

# MSER ve FAST Tekrarlanabilirliğinin Detaylı bir Analizi

## A Detailed Analysis of MSER and FAST Repeatibility

Furkan Eren Uzyıldırım, Ali Köksal, Mustafa Özuysal  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü  
İzmir, Türkiye  
{furkanuzyildirim,alikoksal,mustafaozuysal}@iyte.edu.tr

**Özetçe** —Bu çalışmada MSER ve FAST anahtar noktalarının tekrarlanabilirliği ile çeşitli kamera parametrelerindeki değişimler arasındaki ilişki incelenmektedir. Gerçekçi bir görüntü sentezleme yöntemi kullanılarak parametrelerdeki küçük değişimlerin tekrarlanabilirlik üzerine etkisi gösterilmiştir. Ayrıca MSER analizi için literatürde kullanılan elips ile modelleme yerine dışbükey bölge hesaplanması önerilmiştir. Bu yöntemle hesaplama yükünü fazla arttırmadan modelleme kalitesi artırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler**—*Nesne Bulma, Nesne Takibi, Anahtar Nokta Çıkarma, Anahtar Nokta Tekrarlanabilirliği*

**Abstract**—This paper investigates the relationship between the MSER and FAST repeatability and changes in various camera parameters. By employing a realistic view synthesis methodology, it is possible to observe the effect of small parameter changes on the repeatability. Furthermore, for the analysis of MSER repeatability, a convex hull approach is proposed instead of fitting ellipses to the MSER region. This yields a better approximation to the MSER region without significantly increasing computation time.

**Keywords**—*Object Detection, Object Tracking, Keypoint Detection, Keypoint Repeatability*

### I. GİRİŞ

Anahtar nokta tespit ve eşleştirme yöntemleri, farklı bakış açılarından ve ışık değişimlerinden etkilenmeden nesne bulma ve takibinde, üç boyutlu geriçatım elde edilmesinde ve hatta nesne tanıma ve sınıflandırma sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Tüm bu problemlerin çözümünde önemli bir ara basamağı oluşturmaktadırlar. Bu sebeple bu yöntemlerin başarımları pek çok bilgisayarlı görü probleminin çözümünde önemli yer tutmaktadır.

Anahtar nokta tespitinde başarımın temel ölçütü, bir görüntüde tespit edilen noktaların, bu görüntüde yer alan nesnelerin farklı görüntülerinde bakış açısı ve ortam koşullarındaki değişimlerden etkilenmeden tespit edilebilmesidir. Bu özelliğe

anahtar nokta çıkarım yönteminin *tekrarlanabilirliği* (*repeatability*) adı verilir. Tekrarlanabilirliğin kabul edilebilir değerlerin altında olduğu kamera konumları ve ortam koşullarında yeterli anahtar nokta tespit edilememekte ve nesne bulma/takip işlemi gerçekleştirilememektedir.

Literatürde, farklı anahtar nokta çıkarım yöntemleri için tekrarlanabilirlik değerini ölçen ve karşılaştıran çalışmalar mevcuttur [1], [2]. Ancak bu karşılaştırmalar, genelde sınırlı sayıda bakış açısı içermektedir. Bakış açısının yeterli sıklıkta örneklenmesi, nesne takip ve bulma performansının sınırlarının belirlenmesi için özellikle önemlidir.

Bu çalışmada, birbirinden oldukça farklı iki anahtar nokta bulma tekniğinin (FAST [3] ve MSER [4]), yüksek sıklıkta örneklenmiş bakış açılarında elde edilen görüntülerde tekrarlanabilirliğinin analizi yer almaktadır. Çalışma benzerlerinden aşağıdaki noktalarda ayrılmaktadır:

- Gerçekçi bir görüntü sentezleme tekniği [5] kullanılarak kamera konumun üç temel parametresi (düzlemsel dönme açısı, ölçek ve enlem açısı) ile tekrarlanabilirlik arasındaki ilişki tespit edilmiştir.
- Yine aynı yöntem kullanılarak kamera konumundaki küçük farklılıkların tekrarlanabilirlik üzerine etkisi ölçülmüştür. Kamera konumundaki küçük değişimler için tekrarlanabilirlik anahtar nokta kullanan nesne *takip* uygulamalarının başarımını belirleyen temel unsurlardandır.
- MSER tekrarlanabilirliği için literatürdeki MSER bölgesine elips oturtma yöntemi yerine daha gerçekçi olan dışbükey bölge (convex hull) hesaplanması kullanılmıştır.

### II. İLGİLİ LİTERATÜR

Anahtar nokta tespit ve eşleştirme konularında pek çok detaylı çalışma yapılmıştır. [1] anahtar nokta tespit yöntemlerinin detaylı bir incelemesini içerir. Ancak kullanılan bakış açıları sınırlıdır ve küçük açı değişimlerinin yöntemler üzerindeki etkisini içermez. Ayrıca MSER başarımı ölçülürken diğer yöntemler ile aynı çerçeve kullanılması adına tekrarlanabilirlik MSER bölgelerine oturtulan elipsler üzerinden yapılmıştır.

Bu bildiride yer alan çalışmalar TÜBİTAK tarafından 113E496 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

Çalışmamızda MSER bölge şekline elipslerden daha iyi bir yakınsama olan dışbükey bölgeler kullanılmaktadır.

Anahtar noktaların üç boyutlu nesneler üzerindeki tekrarlanabilirliğinin analizi ise [2] tarafından yapılmıştır. Kalibrasyonu bilinen üç kamera ve bir döner tabla kullanılarak tekrarlanabilirliğin kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Ancak döner tabla aksamının kısıtları nedeniyle ancak enlem açısının yoğun bir örneklemesini içerir. Kameranın düzlemsel dönüşü ve ölçek değişimleri detaylı olarak incelenmemiştir.

[6] ise çalışma hızı yüksek olabilen FAST ve benzeri anahtar nokta belirleme yöntemleri ile ikilik betimleyicilerin bir analizini yapmıştır. Farklı anahtar nokta ve betimleyicileri eşleştirmiş ve eşlerin başarımını ölçmüştür. Ancak tıpkı [1] gibi sınırlı sayıda kamera bakış açısı üzerindeki başarımler ölçülmüş, anahtar nokta tekrarlanabilirliğinin kamera parametreleri ile detaylı ilişkisi verilmemiştir.

### III. YÖNTEM

Anahtar nokta tekrarlanabilirliğinin detaylı ölçümü için hem gerçekçi sanal görüntülerin oluşturulabilmesi, hem de kullanılan anahtar nokta tespit yöntemine uygun bir tekrarlanabilirlik ölçütü kullanılması önemlidir. Aşağıda hem görüntü sentezleme hem de tekrarlanabilirlik ölçümünün detayları verilmiştir.

#### A. Gerçekçi Sanal Görüntülerin Sentezlenmesi

Sanal görüntülerin gerçekçi sentezlenmesi için ölçüm yapılacak görüntü için düzlemsel bir nesne kullanılması yeterlidir. Düzlemsel nesnelerin farklı bakış açılarından görüntüleri bir eşyazımlılık (homography) matrisi ile ilişkili olduğundan, tüm görüntüler düzlem normaline dik bir bakış açısından elde edilen tek bir görüntüden sentezlenebilir. Pratikte bir ilgin (affine) deformasyon gerçeğe yakın görüntüler elde edilmesi için yeterlidir [5], [7].

Bu ilgin deformasyon matrisi, kamera konumunun ilgili parametreleri cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$A = \lambda \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi \\ -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

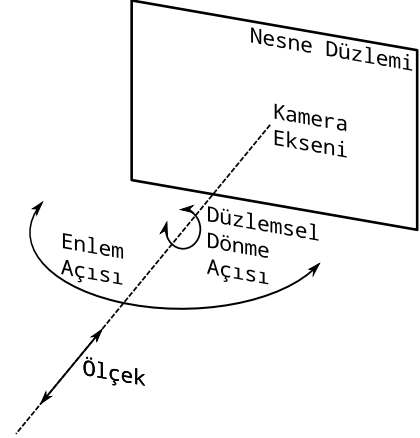
Yukarıdaki formülde,  $\lambda$  yakınlaştırma parametresi olup imgenin ölçeğidir.  $\psi$  nesne düzlemine dik bir dönme için, düzlemsel dönüş açısını ifade eder.  $\phi$  kameranın optik ekseninin nesne düzlemindeki izdüşümünün açısıdır, boylam açısı olarak isimlendirilir.  $t$  imgenin bozulma derecesidir ve

$$t = 1/\cos(\theta) \quad (2)$$

formülü ile hesaplanır.  $\theta$  imge düzleminin normaliyle kameranın optik eksenindeki açıdır, enlem açısı olarak isimlendirilir. Bu parametreler Şekil 1'de gösterilmektedir.

Tekrarlanabilirlik analizi için sentezlenen görüntünün boyutunun doğru seçilmesi gerekmektedir. Örneğin kırk beş derecelik bir düzlemsel dönme için sentezlenen görüntünün eni ve boyu kaynak görüntüden büyük olmalıdır. Aksi takdirde kaynak görüntüde yer alan bazı noktalar, sentezlenen görüntünün dışında kalır. Bu nedenle yukarıdaki ilgin deformasyonun kaynak resmin orta noktası etrafında uygulanması ve bu noktayı doğru boyuttaki sentez görüntünün yine orta noktasına taşıması gerekmektedir.

Deformasyon sonucu oluşacak imgenin eni ve boyu, kaynak görüntü köşelerinin deformasyon sonucunda taşınacakları noktaları içine alacak en küçük dikdörtgenin boyutuna eşittir. Sonuç olarak yukarıdaki ilgin deformasyonun soldan  $d_e, d_b$  ve sağdan  $-k_e, -k_b$  piksellik iki öteleme matrisi ile çarpılması gerekmektedir. Burada yer alan  $d_e$  ve  $d_b$  sırasıyla deformasyon sonucu oluşacak imgenin enini ve boyunu,  $k_e$  ve  $k_b$  ise sırasıyla kaynak imgenin enini ve boyunu ifade eder.



Şekil 1: Çalışmada incelenen kamera konum parametreleri ve nesne düzlemine göre etkileri

#### B. FAST Anahtar Noktalarının Tekrarlanabilirliğinin Ölçümü

FAST anahtar nokta çıkarım yöntemi, imgedeki her piksel ile pikselin çevresinde belirli bir yarı çaptaki çemberin üzerinde bulunan pikseller ile karşılaştırır. Çemberdeki ardışık en az 12 pikselin yoğunluğunun merkez pikselin yoğunluğundan büyük veya küçük olması durumunda merkez piksel anahtar nokta adayı olarak atanır. Birbirine komşu olan anahtar nokta adaylarından düşük skora sahip olanlar elenir ve kalan adaylar anahtar nokta olarak kabul edilir.

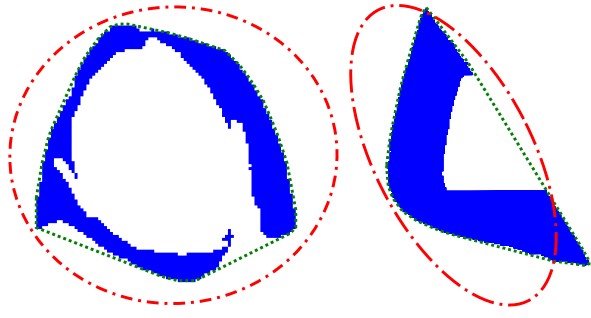
FAST tekrarlanabilirliğinin ölçümü için kaynak imgedeki her anahtar noktanın koordinatları ilgin deformasyon matrisi ile çarpıldıktan sonra deforme edilmiş imgedeki tüm anahtar noktaların konumlarıyla ayrı ayrı karşılaştırılır ve iki anahtar nokta arasında Öklit uzaklığı hesaplanır. Eğer bu uzaklık iki pikselden küçük ise kaynak imgedeki anahtar noktanın deforme edilmiş imgede tekrar ettiği kabul edilir.

Burada belirlenen iki piksellik uzaklık eşiği pek çok nesne bulma ve görüntü eşleştirme yöntemi için kullanılabilecek bir değerdir. FAST anahtar noktaları genellikle pikselaltı (sub-pixel) hassasiyette tespit edilmediğinden, daha küçük eşik değerleri gerektiğinden fazla sınırlayıcıdır. Daha büyük eşik değerleri ile tekrar eden anahtar noktalar ise nesnenin konumunun doğrulukla tespiti için yeterli olamayabilir.

Deforme edilmiş imgede tekrar eden kaynak imgedeki anahtar nokta sayısının kaynak imgedeki toplam anahtar nokta sayısına oranının yüzde karşılığı tekrarlanabilirliği vermektedir. Tekrarlanabilirlik tüm deforme edilmiş imgeler için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

#### C. MSER Bölgelerinin Tekrarlanabilirliğinin Ölçümü

MSER yöntemi, diğer anahtar nokta tespit yöntemlerinden farklı olarak tek bir nokta yerine görüntü üzerinde bitişik



Şekil 2: MSER bölgesinin modellenmesi. Noktalı kesik çizgiler literatürde kullanılan ellips modelini, noktalı çizgi ise bu çalışmada kullanılan dışbükey bölgeyi göstermektedir.

piksellerden oluşan bir bölgeyi tespit eder. Bu nedenle MSER tekrarlanabilirliğinin çıkarılan bölgeler üzerinden tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada MSER tekrarlanabilirliğinin ölçütü olarak MSER bölgesinden çıkarılan dışbükey bölgelerin örtüşme oranı (overlap ratio) kullanılmıştır. Bu ölçüt, içinde delikler barındırabilen karmaşık MSER bölgelerinin doğrudan örtüştürülmesinden daha hızlı bir şekilde hesaplanabilir. Ayrıca Şekil 2’de gösterildiği gibi bazı durumlarda literatürde kullanılan MSER bölgelerine elips oturtma yönteminden daha hassas ve gerçekçidir.

Tekrarlanabilirliğin hesaplanması için öncelikle kaynak ve deforme edilmiş görüntülerdeki MSER bölgeleri saptanmıştır. Bu bölgeler, sınır noktaları üzerinde Andrew’un monoton zincir dışbükey bölge [8] (*Andrew’s monotone chain convex hull*) algoritması kullanılarak dışbükey bölgeler haline getirilmiştir. Kaynak imgedeki dışbükey bölgelerin sınır noktaları deforme edilmiş imgeleri elde etmek için kullanılan ilgin matrislerle çarpılarak bu bölgelerin deforme edilmiş imgedeki karşılığı bulunmuştur.

Daha sonra kaynak imgedeki her bir dışbükey bölgenin ilgin matrisle çarpılmış hali ile deforme edilmiş imgedeki dışbükey bölgeler arasındaki örtüşme oranı hesaplanmıştır. Örtüşme oranı, iki bölgenin kesişiminin, birleşimlerine olan oranı olduğundan, hem kesişimin hem de bölgelerin alanlarının hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Bölgeler dışbükey olduğundan kesişim alanının çokgen koordinatları Sutherland-Hodgman [9] algoritması kullanılarak kolaylıkla hesaplanabilir. Çokgen koordinatları üzerinden bölgelerin kesişim ve birleşim alanları ise

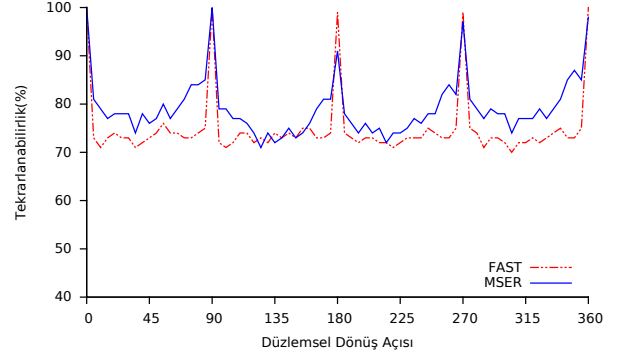
$$\frac{1}{2} \left| \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \right| \quad (3)$$

formülü [10] kullanılarak hesaplanmıştır. Burada  $N$  bölge sınırındaki köşe sayısı,  $x_i$  ve  $y_i$  ise  $i$ ’nci köşenin koordinatlarıdır.

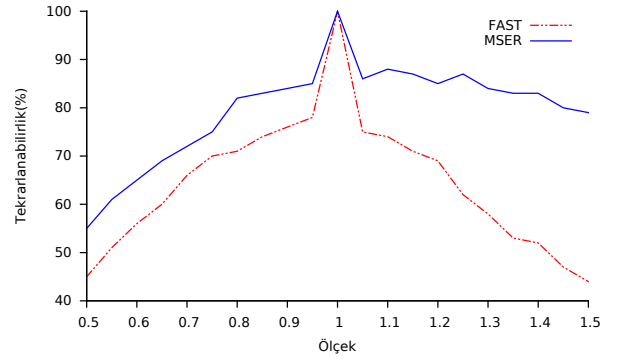
Örtüşme oranı için literatürdeki diğer çalışmalara benzer şekilde 0.6 değeri alt limit olarak alınmış [1] ve örtüşme bu değerden daha büyükse iki bölge benzer sayılmıştır. Eğer kaynak imgedeki bir bölge deforme edilmiş imgedeki bölgelerden en az biri ile benzerse, tekrarlanmış kabul edilmiştir. Tekrarlanan bölgelerin sayısının tespit edilen tüm MSER bölgelerinin sayısına oranı ise tekrarlanabilirliği vermektedir.

#### IV. DENEYLER

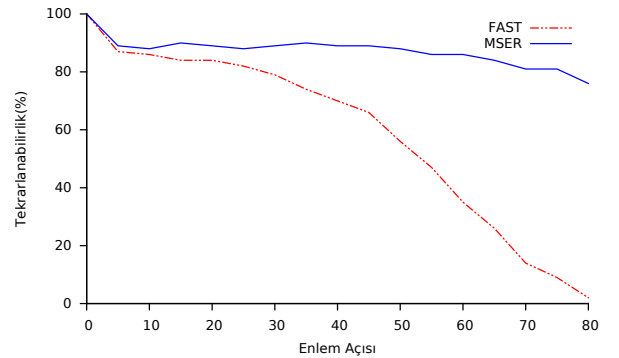
FAST ve MSER tekrarlanabilirliği standart görüntü kümelerindeki çeşitli kaynak görüntüler üzerinden ölçülmüştür. Ölçümler düzlemsel dönüş açısı, ölçek ve enlem açıları için ayrı tutulmuş ve her bir parametrenin tekrarlanabilirlik üzerine etkisi hesaplanmıştır. Sonuçlar farklı görüntülerde benzer eğriler çizdiğinden şekillerde sadece “Graffiti” standart imgesinin sonuçları yer almaktadır.



Şekil 3: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin düzlemsel dönüş açısı değişikliklerinde tekrarlanabilirliği

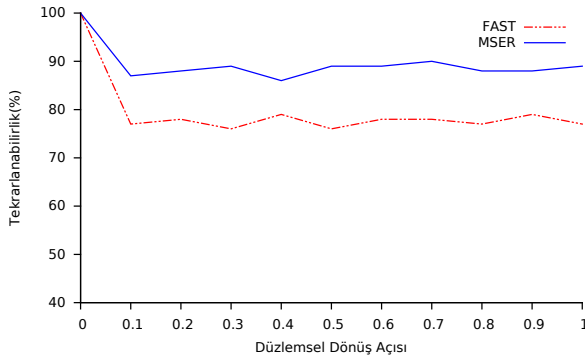


Şekil 4: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin ölçek değişikliklerinde tekrarlanabilirliği

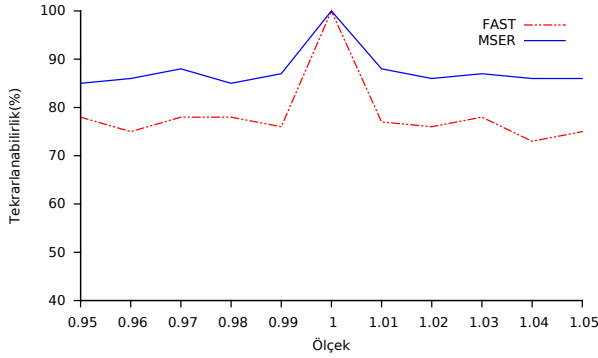


Şekil 5: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin enlem açısı değişikliklerinde tekrarlanabilirliği

Şekil 3 FAST ve MSER algoritmalarının düzlemsel dönüş açısının değişimi altındaki tekrarlanabilirliği göstermektedir. FAST anahtar noktalarının 90, 180 ve 270 derecelik düzlemsel dönüşlerde tekrarlanabilirliğinin %100 olduğu görülmüştür. Bunun sebebi FAST algoritmasının anahtar nokta bulma yönteminde imgeye ızgara oturtup anahtar nokta adayını çevresindeki 16 pikselle karşılaştırmasıdır. 90,180 ve 270 derecelik



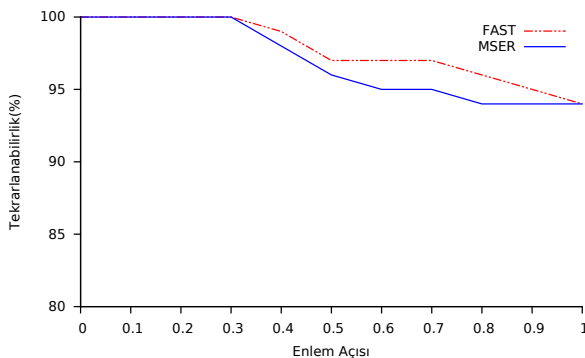
Şekil 6: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin küçük dülemsel dönüş açısı değişikliklerinde tekrarlanabilirliği



Şekil 7: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin küçük ölçek değişikliklerinde tekrarlanabilirliği

düzlemsel dönüşlerde ızgara kaynak imgede olduğu gibi oturduğu için kaynak imgedeki anahtar noktaların tamamı tekrar etmiştir. MSER tekniği dülemsel döndürmeye değişimsizlik gösterip 90 derece ve 270 derecede %100'e yakın tekrarlanabilirlik değerine sahipken 180 derecede ise %91 oranında olan tekrarlanabilirlik değerinin en düşük olduğu açı 125 135 ve 215 derecelerde olup değer ise %71'dir. MSER ve FAST yöntemlerinin dülemsel döndürme altında davranışları benzer olup, MSER'in performansı daha iyidir.

Şekil 4 ölçek değişikliğine bağlı tekrarlanabilirlik performanslarını göstermektedir. FAST anahtar noktalarının tekrarlanabilirliğinin ölçek 1.0'dan uzaklaştıkça hızla azaldığı görülmüştür. Ölçek değiştikçe MSER tekrarlanabilirliğinde de düşüş gözlenmiştir. MSER ve FAST algoritmalarının ölçek



Şekil 8: FAST anahtar noktalarının ve MSER bölgelerinin küçük enlem açısı değişikliklerinde tekrarlanabilirliği

değişimine göre davranışları benzerlik göstermek ile beraber MSER tekniğinin performansı daha iyidir.

Şekil 5 ise enlem açısındaki değişim ile tekrarlanabilirliğin ilişkisini göstermektedir. Enlem açısı sıfır dereceden uzaklaştıkça FAST anahtar noktalarının tekrarlanabilirliği azalmıştır. MSER bölgeleri enlem açısı değişikliğine değişimsizlik gösterip kaynak imge ile deforme edilmiş imgeler arasında tekrarlanabilirlik %90'lar civarındadır. FAST ile kıyaslandığında MSER yönteminin enlem açısı karşısında çok daha iyi performans gösterdiği gözlemlenebilmektedir.

Şekil 6, 7 ve 8 FAST ve MSER'in çok küçük dülemsel dönüş açısı, ölçek ve enlem açısı değişimlerinde tekrarlanabilirliğini göstermektedir. FAST ölçek değişimlerinden daha fazla etkilenmekle beraber, enlem açısındaki küçük farklar için her iki yöntemin de başarımı birbirine yakındır. Küçük parametre değişimlerinde her iki yöntem arasındaki farkın az olması, hesaplanması çok daha kolay ve hızlı olan FAST yönteminin nesne takip uygulamalarında tercih edilebileceğine işaret etmektedir.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada FAST ve MSER anahtar nokta bulma yöntemlerinin tekrarlanabilirliğinin detaylı bir ölçümü verilmiş, her iki yönteme has özellikler açığa çıkarılmıştır. Genel olarak MSER performansı FAST'tan daha yukarıdadır. Bu durum özellikle enlem açısı için geçerlidir. Ancak dülemsel dönüşlerde çok kısa zamanda hesaplanabilen FAST'in başarımı MSER yöntemine oldukça yakındır.

Bu ölçümler sadece dülemsel nesneler için geçerli olacak şekilde yapılmıştır. İleride benzer bir çalışmanın üç boyutlu nesneler için tekrarlanması planlanmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1] K. Mikolajczyk, T. Tuytelaars, C. Schmid, A. Zisserman, J. Matas, F. Schaffalitzky, T. Kadir, and L. Van Gool, "A comparison of affine region detectors," *International Journal of Computer Vision*, vol. 65, no. 1/2, pp. 43–72, 2005.
- [2] P. Moreels and P. Perona, "Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D objects," *International Journal of Computer Vision*, 2006.
- [3] E. Rosten, R. Porter, and T. Drummond, "Faster and better: A machine learning approach to corner detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 1, pp. 105–119, Jan 2010.
- [4] J. Matas, O. Chum, U. Martin, and T. Pajdla, "Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions," in *British Machine Vision Conference*, September 2002, pp. 384–393.
- [5] J.-M. Morel and G. Yu, "Asift: A new framework for fully affine invariant image comparison," *SIAM Journal on Imaging Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 438–469, 2009.
- [6] J. Heinly, E. Dunn, and J.-M. Frahm, "Comparative evaluation of binary features," in *European Conference on Computer Vision*, 2012, pp. 759–773.
- [7] V. Lepetit, P. Lagger, and P. Fua, "Randomized Trees for real-time keypoint recognition," in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, CA, June 2005.
- [8] A. Andrew, "Another efficient algorithm for convex hulls in two dimensions," *Information Processing Letters*, vol. 9, no. 5, pp. 216–219, 1979.
- [9] I. E. Sutherland and G. W. Hodgman, "Reentrant polygon clipping," *Commun. ACM*, vol. 17, no. 1, pp. 32–42, 1974.
- [10] P. Bourke, "Calculating the area and centroid of a polygon," 1988, <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/geometry/polyarea>.