tahminlerinin elde edilmesinde altın fiyatları ile ilişkili olan ekonomik faktörler, literatürde yer alan çalışmalar yardımı ile dolar, faiz ve enflasyon oranları olarak belirlenmiştir (Elmas ve Polat, 2014: 184). Gram altın fiyatlarının bir önceki aya göre yüzdesel değişimi "gözlemler" olarak ifade edilmiştir. Dolar fiyatları, faiz ve enflasyon oranları modelin gözlemlenemeyen saklı durumları olarak tanımlanmıştır. 2 ve 3 aylık dönemlerde karşılaşılabilecek gözlem dizileri tahminleri elde edilerek gerçek değerler ile arasındaki doğruluk oranları hesaplanmıştır. Son olarak, çalışmanın 4. Bölümünde elde edilen bulgular ve sonuç yer almaktadır.

### 1. Saklı Markov Modeli

Markov süreçleri gelecek tahminlerinin, geçmişten koşullu olarak bağımsız olduğu stokastik süreçlerdir (Ibe, 2003). Markov modellerinin özel bir hali olan Markov zincirleri yöntemi, dinamik sistemlerin matematiksel olarak modellenmesinde kullanılmaktadır. Markov zincirlerinde sistemin içinde bulunacağı durumlar gözlemlenebilir yapıdadır. Durumlar arası olasılık geçiş matrisleri ile sistemlerin zaman içerisindeki davranışı ve gelecek tahminleri elde edilmektedir (Can ve Öz, 2009: 3).  $P\{X_{n+1} = j | X_n = i\}$  ile tanımlı bir markov zincirinin n anından n+1 anına tek adımlı geçiş matrisi Eş.1 ile verilmiştir. Burada  $p_{ij}$ ; sistemin i. durumundan j. durumuna geçiş olasılığıdır.

$$P = \begin{matrix} 1 & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1s} \\ 2 & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s & p_{s1} & p_{s2} & \dots & p_{ss} \end{matrix} \quad (1)$$

Gerçek yaşam problemlerinde durumlar her zaman gözlemlenebilir değildir. Bu durum, Markov zincirlerinin bazı gerçek yaşam problemlerinde uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır (Danuş, 2015: 31). Markov Zincirlerinin özel bir hali olarak tanımlanan saklı Markov modelleri durumların gözlemlenemediği problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Saklı Markov modellerinde sistemin herhangi bir zamanda hangi durumda olduğu bilinmiyorken, bu duruma neden olan gözlem değerleri bilinmektedir (Haberdar, 2005: 16). Bu modellerde durum dizisi doğrudan gözlemlenemediği için "saklı" olarak ifade edilmektedir (Ayaz ve Alp, 2018: 205; Gündüz ve Kocabaş, 2022: 50). Saklı Markov modellerinde gözlem dizileri durumların olasılıksal fonksiyonlarıdır (Rabiner, 1989: 258). Saklı Markov modeli aşağıda tanımlanan 5 parametreden oluşmaktadır (Nguyen, 2017: 12-26).

1. Modelde N durum olmak üzere durumlar kümesi;  $S = \{S_i, 1 \leq i \leq N\}$ 'dir. Saklı durumlar dizisi  $Q = \{q_t, 1 \leq t \leq T\}$  olmak üzere,  $q_t$ , sürecin t. zamanındaki durumu olarak tanımlanır. Modelde

saklı olarak yer alan  $N$  durumun incelenen probleme bağlı olarak kavramsal bir karşılığı bulunmaktadır.

2.  $M$  gözlem sayısı olmak üzere, gözlem kümesi  $V = \{v_k, 1 \leq k \leq M\}$ 'dir. Gözlem kümesi, modelin çıktılarına karşılık gelmektedir. Gözlem dizisi  $O = \{O_t, 1 \leq t \leq T\}$  olarak tanımlanmaktadır.

3.  $A$  matrisi  $N \times N$  boyutlu durumlar arası olasılık geçiş matrisi ve  $A = \{a_{ij}\}$  gözlemin  $t - 1$  zamanında  $S_i$  durumunda iken  $t$  zamanında  $S_j$  durumunda olması olasılığıdır ve aşağıdaki özellikleri sağlamaktadır.

$$a_{ij} = P(q_t = S_j | q_{t-1} = S_i) \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (2)$$

$$a_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad (4)$$

4.  $B = \{b_{ik}\}$   $N \times M$  boyutlu gözlemler arası geçiş olasılıkları (Emisyon) matrisi olmak üzere;

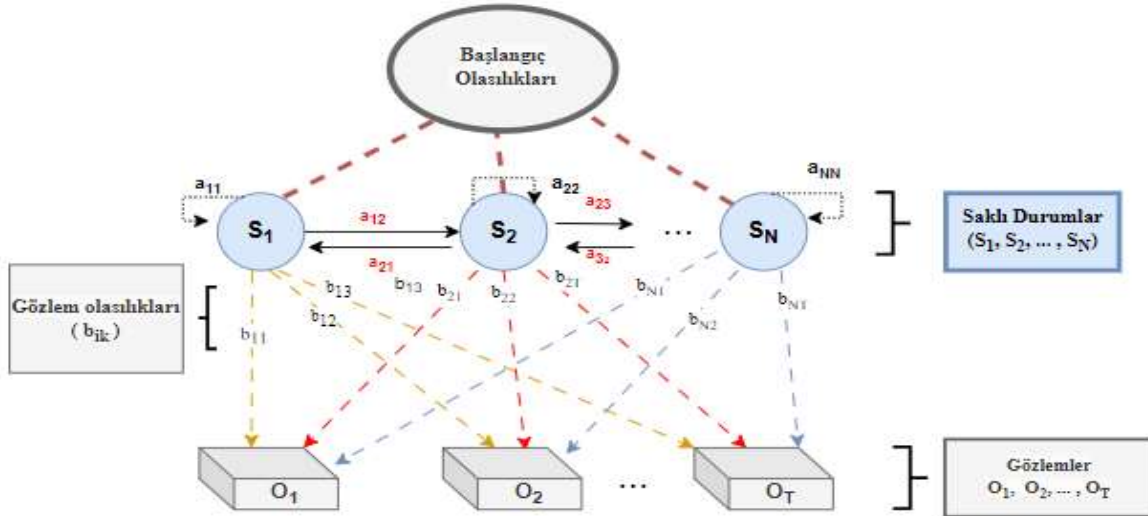
$$b_{ik} = b_i(k) = P(O_t = v_k | q_t = S_i) \quad 1 \leq i \leq N, 1 \leq k \leq M \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^M b_i(k) = 1 \quad (6)$$

5.  $\pi = \{\pi_i\}$  başlangıç durum olasılıklarıdır.

$$\sum_{i=1}^N \pi_i = 1 \quad (7)$$

Saklı Markov modelinin basit şematik gösterimi Şekil 1. ile verilmiştir.  $S_N$  modelin saklı durumlarını,  $O_T$  gözlem dizisini,  $a_{ij}$  durumlar arası geçiş olasılıklarını,  $b_{ik}$  saklı durumlar ve gözlem değerleri arasındaki geçiş olasılıklarını ifade etmektedir.



Şekil 1. Saklı Markov Modeli Şematik Gösterimi

Saklı Markov modelleri gerçek yaşam problemlerinin çözümünde 3 temel problemi ele almaktadır (Rabiner, 1989: 261; Malhotra, 2022: 2105).

1. Temel problem: Saklı Markov modellerinde  $V = \{v_k, 1 \leq k \leq M$  ile tanımlanan gözlem kümesi için karşılaşılabilecek gözlem dizisi  $O = \{O_t, 1 \leq t \leq T\}$  şeklinde ifade edilir. Bu problemde  $P(O|\lambda)$  olasılıklarının hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu problem aynı zamanda değerlendirme problemi olarak da tanımlanmaktadır. Çözümünde ileri yön algoritması (Forward) kullanılmaktadır.

2. Temel Problem:  $\lambda = (A, B, \pi)$  ve  $O = \{O_t, 1 \leq t \leq T\}$  biliniyorken gözlem dizisini en iyi açıklayan saklı durumların belirlenmesi problemidir. Çözümünde Viterbi algoritması kullanılmaktadır.

3. Temel Problem : Karşılaşılabilecek gözlem dizisinin  $P(O|\lambda)$  olasılığını en yüksek yapan  $\lambda = (A, B, \pi)$  parametrelerinin yeniden tahmin edilmesi problemidir. Çözümünde Baum-Welch algoritması kullanılmaktadır.

Bu üç temel problemden çalışmamızda birinci ve ikinci problem ele alınacağından ileri yön ve Viterbi algoritması detaylı olarak açıklanacaktır. Algoritmaların çalışma yapısı aşağıdaki gibidir.

### 1.1. İleri Yön (Forward) Algoritması

1. Temel problemin çözümünde kullanılan ileri yön algoritması ilk olarak (Baum ve Egon, 1967: 360-363; Baum ve Sell, 1968: 211-227) tarafından literatüre kazandırılmıştır.

İleri yön algoritmasında, son durum  $q_T = S_i$  olduğunda gözlem olasılığı dikkate alınarak model olasılıkları Eş. 8 ile elde edilir.

$$P(O_1, O_2, \dots, O_T, q_T = S_i | \lambda) \quad (8)$$

Buna göre,  $P(O | \lambda)$  olasılığı koşullu olasılıkların toplamı olarak elde edilir.

$$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N P(O_1, O_2, \dots, O_T, q_T = S_i | \lambda) \quad (9)$$

$P(O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | \lambda)$  olasılığı ileri yön değişkeni  $a_t(i)$  olarak tanımlanır ve yinelemeli olarak hesaplanır.

$$a_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, q_t = S_i | \lambda) \quad 1 \leq t \leq T \quad 1 \leq i \leq N \quad (10)$$

$$a_{t+1}(j) = \left[ \sum_{i=1}^N a_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}) \quad 1 \leq t \leq T \quad 1 \leq j \leq N \quad (11)$$

İleri Yön (Forward) Algoritması adımları aşağıdaki gibidir.

1. Başlangıç adımı:

$$a_{t=1}(i) = \pi_i b_i(O_1) \quad 1 \leq i \leq N \quad (12)$$

2. Yineleme adımı:

$$a_t(j) = \left[ \sum_{i=1}^N a_{t-1}(i) a_{ij} \right] b_j(O_t) \quad 2 \leq t \leq T - 1 \quad (13)$$

3. Sonlandırma Adımı:

$$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N a_T(i) \quad (14)$$

Bu algoritma ile  $P(O | \lambda)$  olasılıklarının bulunması amaçlanmıştır (Baum ve Eagon, 1967: 363).

### 1.2. Viterbi Algoritması

2. Temel problemin çözümünde kullanılan algoritma 1967 yılında Viterbi tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma,  $\lambda = (A, B, \pi)$  ve verilen gözlem dizisini en iyi açıklayan saklı durum dizisinin ( $Q^*$ ) belirlenmesinde kullanılmaktadır (Viterbi, 1967: 265).

$$P(O, Q^* | \lambda) = \max_Q \{P(O, Q | \lambda)\} \quad (15)$$

$\delta_t(j)$  değişkeni  $1 \leq t \leq T, 1 \leq j \leq N$  olmak üzere,

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} P(q_1, q_2, \dots, q_t = S_j, O_1, O_2, \dots, O_t | \lambda) \quad (16)$$

olarak tanımlansın. Optimal durum dizisi  $Q^*$  için  $P(O, Q^* | \lambda)$  olasılığı Eş. 17 ile hesaplanır.

$$P(O, Q^* | \lambda) = \max_{1 \leq j \leq N} \{\delta_T(j)\} \quad (17)$$

$\delta_t(j)$  değeri yinelemeli olarak,

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1), \quad 1 \leq i \leq N \quad (18)$$

$$S_{t+1}(j) = \max_{1 \leq i \leq N} \{[\delta_t(i) a_{ij}]\} b_j(O_{t+1}) \quad (19)$$

elde edilir.  $S_t(j)$  kullanılarak en uygun  $q_t^*$ ;

$$q_t^* = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} [\delta_T(i)] \quad (20)$$

olarak bulunur. Viterbi algoritması adımları aşağıdaki gibidir.

1. Başlangıç Adımı:

$$\delta_1(j) = \pi_j b_j(O_1), \quad 1 \leq j \leq N \quad (21)$$

$$\psi_1(j) = 0 \quad (22)$$

2. Yineleme Adımı:

$$\delta_t(j) = \max_i [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] b_j(O_{t+1}) \quad 2 \leq t \leq T, 1 \leq j \leq N \quad (23)$$

$$\psi_t(j) = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] \quad 1 \leq i \leq N \quad (24)$$

3. Sonlandırma Adımı:

$$q_t^* = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} [\delta_T(i)] \quad (25)$$

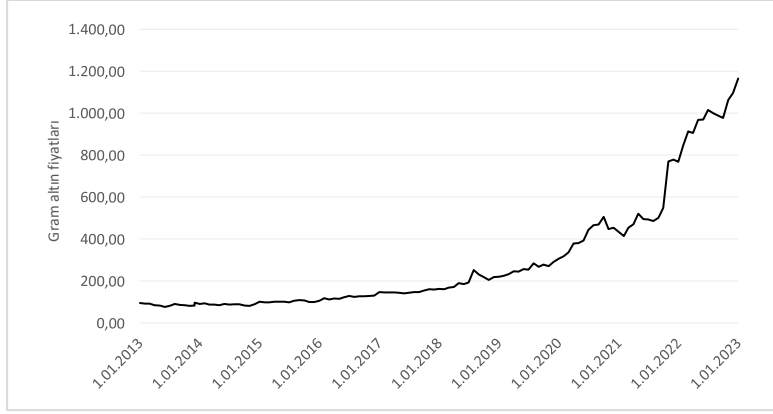
$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*), \quad t = T - 1 \quad (26)$$

$q_t^*$  son gözlem için en iyi durumu göstermek üzere, en uygun saklı durumlar belirlenmektedir.

Çalışmanın uygulama kısmında, her bir ay için verilerin bir önceki aya göre yüzdesel değişimleri hesaplanarak kullanılan değişkenler 3 sınıfa ayrılmıştır.

## 2. Uygulama

Bu çalışmada, 2013 yılı ocak ayından 2023 yılı ocak ayına kadar olan süre ele alınarak gram altın fiyatlarındaki değişimlerin gelecek tahminleri ve bu değişimlerin nedenlerinin belirlenmesinde Saklı Markov Modelleri kullanılmıştır. Bu tarih aralığındaki gram altın fiyatlarının yanı sıra, altın fiyatlarını etkilediği düşünülen dolar fiyatları, faiz ve enflasyon oranları da incelenmiştir. Faiz ve enflasyon oranlarına ait veriler Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik veri dağıtım Sistemi (EVDS)'den alınmıştır (Elektronik Veri Dağıtım Sistemi, 2023). Faiz oranı olarak 3 aylık vadeli mevduat faiz oranları veri olarak kullanılmıştır. Gram altın ve dolar fiyatlarına ait veriler ise <https://tr.investing.com/> internet sitesi veri havuzundan alınmıştır. Her bir ay için verilerin bir önceki aya göre yüzdesel değişimleri hesaplanmıştır. Saklı Markov modelinde gözlem kümesi gram altın fiyatlarındaki değişim olarak belirlenmiştir. Altın fiyatlarındaki değişimin -0,5 ile 0,5 aralığında olması "G1", 0,5'ten büyük olması "G2" ve -0,5 küçük olması "G3" ile ifade edilmiştir. Literatürde altın fiyatlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır (Küçükaksoy ve Yalçın,2016). Bu çalışma kapsamında dolar fiyatları, faiz ve enflasyon oranları ele alınarak gözlem kümesini etkileyen durumlar elde edilmiştir. Dolar fiyatlarındaki yüzdesel değişimin -0,5 ile 0,5 aralığında olması "S1", 0,5'ten büyük olması "S2" ve -0,5 küçük olması "S3" ile ifade edilmiştir. Benzer olarak faiz oranlarındaki yüzdesel değişim -0,5 ile 0,5 aralığında "F1", 0,5'ten büyük olması "F2" ve -0,5 küçük olması "F3" ile ifade edilmiştir. Altın, dolar ve enflasyon oranlarının sınıflandırılmasında literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılmıştır (Can ve Öz, 2009: 10). Altın fiyatlarını etkileyen bir diğer unsur olan enflasyon oranlarındaki değişimin ortalamasının üstünde olması "E1", altında olması "E2" olarak gösterilmiştir. Elde edilen gözlem ve durumlar sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Uygulamada, saklı Markov modelinde 1. Temel probleminin çözümünde kullanılan İleri Yön ve 2. Temel problemin çözümünde kullanılan Viterbi algoritmaları Python programı kullanılarak hesaplanmıştır. 2013-2023 yılları arası gram altın fiyatlarının yıllara göre değişimi ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Gram Altın Fiyatlarının(TL) Yıllara Göre

Tablo 1. Gözlem Kümesi ve Gösterimleri

Gözlemler	Gösterim
<u>Altın Fiyatlarındaki Değişim (AFD)</u>	
$-0,5 \leq AFD \leq 0,5$	G1
$AFD > 0,5$	G2
$AFD < -0,5$	G3

Tablo 2. Durumlar ve Gösterimleri

Durumlar	Gösterim
<u>Dolar Fiyatlarındaki Değişim (DFD)</u>	
$-0,5 \leq DFD \leq 0,5$	S1
$DFD > 0,5$	S2
$DFD < -0,5$	S3
<u>Faiz Oranındaki Değişim (FOD)</u>	
$-0,5 \leq FOD \leq 0,5$	F1
$FOD > 0,5$	F2
$FOD < -0,5$	F3
<u>Enflasyon Oranındaki Değişim(EOD)</u>	
%1,45'ten büyük ve eşit	E1
%1,45'ten küçük	E2

Altın fiyatlarının tahmin edilmesinde kullanılan durumlar kendi içlerinde ergodik iken birbirleri arasında ergodik değildir. Örneğin, dolar fiyatları kendi içerisinde S1 durumundan S2 durumuna geçebiliyorken F1 durumuna geçememektedir. Bu nedenle dolar fiyatları, faiz ve enflasyon oranları ile elde edilecek tüm mümkün durumlar yeni saklı durumlar olarak tanımlanmıştır. Yeni saklı Markov modelinin durumları tüm mümkün durumların kombinasyonlarından elde edilmiş ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Saklı Markov Modelinin Durumları

D1	S1,F1,E1	D7	S2,F1,E1	D13	S3,F1,E1
D2	S1,F1,E2	D8	S2,F1,E2	D14	S3,F1,E2
D3	S1,F2,E1	D9	S2,F2,E1	D15	S3,F2,E1
D4	S1,F2,E2	D10	S2,F2,E2	D16	S3,F2,E2
D5	S1,F3,E1	D11	S2,F3,E1	D17	S3,F3,E1
D6	S1,F3,E2	D12	S2,F3,E2	D18	S3,F3,E2

Veri setinde yer alan dolar, faiz ve enflasyon verileri 18 durum olarak tanımlanmıştır. Gözlem değerleri olarak ele alınan altın fiyatlarının aylara göre yüzdesel değişimleri (G1, G2, G3)

kullanılarak emisyon matrisi (B) oluşturulmuştur. Bu matris ile gözlem ve durumlar arasındaki olasılıklar elde edilmiştir. Emisyon matrisi B, aşağıda verildiği gibidir:

	G1	G2	G3
D1	0	1	0
D2	1	0	0
D3	0	1	0
D4	0	0,5	0,5
D5	0	0	1
D6	0,333	0,667	0
D7	0	0,778	0,222
D8	0	0,4	0,6
D9	0,091	0,063	0,273
D10	0,05	0,7	0,25
D11	0	0,857	0,143
D12	0,133	0,733	0,134
D13	0	0	1
D14	0	0	1
D15	0	0,333	0,667
D16	0	0,455	0,545
D17	0,167	0	0,833
D18	0,154	0,231	0,615

18x18 boyutlu geçiş olasılık matrisi ile bir durumdan diğer duruma geçiş olasılıkları ise aşağıda verilmiştir.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	...	D18
D1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	...	0
D2	0	0	0	0	0	0	0,333	0	0	0	0	...	0
D3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
D4	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	...	0
D5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	...	0
D6	0	0	0	0	0	0	0	0,333	0	0,333	0	...	0,333
D7	0	0	0	0	0	0,125	0	0	0,50	0	0,125	...	0,125
D8	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0,4	0	...	0,1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
D18	0	0,07	0	0	0	0,07	0	0	0	0,230	0,076	...	0,076

Model için başlangıç olasılıkları ( $\pi$ ) eşit kabul edilmiştir.

$$\pi = [1/18 \quad 1/18 \quad 1/18 \quad \dots \quad 1/18 \quad 1/18 \quad 1/18]$$

Saklı Markov modeli 1. Temel Probleminin çözümü için İleri Yön algoritması kullanılmıştır. Bu problemde, altın fiyatları ile ilgili bir sonraki dönemde karşılaşılabilecek değişimlerin olasılıkları Python programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca, altın fiyatlarındaki değişimlerin altında yatan en yüksek olasılıklı saklı durumların belirlenmesinde yine Python programı kullanılarak Viterbi algoritması uygulanmıştır. Gözlem dizilerine ait sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.



**Tablo 4. Tahmin Edilen 2 Aylık Gözlem Dizisi Olasılıkları Ve Saklı Durumları**

Gözlem dizisi	G1	G1	G1	G2	G2
	G1	G2	G3	G1	G2
Olasılık	0,003	0,055	0,047	0,032	0,236
Saklı Durumlar	D6,D18	D2,D16	D2,D16	D4,D2	D3,D4
Gözlem dizisi	G2	G3	G3	G3	G2
	G3	G1	G2	G3	G3
Olasılık	0,191	0,028	0,230	0,172	0,191
Saklı Durumlar	D1,D8	D4,D2	D5,D11	D1,D8	D1,D8

Tablo 4'te yer alan sonuçlara göre gözlem dizisi olasılıklarından en büyüğü olan "G2,G2" ile karşılaşma olasılığı %23,6 dır. Buna göre altın fiyatlarındaki yüzdesel değişimin 0,5'ten büyük olduğu bir ay için gelecek ayda altın fiyatlarındaki değişimin 0,5'ten büyük olması olasılığı en yüksek bulunmuştur. Bu sonuçlar 2022 Aralık (G2) ve 2023 Ocak ayı (G2) altın fiyatları ile değerlendirildiğinde, tahminlemenin %100 doğru sonuç verdiği görülmektedir. Viterbi algoritması ile gözlem dizilerinin altında yatan saklı durumlar da belirlenmiştir. "G2, G2" gözlem dizisinin altında yatan saklı durumlar D3 ve D4 olarak bulunmuştur. Bu durumlar dolar fiyatlarındaki değişimin -0,5 ile 0,5 aralığında, faiz oranlarındaki değişimin 0,5 büyük olduğunu göstermektedir. Tahminleme sonucu ile elde edilen saklı durumlar 2022 Aralık ve 2023 Ocak ayı verileri ile karşılaştırıldığında yaklaşık %67 doğruluk oranı elde edilmiştir. İkinci en yüksek olasılığa sahip olan "G3,G2" gözlem dizisi ile karşılaşma olasılığı ise %23 olarak bulunmuştur. Bu gözlem dizisinin altında yatan en etkili saklı durumlar D1 ve D8 olarak belirlenmiştir. 2 aylık dönemde; altın fiyatlarındaki değişimin önce -0,5'ten küçük daha sonra 0,5'ten büyük olması altında yatan saklı durum dolar fiyatlarındaki artış olarak tahmin edilmiştir. Benzer tahminler 3 aylık süre için de hesaplanmıştır. 3 aylık elde edilen tahminlerde en yüksek olasılık "G2-G2-G2" gözlem dizisi için elde edilmiştir. Buna göre, 2022 Kasım, Aralık ve 2023 Ocak ayları altın fiyatları ile karşılaştırıldığında %100 doğruluk oranı bulunmuştur. 3 aylık dönemde altın fiyatlarındaki değişime neden olan saklı durumlar viterbi algoritması ile "D3-D4-D12" olarak bulunmuştur.

### Sonuç ve Değerlendirme

Birçok sektörde geniş kullanım alanı olan altın, finansal piyasalar üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu sebeple, altın fiyatlarındaki değişimler yatırımcılar, karar alıcılar ve sektör öncüleri gibi çeşitli kişiler tarafından takip edilmektedir. Altın fiyatlarındaki küçük değişimlerin farklı sektörlerdeki etkilerinin büyük olması bu alanda yapılan çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada, saklı Markov modelleri kullanılarak altın fiyatlarındaki yüzdesel değişimlerin ve bu değişimlerin sebeplerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. 2013 ve 2023 yılları arasındaki gram altın, dolar, enflasyon ve faiz oranı verileri kullanılmıştır. Altın, dolar ve faiz oranlarının bir önceki aya göre yüzdesel değişimleri hesaplanmıştır. Altın fiyatlarındaki değişimler gözlemler olarak ele alınmıştır. Dolar, enflasyon ve faiz oranı verileri için ise mümkün durumlardan 18 saklı durum elde edilmiştir. Saklı Markov modellerinin ilk iki temel problemi kullanılmıştır. Birinci problemde gelecekte karşılaşılabilecek gözlem dizisi olasılıkları ileri yön algoritması ile elde edilmiştir. 2 aylık dönemde altın fiyatlarının artış eğiliminde olması olasılığı %23,6 olarak bulunmuştur. Bu artışın altında yatan saklı durumlar 2022 Aralık ve 2023 Ocak ayı gerçek verileri ile karşılaştırıldığında dolar fiyatlarının -0,5 ve 0,5 arasındaki değişimi ve faiz oranlarındaki artış miktarı doğru tahmin edilmiştir. 2 aylık dönemde altın fiyatlarının önce düşüş daha sonra yükseliş eğilimine geçmesinin altındaki saklı durumlar 2022 Aralık ve 2023 Ocak ayı gerçek verileri ile karşılaştırıldığında dolar fiyatlarının yükselmesi ve enflasyon oranının ortalamasının üstünde olması doğru tahmin edilmiştir. Ardışık üç aylık dönemlerde altın fiyatlarındaki değişim artış eğiliminde olduğunda, üçüncü ayda dolar fiyatları ve enflasyon oranında artış olurken faiz oranlarında düşüş gözlenmiştir. Bu sonuçların altın fiyat artışında karşılaşılan durumlar ile tutarlı olduğu görülmektedir.

Şimdiye kadar altın fiyatlarının tahmini ile ilgili birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Shen ve arkadaşları (2020), regresyon, ARIMA ve saklı Markov modellerini, Demirci (2020), Markov zincirleri yöntemini, Söylemez (2020), çok katmanlı yapay sinir ağları yöntemlerini kullanmışlardır. Mamplata ve arkadaşları (2022), altın fiyatlarından farklı olarak gümüş, platin ve paladyumun fiyat modellemesini ele almışlardır. Soykan (2023) ise günlük gram altın fiyatları ile altın volatilitelerini zaman serisi yöntemleri ile modellemişlerdir. Altın fiyatlarının tahmin edilmesinde kullanılan yöntem, girdi değişkenlerinin çeşitliliği ve sayısı model performansını etkileyen etmenlerdendir. Saklı Markov modelleri ile bulunan sonuçlarda diğer yöntemlerden farklı olarak altın fiyatlarındaki değişim ve altında yatan saklı durumların belirlenmesine ilişkin tahminler elde edilmiştir. Bu bilgi altın fiyatları ile ilişkili tüm sektör öncülerinin gelecek kararları için oldukça önemlidir. Ayrıca, saklı durumların sayısının fazla olması altın fiyatlarındaki değişimlerin nedenleri hakkında daha detaylı tahminler yapmayı mümkün kılmıştır. Gelecek çalışmalarda, altın fiyatlarını etkileyen farklı faktörler ele alınıp, altın fiyatlarının daha fazla sayıda kategoriye ayrılması ile daha kapsamlı sonuçlar elde edilebilir.

### Kaynakça

- Ayaz, O. ve Alp, S. (2018). Saklı Markov modeli kullanılarak İstanbul'daki üniversite öğrencilerinin GSM operatör tercihlerini etkileyen faktörlerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 203-212.
- Barca, O. ve Arabacı, Ö. (2020). BİST Altın Fiyatları Serisinin Markov Rejim Değişim Modeli İle Analizi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 85.
- Baum, L. E., ve Petrie, T. (1966). Statistical Inference for Probabilistic Functions of Finite State Markov Chains. *The Annals of Mathematical Statistics*, 37(6), 1554-1563.
- Baum, L. E. ve Egon, J. A. (1967). An Inequality with Applications to Statistical Estimation for Probabilistic Functions of a Markov Process and to a Model for Ecology. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 73, 360-363.
- Baum, L. E. ve Sell, G. R. (1968). Growth Functions for Transformations on Manifolds, *Pacific Journal of Mathematics*, 27(2), 211-227.
- Baum, L. E., Petrie, T., Soules, G., ve Weiss, N. (1970). A Maximization Technique Occurring in the Statistical Analysis of Probabilistic Functions of Markov Chains. *The Annals of Mathematical Statistics*, 41(1), 164-171.
- Baum, L. E. (1972). An Inequality and Associated Maximization Technique in Statistical Estimation for Probabilistic. *Functions of Markov Processes, Inequalities*, 3, 1-8.
- Bedelci, N. (2022). Saklı Markov Zincirleri ile Türkiye'deki COVID-19 Yayılımının Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Can, T. ve Öz, E. (2009). Saklı Markov modelleri kullanılarak Türkiye'de dolar kurundaki değişimin tahmin edilmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 38(1), 1-23.
- Çam, S. ve Kılıç, S. B. (2018). Altın Fiyatı Günlük Getirilerinin Yapay Sinir Ağları Algoritması Ve Markov Zincirleri Modelleri İle Tahmini. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18. EYİ Özel Sayısı, 681-694, 2018.
- Danış, Y. A. (2015). GSM operatörü tercihinde etkili olan faktörlerin gizli Markov modelleri ile analizi. (Yüksek Lisans tezi). Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Danışman, Ö. (2021). Hidden Markov Models Based On Different Dependency Assumptions. (Doktora tezi), Dokuz Eylül University, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Danışman, Ö. ve Kocer, U. (2021). Fitting Hidden Markov Model to Earthquake Data: A Case Study in the Aegean Sea. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(1), 44-53.
- Dağlıoğlu, C. ve Kırıl, G. (2018). Hisse Senedi Piyasa Fiyatlarının Saklı Markov Modeli İle Tahmin Edilmesi: Türkiye Örneği. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 4 (1).
- Demirci, H. (2020). Markov zincirleri yöntemi ile altın fiyatları tahmini. (Yüksek Lisans Tezi) Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

- Doğanalp, N., Konya, S. ve Kabaloğlu, G. (2016). Türkiye’de Altın Fiyatlarının Belirleyicileri Üzerine Ampirik Bir Uygulama. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 6(15), 412-424.
- Dönmez, İ. ve Alp, S. (2019). Spor giyim sektöründe marka tercihlerine ve tercih nedenlerine saklı Markov modelinin uygulanması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 115-120.
- Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (2023, 10 Şubat). Erişim adresi <https://evds2.tcmb.gov.tr/>
- Elmas, B. ve Polat, M. (2014). Altın Fiyatlarını Etkileyen Talep Yönlü Faktörlerin Tespiti: 1988-2013 Dönemi. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 15 (1), 171-187.
- Gündüz, F.F. ve Kocabaşa, H. (2022). Saklı markov modeli ile e-ticaret işletmelerinin tercih edilme nedenlerinin belirlenmesi. *Nicel Bilimler Dergisi*, 4(1), 47-69.
- Haberdar, H. (2005). Saklı Markov model kullanılarak görüntüden gerçek zamanlı Türk işaret dili tanıma sistemi. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ibe, O. (2013). Markov processes for stochastic modeling. Newnes.
- Kantar, O. ve Kilimci, Z. H. (2023). Derin öğrenme temelli hibrid altın endeksi (XAU/USD) yön tahmin modeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (2), 1117-1128.
- Küçükaksoy, İ. ve Yalçın, D. (2016). Altın fiyatlarını etkileyebilecek faktörlerin incelenmesi. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(2), 1-20.
- Kılıç, A. D. (2022). Assessment of artificial neural network to improve hidden Markov model for financial data. (Doktora tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Luo, J., Demirer, R., Gupta, R., ve Ji, Q. (2022). Forecasting oil and gold volatilities with sentiment indicators under structural breaks. *Energy Economics*, 105, 105751.
- Malhotra, R., Singla, C. ve Farooque, D. (2022). Comparison of Hidden Markov Model with other Machine Learning Techniques in Software Defect Prediction. In *Proceedings of the IEEE 7th International Conference for Convergence in Technology*, Mumbai, India.
- Mallak, S. ve Abdoh, D. (2022). Predicting the Behavior of Gold Price Using Markov Chains and Markov Chains of the Fuzzy States. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, 71(4), 2906-2920.
- Mamplata, J. ve arkadaşları (2022). Modelling and filtering for dynamic investment in the precious-metals market. *International Journal Of Computer Mathematics*, 99(12).
- Manogaran, G. Vijayakumar, V., Varatharajan, R., Kumar, P. M. Sundarasekar, R. ve Hsu, C. H. (2018). Machine learning based big data processing framework for cancer diagnosis using hidden Markov model and GM clustering. *Wireless Personal Communications*, 102(3), 2099-2116.
- Nguyen, N. (2017). Hidden Markov Model for Portfolio Management with Mortgage-Backed Securities Exchange-Traded Fund. *Society Of Actuaries. Society of Actuaries*.
- Öz, E. (2009). İstanbul Menkul Kıymetler Borsası üzerine saklı markov modeli ile bir tahminleme. *Ekonomik Yaklaşım*, 20(72), 59 - 85.
- Özcan, G. (2015). Saklı Markov Modelleri ve uygulamaları. *Akademik Bilişim*, 15, 1-10.
- Rabiner, L. R. (1989). A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. *Proceedings of the IEEE*, 77(2), 257-286.
- Shen, L., Shen, K., Yi, C. ve Chen, Y. (2020). Regression and Hidden Markov Models for Gold Price Prediction. *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Atlanta, GA, USA.
- Sinanoğlu, A. (2021). Bist 30 hisse senedi endeksinin kısa dönem öngörüsü: Saklı Markov modeli uygulaması. *Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum*.
- Soykan, M. E. (2023). Altın Volatilitésinin Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemler ile Analizi. *İzmir İktisat Dergisi*, 38 (3).
- Söylemez, Y. (2020). Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Altın Fiyatlarının Tahmini. *Sosyoekonomi*, 28(46), 271-291.

- Tuna, K., Ozun, A. ve Türk, M. (2014). Uluslararası Portföy Yönetiminde Rejim Geçişken Karar Destek Modelleri: Gelişmekte Olan Menkul Kıymet Piyasaları Üzerine Bir Uygulama. *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, 2(2), 27-43.
- Viterbi, A. J. (1967). Error Bounds for Convolutional Codes and an Asymptotically Optimum Decoding Algorithm. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(2), 260-269.

### Extended Abstract

#### Aim and Scope

Gold, which is one of the important investment instruments, has a significant impact on financial markets. For this reason, changes in gold prices are carefully followed by various individuals and institutions. The aim of this study is to predict the percentage changes that may occur in gold prices and the hidden states that cause these changes.

#### Methods

Hidden markov model method was used in this study. Gold price were defined as observation values. 18 hidden states are obtained for dollar, inflation, and interest rate data. Two basic problems of hidden Markov models are used. In the first problem, probabilities of future observation sequences are obtained by the forward algorithm. The viterbi algorithm was used to solve the second basic problem. Hidden states that cause changes in gold prices were determined by the viterbi algorithm.

#### Findings

The probability of gold prices in an increasing trend in the 2-month period was found to be 23.6% using the Forward algorithm. The hidden states that cause this increase were examined with the viterbi algorithm and were found as "D3,D4". The probability of encountering the "G3,G2" observation series, in which gold prices first tend to increase and then decrease, was found to be 23%. It has been found that the probability of gold prices in an increasing trend in the 3-month period is the highest. Hidden states causing this situation were found as D3-D4-D12 by viterbi algorithm.

#### Conclusion

Changes in gold prices are an important indicator that reflects economic, financial, and global market conditions. These shifts can help investors, economists, and analysts understand future economic trends. For this reason, the great effect of gold prices has increased the importance of studies in this field. In this study, percentage changes in gold prices in 2 and 3-month periods and their reasons were estimated. It was found that the probability of gold prices to be in an upward trend in the 2-month periods is the highest. The hidden situations that cause this show that the change in dollar prices is between -0.5 and 0.5, while the change in interest rates is 0.5 large. High accuracy rates were observed when the results were compared with the actual data for December 2022 and January 2023. For the 3 months, the changes in gold prices and the hidden states that cause this change are estimated. In three-month periods, when the change in gold prices tended to increase, in the third month, dollar prices and inflation rates increased, while interest rates decreased. It is seen that these results are consistent with the situations encountered in the gold price increase.