



## Hedef Takibinde Kestirim Filtre Performanslarının Karşılaştırılması: Bir Durum Çalışması

### Comparison of Predictive Filter Performances in Target Tracking: A Case Study

<sup>1</sup>Erol DUYMAZ , <sup>2</sup>Ömer Faruk ÇETİNKAYA 

<sup>1,2</sup> Ostim Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 06374, Ankara, Türkiye

<sup>1</sup>erol.duymaz@ostimteknik.edu.tr, <sup>2</sup>ckayafaruk@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 14 August 2024

Accepted : 17 September 2024

##### Keywords:

Target-object tracking, Alpha-Beta, Gamma filters, Kalman filter

#### ABSTRACT

Nowadays, target or object tracking has become an important issue for many areas especially for research in defense industry. Parameters such as the position, speed and direction of the target being followed, and the attack angle-velocity of the shooting system are important. The primary solutions for parameter estimations (information) such as speed and orientation in target tracking are alpha-beta and alpha-beta-gamma filters. These filters have attracted attention for a while due to their ease of use in applications and calculations. Since these non-adaptive structures cannot alter their parameters according to changing conditions, their filtering coefficients are fixed, and can be turned into adaptive-dynamic according to the need in problem. For this reason, Kalman-based filter approaches have emerged as an alternative solution in target tracking over time. In this study, the performances of the mentioned filter algorithms are compared through some case studies, and their superiority and differences from each other are emphasized according to the simulation results.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 14 Ağustos 2024

Kabul : 17 Eylül 2024

##### Anahtar Kelimeler:

Hedef-nesne takibi,  
Alfa-Beta, Gama filtreleri,  
Kalman filtresi

#### ÖZET

Günümüzde hedef takibi bir çok alanda özellikle savunma sanayi çalışmalarında önemli bir konu haline gelmiştir. Takip edilen hedefin konumu, hızı, yönü ile hedefe atış planlanıyor ise atış sisteminin hareket açısı ve hızı gibi parametreler önem arz eder. Hedef takibinde konum-hız, yönelim gibi bilgilerin kestiriminde en eski çözümler alfa-beta ve alfa-beta-gama filtreleridir. Bu filtreler uygulama ve hesaplama kolaylığı özellikleri sebebiyle bir süre ilgi görmüştür. Uyarlamalı olmayan bu yapılar, değişen koşullara göre parametrelerini değiştiremediklerinden filtreleme katsayıları sabittir, probleme göre uyarlamalı-dinamik hale getirilmeleri gerekebilir. Bu nedenle Kalman tabanlı filtre yaklaşımları hedef takibinde zamanla başka bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, sözü geçen filtre algoritmaları örnek bir durum çalışması üzerinden performans karşılaştırılmasına tabi tutulmuş, benzetim sonuçlarına göre üstünlük ve birbirlerinden farklılıkları vurgulanmıştır.

© 2024 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Hedef takibi (target/object tracking) problemi uzun yıllar bir çok uzmanlıkta çalışma konusu olmuştur. Hedef takibinde, filtre tasarım modeli ile sistem modeli arasındaki uyumsuzluk ya da hedefin manevrası sonucu sistem modelinin dinamik değişimleri, geliştirilen algoritmaların beklenmeyen sonuçlar üretmesine sebep olabilir [1-2]. İlk çalışmalar, hedef takibinde alfa-beta veya alfa-beta-gama (alpha-beta-gamma) gibi uyarlamalı olmayan filtreleri kullanılmakta iken zaman içerisinde parametreleri sabit olan bu filtrelerin değişen koşullara göre uyarlamalı (adaptif)-dinamik versiyonları ile performanslarının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle uygulama kolaylığı ve işlemci gücü gereksinimlerinin az olması gibi avantajlarına rağmen bu filtrelerin yerine değişen dinamiklere hızlı cevap verme özellikleri olan filtre yapıları araştırılmaya başlanmıştır. Günümüzde bunların arasından en sık kullanılanları ise Kalman tabanlı filtrelerdir [3-4].

Bu çalışmada, Lineer Kalman (LK) tabanlı filtre yapısı, kinematik olarak modellenen (hareketli) bir hava aracının konum, hız veya ivme gibi parametreleri üzerinden takibini içeren durum çalışması senaryoları ile iredelenmiş, filtre diğer tahmin yöntemleriyle performans karşılaştırmasına tabi tutulmuş, benzetim sonuçlarına göre üstünlük ve yapıların birbirlerinden farklılıkları vurgulanmıştır. Burada benzetim ortamındaki durum çalışmaları boyunca tek sensör kullanıldığı, bu sensörün sadece konum ölçebildiği, çoklu algılayıcılarda görülen sensör füzyonun kullanılmadığı varsayılmıştır.

### 1.1. Yazın Taraması

Nesne takip sistemleri hakkındaki araştırma sayıları son dönemde oldukça artmıştır. Askeri alanda kara-hava dışında hava-hava sistemleri hedef izleme problemleri ile ilgilenmektedir. Bunun yanı sıra radar kullanan meteoroloji gibi sivil uygulamalardan İnsansız Hava Araçları (İHA) ile ilgili çalışmalara kadar birçok alanda yine nesne takip araştırmaları görmek mümkündür. Bu sistemler için konum algılamada donanım kaynaklı sebepler dışında çevresel şartlar ya da hedef platform yansımaları gibi dış etmenler sonucunda oluşan gürültülere rağmen hassas hedef-nesne takibine ihtiyaç vardır. Bunun için çeşitli kestirim-filtre ve veri ilişkilendirme yöntemleri kullanılmaktadır [5].

Hedef takibi uygulamaları tekli ya da çoklu hedef izleme içerebilir. Çoklu hedef izleme algoritmaları, tespit edilen izin hangi hedefe ait olduğunun bulunmasını içeren veri ilişkilendirme süreçlerini de kapsar. Bu durumda, hedef takibi için, En Yakın Komşuluk, Bölmeleme (Splitting), Veri İlişkilendirme algoritmaları gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır [6]. Birden çok hedefin keskin manevra durumlarında bu algoritmalarındaki karmaşıklık arttığından parametre kestirimi/tahmini için Kalman tabanlı yaklaşımlar ayrıca önem kazanır.

Yazında bu çalışmalardan bazılarında; tahmin ve güncelleme adımlarında oluşan Kalman matematiksel yapısı detayları ile alınmış [7], ya da hava aracı iki boyutlu takibi Kalman kullanılarak [8] gerçekleştirilmiştir. Çoklu hedef izlemede veri ilişkilendirme yöntemlerini derleyen incelemeler görmek de mümkündür [9].

Belirsizlik altında kestirim grubundaki diğer araştırmalarda, İHA'larda GPS (Global Positioning Systems) olmayan durumlarda seyrüsefer için EZKH (Eş-zamanlı Konum Belirleme ve Haritalama) çözümlü yeni bir durum tahmin aracı olarak parçacık akışı tabanlı yeni bir filtre yöntemi incelenmiş [10], diğer çalışmada ise Kalman tabanlı yeni bir çözüm yaklaşımı dinamik ortamda ataletsel algılayıcılardaki tilt hataları için önerilmiştir [11].

## 2. YÖNTEM

Bu bölümde hedef takip probleminde parametre kestirim için referans filtre yöntemleri incelenerek performans üstünlükleri ve farklılıkları tespit edilecektir.

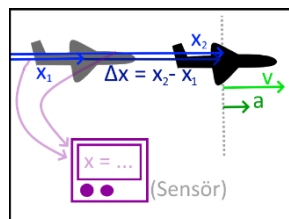
### 2.1. Sistem ve Ölçüm Modeli

Öncelikle sistem modeli örnek durum olarak incelenecek hava aracının (Şekil 1) lineer ve ayrık zaman varsayımları altında kinematik (hareket) denklemlerinden türetilmiş durum-uzay modeli şu şekildedir:

$$\begin{cases} d_{n+1} = Ad_n + Bu_n + w_n \\ y_n = Cd_n + v_n \end{cases} \quad (1)$$

Burada  $d_n$  durum,  $x_n$  konum, ve  $l_n$  hız ( $v$ ) ve  $a_n$  ivme vektörleri olmak üzere;

$$d_n = \begin{bmatrix} x_n \\ vel_n \\ a_n \end{bmatrix} \quad (2)$$



Şekil 1. Sabit ivmeli bir hava aracının şematik gösterimi.

Noktasal cisim varsayımı için ( $\Delta x$  konum değişimini,  $x_1$  ve  $x_2$  aracın ilk ve son konumlarını göstermek üzere) ayrıntılı kinematik denklemler aşağıda verilmiştir;

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (vel)\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2 \quad (3)$$

$$vel \approx \frac{\Delta x}{\Delta t} = a\Delta t \quad (4)$$

$$a \approx \frac{2\Delta x}{\Delta t^2} \quad (5)$$

Denklemler (1), (2) ile Eşitlik (3), (4) ve (5)'i kullanarak matris formunda derleme yapılırsa;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, B = 0, C = [1 \quad 0 \quad 0], u_n = 0 \quad (6)$$

eşitlikleri elde edilir.  $w_n$  ve  $v_n$  "gürültü" terimleri olup daha ayrıntılı olarak ele alınacaklardır.

Bundan sonraki bölümde hedef takibinde konum, hız, yönelim gibi bilgilerin kestiriminde kullanılan filtrelerin matematiksel temelleri sunulacaktır.

## 2.2. Alfa-Beta-Gamma Filtresi

Alfa-Beta filtresi, sabit katsayılı iki boyutlu bir filtre olup kazanç değerinin sabit katsayılı olması uygulama kolaylığı getirmektedir. Hedefin sabit hızla hareket ettiği, sıfır ortalamalı beyaz Gauss gürültüsü ile ölçümlerin bozulduğu ve yalnız bir parametreye (konuma) ait ölçümler alınabildiği durumlarda tahmin başarısı yüksektir. Alfa-Beta-Gama filtresi ise Alfa-Beta filtresinin genişletilmiş halidir ve ek parametre (ivme) tahminine izin veren matematiksel yapı içermektedir. Bu bölüm  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filtre yapısı detaylarına ayrılmış olup "tahmin (extrapolation)" ve "güncelleme (update)" denklemleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

$$\hat{d}'_n = A\hat{d}_{n-1} \quad (7)$$

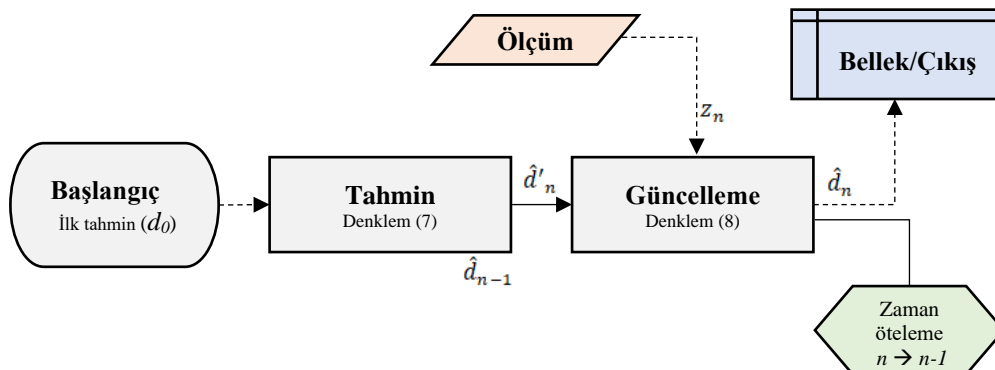
$$\hat{d}_n = \hat{d}'_n + G(z_n - \hat{z}'_n) \quad (8)$$

Burada  $z$  vektörü, ölçümlerin ( $y$ ) kendisi değil ölçümlerin işlenmesinden yola çıkarak oluşturulmuş bir vektördür. Kesme işareti ( $'$ ) ile verilen değişkenler tahmin belirtir.  $G$  çarpanı ise ölçümlere verilen ağırlığı temsil eder. (Kalman tabanlı filtrelerde bu çarpan  $K_n$  -Kalman Gain olur). Alpha-beta-gamma filtresinde bu çarpan, ilk köşegeninde sırayla  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  parametrelerini içeren bir matrisdir, durum senaryomuz için  $3 \times 3$  boyutundadır;

$$G = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix}, z_n = \begin{bmatrix} y_n \\ \frac{y_n}{\Delta t} \\ \frac{2y_n}{\Delta t^2} \end{bmatrix}, \hat{z}'_n = \begin{bmatrix} \hat{d}'_n \\ \frac{\hat{d}'_n}{\Delta t} \\ \frac{2\hat{d}'_n}{\Delta t^2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Hatırlanacağı gibi durum çalışmamızda sensör ile hız ve ivme ölçülememektedir, dolayısıyla  $z$  için Eşitlik (4) ve (5)'i kullanarak hız-ivme ölçüm yaklaşımları sağlanacaktır. Tahminler için ise (3) ve (4) no'lu eşitlikler kullanılmıştır. Model varsayımına göre aracın ivmesi sabittir ancak ölçümler (örneğin araç yön değiştirme ya da frenleme gibi) varsayım dışı durumları gösterebilir.

$\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filtresi ismini tam olarak  $G$  matrisindeki parametrelerden alır. Bu üç parametre ölçüme ne kadar güvenildiğini belirtir. Daha açık ifadeyle;  $\alpha$  (alpha), "Konumun model tahmininden sapması ne kadar muhtemel?";  $\beta$  (beta), "Hızın değişmesi ne kadar muhtemel?";  $\gamma$  (gamma), "Sabit varsayılmasına rağmen ivmenin değişmesi ne kadar muhtemel?" sorularını cevaplar. Durum çalışmamız için  $\alpha > \beta \gg \gamma$  olarak seçim yapmak uygun olacaktır. Bu araştırmada, benzetimler MATLAB kullanılarak yapılmış olup kullanılan  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  algoritmasının akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filtre (genel) algoritması.

### 2.3. Lineer Kalman Filtresi (LKF)

Kalman filtresi doğrusal kestirim (linear estimation) problemlerinde en küçük ortalama karesel hata hesabına dayanır. Ölçüm gürültüsünün sıfır ortalamalı Gauss dağılımlı olduğu ortamlarda, doğrusal-dinamik bir sistem ve ölçüm modeli ile hedefe ait durum vektörü için başarılı parametre tahmin imkanı sağlar [4].

Alpha-beta-gamma filtresinin sadeliği-basitliği, yalnızca iki denklemi olmasından ve parametrelerinin ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) sabit olmasından gelmekte idi. Ancak bu sabitlik, sistemde olası değişiklik durumunda eylemsizlikten dolayı sapmalara neden olur. Lineer Kalman Filtresi ise bu durumlarda (ve gauss gürültülü ortamlar için doğrusal sistemlerin parametre tahmininde) gösterdiği performans üstünlüğüyle en sık tercih edilen filtrelerden biri olmuştur [5].

Lineer Kalman Filtresinin tamamı 5 denklemden oluşur ve bu denklemler yine “tahmin denklemleri (Denklem-10)” ve “güncelleme denklemleri (Denklem-11)” olmak üzere ikiye ayrılabilir [12-13]:

#### Tahmin denklemleri:

$$\begin{aligned} \hat{d}'_n &= A\hat{d}_{n-1} & (\text{Durum Tahmini}) \\ P'_n &= AP_{n-1}A^T + Q & (\text{Kovaryans Tahmini}) \end{aligned} \quad (10)$$

#### Güncelleme denklemleri:

$$\begin{aligned} \hat{d}_n &= \hat{d}'_n + K_n(y_n - C\hat{d}'_n) & (\text{Durum Güncellemesi}) \\ P_n &= (I - K_nC)P'_n & (\text{Kovaryans Güncellemesi}) \\ K_n &= P'_n C^T (C P'_n C^T + R)^{-1} & (\text{Kalman Gain}) \end{aligned} \quad (11)$$

Burada:

$$Q = E[w_n w_n^T], \quad R = E[v_n v_n^T] \quad (12)$$

olarak verilir.

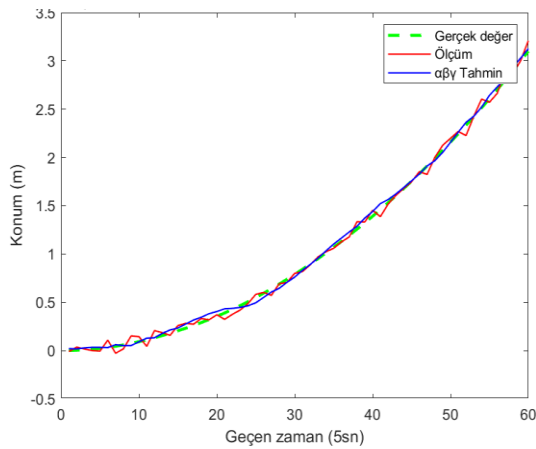
Sistem modelinde daha önce geçen  $v_n$  ve  $w_n$  terimleri “beyaz gürültü” terimleridir ve sıfır ortalamalı, sabit kovaryanslı, Gauss dağılımlı rastgele vektörlerdir. Fiziksel olarak  $w_n$  sisteme dış etki eden gürültüyü temsil eder (örn. hava aracının sallanmasına neden olan rüzgâr vs.),  $v_n$  ise ölçümden kaynaklanan gürültüyü temsil eder (sensör hatası). Dış çarpımları sırayla  $Q$  (süreç gürültüsü kovaryansı) ve  $R$  (ölçüm gürültüsü kovaryansı) değerlerini verir [14-15].

Çoğu sistem modelinde bu değerler sabit kabul edilse de LKF’yi genel maksat (versatil) kılan özellik bunların değişebiliyor olmasıdır [16-17]. Burada  $R$  vektörünün kovaryans değerleri alpha-beta-gamma parametrelerine benzerlik göstermektedir.

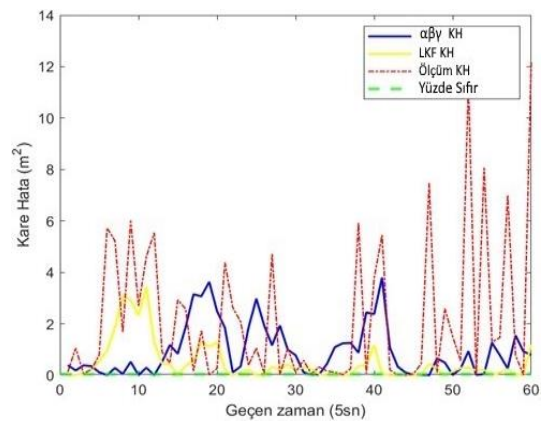
## 3. BENZETİM SONUÇLARI VE BULGULAR

Bu bölümde yer alan örnek senaryo benzetimleri, hedef takibinde konum, hız, yönelim gibi bilgilerin kestiriminde Bölüm 2’de sunulan eşitliklerle verilen sistem ve ölçüm modeli kullanılarak yapılmıştır.

Aşağıda Şekil 3 ile verilen sonuçlar rastgele gürültülü bir “sabit hız-sabit ivme” modeline  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filtresinin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Parametreler alfa = 0.2, beta = 0.1 ve gama = 0.001 olarak seçilmiş olup ivmenin sabit olması öngörülmüştür, bu modele göre değişken ivme yüksek tahmin hataları getireceğinden filtre performansının düşük olması beklenir.



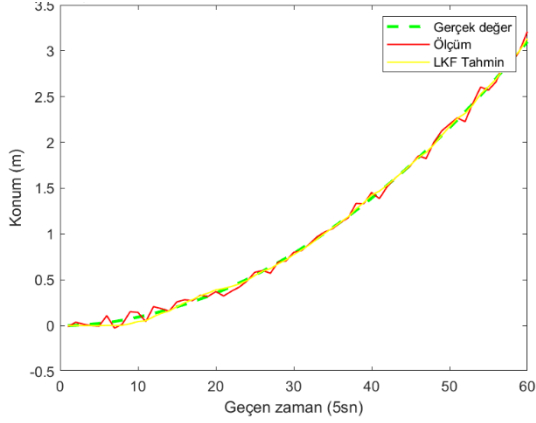
Şekil 3.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  için tahmin karşılaştırması.



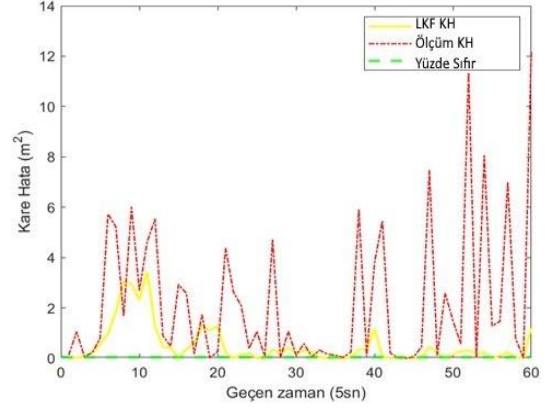
Şekil 4.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  için hata karşılaştırması.

Benzetim sonuçlarında  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filtresi değerlerinin sensör ölçümlerine göre gerçek değerlere daha yakın kaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4’te verilen hata ölçüm benzetim sonuçları da bunu teyit etmektedir. Aşağıda Şekil 5 ve 6 ile verilen sonuçlar LKF yapısı kullanılarak elde edilen tahmin benzetim ve tahmin-hata sonuçlarını Şekil 7’deki

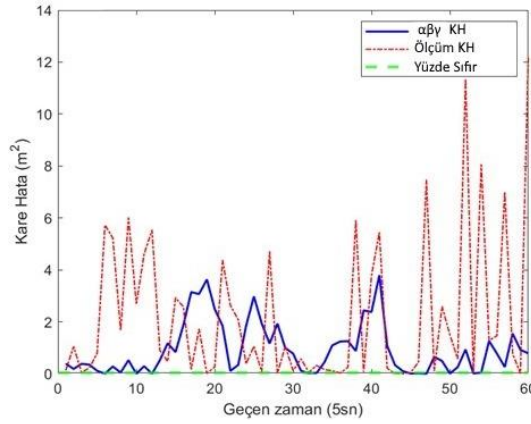
sonuçlar ise karşılaştırma sonuçlarını içermektedir. Şekil 5 ve 6 LKF'nin sensör ölçümlerine göre, Şekil 7'deki sonuçlar ise LKF'nin alpha-beta-gamma filtresine göre daha iyi tahmin sonuçları verdiğini göstermektedir.



Şekil 5. LKF için tahmin karşılaştırması.



Şekil 6. LKF için hata karşılaştırması.



Şekil 7. LKF ve  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  karşılaştırmaları.

Aynı sistem modeli ile elde edilen kareli hata hesapları ( $m^2$ ) Tablo 1 ile verilmiş olup sonuçlar LKF'nin alpha-beta-gamma filtresine göre daha iyi tahmin sonuçları verdiğini, bununla birlikte hesaplama maliyetinin (işlem süresinin) ise daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Kareli hata hesaplamaları ve karşılaştırmalar.

	Hata (MSE)	Hata (RMSE)	Süre (Process-Time)
<b>Sensör Ölçümleri</b>	21,87	4,677	N/A
<b>Alpha-Beta-Gamma Filtresi</b>	9,402	3,066	0,036/500 sn/döngü
<b>Lineer Kalman Filtresi</b>	4,981	2,232	0,076/500 sn/döngü

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Hedef takibinde ilk çalışmalar, değişen koşullara göre parametrelerini değiştiremeyen (uyarlamalı olmayan) ve filtreleme katsayıları sabit olan alfa-beta ya da alfa-beta-gama filtreleridir. Uygulama kolaylığı içeren ve işlemci gereksinimleri az olan bu filtreler ek bir mekanizma ile uyarlamalı yani dinamik yapıya kavuşturulabilmektedir. Nesne takibinde diğer bazı çözümler ise Kalman tabanlı filtre yaklaşımlarıdır. Kalman tabanlı filtreler, parametrik tahmin (predictor/estimator) ve süzgeç (smoother) yapıları olup doğrusal sistem ve gözlem yapıları ile gausyan ortam belirsizlikleri şartlarında başarılı olurken bunun dışında yakınsama performansları düşen algoritmalarıdır. Bu durumlarda lineerleştirilmiş sistem modeli (state-transition) kullanarak durum, gözlem ve kovaryans tahminleri yaptıktan sonra ölçüm bilgilerini değerlendiren ve inovasyon, kalman kazancı gibi parametreleri güncelleyerek tekrarlı (recursive) olarak işleyen KF versiyonları (Genişletilmiş KF vb.) bulunmaktadır. Ancak bu yapılar da özellikle yüksek boyutlu/karmaşık-doğrusal olmayan (nonlinear) sistemlerde ve gausyan olmayan gürültü ortamlarında lineerleştirme nedeniyle tutarlılık, gözlenebilirlik gibi birtakım problemlere neden olmaktadır. Bu sebeple etkin kestirim yöntem arayışları ilgi gören araştırma alanlarındandır.

Bu çalışmada (Lineer) Kalman tabanlı filtre yapısı, modellenabilir-hareket eden bir hava aracının konum, hız veya ivme gibi parametrelerinin tahmin/takibi için örnek durum çalışmalarıyla incelenmiştir. Alfa-beta-gama ve Kalman tabanlı filtreler sabit hedef takibinde performans karşılaştırılmasına tabi tutularak hedef-takip problemi açısından üstünlük-tercih durumları irdelenmiştir. Benzetim sonuçlarına göre değişmeyen hedefleri içeren ortamlarda işlem yükü-hesaplama maliyetlerine (computational cost) rağmen Kalman tabanlı filtre yapılarının

toplam tahmin hatası açısından daha doğru sonuçlar verdiği görülmüş olup gelecek çalışmalarda dinamik ortamlar için araştırmanın genişletilmesi planlanmıştır.

## Yazar Katkıları

Yazarların katkı yüzdesi aşağıda verilmiştir. Erol Duymaz tasarım, yönetim, tarama, yazım, gönderim ve revizyona, Ömer Faruk Çetinkaya ise veri toplama, işleme ve analizine ağırlıklı katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

%	E.D.	Ö.F.Ç.
<b>Kavram</b>	40	60
<b>Tasarım</b>	60	40
<b>Yönetim</b>	60	40
<b>Veri Toplama ve/veya İşleme</b>	40	60
<b>Veri Analizi ve/veya Yorumlama</b>	40	60
<b>Kaynak Tarama</b>	60	40
<b>Yazım</b>	60	40
<b>Kritik İnceleme</b>	40	60
<b>Gönderim ve Revizyon</b>	60	40

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Etik Beyanı

Bu araştırma, TUBITAK'ın B.14.2.TBT.0.06.01.00-221-249457 sayılı kararı ile 2209B projesi programıyla desteklenen çalışmalarla ilgili olarak hazırlanmış olup, hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

## KAYNAKÇA

- [1] Y. Kosuge, "New  $\alpha$ - $\beta$  filters in terms of steady state velocity," in Proc. of the ICCAS-SICE, pp. 2674-2679, 2009.
- [2] T. Lee, J. Su, K. Hsia, K. Yu, and C. Wang, "Design of an alpha-beta filter by combining fuzzy logic with evolutionary methods," in Proc. of the 2010 Int. Symp. on Computer, Communication, Control and Automation (3CA), pp. 270-273, 2010.
- [3] P.R. Kalata, "The Tracking Index: A Generalized Parameter for  $\alpha$ - $\beta$  and  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  Target Trackers," AESS, vol. 20, pp. 174-182, 1984.
- [4] E. Üstüay, "Manevra yapan hedeflerin konum ve kinematik bilgilerini en iyi kestiren filtrelerin iyileştirilmesi ve yeni bir yaklaşım olan şablon filtresinin tasarımı," M.S. thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul, pp. 11-28, 2007.
- [5] A. Lana, "Kalman filtresi ve olasılıksal veri ilişkilendirme yöntemlerini kullanan çoklu hedef izleme algoritmaları," M.S. thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İstanbul, pp. 21-37, 2001.
- [6] I. Hwang and H. Balakrishnan, "Multiple-target tracking and identity management with application to aircraft tracking," J. Guid. Control Dyn., vol. 30, no. 3, 2007.
- [7] H. Masnadi-Shirazi, A. Masnadi-Shirazi, and M. A. Dastgheib, "A step by step mathematical derivation and tutorial on Kalman filters," arXiv, Oct. 9, 2019.
- [8] N.R. Nair, P. Sudheesh, and M. Jayakumar, "2-D airborne vehicle tracking using Kalman filter," in Int. Conf. on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2016.
- [9] L. Rakai, H. Song, S. Sun, W. Zhang, and Y. Yang, "Data association in multiple object tracking: A survey of recent techniques," Expert Syst. Appl., vol. 192, 2022.
- [10] E. Duymaz, A. E. Oğuz, and H. Temeltaş, "Exact flow of particles using for state estimations in unmanned aerial systems' navigation," PLoS ONE, vol. 15, no. 4, 2020.
- [11] E. Duymaz and B. Işık, "A novel method for tilt compensation in inertial sensor systems," in SIU 2021, pp. 1-4, 2021.
- [12] M.A. Murzova and V.E. Farber, "The  $\alpha$ - $\beta$  filter for tracking maneuvering objects with LFM waveforms," in Proc. of the 2017 IV Int. Conf. on Engineering and Telecommunication (EnT), pp. 104-107, 2017.
- [13] I. Ostroumov, V. Larin, Y. Averyanova, O. Sushchenko, M. Zaliskyi, and Y. Bezkorovainyi, "Performance analysis of alpha-beta-gamma filter for airplane tracking using automatic dependent surveillance-broadcast," in Int. Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development, Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 60-72, 2023.
- [14] D. Tenne and T. Singh, "Optimal design of  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$  filters," in Proc. of the American Control Conference, pp. 4348-4352, 2000.
- [15] T. Jeong, A. W. Njonjo, and B.F. Pan, "A study on the performance comparison of three optimal Alpha-Beta-Gamma filters and Alpha-Beta-Gamma-Eta filter for a high dynamic target," TransNav, vol. 11, pp. 1-10, 2017.
- [16] B.I. Sighencea, R.I. Stanciu, C. Şorândaru, and C.D. Căleanu, "The Alpha-Beta family of filters to solve the threshold problem: A comparison," Mathematics, vol. 10, no. 6, 2022.
- [17] J. Khan and K. Kim, "A performance evaluation of the alpha-beta ( $\alpha$ - $\beta$ ) filter algorithm with different learning models: DBN, DELM, and SVM," Applied Sciences, vol. 12, no. 19, 2022.