Videoda Gerçek Zamanda Duman ve Alev Tespiti
Real-Time Smoke and Flame Detection in Video

B. Uğur Töreyin[1], Yiğithan Dedeoğlu[2], A. Enis Çetin[1]

[1]Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Ankara
[2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Ankara
{bugur,yigithan,cetin}@bilkent.edu.tr

Özetçe

Bu bildiride, sıradan bir kamerayla elde edilen videoda, duman ve alev tespiti için geliştirilen yeni bir yöntem sunulmaktadır. Kameranın sabit olduğu varsayılmaktadır. Dumanın yarı-geçirgen olması sebebiyle, görüntüdeki ayrıtların keskinliği giderek azalmaya başlamakta ve bu da görüntünün yüksek sıklık içeriğinde bir düşüşe sebep olmaktadır. Duman tespiti için, arkaplan resmi kestirilmekte ve bu resme ait yüksek sıklık enerjisindeki düşme mevcut ve arkaplana ait resimlerin uzamdaki dalgacık dönüşümleri kullanılarak izlenmektedir. Alev tespiti içinse, sıradan hareket ve renk bilgilerine ek olarak, videonun dalgacık dönüşümüyle elde edilen kırpışma bilgisinden de yararlanılmaktadır. Bu veriler son kararın verilmesinde kullanılmaktadır.

Abstract

A novel method to detect smoke and/or flame by processing the video data generated by an ordinary camera monitoring a scene is proposed. It is assumed the camera is stationary. Since the smoke is semi-transparent, edges of image frames start loosing their sharpness and this leads to a decrease in the high frequency content of the image. To determine the smoke, the background of the scene is estimated and decrease of high frequency energy of the scene is monitored using the spatial wavelet transforms of the current and the background images. For the detection of flames, in addition to ordinary motion and color clues, flicker analysis is also carried out by analyzing the video in wavelet domain. These clues are combined to reach a final decision.

1. Giriş

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ateş ve duman algılayıcıları, yangın sırasında açığa çıkan çeşitli parçacıkların iyonlaşma ve fotometri gibi yöntemlerle tespiti esasına dayanmaktadır. Nokta algılayıcı olarak da adlandırılan bu cihazların en önemli eksiklikleri uzaklığa bağlı olmaları nedeniyle açık ve geniş alanlarda çalışamamalarıdır. Duman ve alev tespitinde video kullanılmasının en faydalı yanı açık ve geniş alanların izlenebilmesidir. Halihazırda kullanılan videoda yangın tespiti algoritmaları yalnızca renk [6] ve hareket bilgisine dayanmaktadır [1]. Bu bildiride sunulan alev tespiti yönteminde renk ve hareket bilgisine ek olarak alevin kırpışması dalgacık dönüşümüyle [3, 4] çözümlenmekte ve ateşin zamanla genişlemesi de incelenmektedir. Duman tespiti yöntemi ise kestirilen arkaplan resmiyle, mevcut resmin uzamsal dalgacık dönüşümü katsayılarının karşılaştırılması esasında dayanmaktadır. Yangının ilk anlarında açığa çıkan duman yarı-geçirgen bir özelliğe sahiptir. Bu özelliği sebebiyle arkaplan resmindeki ayrıtların keskinliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Arkaplan resmindeki ayrıtlarsa, bu görüntüdeki yüksek sıklık değerine sahip piksellerden oluşmaktadır [9]. Bu görüntüdeki, ayrıtların tümüyle kaybolmadan meydana gelen bir enerji düşmesi, videoda duman olduğuna bir delil teşkil edebilir. Alev ve duman tespitinde kullanılan tüm bu veriler son kararın verilmesinde kullanılmaktadır.

2. Videoda Dalgacık Dönüşümü Çözümlemesiyle Duman ve Alev Tespiti

Dalgacık dönüşümü, video işaretlerinin de arasında bulunduğu durağan olmayan işaretlerin çözümlemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dönüşüm uygulandığı işaretin içerdiği tüm sıra dışılıkları doğal olarak ortaya çıkarır. Video nesnelerinin sınırları da bu şekilde tespit edilebilir [3-5]. Görüntüdeki ayrıt pikselleri dalgacık alanında yerel en büyük değerleri ürettiği için, görüntüde beliren dumanla birlikte dalgacık alanındaki yerel en büyük değerlerinde bir azalma meydana gelmektedir. Bu azalma duman varlığına işaret edebilir.

Bu bildiride, video görüntülerinden arkaplan resmi oluşturulmasında [5]'teki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemin dayandığı temel varsayıma uygun olarak sabit kamerayla elde edilen video verileri sınanmıştır.

2.1. Duman Tespiti

Videodaki hareketli nesneler ve arkaplan [5]'teki yöntemle kestirildikten sonra, bu hareketli kısımların duman mı, yoksa herhangi başka bir hareketli nesne mi olduğuna karar verilmesi gerekmektedir. Duman, arkaplan resmindeki ayrıtları örterek, buraların daha sisli, puslu görünmesine sebep olur. Bu ayrıtlar ise, dalgacık alanındaki yerel en büyük değerlere karşılık gelmektedir. Bu gerçek göz önüne alınarak, biz de bu yerel en büyük değerlerinde azalmaya sebep olan hareketli nesneleri belirledik. Dalgacık alt resimleri kullanılarak dumanın takibi de mümkün olabilmektedir.

Herhangi bir n seviyesindeki alt resime ait yüksek sıklık enerjisi, (1)'de oluşturulan birleşik resimde tutulmaktadır.

$$w_n(x,y) = |LH_n(x,y)|^2 + |HL_n(x,y)|^2 + |HH_n(x,y)|^2 \quad (1)$$

Bu w_n resmi, (K_1,K_2) boyutunda bloklara bölünüp, her bloğun $e(l_1,l_2)$ enerjisi hesaplanmaktadır:

$$e(l_1,l_2) = \sum_{(x,y)} (w_n(x + l_1K_1, y + l_2K_2)) \quad (2)$$

0-7803-9238-8/05/$20.00 ©2005 IEEE

Bu denklemde $(x,y) \in R_i$ ve R_i boyutu (K_1,K_2) olan *i.* bloktur. Sistemimizde blok boyları *8x8 piksel* olarak belirlenmiştir. Mevcut resme ait dalgacık dönüşümü yerel en büyük değerleri, kestirilmiş olan arkaplan resmine ait dalgacık dönüşümü yerel en büyük katsayı değerleriyle karşılaştırılmakta, ve eğer hareketli nesneler içindeki bu değerlerde bir azalma gözlenirse, olası duman varlığı olarak belirlenmektedir.

Dumanın kaynağı olan alevin, yakıttan bağımsız olarak yaklaşık 10 Hz.'lik bir sıklıkta kırpıştığı bilinen bir gerçektir [8]. Bu kırpışma daha az miktarda dumana da yansımaktadır. Yaptığımız deneyler sonucu dumanın yaklaşık 1-3 Hz.'lik bir sıklıkta titreştiği, kırpıştığı belirlenmiştir. Bundan yola çıkarak, video işaretlerinin zamansal dalgacık dönüşümüyle çözümlemesi gerçekleştirilmiş ve olası duman piksellerine ait kırpışma sıklıkları belirlenmiştir.

Yangınlarda, zaman geçtikçe, duman daha yoğun olmaktadır. Bu da, mevcut resimde dumanın bulunduğu yerdeki piksellerin, *U* ve *V* renklilik değerlerinde, dumanın renginden bağımsız olarak bir azalmaya sebep olmaktadır. Bu gerçekten hareketle, olası duman piksellerindeki *U* ve *V* renklilik değerleri de izlenmekte ve bunlardaki düşüş de duman varlığını doğrulayan veriler olarak nitelendirilmektedir.

2.2. Alev Tespiti

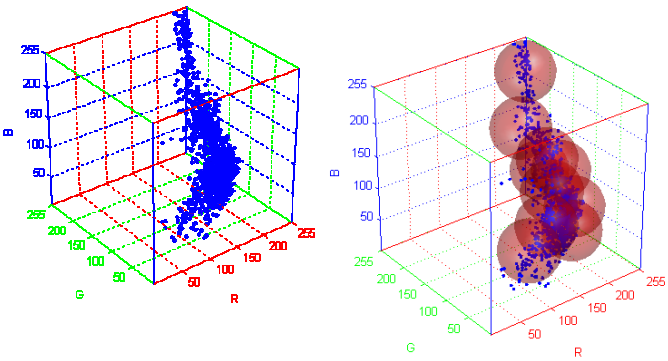
Alevin kırpışma özelliği, onu videodaki sıradan hareketli nesnelerden ayırmada kullanılabilecek temel özelliklerinden biridir. Bu özelliği 10 Hz civarındaki Fourier sıklık bileşenini önemli ölçüde arttırmaktadır [2, 8]. Diğer bir deyişle, özellikle alev sınırında yer alan pikseller bir saniye içerisinde çeşitli defalar kaybolur ve tekrar görünür. Sınırları, renklilik veya parlaklık değerleri 10 Hz. civarı bir sıklıkta titreşen nesnelerin varlığı video görüntüsünde alev olabileceğini gösterir.

[2]'de, sıklık bölgesindeki dorukların tespiti için, nesnelerin sınır piksellerinin zamansal hızlı Fourier dönüşümleri hesaplanmıştır. [7]'de ise, ateş bölgelerinin şekilleri yine sıklık alanında temsil edilmiştir. Fourier dönüşümü zamansal bilgi içermediği için dönüşümler önceden belirlenmiş zaman çerçeveleri içinde yapılmalıdır. Bu noktada çerçeve uzunluğu büyük önem taşımaktadır. Eğer çerçeve boyu çok uzunsa hızlı Fourier dönüşümleri verisinde çok fazla doruk elde edilemeyebilir. Eğer çerçeve boyu yeterince uzun değilse, bu kez hızlı Fourier dönüşümleri verisinde hiç doruk bulunamayabilir.

Geliştirilen yöntemde yalnız alev sınırlarında değil, alev bölgeleri içinde de zamansal ve uzamsal dalgacık dönüşümü çözümlemesi yapılmıştır. Dalgacık dönüşümü katsayılarının enerjilerindeki artış yüksek sıklığa sahip hareketlerdeki artışı belirtmektedir. Örneğin, ateş rengindeki bir nesnenin hareketi, dalgacık dönüşümü katsayılarının değerlerinde bir artışa neden olmaz. Bunun nedeni ateş rengindeki piksellerin değerlerinde bir değişme olmamasıdır.

Alev tespit algoritması dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada video görüntüsündeki hareketli bölgeler tespit edilmektedir. Sonraki aşamada hareketli bölgedeki piksellerin ateş rengi olma olasılıkları hesaplanır. Ateş renginde olan hareketli bölgelerde bulunan ve özellikleri sıklıkla değişen pikselleri belirlemek için zamansal ve uzamsal dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Son aşamada ise olası ateş bölgelerinin zamanla genişlemesi incelenmektedir. Videoda hareketli bölgelerin bulunmasında [5]'te anlatılan arka plan kestirimine ve ardışık resimler arası farka dayanan karma yöntem kullanılmıştır.

Sonraki aşamada hareketli bölgede yer alan piksellerin renkleri, Şekil 1'de gösterilen, önceden hazırlanmış ateş rengi histogramı ile karşılaştırılarak, ateş renginde olan bölgeler tespit edilir. Ateş rengi histogramı, içinde ateş bulunan örnek video görüntüleri kullanılarak oluşturulur. Hazırlanan histogram normalize edilerek ve düzleştirilerek olasılık yoğunluk dağılımı olarak kullanılabilir. Bir pikselin renginin, histogramda yüksek yoğunluklu bir alana düşmesi, o pikselin büyük olasılıkla bir ateş bölgesine ait olduğunu gösterir. Ayrıca her pikselin ateş renginde olma olasılığı ardışık *n* tane görüntüde toplanarak zamana bağlı ateş rengi olma olasılığı (3)'teki gibi hesaplanır.



Şekil 1: Alev piksellerine ait KYM (RGB) değerleri(solda) ve bu değerlerin 10 normal dağılımla elde edilen Gaus karışım modeli

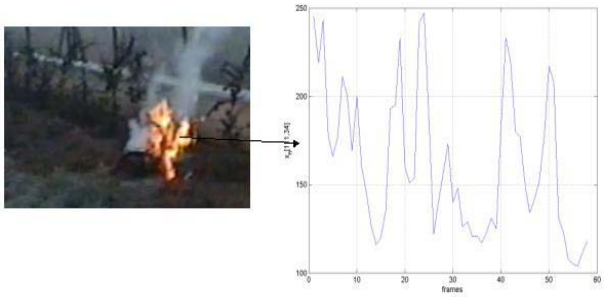
$$FireColorProb(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} FireColorLookup(I_i(x))}{n} \qquad (3)$$

Yukarıdaki denklemde *FireColorLookup($I_i(x)$), i.* resimdeki *x* konumunda bulunan pikselin ateş olarak işaretlenip işaretlenmediğine göre ikil değer almaktadır. *FireColorProb(x)* ise ardışık *n* resimdeki ateş olasılığını göstermektedir. Ardışık resim sayısı *n,* 10 olarak alınmıştır.

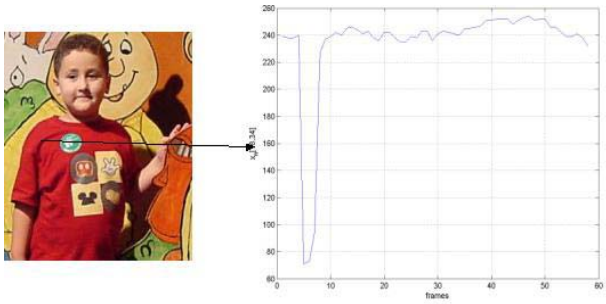
Üçüncü adımda, [1]'de anlatılan yönteme ek olarak, ateş rengindeki hareketli bölgelerde bulunan piksellerin değerlerinin zamansal ve uzamsal sıklık değişimi incelenmektedir. Bu incelemede dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır. Dalgacık dönüşümü hesaplanmasında iki seviyeli bir süzgeç öbeği kullanılmaktadır. Süzgeç öbeğinde seviyelerin sayısı video yakalama hızına bağlıdır. Ateş bölgesine ait olmayan sıradan piksellerdeki parlaklık değişimi zamansal ve uzamsal olarak yüksek sıklık karakteri göstermez. Halbuki, ateş bölgelerindeki kırpışma bu bölgelerdeki piksellere ait zamansal dalgacık dönüşümü katsayılarının salınmasına, uzamsal dalgacık dönüşümü katsayılarının ise konuma bağlı değişim göstermesine sebep olur. Bu iki adım, videoda ateşten kaynaklanan hareketi sıradan hareketten ayırt edebilmek için çok önemlidir.

Şekil 2'de, alev içindeki bir pikselin kırmızı renk kanalı değerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Şekil 3'te ise, renk değerleri, Şekil 1'de sunulan alev histogramı içine

düşen, ancak gerçekte alev olmayan bir nesneye ait kırmızı kanal değerlerinin zamanla değişimini göstermektedir.

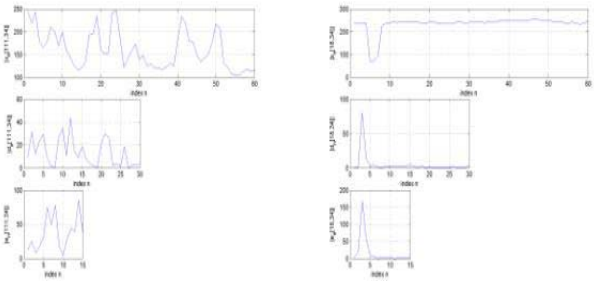


Şekil 2: Alev(solda) ve içindeki bir pikselin kırmızı renk kanalı değerinin zamanla değişimi. Bu değişim, ateşe özgü kırpışmayı yansıtmaktadır.



Şekil 3: Ateş renkli bir bölge(solda) ve bu bölge içindeki bir pikselin kırmızı renk kanalı değerinin zamanla değişimi

Bu değişim işaretlerine, farklı sıklık seviyelerinde incelenebilmeleri için zamansal dalgacık dönüşümü uygulanmış ve Şekil 4'te gösterilen alt-band işaretleri elde edilmiştir. Alt-band işaretlerinden de açıkça görüldüğü gibi, gerçek alev ve alev renkli herhangi bir hareketli nesneye ait alt-band resimleri, sıklık özellikleri açısından belirgin bir farklılık göstermektedir.



Şekil 4: Alev(solda) ve alev renkli bir bölge içindeki bir piksele ait kırmızı renk kanalı değerlerinin değişiminin zamansal dalgacık dönüşümüyle çözümlemesi. Değişim işaretleri ve bu işaretlere ait ilk ve ikinci seviye alt-band işaretleri gösterilmektedir

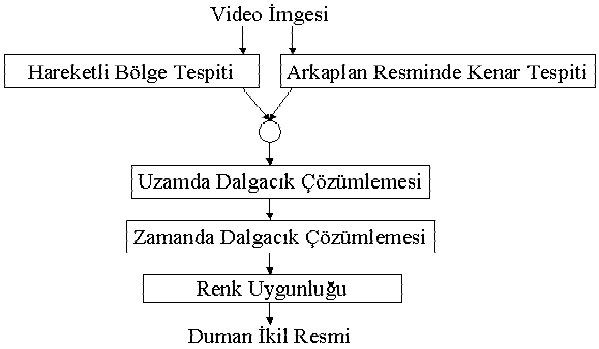
2.3. Yöntemin Akış Şeması

Yukarıda anlatılan tüm bu adımlar neticesinde duman ve ateşe ait ikil resimler elde edilmektedir. Sabit bir kameradan elde edilen renkli video verisi için önerilen duman ve ateş tespiti yöntemlerinin akış şemaları sırasıyla Şekil 5 ve 6'da sunulmaktadır.

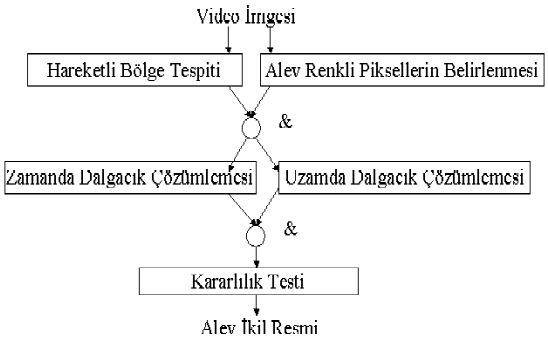
Duman tespiti yöntemine ait akış şemasindaki son adım olan *"Renk Uygunluğu"* aşamasında, dumanın ortaya ilk çıktığı anlarda, olası duman piksellerinin *KYM (RGB)* değerlerinden elde edilen vektörle, aynı konumdaki arkaplan resmine ait piksellerin vektörlerinin paralelliği sınanmaktadır. Bu sınama dumanın, yangının başlarında, gölgelerde olduğu gibi, yarı-geçirgen özelliği göstermesi gerçeğine dayanmaktadır. Ancak zaman geçtikçe, duman yoğunlundaki artışa bağlı olarak, bu yarı-geçirgenlik ve renk vektörlerinin paralellik özelliği, yerini arkaplan resmindeki piksellerin *U* ve *V* renklilik kanalı değerlerinde azalmaya bırakmaktadır. Böylelikle bu adım, duman olduğu diğer aşamalarla kesinleşmiş pikseller içim zamanla değişen bir yapı göstermektedir.

Ateş tespiti akış şemasındaki son adım olan *"Kararlılık Testi"*'nde ise, bu adıma kadar olan tüm aşamalardan geçmiş piksellerin, bu özelliklerini önceden belirlenen bir süre kadar gösterip göstermedikleri sınanmaktadır. Tüm bu adımların sonunda *"Ateş İkil Resmi"* elde edilmektedir.

Geliştirlen yöntemler, aynı anda çalıştırılarak, sabit bir kameradan elde edilen video verisinde yangın olup olmadığı tespit edilmektedir.



Şekil 5: Duman tespiti yöntemine ait akış şeması



Şekil 6: Ateş tespiti yöntemine ait akış şeması

3. Deneysel Gözlemler

Duman ve alev tespiti için geliştirilen yöntem AMD Athlon XP+ 1.6 GHz. mikro-işlemcili bir diz üstü bilgisayarda C++ programlama dilinde kodlanmıştır. Sınama verileri olarak kullanılan video imgelerinin boyutları 320'ye 240 pikseldir. Bu videoların bir kısmında yalnız alev, bir kısmında yalnız duman, bir kısmında hem alev hem duman bulunmakta, kalanındaysa ne alev ne duman bulunmamaktadır. Önerilen yönteme dayalı belirtilen platformda geliştirilen sistem bu çözünürlükteki videoyu 15 ms/imge hızında gerçek zamanda işleyebilmektedir.

Geliştirilen yöntem (Yöntem1), [1]'de anlatılan ve yalnızca renk ve hareket bilgisine dayanan yöntemle (Yöntem2) karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Gerçek zamanda ve kaydedilmiş videolarda yapılan farklı senaryoları içeren çok sayıdaki testler sonucunda, geliştirilen yöntemin, alev veya duman olan tüm videolarda alarm verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, Yöntem2 ile çalışan sistemlerde gözlenen pekçok yanlış alarm önemli ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Yöntem1 alev yanında dumanı da tespit edebilmektedir. Bu özelliği onu, alevin kameranın görüş alanı içine düşmediği yangın videolarında ve yangının henüz başlayıp, sadece duman açığa çıkardığı ilk anlarında verdiği erken yangın(duman) alarmıyla, Yöntem2'ye göre çok daha üstün kılmaktadır.

Tablo 1: Önerilen yöntemin (Yöntem1) sadece renk ve hareket bilgisine dayanan diğer yöntemle (Yöntem2) karşılaştırılması.

Videolar	Duman Bulunan Sahne Sayısı	Ateş bulunan sahne sayısı	Yöntem	Duman tespit edilen sahne sayısı	Ateş tespit edilen sahne sayısı	Hatalı görüntü sayısı	Açıklama
Video 1	0	0	Yöntem1	0	0	0	Ateş renginde kamyon
			Yöntem2	0	5	46	
Video 2	2	5	Yöntem1	2	5	0	Gerçek yangın
			Yöntem2	0	5	0	
Video 3	0	0	Yöntem1	0	0	0	Ateş renkli park yerinden ayrılan araç
			Yöntem2	0	1	1	
Video 4	5	3	Yöntem1	4	3	0	Yanan kutu
			Yöntem2	0	3	7	
Video 5	8	8	Yöntem1	6	8	0	Yanan odun
			Yöntem2	0	10	24	
Video 6	2	4	Yöntem1	2	4	0	Ateş renginde giyinmiş adam ve gerçek yangın
			Yöntem2	0	5	15	
Video 7	0	0	Yöntem1	0	0	0	Odada yürüyen insanlar
			Yöntem2	0	2	4	
Video 8	6	2	Yöntem1	6	2	0	Gerçek yangın
			Yöntem2	0	2	0	
Video 9	0	0	Yöntem1	0	0	0	Kalabalık park yeri
			Yöntem2	0	1	5	
Video 10	0	0	Yöntem1	0	0	0	Otoyolda trafik
			Yöntem2	0	0	0	

4. Sonuç

Bu bildiride renkli videoda duman ve alev tespiti için dalgacık dönüşümüne dayalı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Videoda yangın tespiti için geliştirilmiş diğer sistemlerde kullanılan hareket ve renk bilgisine ek olarak, videonun dalgacık dönüşümüyle elde edilen kırpışma bilgisinden de yararlanılmıştır. Yangın başlangıcında henüz alevler yokken veya kameranın görüş alanı içinde alevler bulunmazken, yalnız dumanın varlığından yangın alarmı verilebilmesi için duman tespiti yöntemi de geliştirilmiştir. Bu yöntem dumanın, renginden bağımsız olarak, yangın başlangıcındaki yarı-geçirgen özelliğiyle arkaplan resmindeki ayrıtların netliğini azaltması gerçeğine dayanmaktadır. Ayrıtlardaki enerji düşmesi de dalgacık dönüşümü çözümlemesiyle gerçekleştirilmiştir.

Yalnızca renk ve hareket bilgisine dayalı yöntemler yanlış alarm verebilmektedir. Deneysel sonuçlar bu yanlış alarmların zamansal ve uzamsal dalgacık dönüşümü ve nesne sınırı çözümlemesiyle önemli ölçüde azaldığını göstermiştir.

5. Kaynakça

[1] W. Phillips III, M. Shah, ve N. V. Lobo, ``Flame recognition in video'', *Pattern Recognition Letters*, c. 23 (1-3), s. 319-327, Ocak 2002.

[2] Fastcom Technology SA, Boulevard de Grancy 19A, CH-1006 Lausanne, Switzerland, ``Method and device for detecting fires based on image analysis'', *PCT Appl.No: PCT/CH02/00118, PCT Pubn.No: WO02/069292.*

[3] S. Mallat, S. Zhong, ``Characterization of signals from multiscale edges'', *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, c.14 n.7, s. 710-732, Temmuz 1992.

[4] A. E. Cetin ve R. Ansari, ``Signal recovery from wavelet transform maxima'', *IEEE Transactions on Signal Processing*, 42 (1994), s. 194-196.

[5] B. U. Töreyin, A. E. Çetin, A. Aksay, M. B. Akhan, ``Dalgacık dönüşümüyle sıkıştırılmış videoda hareketli bölge tespiti'', *IEEE 12. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, s. 676-679, Kuşadası, 28-30 Nisan 2004.

[6] G. Healey, D. Slater, T. Lin, B. Drda, A. D. Goedeke, ``A system for real-time fire detection'', *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), Proceedings of CVPR '93,* s. 605-606, 15-17 Haziran 1993.

[7] C. B. Liu ve N. Ahuja, ``Vision based fire detection'', *IEEE ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, c.4, s. 134 – 137, 23-26 Ağustos 2004.

[8] D.S.Chamberlin and A.Rose, *The First Symposium (International) on Combustion*, The Combustion Institute, Pittsburgh, s. 27-32, 1965.

[9] T. Aydın, Y. Yemez, B. Sankur, E. Anarım, O. Alkın, ``Use of m-band wavelet transform for multidirectional and multiscale edge detection'' *Proc. of IEEE ICASSP-94*, c.5, s.V/17 - V/20