



## Saklı Markov modelleri kullanılarak Türkiye’de dolar kurundaki değişimin tahmin edilmesi

**Tuncay Can<sup>1</sup>**

*Ekonometri Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler  
Fakültesi  
Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

**Ersoy Öz<sup>2</sup>**

*Teknik Programlar Bölümü, Meslek  
Yüksekokulu  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*

### Özet

Bu çalışmada döviz kuru olarak Amerika Birleşik Devletleri dolar kuru için geleceğe yönelik bir tahmin metodu sunulmaktadır. Tahmin metodu olarak Markov Zincirlerine bazı ek özellikler eklenerek tanımlanan Saklı Markov Modelleri kullanılmıştır. Modelde 1992 – 2007 yılları arasında Türkiye’de gözlenen dolar kuru değerleri ve bu kurları etkileyen ekonomik veriler baz alınarak 2008 yılına ait dolar kuru değişimi için tahminlemeler yapılmıştır. Saklı Markov Modellerinde, modele ait matematiksel hesaplamalar çok karmaşık bir yapıda olup, çözümü oldukça uzun zaman almaktadır. Bu nedenle hesaplamalarda, Matlab2007 programı içerisinde var olan Saklı Markov Modeli çözüm algoritmaları kullanılacaktır. 2008 yılı için ilki Ocak ve Şubat aylarına diğeri Ocak, Şubat ve Mart aylarına ait iki tahminleme yapılmıştır. Tahminlenen dolar kuru değişimleri için tutarlılığın oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** *Markov Zinciri, Saklı Markov Modelleri, Saklı Markov Modeli Algoritmaları, Dolar Kuru, Dolar Kuru Değişim Tahmini.*

### **Estimation of dollar rate changes in Turkey using Hidden Markov models**

#### **Abstract**

In this work, a prudential estimation method for U.S. dollar rate, as the exchange rate, is presented. As the estimation method, Hidden Markov Models, which are described as Markov Chains with some additional properties, are used. In the model, estimations for dollar rate change for the year 2008 are made using dollar rate values and related economic data observed in Turkey between the years 1992 – 2007. In the Hidden Markov Models, mathematical calculations belonging to the model are very complicated, thus require pretty much time to be solved. For this reason, in the calculations, Hidden Markov Model solution algorithms inside the software Matlab2007 will be used. Two estimations for the year 2008 are made, where the first one is for January and February and the second one is for January, February and March. The accuracy of the estimated dollar rate changes came out to be fairly high.

**Keywords:** *Markov Chain, Hidden Markov Models, Algorithms of Hidden Markov Model, Dollar Rate, Dollar Rate Change Estimation.*

#### **1. Giriş**

Saklı Markov (SM) modelleri, kesikli zamanlı Markov modelinin bazı ek özellikler almış halidir [1]. Kesikli zamanlı bir Markov modeli; durumlar, başlangıç olasılıkları vektörü ve geçiş olasılıkları matrisi ile tanımlanırken SM modeli bu bileşenlere ek olarak gözlemler ve bu gözlemlere ait gözlem olasılıkları matrisi ile tanımlanır.

<sup>1</sup> [tuncay.can@marmara.edu.tr](mailto:tuncay.can@marmara.edu.tr) (T. Can)

<sup>2</sup> [ersoyoz@yildiz.edu.tr](mailto:ersoyoz@yildiz.edu.tr) (E. Öz)

SM modellerinde, Markov modellerinden farklı olarak sistemin herhangi bir anda hangi durumda olduğu bilinmez. Bunun yerine her bir durumda, durum tarafından oluşturulan bir gözlem meydana gelir. Dolayısıyla durumlar "saklı" olarak nitelendirilir.

SM Modeli teorisi ilk olarak Baum ve Petrie (1966), Baum ve Eagon (1967), Petrie (1969) ve Baum (1972) tarafından geliştirilmiştir. Son yıllarda uygulamaya yönelik teori ve model kullanım yöntemleri Rabiner ve Juang (1993) tarafından verilmiştir. Ekonomik ve finansal modellerde kullanımı, Bhar ve Hamori (2004) ve Mamon ve Elliot (2007) tarafından geliştirilmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında SM modeli tanımlanarak, modelin hangi sorulara cevap verebileceği ifade edilmiş ve bu soruların çözümünde kullanılacak algoritmalar verilmiştir.

Dolar kurunun zaman içerisindeki değişimi psikolojik, siyasi ve ekonomik nedenlere bağlıdır. Psikolojik ve siyasi nedenler sayısal olarak ifade edilemediğinden değişimin tahmin edilmesi her zaman doğru sonuçlar vermeyebilir. Çalışmanın ikinci kısmında dolar kuruna etki eden ekonomik faktörler incelenmiştir.

Uygulama kısmında, dolar kurunda aylık zaman dilimlerinde ay sonlarında meydana gelen değişim değerleri bir önceki ay ile oranlanarak "artış", "düşüş" ve "sabit kalma" olarak ifade edilmiştir. Bu veriler SM modeli için "gözlem"ler olarak alınmıştır. Dolar kurunun belirlenmesinde etkili olan faktörlerden ödemeler dengesi ve faiz oranları kullanılarak model için "durumlar" oluşturulmuştur.

1992 yılı Ocak ayından 2008 yılı Ocak ayına kadar olan süredeki veriler aylık olarak kullanılarak 2008 yılı ilk iki ayı ve ilk üç ayı için dolar kurunun izleyeceği değişime ait tahminleme yapılmıştır. Tahminleme sonucunda, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki doğruluk oranının oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

## 2. Saklı Markov Modeli

Markov modelinde zaman parametresi olarak  $t$ 'nin  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$  parçalanışı için bir markov süreci aşağıdaki eşitlikle açıklanır ve bu eşitliğe "Markovyen Özellik" denir [2]:

$$P(X_{t_n} = x_n | X_{t_{n-1}} = x_{n-1}, \dots, X_{t_1} = x_1) = P(X_{t_n} = x_n | X_{t_{n-1}} = x_{n-1}), \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Bir başka söylemle, sistemin gelecek durumu sadece şu anki durumuna bağlıdır.

Markov zincirleri, Markovyen özelliği sağlayan ayrıca durum uzayı kesikli ve parametre uzayı kesikli veya sürekli olabilen Markov süreçleridir. Markov zincirlerinde tüm durumlar ve zaman parametresi olan  $t$ 'ler için aşağıda verilen koşullu olasılığın varlığı kabul edilir:

$S$ , durum uzayını göstermek üzere

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) = p_{ij}, \quad i, j \in S \quad (2)$$

şeklindedir.

Bu olasılık  $t$ 'den bağımsızdır.  $p_{ij}$  olasılıklarına tek adım geçiş olasılıkları denir [3]. Bu ifadeye göre  $t$  anında  $i$  durumunda olan sürecin  $t+1$  anında  $j$  durumunda olması olasılığı  $p_{ij}$  ile gösterilecektir.  $p_{ij}$  için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:

$$0 \leq p_{ij} \leq 1, \quad i, j \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} p_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Yukarıdaki biçimde tanımlanan  $p_{ij}$  geçiş olasılıklarının oluşturdukları matris Markov zincirinin geçiş olasılıkları matrisidir [4] ve  $P = [p_{ij}]$  ile gösterilir.

Durum uzayı  $S = \{0,1,2,\dots,N\}$  şeklinde sonlu olduğunda Markov zinciri için tek adım geçiş olasılıkları matrisi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$P = [p_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & \dots & N \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \\ N \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \dots & p_{0N} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{N0} & p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Markov zincirlerinde sistem bir durumdan diğerine geçer ve bu durumlar gözlemlenebilir. SM modelinde ise markov zincirinin bir durumundan diğer durumuna geçildiğinde sabit ve zamandan bağımsız bir olay meydana gelmektedir. Dolayısıyla durumlar doğrudan gözlemlenemez. Bunun yerine her bir durumdan meydana gelen gözlem çıktıları oluşur [5]. Gözlem çıktılarının bir araya gelmesi ile gözlem dizisi meydana gelir. SM Modelinde gözlem dizisinin altında yatan durum dizisinin bilinmemesi modele "Saklı" anlamını yükler. Ayrıca meydana gelen gözlemlerden her biri zamandan bağımsızdır ve mevcut durumun her bir olaya ilişkin olasılığı, dağılım değerine bağlıdır.

Bir SM Modeli aşağıdaki biçimde tanımlanır:

**i.**  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$  kesikli durumlar kümesini ve  $q_t, t$  anındaki durumu gösterir [6]. Genel olarak durumlar kendi içlerinde herhangi bir durumdan diğer durumlara ulaşabilecek şekilde bağlantılıdır. Yani durumlar ergodik model şeklindedir.

**ii.** Her bir duruma ait gözlem kümesi  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  şeklinde kesikli bir küme ile ifade edilir. Gözlemler bir önceki gözlemden bağımsızdır [7].

**iii.** Durum geçiş olasılık dağılımı  $A = \{a_{ij}\}$  şeklinde gösterilir ve  $A, N \times N$  tipinde bir matris ile ifade edilir.

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (5)$$

olmak üzere (3) ve (4) ile verilen iki koşul  $a_{ij}$  için geçerlidir.

Durum geçiş olasılıkları zaman içerisinde değişmez ve bu olasılıklar gözlemlerden bağımsızdır [8].

**iv.** Gözlem olasılık dağılımı  $B = \{b_j(k)\}$  ile gösterilir. Bu ifade,  $t$  anında  $j$  durumunda iken  $v_k$  gözleminin olasılığını verir.

$$b_j(k) = P[t \text{ anında } v_k | q_t = S_j], \quad 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M \quad (6)$$

veya

$$b_j(k) = P[O_t = v_k | q_t = S_j], \quad 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M \quad (7)$$

olmak üzere,  $b_j(k)$  için aşağıda verilen iki koşul geçerlidir:

$$b_j(k) \geq 0, \quad 1 \leq j \leq N, 1 \leq k \leq M \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^M b_j(k) = 1, \quad 1 \leq j \leq N \quad (9)$$

$B$ ,  $N \times M$  tipinde bir matris ile ifade edilir.

**v.** Başlangıç durum dağılımı  $\pi = \{\pi_i\}$ 'dir. Başlangıç anında sistemin  $S_i$  durumunda olma olasılığıdır ve aşağıdaki biçimde gösterilir [9].

$$\pi_i = P[q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N \quad (10)$$

$N$ ,  $M$ ,  $A$ ,  $B$  ve  $\pi$ 'nin uygun değerleri için SM modeli bir gözlem dizisi üretir.  $T$ , gözlem sayısı olmak üzere her bir gözlem  $\{v_1, v_2, \dots, v_M\}$  kümesindeki gözlemlerden biridir [10]. Böylece  $O = O_1 O_2 \dots O_T$  biçiminde bir gözlem dizisi oluşur.

SM modelinin parametreler kümesi  $\lambda = (A, B, \pi)$  ile gösterilecektir. SM modelleri gözlemlere bağlı olarak ya kesikli ya da sürekli olarak sınıflandırılabilir [11]. Modelde meydana gelen gözlemler kesikli olduğunda, kesikli SM modeli oluşur ve bu model genel olarak *Saklı Markov Modeli* adı ile ifade edilir. Gözlem dizisinin kesikli olmadığı durumlarda ise sürekli gözlem yoğunluklu SM modeli veya kısaca *Sürekli Saklı Markov Modeli* oluşur.

### 2.1. Saklı Markov Modelinin Üç Temel Problemi ve Çözümleri

SM modelinin gerçek uygulamalarda kullanılabilmesi için üç temel problemin çözülmesi gerekmektedir. Bu problemler; gözlem olasılığının ne olacağı, saklı durum dizisinin tahmini ve model parametrelerinin yeniden yapılandırılmasının nasıl yapılacağı üzerine kuruludur.

**1. Problem:** Bir SM modelinde verilen  $\lambda = (A, B, \pi)$  parametreleri ve  $O = O_1 O_2 \dots O_T$  gözlem dizisi için, bu modele ait  $P(O|\lambda)$  gözlem dizisi olasılığının etkin bir biçimde nasıl hesaplanacağıdır. Bu olasılığın hesaplanmasında *İleri-Yön (Forward)* ve *Geri-Yön (Backward) algoritmaları* kullanılır.

#### İleri-Yön Algoritması

İleri-Yön değişkeni  $\alpha_t(i)$  aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$\alpha_t(i) = P(O_1 O_2 \dots O_t, q_t = S_i | \lambda) \quad (11)$$

Verilen  $\lambda$  modeli için  $\alpha_t(i)$  İleri-Yön değişkeni,  $t$  anında  $S_i$  durumundaki sistemin  $O_1 O_2 \dots O_t$  kısmi gözlem dizisinin olasılığıdır.  $\alpha_t(i)$  değişkeni aşağıda verildiği gibi tümevarımsal bir yöntemle çözülür [12].

**i.** Başlangıç – ilk değer verilmesi

$$\alpha_1(i) = P(O_1, q_1 = S_i | \lambda) = P(O_1 | q_1 = S_i, \lambda) P(q_1 = S_i | \lambda)$$

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1), \quad t = 1, 1 \leq i \leq N \quad (12)$$

**ii.** Yineleme

$$\alpha_{t+1}(j) = \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}), \quad 1 \leq t \leq T-1, 1 \leq j \leq N \quad (13)$$

### iii. Sonlandırma

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N P(O, q_t = S_i | \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (14)$$

Bu adım istenilen  $P(O|\lambda)$  hesabını,  $\alpha_T(i)$  sonuncu İleri-Yön değişkenlerinin toplamı olarak verir.

$$\alpha_T(i) = P(O_1 O_2 \dots O_T, q_T = S_i | \lambda) \quad (15)$$

### Geri-Yön Algoritması

Geri-Yön değişkeni  $\beta_t(i)$ , verilen  $\lambda$  modeli ve  $t$  anında  $S_i$  durumunda olan sistemin  $t+1$  anından itibaren son ana kadar olan kısmi gözlem dizilerinin olasılığı olarak tanımlanır [13]. Başlangıç anında tüm  $i$ 'ler için  $\beta_T(i)$  'ye keyfi olarak 1 değeri verilmiştir.  $\beta_t(i)$  aşağıda verildiği gibi tümevarımsal bir yöntemle çözülür [14]:

#### i. Başlangıç

$$\beta_T(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (16)$$

#### ii. Yineleme

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j), \quad t = T-1, T-2, \dots, 1, 1 \leq i \leq N \quad (17)$$

**2. Problem:** Verilen  $O = O_1 O_2 \dots O_T$  gözlem dizisi ve  $\lambda$  modeli için, bu gözlemleri en uygun biçimde açıklayan  $Q = q_1 q_2 \dots q_T$  durum dizisinin nasıl seçileceğidir. 2. Problem, modelin saklı kısmının açığa çıkarılması yani doğru durum dizisinin bulunmasıdır. Bu durum dizisini bulmak için dinamik programlama metoduna bağlı biçimsel bir teknik olan *Viterbi Algoritması* geliştirilmiştir [15].

### Viterbi Algoritması

Viterbi Algoritması, kesikli zamanlı sonlu durumlu Markov süreçlerinin durum dizisi tahmin problemi için bir tekrarlamalı optimal çözümdür [16].

Verilen  $O = \{O_1 O_2 \dots O_T\}$  gözlem dizisi düşünüldüğünde en iyi tekil durum dizisi  $Q = \{q_1 q_2 \dots q_T\}$  'yi bulmak için

$$\delta_t(i) = \max_{q_1, q_2, \dots, q_{t-1}} P[q_1 q_2 \dots q_t = i, O_1 O_2 \dots O_t | \lambda] \quad (18)$$

ifadesi tanımlanır.  $\delta_t(i)$ ,  $t$  anına kadar tek bir yol boyunca en yüksek olasılığı gösterir ve  $t$  anında  $S_i$  durumuna ulaşılır. Tümevarım yoluyla (19) ifadesi elde edilir.

$$\delta_{t+1}(j) = \left[ \max_i \delta_t(i) a_{ij} \right] b_j(O_{t+1}) \quad (19)$$

Gerçek durum dizisine varmak için (19) ifadesini her  $t$  ve  $j$  için maksimize hale getirmiş olan argümanın (bağımsız değişkenin) izlenmesi gerekir. Bu işlem  $\psi_t(j)$  dizisi ile yapılır.

Viterbi Algoritmasının adımları aşağıda verilmiştir:

**i.** Başlangıç

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1), \quad 1 \leq i \leq N \quad (20a)$$

$$\psi_1(i) = 0 \quad (20b)$$

**ii.** Yineleme

$$\delta_t(j) = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] b_j(O_t), \quad 2 \leq t \leq T, 1 \leq j \leq N \quad (21a)$$

$$\psi_t(j) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}], \quad 2 \leq t \leq T, 1 \leq j \leq N \quad (21b)$$

**iii.** Sonlandırma

$$P^* = \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (22a)$$

$$q_T^* = \arg \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_T(i)] \quad (22b)$$

**iv.** Yol Durum Dizisi Geri İzleme

$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*), \quad T = T-1, T-2, \dots, 1 \quad (23)$$

**3. Problem:**  $P(O|\lambda)$  olasılığını maksimum yapabilmek için  $\lambda = (A, B, \pi)$  model parametrelerinin nasıl değiştirileceğidir.  $P(O|\lambda)$  olasılığını yerel olarak maksimum yapmak için  $\lambda = (A, B, \pi)$  parametre tahminlemede, *Baum-Welch Algoritması* geliştirilmiştir.

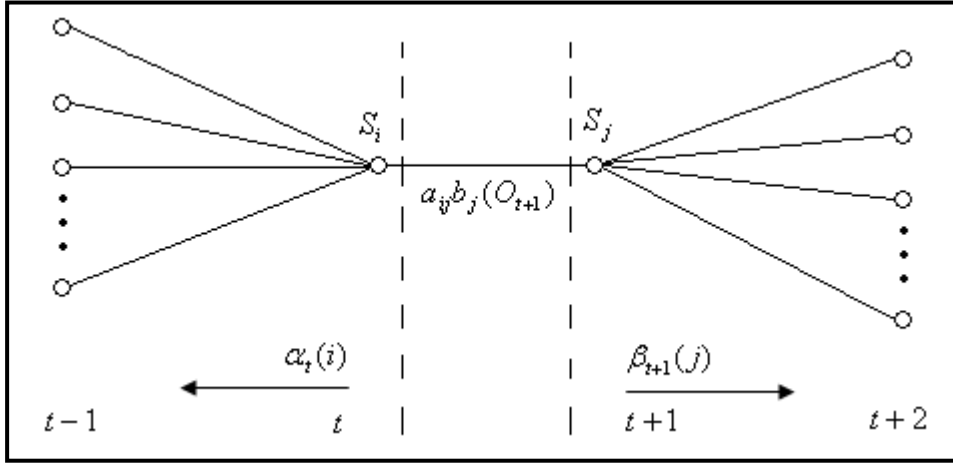
**Baum-Welch Algoritması**

SM modelinin eğitimi olarak adlandırılan Baum-Welch Algoritması ileri-yön ve geri-yön değişkenlerine ait olasılıklar üzerine kurulu bir yinelemeli benzerlik maksimizasyon metodudur [17].

Verilen bir model ve gözlem dizisi için  $\xi_t(i, j)$  değişkeni,  $t$  anında  $S_i$  durumunda ve  $t+1$  anında  $S_j$  durumunda olma olasılığını gösterir.

$$\xi_t(i, j) = P(q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O, \lambda) \quad (24)$$

(24) ifadesine göre gerekli olan koşullara yol açan olaylar dizisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



**Şekil 1: Sistemin  $t$  Anında  $S_i$  ve  $t+1$  Anında  $S_j$  Durumunda Bulunması Birleşik Olasılığının Hesaplanmasında Gerekli İşlemler Dizisi [10]**

İleri-Yön ve Geri-Yön değişkenlerinin tanımlarından (25) ifadesi yazılır:

$$\xi_t(i, j) = P(q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O, \lambda)$$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{P(O | \lambda)} = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)} \quad (25)$$

Paydaki terim sadece  $P(q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O, \lambda)$  olacak ve  $P(O | \lambda)$  ile bölüm yapıldıktan sonra istenilen olasılık ölçüsü elde edilecektir.

Ayrıca verilen  $\lambda$  modeli ve  $O$  gözlem dizisi için  $\gamma_t(i)$  değişkeni,  $t$  anında  $S_i$  durumunda olma olasılığı

$$\gamma_t(i) = P(q_t = S_i | O, \lambda) \quad (26)$$

şeklinde tanımlanır.

(26) nolu ifade İleri-Yön, Geri-Yön değişkenleri ile basitçe ifade edilebilir.

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i) \beta_t(i)}{P(O | \lambda)} = \frac{\alpha_t(i) \beta_t(i)}{\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) \beta_t(i)} \quad (27)$$

$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) \beta_t(i)$  normalizasyon faktörü,  $\gamma_t(i)$  'yi bir olasılık ölçütü haline getirir:

$$\sum_{i=1}^N \gamma_t(i) = 1 \quad (28)$$

Bu bağlamda  $\gamma_t(i)$  ile  $\xi_t(i, j)$  arasında aşağıdaki şekilde bir ilişki kurulabilir:

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (29)$$

$$\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i) = S_i \text{ 'den geçişlerin beklenen sayısı.} \quad (30a)$$

$$\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j) = S_i \text{ 'den } S_j \text{ 'ye geçişlerin beklenen sayısı.} \quad (30b)$$

(30a) ve (30b) formülleri kullanılarak bir SM modelinin parametrelerinin yeniden tahmini için bir yöntem tanımlanabilir.

$$\bar{\pi}_i = t = 1 \text{ anında } S_i \text{ durumunda beklenen sıklık (zamanların sayısı) = } \gamma_1(i) \quad (31a)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (31b)$$

$$\bar{b}_j(k) = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (31c)$$

(31a) - (31b) ve (31c) formülleri için  $\lambda = (A, B, \pi)$  modeli kullanılarak  $\bar{\lambda} = (\bar{A}, \bar{B}, \bar{\pi})$  modeli hesaplanır

Yeniden tahmin prosedürünün önemli bir noktası da aşağıda ifade edilen SM modeli parametrelerinin stokastik kısıtlarının her iterasyonda sistematik bir biçimde elde edilmesidir.

$$\sum_{i=1}^N \bar{\pi}_i = 1 \quad (32a)$$

$$\sum_{j=1}^N \bar{a}_{ij} = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (32b)$$

$$\sum_{k=1}^M \bar{b}_j(k) = 1, \quad 1 \leq j \leq N \quad (32c)$$

### 3. Döviz Kurları

Döviz, yabancı paralar cinsinden ülkelerde ödenebilir kayıtlı para olarak tanımlanmaktadır. Dövizin bir başka döviz ile değiştirilmesinde esas alınan orana döviz kuru denilmektedir. Bu da söz konusu yabancı paranın arz ve talebine bağlıdır [18]. Döviz piyasalarında kurlar, döviz alış ve döviz satış kurları şeklinde ilan edilmektedir. Döviz alış ve satış kurları, örneğin bankalar açısından değerlendirildiğinde, bir bankanın bir birim yabancı parayı satın aldığı veya sattığında ödeyeceği veya tahsil edeceği milli parayı göstermektedir. Bir ülkenin parasının gelecekte hangi yönde değişikliğe uğrayabileceği birçok ekonomik göstergelerden anlaşılabilir. Ancak söz konusu değişim eğiliminin kesin zamanının ve ölçüsünün tahmin edilebilmesi son derece zor olabilmektedir. Çünkü bir taraftan döviz arz ve talebini etkileyen hal ve keyfiyetlerin kesin olarak bilinmemesi ve bunların etkilerinin kantitatif olarak hesap edilememesi, diğer taraftan resmi kurumların



siyasi nedenlerden dolayı döviz piyasasına müdahale ederek, ekonomik gerçekleri mantığına ters yönde döviz kurlarının değişmesi sağlanabilmektedir [19].

Türkiye 1980'li yıllardan sonra dışa açık politikalar izlemiştir. Dışa açık ekonomilerde ülke içinde alınan kararlar ve uygulanan politikalardan başka, diğer ülkelerin politikaları, yaşanan krizler veya savaş gibi dış faktörler ülke ekonomisini etkilemektedir. Ülkenin dış faktörlerden etkilenme derecesi, daha çok diğer ülkelerle olan ekonomik, siyasi ve politik bağlantılara göre değişmektedir [20].

Döviz kurlarını açıklayan başlıca iki yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım, uluslar arası işlemlere katılan tarafların davranışlarının (eğilimlerinin) analiz edilerek, döviz için arz ve talep gücünün anlaşılmasıdır. Bu işlemler "ödemeler dengesi" ile ölçüldüğünden döviz kurlarının tahmini ödemeler dengesindeki hesapların tahminini gerektirir. Diğer yaklaşım ise, faiz ve enflasyon oranı beklentisidir. Bu yaklaşımlara göre döviz kurlarını etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir [21]:

- **Ödemeler Dengesi:**

Ülkelerin belirli bir zaman dilimi içinde birbirleri ile gerçekleştirdikleri ekonomik işlerin sistematik bir kaydı olarak tanımlanan ödemeler dengesi, döviz kurunu belirlemede ve döviz kuruna ilişkin beklentileri yönlendirmede büyük bir öneme sahiptir [21]. Bir ülkenin ödemeler dengesi belirli bir zaman aralığında sözü geçen ülke ile diğer ülkeler arasında gerçekleşen her tür ekonomik işlemin kayıtlarını içerir [18]. Döviz dengesinde oluşan açık ve ne düzeyde sürdürülebilir olduğu ulusal paraya olan talebi etkileyecek ve de kurları değiştirecektir [22].

- **Enflasyon Oranları (Satın Alma Gücü Paritesi):**

Enflasyon oranları da kur değişmelerinin muhtemel göstergeleri olarak dikkate alınması gereken diğer önemli göstergedir [19]. Bir ülkedeki enflasyon oranı diğer ülkelere göre daha hızlı ise, bu ülkenin parasının diğer paralar karşısında değer kaybedeceği kabul edilir [21].

Ülkeler arasındaki enflasyon farklılıkları döviz kurlarını etkiler. Enflasyon ulusal paranın satın alma gücünü düşürdüğü için döviz kurunun da aynı oranda devalüe edilmesi gerekir. Devalüasyon gerçekleşirse enflasyon yaşamamış yabancı bir ülkenin para birimiyle enflasyon halindeki ülkeden alabileceği reel mal miktarı aynı seviyede kalır. Şayet devalüasyon yapılmazsa ülkenin ihrac ettiği mallar pahalı hale gelir. Aynı şekilde deflasyon durumunda (paranın satın alma gücünün artması-fiyatların düşmesi) durumunda döviz kurunun revalüe edilmesi gerekir. Aksi takdirde reel olarak daha fazla mal ihrac edildiği halde döviz cinsinden elde edilen gelir aynı düzeyde kalır. Dolayısıyla herhangi iki ülkenin döviz kur ve paritelerindeki değişimin, ülkelerdeki enflasyon oranları arasındaki farka eşit olması gerekir. Bu anlamda ekonomik gücü yüksek olan ülkelerdeki enflasyon beklentileri döviz kurunu etkileyebilir [22].

- **Faiz Oranları:**

Faiz oranları ile döviz kurları arasındaki ilişkiyi bulmak için, önce faiz oranlarının enflasyon ile ilişkisini kurmak gerekir. Bunu uluslararası Fisher Etkisi ile açıklayabiliriz. Fisher Etkisine göre, nominal faiz oranları, reel faiz oranı ile enflasyonun kombinasyonudur [21]. Ayrıca Fisher etkisine göre, reel faiz getirileri ülkeler arasında eşittir. Yani, bir para üzerinden beklenen reel faiz getirisi diğerinden yüksekse, mali fonlar düşük reel faizde olan ülkeden yüksek faizde olana doğru kayar ve bu faaliyet iki ülke arasında reel faizler eşitleninceye kadar sürer [18].

- **Para ve Maliye Politikaları:**

Para ve maliye politikaları da döviz kurlarını etkileyici niteliğe sahiptirler. Para arzındaki artış, genelde döviz kurunu ters bir biçimde etkiler. Vergi oranlarını değiştirme, doğrudan

ve dolaylı vergileme, dışalım vergileri, vergi iadesi vb. gibi mali düzenlemeler o ülkede yaşayanların satın alma gücünü azaltır, ya da artırır [21].

- **Kur Rejimleri ve Müdahaleler:**

Ülkede uygulanan kur rejimi çerçevesinde merkez bankalarının kur belirleme ve/veya gerektiğinde döviz kuruna müdahale etme gücü oluşmaktadır. Merkez bankaları açık piyasa işlemleri veya döviz alım satımıyla döviz kurlarını yönlendirebilir [22].

- **Diğer Faktörler:**

Yukarıda sayılanların dışında politik ve psikolojik faktörler de döviz kurlarını etkileyen faktörler olarak görülürler [21]. Olumsuz politik beklentiler bir paranın değerinin düşmesine neden olabilir. İstenmeyen politik değişimlerin olabileceği beklentisi kişilerde ve iş çevrelerinin ellerinde varlık olarak parayı tutmama eğilimine neden olacağından para arzı artar. Bu tür gelişmeler de paranın değerinde düşüşe yol açar. Diğer yandan politik istikrar beklentisi paranın değerini arttırır [18].

Ekonomik faktörler, özellikle uzun dönemde döviz kurlarının belirlenmesinde çok önemli rol oynarlar. Ancak ekonomik olmayan faktörler de zaman zaman döviz kurlarını etkilerler. Politik ve psikolojik faktörler, sermaye hareketlerine sebep olarak döviz kurları üzerinde etki yaparlar. Bu etkileme sürecinde bazı paralar üzerinde oluşan belirli imajlar önemli rol oynar [21].

Döviz kurunun seyrini etkileyen en sübjektif ve en önemli unsur güven unsurudur. Ülke parasına ve ülke kurumlarına olan güven kurları istikrarlı kılar. Bu sebeple politik istikrar kavramı karşımıza çıkar. Şayet bu istikrar mevcut değilse, mali sisteme ve merkez bankasına olan güven sarsılırsa döviz kurları yukarı itilir ülke parasının itibarı sarsılır [22].

#### **4. Uygulama**

Dolar kurunun geleceğe yönelik değişiminin tahminlenmesi için belirli bir zaman aralığında dolar kurları ve bu kurları etkileyen faktörler veri olarak kullanılmıştır. Tahminlemede kullanılacak verilerin tümü T.C.M.B. Elektronik Veri Dağıtım Sisteminden temin edilmiştir [23]. Zaman aralığı olarak, 1992 yılı Ocak ayından 2008 yılı Ocak ayına kadar olan süre belirlenerek toplam 192 ay için ay sonu değerleri baz alınmıştır.

Yukarıda verilen tarih aralığında her bir ay için dolar kuru alış fiyatları bir önceki ayın alış fiyatı ile oranlanarak değişim değerleri yüzde olarak ifade edilmiştir. Değişimin  $-0,5$  ile  $0,5$  arasında olması sabit olarak G0 ile,  $0,5$ 'den büyük olması artış olarak G1 ile ve  $-0,5$ 'den küçük olması ise düşüş olarak G2 ile gösterilecek ve bu ifadeler SM modelinin "gözlem kümesini" oluşturacaktır. Gözlem kümesinin aylık verilerden oluşması nedeniyle SM modelinin kesikli olduğu basitçe söylenebilir.

Dolar kurunu etkileyen faktörler arasında yer alan ödemeler dengesi, ülkenin finansal yapısını oldukça etkili bir şekilde ifade ettiğinden dolayı dolar kuru değişiminin tahmin edilmesinde en önemli unsur olarak modelde, "durum" olarak kullanılmıştır. Yukarıda verilen tarih aralığında her bir ay için açıklanan Ödemeler Dengesi tablosundan Genel Denge verileri alınmıştır. Bu veriler milyon \$ cinsinden ifade edilip her bir ayın verisi bir önceki ayın verisi ile karşılaştırılarak, artma veya azalma durumları oluşmuştur. Artma A, azalma ise D ile ifade edilmiştir.

Dolar kurunu etkileyen faktörlerden olan faiz oranları da, dolar kurunun tahmin edilmesinde önemli bir unsur olduğundan modelde, "durum" olarak kullanılmıştır. Belirlenen tarih aralığında açıklanan 3 aylık vadeli mevduat faiz oranları veri olarak kullanılmıştır. Dolar kuru verilerinde olduğu gibi faiz oranlarında da her bir ay için faiz oranı bir önceki ayın faiz oranı ile oranlanarak değişim değerleri yüzde olarak ifade

edilmiştir. Değişimin  $-0,5\%$  ile  $0,5\%$  arasında olması sabit olarak F0 ile,  $0,5\%$ 'den büyük olması artış olarak F1 ile ve  $-0,5\%$ 'den küçük olması ise düşüş olarak F2 ile gösterilmiştir.

Dolar kurunu etkileyen diğer bir faktör de Enflasyon oranlarıdır. Enflasyon oranları genel olarak faiz oranları ile doğru orantılı olarak değiştiğinden modelde kullanılmamıştır. Para ve Maliye Politikaları, Kur Rejimleri ve Müdahaleler, Politik ve Psikolojik faktörler her ne kadar dolar kurunu etkileyen faktörler olarak bilinse de bu faktörlerin sayısal olarak ifade edilmesi zor olduğundan dolayı tahminlemede, durum olarak kullanılmamıştır.

Tahminlemede kullanılacak olan  $\{A,D\}$  ve  $\{F0,F1,F2\}$  durum kümeleri kendi içinde ergodik olup, diğer durum kümesindeki durumlar ile ergodik bir yapıda değildir. Yani  $\{F0,F1,F2\}$  durum kümesinin herhangi bir elemanı hiçbir zaman  $\{A,D\}$  durum kümesinin bir elemanına geçiş yapmaz. Benzer şekilde  $\{A,D\}$  kümesinin herhangi bir elemanı hiçbir zaman  $\{F0,F1,F2\}$  kümesinin bir elemanına geçiş yapmayacaktır. Bu durumda hem geçiş olasılıkları matrisi hem de gözlem olasılıkları matrisi oluşturulamaz.  $\{A,D\}$  ve  $\{F0,F1,F2\}$  durumları aylık, karşılıklı olarak olduğundan dolayı  $\{F0,F1,F2\}$  kümesinin her bir elemanı için  $\{A,D\}$  kümesinin bir elemanı karşılık geleceğinden, oluşacak tüm olasılıklar yeni durumları oluşturacak biçimde aşağıda verildiği gibi tanımlanmıştır:

**Tablo 1: Modelde Yar Alacak Durumlar ve Gösterimleri**

Durumlar	Gösterim					
Faiz Oranları	F0	F0	F2	F2	F1	F1
Ödemeler Dengesi	A	D	A	D	A	D
Geçiş ve Gözlem Olasılıkları Matrisi	D1	D2	D3	D4	D5	D6

Ek1'de yer alan veriler yukarıda belirtilen tarih aralığında incelenerek geçiş olasılıkları matrisi oluşturulmuştur.

**Tablo 2: Geçiş Olasılıkları Matrisi**

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	0,286	0,314	0,2	0,086	0	0,114
D2	0,484	0,065	0,193	0,097	0,129	0,032
D3	0,053	0,237	0,184	0,394	0,079	0,053
D4	0,05	0,2	0,275	0,25	0,125	0,1
D5	0,12	0,04	0,24	0,2	0,16	0,24
D6	0,143	0	0,095	0,095	0,477	0,19

Gözlem verileri olarak alınan dolar kuru değişim değerleri  $\{G0,G1,G2\}$ 'ye karşılık gelen durumlar kullanılarak Gözlem olasılıkları matrisi oluşturulmuştur.

**Tablo 3: Gözlem Olasılıkları Matrisi**

	G0	G1	G2
D1	0,086	0,771	0,143
D2	0	0,742	0,258
D3	0,079	0,447	0,474
D4	0,1	0,65	0,25
D5	0,077	0,731	0,192
D6	0,048	0,857	0,095

Model için başlangıç durumunda tüm durumların meydana gelme olasılıkları aynı olduğundan, başlangıç olasılıkları eşit alınmıştır.

$$\pi_i = P[1/6, 1/6, 1/6, 1/6, 1/6, 1/6], \quad 1 \leq i \leq 6$$

**Tablo 4: 2008 Yılı İlk İki Ayı İçin Tahmin Edilecek Gözlem Dizileri**

Dönem	Gözlem Dizileri								
Ocak	G0	G0	G0	G1	G1	G1	G2	G2	G2
Şubat	G0	G1	G2	G0	G1	G2	G0	G1	G2

Bu gözlem dizilerine ait olasılık değerleri SM modelinin 1.Probleminde bahsedilen İleri-Yön ve Geri-Yön algoritmaları ile hesaplanmıştır. Her bir gözlemin meydana gelmesinde etkili olan en yüksek olasılıklı saklı durum dizileri ise SM modelinin 2.Probleminde bahsedilen Viterbi algoritması ile hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçları aşağıda verilmiştir:

**Tablo 5: 2008 Yılı İlk İki Ayı İçin Tahmin Edilen Gözlem Dizisi Olasılıkları ve Olası Durum Dizileri**

Ocak	G0	G0	G0	G1	G1	G1	G2	G2	G2
Şubat	G0	G1	G2	G0	G1	G2	G0	G1	G2
Olasılık	0,0034	0,0371	0,0140	0,0472	0,4811	0,1684	0,0171	0,1689	0,0632
Durum Dizisi	D3,D4	D1,D2	D1,D3	D2,D1	D2,D1	D2,D3	D3,D4	D2,D1	D3,D4

Ocak ve Şubat ayları için tahmin edilen gözlem dizisi olasılıklarından en yükseği %48,11 ile {G1,G1}'dir. Bu sonuca göre 2008 yılı Ocak ayında dolar kuru, 2007 yılı Aralık ayına göre %0,5'den daha fazla artacak ve 2008 yılı Şubat ayında da bir önceki aya göre yine %0,5'den daha fazla bir artış olacağı söylenebilir. Ek1'de yer alan 2008 yılı ilk iki ayında gözlenen dolar kuru değişimlerine bakıldığında tahminlemenin %100 doğru sonuç verdiği görülür.

Tahminlemede en yüksek olasılığı veren  $\{G1,G1\}$  gözlem dizisi için optimum durum dizisi yani bu olasılığın hesaplanmasında en etkili olan saklı durum dizisi  $\{D2,D1\}$  olarak bulunmuştur. Bu sonuç Ocak ve Şubat aylarındaki gözlem dizisi için sırası ile D2 ve D1 durumlarının en etkili durumlar olduğunu ortaya koyar. D2; F0 ve D durumları yani Faiz oranının bir önceki aya göre değişiminin  $-%0,5$  ile  $%0,5$  arasında kaldığını ve Ödemeler dengesinde bir önceki aya göre bir azalma olduğunu gösterir. D1 ise F0 ve A durumları yani Faiz oranının bir önceki aya göre değişiminin  $-%0,5$  ile  $%0,5$  arasında kaldığını ve Ödemeler dengesinde bir önceki aya göre bir artma olduğunu gösterir. Ek1'de yer alan 2008 yılı ilk iki ayı için gerçek veriler  $\{D2,D2\}$  şeklinde yani F0,D ve F0,D biçiminde olup tahminleme ile elde edilen bu sonuçlar gerçek veriler ile karşılaştırıldığında  $%75$ 'lik doğru sonuç sağlanmış olur.

SM modelinin 3.Probleminde incelenen model parametrelerinin yeniden belirlenmesi, istenen herhangi bir gözlem dizisinin olasılığını maksimum yapmak için başlangıç olasılıkları vektörü, geçiş olasılıkları matrisi ve gözlem olasılıkları matrislerinin yeniden belirlenmesine yönelik bir algoritma olarak verilmişti. 3.Problem'in çözümünde verilen Baum-Welch algoritması Ocak ve Şubat aylarına ait gözlem dizilerinden  $%1,40$  ile oldukça düşük bir olasılığa sahip olan  $\{G0,G2\}$  gözlem dizisi için uygulanırsa (Burada istenilen herhangi bir gözlem dizisi seçilebilir) aşağıdaki parametreler elde edilir.

**Tablo 6:  $\{G0,G0\}$  Gözlem Dizisi İçin Parametreleri Değiştirilen Geçiş Olasılıkları Matrisi**

	D1	D2	D3	D4	D5	D6
D1	0	0	0,5173	0,0331	0	0,4496
D2	0	1	0	0	0	0
D3	0	0,8012	0	0	0,1988	0
D4	0	0,6825	0	0	0,3175	0
D5	0	0	0	0	1	0
D6	0	0	0	0	1	0

**Tablo 7:  $\{G0,G0\}$  Gözlem Dizisi İçin Parametreleri Değiştirilen Gözlem Olasılıkları Matrisi**

	G0	G1	G2
D1	0	0	1
D2	0	0	1
D3	1	0	0
D4	1	0	0
D5	0	0	1
D6	1	0	0

Başlangıç olasılıkları ise değişmemiştir. Yeni parametreler kullanıldığında gözlem olasılığı %100 olarak hesaplanmıştır.

Başlangıç olasılıkları vektörü, geçiş olasılıkları matrisi ve gözlem olasılıkları matrisinin Ocak ve Şubat ayları tahmininde kullanıldığı gibi alınarak Ocak, Şubat ve Mart ayları için tahminleme yapıldığında elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8: 2008 Yılı İlk Üç Ayı İçin Tahmin Edilen Gözlem Dizisi Olasılıkları ve Olası Durum Dizileri**

Ocak	Şubat	Mart	Olasılık	Durum Dizisi
G0	G0	G0	0,00022	D3,D4,D4
G0	G0	G1	0,0023	D1,D1,D2
G0	G0	G2	0,00089	D3,D4,D3
G0	G1	G0	0,0026	D1,D2,D1
G0	G1	G1	0,0254	D1,D2,D1
G0	G1	G2	0,0092	D3,D4,D3
G0	G2	G0	0,00097	D1,D3,D4
G0	G2	G1	0,0094	D1,D2,D1
G0	G2	G2	0,0036	D1,D3,D4
G1	G0	G0	0,0030	D2,D1,D1
G1	G0	G1	0,0320	D2,D1,D2
G1	G0	G2	0,0122	D2,D1,D3
G1	G1	G0	0,0320	D2,D1,D1
G1	G1	G1	0,3301	D2,D1,D2
G1	G1	G2	0,1191	D2,D1,D3
G1	G2	G0	0,0114	D2,D3,D4
G1	G2	G1	0,1136	D1,D2,D1
G1	G2	G2	0,0435	D2,D3,D4
G2	G0	G0	0,0011	D3,D4,D4
G2	G0	G1	0,0115	D2,D1,D2
G2	G0	G2	0,0045	D3,D4,D3

G2	G1	G0	0,0113	D2,D1,D1
G2	G1	G1	0,1152	D2,D1,D2
G2	G1	G2	0,0425	D3,D4,D3
G2	G2	G0	0,0043	D3,D3,D4
G2	G2	G1	0,0424	D3,D2,D1
G2	G2	G2	0,0165	D3,D4,D3

Tablo 8 incelendiğinde en yüksek olasılığa sahip gözlem dizisi %33,01 ile {G1,G1,G1}'dir. 2008 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarında gözlenen veriler Ek1'de verildiği gibi {G1,G1,G1} şeklinde olup ilk üç ay için tahminlemenin %100 doğru sonuç verdiği görülür.

İlk üç aylık tahminlemede en yüksek olasılığı veren {G1,G1,G1} gözlem dizisi için optimum durum dizisi {D2,D1,D2} olarak bulunmuştur. Optimum durum dizisi açık olarak {F0-D,F0-A,F0-D} şeklinde yazılabilir. Gerçek veriler ise Ek1'de verildiği gibi {D2,D2,D1} şeklinde yani {F0-D,F0-D,F0-A} biçiminde olup elde edilen bu sonuçlar gerçek veriler ile karşılaştırıldığında yaklaşık olarak %66,6'lık doğru sonuç sağlanmış olur.

## 5. Sonuç ve Öneriler

SM modelleri kullanılarak yapılan tahminlemelerin, gözlem olasılığını hesaplamada çok iyi sonuçlar verdiği ayrıca gözlem olasılığının hesaplanmasında etkili olan saklı durumların bulunmasında ise iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Herhangi bir gözlem dizisi olasılığının maksimum yapılması için model parametrelerinin yeniden belirlenmesi sonucunda da gözlem olasılığı için yine çok iyi sonuçlar alınmıştır.

Dolar kurunun belirlenmesinde etkili olan ekonomik faktörlerden faiz oranları ve ödemeler dengesi verileri kullanılarak, kurdaki değişimin tahminlenmesi ve bu değişimi oluşturan en etkili faktörün belirlenmesinde, SM modellerinin etkili bir tahmin yöntemi olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada faiz oranları üç, ödemeler dengesi iki ve dolar kuru değişimi üç kategoriye ayrılmıştır. Bu kullanım, herhangi bir durumda veya gözlemede meydana gelebilecek çok küçük miktarda bir değişim ile aynı yönlü büyük bir değişimin model için aynı anlamda olacağını gösterir. Örneğin, dolar kurunun %1 artması ile %15 artması gözlemlerinin her ikisinde artış olarak ifade edilip G1 ile sembolize edilmiştir.

Detaylı bir çalışma olarak, artma ve azalma oranları daha fazla sayıda kategoriye ayrılarak daha etkili bir model kurulmuş olacağı düşünülmektedir. Fakat geçiş olasılıkları matrisinde ve gözlem olasılıkları matrisinde kullanılacak durumların çok fazla sayıda olması model için kullanışlı olmayabilir.

Tahminlemelerde dolar kurunu etkileyen faktör sayısı yani kullanılacak durumların sayısı arttırıldığında daha hassas sonuçlar elde edileceği beklenmektedir.

### Kaynakça

- [1] Warren Ewens ve Gregory Grant, *Statistical Methods in Bioinformatics: An Introduction*, Second Edition, Springer Science+Business Media Inc, 409, (2005).
- [2] Nalan Cinemre, *Yöneylem Araştırması*, İkinci Baskı, Beta Basım Yay. Da., 485, (2003).
- [3] Henk C. Tijms, *A First Course in Stochastic Models*, John Wiley&Sons. Inc, 83, (2003).
- [4] Kai Lai Chung ve John B. Walsh, *Markov Processes, Brownian Motion, and Time Symmetry*, Second Edition, Springer Science+Business Media Inc, 291, (2005).
- [5] Willi-Hans Steeb, Yorick Hardy ve Ruedi Stoop, *The Nonlinear Workbook*, 3rd Edition, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 472, (2005).
- [6] Horst Bunke ve Terry Caelli, *Hidden Markov Models Applications In Computer Vision*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 11, (2001).
- [7] Alexander Schliep, Benjamin Georgi, Wasinee Rungarityotin, Ivan G. Costa, ve Alexander Schönhuth, *Forschung und wissenschaftliches Rechnen: Beiträge zum Heinz-Billing Preis, Series GWDG-Bericht*, 121-135, (2004).
- [8] Ramaprasad Bhar ve Shigeyuki Hamori, *Hidden Markov Models Applications to Financial Economics*, Kluwer Academic Publishers, 17, (2004).
- [9] Manuele Bicego ve Vittorio Murino, *Investigating Hidden Markov Models' Capabilities in 2D Shape Classification*, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol.26, No.2, 281-286, (2004).
- [10] Lawrence R. Rabiner, *A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition*, *Proceedings Of The IEEE*, Vol. 77, No. 2, 257-286, (1989).
- [11] Hanhong Xue ve Venu Govindaraju, *Hidden Markov Models Combining Discrete Symbols and Continuous Attributes in Handwriting Recognition*, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol.28, No.3, 458-462, (2006).
- [12] Lawrence Rabiner, Biing Hwang Juang, *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice Hall International Inc., 335, (1993).
- [13] Claudio Becchetti ve Lucio Prina Ricatti, *Speech Recognition Theory and C++ Implementation*, Jhon-Wiley & Sons Inc., 179, (2004).
- [14] Enza Messina ve Daniele Toscani, *Hidden Markov models for scenario generation*, *IMA Journal of Management Mathematics Advance published*, 1-23, (2007).
- [15] Wikipedia The Free Encyclopedia, Viterbi Algorithm, [http://en.wikipedia.org/wiki/Viterbi\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Viterbi_algorithm), 18 Nisan, (2008).
- [16] G. David Forney, *The Viterbi Algorithm*, *Proceedings Of The IEEE*, Vol.61, No.3, 268-278, (1973).
- [17] Saeed V. Vaseghi, *Multimedia Signal Processing Theory and Applications in Speech, Music and Communications*, John-Wiley & Sons Ltd., 364, (2007).
- [18] Halil Söyler, *Döviz Kurları Üzerine İşlemler*, [http://www.alomaliye.com/halil\\_soyler\\_doviz\\_kur\\_islemler.htm](http://www.alomaliye.com/halil_soyler_doviz_kur_islemler.htm), 19 Kasım, (2008).
- [19] Rifat Yıldız, *Bankacılıkta ve Dış Ticarettte Döviz Pozisyonlarının Kur Riskine Karşı Korunması*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 57-58, (1988).



- [20] Aydan Kansu, *Döviz Kuru Sistemleri ve Döviz Krizleri Türkiye 1994 ve 2001 Krizleri*, Güncel Yayıncılık Ltd. Şti., 157, (2006)
- [21] Saniye Gümüşeli, *Döviz Kuru ve Faiz Oranı Risklerinden Korunma Teknikleri*, Türkiye Bankalar Birliği, Yayın No:179, 83, (1994).
- [22] Private Sözlük, *Döviz Kurunu Etkileyen Faktörler*, <http://www.privatesozluk.com/show.asp?m=doviz+kurunu+etkileyen+faktorler>, 19 Kasım, (2008).
- [23] TCMB Elektronik Veri Dağıtım Sistemi, <http://evds.tcmb.gov.tr>, 06 Aralık, (2008).

**Ek 1:** Modelde kullanılan veriler.

Yıl	Ay	ABD Doları Alış Fiyatları			Mevduat Faiz Oranları 3 Ay Vadeli			Ödemeler Dengesi (Milyon \$)	
		Fiyat (TL, YTL*)	Değişim (%)	İfade	Oran	Değişim (%)	Durum	Değer	Durum
1992	1	5,486			68,67			-85	
	2	5,8493	6,62	G1	68,05	-0,90	F2	-360	D
	3	6,2415	6,71	G1	67,98	-0,10	F0	-486	D
	4	6,5938	5,64	G1	69,23	1,84	F1	-279	A
	5	6,8543	3,95	G1	69,43	0,29	F0	105	A
	6	6,8682	0,20	G0	69,69	0,37	F0	611	A
	7	7,0589	2,78	G1	69,40	-0,42	F0	706	A
	8	7,0509	-0,11	G0	68,42	-1,41	F2	568	D
	9	7,3173	3,78	G1	68,11	-0,45	F0	-131	D
	10	7,8383	7,12	G1	68,02	-0,13	F0	232	A
	11	8,2814	5,65	G1	68,79	1,13	F1	71	D
	12	8,5559	3,31	G1	69,05	0,38	F0	532	A
1993	1	8,7185	1,90	G1	69,06	0,01	F0	198	D
	2	9,1347	4,77	G1	66,44	-3,79	F2	819	A
	3	9,4511	3,46	G1	63,66	-4,18	F2	-39	D
	4	9,6497	2,10	G1	63,79	0,20	F0	-489	D
	5	10,123	4,90	G1	63,99	0,31	F0	315	A
	6	10,86	7,28	G1	63,97	-0,03	F0	-20	D
	7	11,445	5,39	G1	63,98	0,02	F0	327	A
	8	11,746	2,63	G1	64,00	0,03	F0	-157	D
	9	12,081	2,85	G1	63,99	-0,02	F0	-241	D

	10	12,967	7,33	G1	63,98	-0,02	F0	84	A
	11	13,723	5,83	G1	64,02	0,06	F0	459	A
	12	14,458	5,36	G1	64,01	-0,02	F0	-942	D
1994	1	17,203	18,99	G1	67,71	5,78	F1	-707	A
	2	18,206	5,83	G1	85,41	26,14	F1	-1087	D
	3	22,137	21,59	G1	87,05	1,92	F1	-1186	D
	4	33,408	50,91	G1	131,40	50,95	F1	23	A
	5	31,73	-5,02	G2	131,80	0,30	F0	118	A
	6	31,163	-1,79	G2	121,68	-7,68	F2	669	A
	7	30,955	-0,67	G2	79,28	-34,85	F2	995	A
	8	32,95	6,44	G1	67,54	-14,81	F2	762	D
	9	34,038	3,30	G1	67,29	-0,37	F0	423	D
	10	35,823	5,24	G1	62,52	-7,09	F2	-76	D
	11	36,323	1,40	G1	74,50	19,16	F1	506	A
	12	38,418	5,77	G1	77,31	3,77	F1	-155	D
1995	1	40,393	5,14	G1	86,98	12,51	F1	2073	A
	2	41,226	2,06	G1	87,43	0,52	F1	1349	D
	3	41,864	1,55	G1	78,68	-10,01	F2	245	D
	4	42,346	1,15	G1	73,72	-6,30	F2	797	A
	5	42,526	0,43	G0	73,07	-0,88	F2	81	D
	6	43,888	3,20	G1	73,13	0,08	F0	937	A
	7	44,889	2,28	G1	69,11	-5,50	F2	1192	A
	8	47,747	6,37	G1	68,83	-0,41	F0	1250	A
	9	48,664	1,92	G1	69,11	0,41	F0	452	D
	10	50,803	4,40	G1	69,42	0,45	F0	474	A
	11	54,248	6,78	G1	78,21	12,66	F1	-1864	D
	12	61,054	12,55	G1	83,92	7,30	F1	-2301	D
1996	1	62,387	2,18	G1	85,48	1,86	F1	1609	A
	2	65,514	5,01	G1	84,83	-0,76	F2	573	D
	3	70,523	7,65	G1	82,71	-2,50	F2	-434	D
	4	74,235	5,26	G1	79,74	-3,59	F2	1771	A
	5	77,77	4,76	G1	79,44	-0,38	F0	-230	D
	6	81,224	4,44	G1	79,11	-0,42	F0	667	A

	7	83,001	2,19	G1	79,62	0,64	F1	-689	D
	8	85,784	3,35	G1	79,69	0,09	F0	813	A
	9	90,927	6,00	G1	79,63	-0,08	F0	1278	A
	10	95,315	4,83	G1	79,45	-0,23	F0	15	D
	11	101,347	6,33	G1	79,64	0,24	F0	329	A
	12	107,505	6,08	G1	79,68	0,05	F0	-1157	D
1997	1	115,33	7,28	G1	77,16	-3,16	F2	841	A
	2	121,49	5,34	G1	76,62	-0,70	F2	-207	D
	3	126,27	3,93	G1	76,54	-0,10	F0	-675	D
	4	134,63	6,62	G1	76,63	0,12	F0	-89	A
	5	139,58	3,68	G1	76,84	0,27	F0	472	A
	6	146,67	5,08	G1	77,41	0,74	F1	304	D
	7	158,8	8,27	G1	79,23	2,35	F1	731	A
	8	165,66	4,32	G1	82,60	4,25	F1	1286	A
	9	172,81	4,32	G1	82,18	-0,51	F2	2236	A
	10	180,24	4,30	G1	82,57	0,47	F0	478	D
	11	193,54	7,38	G1	82,92	0,42	F0	-1140	D
	12	204,75	5,79	G1	83,20	0,34	F0	-893	A
1998	1	214,19	4,61	G1	82,49	-0,85	F2	1398	A
	2	228,46	6,66	G1	82,79	0,36	F0	-164	D
	3	240,71	5,36	G1	82,73	-0,07	F0	2003	A
	4	248,42	3,20	G1	81,88	-1,03	F2	3000	A
	5	255,81	2,97	G1	81,19	-0,84	F2	1055	D
	6	265,05	3,61	G1	77,60	-4,42	F2	878	D
	7	268,27	1,21	G1	71,29	-8,13	F2	-1003	D
	8	276,56	3,09	G1	73,00	2,40	F1	-3623	D
	9	275,89	-0,24	G0	81,68	11,89	F1	-1290	A
	10	284,48	3,11	G1	82,24	0,69	F1	-676	A
	11	301,21	5,88	G1	81,80	-0,54	F2	-767	D
	12	312,72	3,82	G1	82,56	0,93	F1	-364	A
1999	1	329,894	5,49	G1	83,62	1,28	F1	969	A
	2	350,034	6,10	G1	82,24	-1,65	F2	482	D
	3	365,579	4,44	G1	81,11	-1,37	F2	1492	A

	4	387,75	6,06	G1	80,92	-0,23	F0	736	D
	5	402,551	3,82	G1	81,35	0,53	F1	218	D
	6	418,189	3,88	G1	85,30	4,86	F1	-90	D
	7	425,88	1,84	G1	81,20	-4,81	F2	1390	A
	8	443,201	4,07	G1	81,26	0,07	F0	-16	D
	9	459,78	3,74	G1	76,44	-5,93	F2	241	A
	10	477,31	3,81	G1	76,04	-0,52	F2	127	D
	11	512,738	7,42	G1	72,31	-4,91	F2	-820	D
	12	540,098	5,34	G1	59,48	-17,74	F2	477	A
2000	1	557,882	3,29	G1	38,10	-35,94	F2	-55	D
	2	572,057	2,54	G1	38,71	1,60	F1	381	A
	3	588,06	2,80	G1	39,95	3,20	F1	229	D
	4	609,305	3,61	G1	42,51	6,41	F1	-77	D
	5	614,742	0,89	G1	39,00	-8,26	F2	131	A
	6	618,098	0,55	G1	40,98	5,08	F1	1345	A
	7	635,514	2,82	G1	37,77	-7,83	F2	59	D
	8	653,448	2,82	G1	33,84	-10,41	F2	436	A
	9	665,885	1,90	G1	50,47	49,14	F1	-52	D
	10	682,686	2,52	G1	47,55	-5,79	F2	-73	D
	11	682,101	-0,09	G0	51,45	8,20	F1	-5003	D
	12	671,765	-1,52	G2	105,56	105,17	F1	-318	A
2001	1	676,431	0,69	G1	60,42	-42,76	F2	2658	A
	2	920,678	36,11	G1	81,41	34,74	F1	-4703	D
	3	1020,56	10,85	G1	120,26	47,72	F1	-2508	A
	4	1137,693	11,48	G1	102,29	-14,94	F2	-392	A
	5	1206,147	6,02	G1	72,86	-28,77	F2	-1632	D
	6	1252,773	3,87	G1	67,99	-6,68	F2	-3341	D
	7	1323,108	5,61	G1	67,87	-0,18	F0	-1136	A
	8	1358,232	2,65	G1	67,77	-0,15	F0	-321	A
	9	1518,666	11,81	G1	67,61	-0,24	F0	111	A
	10	1587,404	4,53	G1	65,11	-3,70	F2	-236	D
	11	1473,969	-7,15	G2	61,65	-5,31	F2	-1040	D
	12	1446,638	-1,85	G2	61,15	-0,81	F2	-384	A

2002	1	1305,34	-9,77	G2	59,23	-3,14	F2	404	A
	2	1386,051	6,18	G1	58,94	-0,49	F0	-1505	D
	3	1337,794	-3,48	G2	54,12	-8,18	F2	-178	A
	4	1331,884	-0,44	G0	49,63	-8,30	F2	620	A
	5	1438,01	7,97	G1	47,33	-4,63	F2	-763	D
	6	1569,143	9,12	G1	49,16	3,87	F1	-260	A
	7	1688,194	7,59	G1	49,91	1,53	F1	-125	A
	8	1621,347	-3,96	G2	49,21	-1,40	F2	680	A
	9	1650,456	1,80	G1	49,31	0,20	F0	-35	D
	10	1662,511	0,73	G1	49,37	0,12	F0	547	A
	11	1535,339	-7,65	G2	44,90	-9,05	F2	295	D
	12	1639,745	6,80	G1	44,79	-0,24	F0	108	D
2003	1	1635,53	-0,26	G0	45,46	1,50	F1	2071	A
	2	1588,579	-2,87	G2	45,48	0,04	F0	-1606	D
	3	1700,073	7,02	G1	46,87	3,06	F1	-951	A
	4	1567,279	-7,81	G2	45,32	-3,31	F2	-559	A
	5	1419,761	-9,41	G2	41,75	-7,88	F2	672	A
	6	1407,647	-0,85	G2	39,17	-6,18	F2	598	D
	7	1411,817	0,30	G0	37,24	-4,93	F2	546	D
	8	1392,79	-1,35	G2	35,25	-5,34	F2	1301	A
	9	1384,378	-0,60	G2	31,74	-9,96	F2	3505	A
	10	1478,911	6,83	G1	27,74	-12,60	F2	-1105	D
	11	1455,285	-1,60	G2	28,12	1,37	F1	-1412	D
	12	1393,278	-4,26	G2	28,00	-0,43	F0	1037	A
2004	1	1337,001	-4,04	G2	26,22	-6,36	F2	417	D
	2	1321,306	-1,17	G2	24,93	-4,92	F2	195	D
	3	1310,219	-0,84	G2	23,19	-6,98	F2	351	A
	4	1417,299	8,17	G1	23,41	0,95	F1	1161	A
	5	1492,017	5,27	G1	24,27	3,67	F1	-675	D
	6	1480,911	-0,74	G2	24,61	1,40	F1	1224	A
	7	1462,654	-1,23	G2	24,88	1,10	F1	-1084	D
	8	1502,122	2,70	G1	25,14	1,05	F1	1044	A
	9	1497,349	-0,32	G0	24,02	-4,46	F2	1156	A

	10	1470,153	-1,82	G2	23,90	-0,50	F0	795	D
	11	1426,013	-3,00	G2	23,73	-0,71	F2	-886	D
	12	1,3363	-6,29	G2	22,81	-3,88	F2	644	A
2005	1	1,3295	-0,51	G2	21,50	-5,74	F2	2252	A
	2	1,2785	-3,84	G2	20,53	-4,51	F2	-88	D
	3	1,3462	5,30	G1	19,99	-2,63	F2	2119	A
	4	1,3844	2,84	G1	19,85	-0,70	F2	-607	D
	5	1,355	-2,12	G2	19,54	-1,56	F2	257	A
	6	1,3337	-1,57	G2	20,67	5,78	F1	5231	A
	7	1,3212	-0,94	G2	20,52	-0,73	F2	3329	D
	8	1,3473	1,98	G1	20,47	-0,24	F0	-799	D
	9	1,3422	-0,38	G0	20,44	-0,15	F0	1637	A
	10	1,3417	-0,04	G0	20,42	-0,10	F0	3142	A
	11	1,35	0,62	G1	20,41	-0,05	F0	5342	A
	12	1,3418	-0,61	G2	20,42	0,05	F0	1385	D
2006	1	1,3199	-1,63	G2	19,96	-2,25	F2	2105	A
	2	1,306	-1,05	G2	19,50	-2,30	F2	5488	A
	3	1,3417	2,73	G1	19,30	-1,03	F2	1305	D
	4	1,3155	-1,95	G2	18,31	-5,13	F2	548	D
	5	1,56	18,59	G1	18,20	-0,60	F2	183	D
	6	1,5697	0,62	G1	21,74	19,45	F1	-1885	D
	7	1,4811	-5,64	G2	23,77	9,34	F1	6	A
	8	1,4478	-2,25	G2	23,81	0,17	F0	37	A
	9	1,4971	3,41	G1	23,81	0,00	F0	682	A
	10	1,454	-2,88	G2	23,91	0,42	F0	-642	D
	11	1,4458	-0,56	G2	23,91	0,00	F0	1094	A
	12	1,4056	-2,78	G2	23,55	-1,51	F2	1704	A
2007	1	1,4135	0,56	G1	23,53	-0,08	F0	2999	A
	2	1,413	-0,04	G0	23,30	-0,98	F2	3304	A
	3	1,3801	-2,33	G2	23,30	0,00	F0	2395	D
	4	1,3607	-1,41	G2	22,65	-2,79	F2	-281	D
	5	1,3166	-3,24	G2	22,64	-0,04	F0	-1203	D
	6	1,3046	-0,91	G2	22,69	0,22	F0	1924	A

	7	1,2746	-2,30	G2	22,67	-0,09	F0	1366	D
	8	1,2914	1,32	G1	22,64	-0,13	F0	2276	A
	9	1,2048	-6,71	G2	22,63	-0,04	F0	-1583	D
	10	1,1716	-2,76	G2	22,33	-1,33	F2	108	A
	11	1,1715	-0,01	G0	21,11	-5,46	F2	-676	D
	12	1,1593	-1,04	G2	21,22	0,52	F1	1386	A
2008	1	1,168	0,75	G1	21,19	-0,14	F0	674	D
	2	1,1906	1,93	G1	21,22	0,14	F0	-171	D
	3	1,3064	9,73	G1	21,21	-0,05	F0	49	A