

# تشخیص دود در تصاویر ویدیویی ثابت با استفاده از مشخصه‌های حرکتی و رنگی

تاریخ دریافت:

۹ خرداد ماه ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش:

۸ مهرماه ۱۴۰۲

جمشید سرداری<sup>۱\*</sup>

۱. دانشجو دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

## چکیده

الگوریتم کارآمدی جهت تشخیص دود روی سکانس‌های تصاویر ویدئویی رنگی حاصل از دوربین ساکن مطرح گردیده است. الگوریتم پیشنهادی ما در این تحقیق خصوصیات دینامیک و استاتیک دود را لحاظ می‌کند و از گام‌های اساسی مختلف تشکیل شده است: قسمت بندی نواحی با حرکت آهسته و پیکسل‌ها در فریم ورودی جاری دوربین بر اساس الگوریتم تفریق پس زمینه انطباقی؛ ترکیب نواحی با حرکت آهسته با پیکسل‌ها به شکل حباب بوده و طبقه بندی حباب‌های حاصل از مرحله قبل. از روش تفریق پس زمینه انطباقی در مرحله تشخیص حرکتی استفاده گردیده است. طبقه بندی حباب‌ها بر با استفاده از محاسبه جریان نوری، بررسی کنتراست و بر است و مسیر اولیه انتشار دود را نیز در نظر می‌گیرد. سکانس‌های واقعی دوربین‌های امنیتی با استفاده از الگوریتم ما برای تشخیص دود استفاده گردیده است. مجموعه‌ای از نتایج آزمایشی تصاویر ویدیویی در این مقاله ارائه شده اند.

واژه‌های کلیدی: تشخیص دود، تصاویر ویدیویی، الگوریتم تفریق پس زمینه

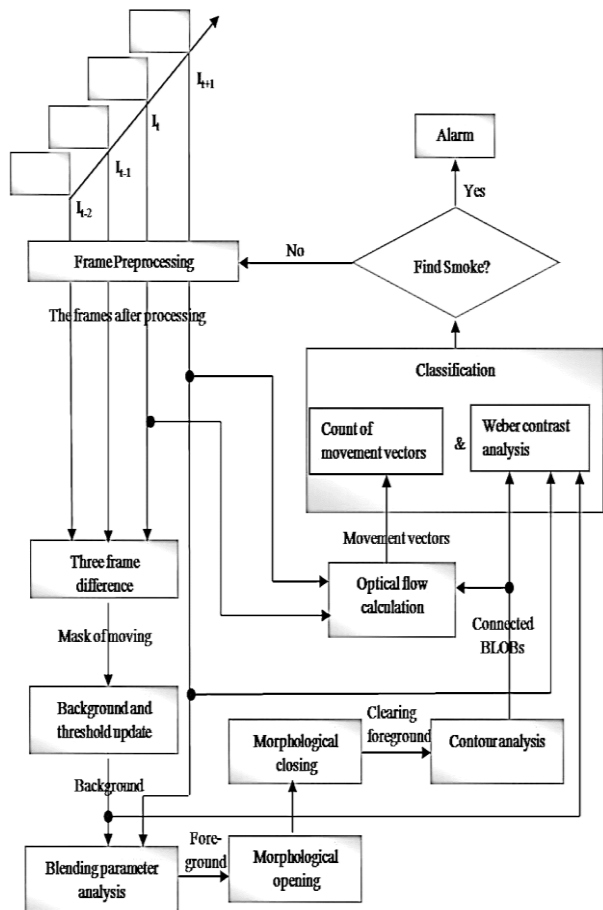
## Smoke detection in still video images using motion and color features

### Abstract

An efficient algorithm for detecting smoke on sequences of color video images obtained from a still camera has been proposed. Our proposed algorithm in this research takes into account the dynamic and static properties of smoke and consists of different basic steps: segmentation of slow moving areas and pixels in the current input frame of the camera based on the adaptive background subtraction algorithm; The combination of slow moving areas with pixels in the form of bubbles and the classification of bubbles from the previous step. The adaptive background subtraction method has been used in the motion detection stage. The classification of bubbles is based on the use of optical flow calculation, checking the Weber contrast, and also considers the initial path of smoke diffusion. Real sequences of security cameras have been used for smoke detection using our algorithm. A series of experimental results of video images are presented in this article.

**Key words:** Smoke detection, video images, background subtraction algorithm

باشند. در نهایت در مرحله سوم، ناحیه دود تشخیص داده می‌شود. نواحی متحرک در تصویر مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند تا نواحی غیردود حذف شوند و در خروجی برنامه تنها نواحی دود باقی بماند. در ادامه در مورد تمامی بخشهای روش پیشنهادی توضیح داده خواهد شد.



شکل ۱- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

### ۳- پیاده سازی روش پیشنهادی

در این بخش، جزئیات روش پیشنهادی به صورت گام به گام توضیح داده می‌شود. همانطور که گفته شد، روش پیشنهادی از سه مرحله اصلی پیش پردازش، تشخیص نواحی متحرک و دسته بندی دود تشکیل شده است. در ادامه با جزئیات به توضیح هر یک از این سه بخش پرداخته می‌شود.

#### ۱-۳- پیش پردازش

مرحله پیش پردازش در بسیاری از زمینه های تحقیقاتی پردازش تصویر و بینایی ماشین برای بهبود کیفیت تصاویر<sup>۸</sup> یا ویدئوهای ورودی انجام می‌شود. این تابع به اینگونه است که فریم ورودی را دریافت و فریم پیش پردازش شده را به عنوان خروجی می‌دهد.

تشخیص دود<sup>۱</sup>، درست زمانی که آتش سوزی اتفاق می‌افتد نقشی اساسی در کاهش ضررها و نجات جان انسانها دارد. در گذشته از حسگرهایی<sup>۲</sup> مانند حسگرهای نوری<sup>۳</sup>، فتوالکترونیک<sup>۴</sup> و غیره برای تشخیص دود استفاده می‌شد، اما در دهه اخیر تشخیص دود مبتنی بر دوربین ها و پردازش تصویر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این روش های نوین تشخیص دود نسبت به حسگرهای سنتی دو مزیت دارند: اول، دوربین های مورد استفاده در این تکنولوژی لازم نیست که برای تشخیص دود در نزدیکی آتش قرار داشته باشند و از فواصل دور نیز میتوان نظارت را انجام داد. دوم، برخلاف روش های قدیمی، تشخیص ویدیویی میتواند اطلاعات دیگری نظیر محل آتش، اندازه آن و درجه اشتعال آتش را در اختیار قرار دهد. با این وجود کماکان چالش های زیادی در سر راه رسیدن به بالاترین کارایی این طرح قرار دارد. چالش هایی همچون تغییرات روشنایی نور محیط، اشیای متحرک موجود در تصویر و غیره باعث کاهش دقت تشخیص ناحیه دود و آتش می‌شوند. ساختار همه سیستم های تشخیص دود، به اینصورت است که پس از آشکارسازی دود یا آتش یک سیستم اعلام خطر یا سیستم خودکار اطفاء حریق فعال یا سیگنال خطر به مراکز آتش نشانی فرستاده می‌شود. تمرکز مقاله تنها بر روی بخش نحوه تشخیص دود است و کاری به نحوه فعالسازی سیستم هشداردهنده ندارد. ایده اصلی مقاله استفاده از مشخصه های حرکتی و رنگی دود است که با بررسی آنها ناحیه دود تشخیص داده می‌شود. روش پیشنهادی تنها ناحیه دود را در تصاویر ویدئویی تشخیص می‌دهد و به تشخیص آتش نمی‌پردازد [۱-۳]. در این بخش، زمینه تحقیقاتی تشخیص دود به طور مختصر توضیح داده شد. در ادامه، ابتدا تئوری روش پیشنهادی به صورت خلاصه توضیح داده میشود (بخش ۲). سپس، در بخش ۳ به بررسی کلی روش پرداخته می‌شود. در بخش ۴ نتایج پیاده سازی و بررسی کمی و کیفی روش پیشنهادی انجام می‌شود.

#### ۲- تئوری روش پیشنهادی

بلوک دیاگرام روش پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی تشخیص دود از سه مرحله اصلی پیش پردازش<sup>۵</sup>، تشخیص نواحی متحرک<sup>۶</sup> و دسته بندی دود<sup>۷</sup> تشکیل شده است. به صورت کلی مرحله اول، پیش پردازش است که کیفیت تصاویر ورودی را بهبود می‌دهد. در مرحله دوم، نواحی متحرک در تصویر تعیین میشود. نواحی متحرک ممکن است دود یا هر شی متحرک دیگری

شده است. کادر شماره (۲) در بلوک دیاگرام شکل (۱) مربوط به این بخش است. برای هر بار استخراج نواحی متحرک ۴ فریم نیاز است. این فریم ها شامل دو فریم قبلی ( $I_{t-2}$ )، فریم قبلی ( $I_{t-1}$ )، فریم حال حاضر ( $I_t$ ) و فریم بعدی ( $I_{t+1}$ ) است. یک پیکسل در صورتی پیکسل متحرک نامیده می شود که در دو شرط زیر صدق نماید:

$$(1) \quad (|I_t - I_{t-1}| > T_{t-1}) \& (|I_t - I_{t-2}| > T_{t-1})$$

در این بخش از یک ماتریس به نام  $T$  استفاده می شود.  $T$  یک ماتریس است که آستانه نام دارد. یعنی بر اساس این آستانه است که معلوم می شود آیا پیکسل متحرک است یا خیر. نکته مهم در مورد  $T$  اینست که آستانه تطبیقی است و با گذشت زمان خود را با تصاویر تطبیق می دهد و در هر فریم بروزرسانی می شود. تعریف الگوریتم تفریق پس زمینه بر این مبنا استوار است که هر فریم از دو تصویر تشکیل شده است: تصویر پیش زمینه ( $F$ ) و تصویر پس زمینه ( $B$ ). حال با استفاده از پیکسل های متحرک می خواهیم این دو تصویر را تشکیل دهیم. ابتدا با استفاده از رابطه زیر با پیکسل هایی که متحرک هستند،  $B$  را آپدیت می کنیم:

$$B_t(x, y) = \begin{cases} \alpha B_{t-1}(x, y) + (1 - \alpha)T_{t-1}(x, y), & \text{متحرک} \\ B_{t-1}(x, y) & \text{ساکن} \end{cases} \quad (2)$$

$(x, y)$  نشان دهنده مختصات هر پیکسل درون تصویر و  $\alpha$  پارامتر تطبیق ( $0 < \alpha < 1$ ) است. دقت شود، در رابطه (۲) اگر پیکسلی ساکن باشد، هیچ گونه تغییری نمی کند و مقدار آن همان مقدار فریم قبلی باقی می ماند. همانطور که گفتیم،  $T$  نیز بروزرسانی می شود. بر اساس رابطه زیر بروزرسانی می شود:

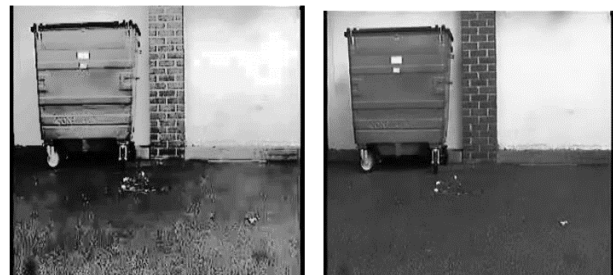
$$T_t(x, y) = \begin{cases} \alpha T_{t-1}(x, y) + 5(1 - \alpha)B_{t-1}(x, y), & \text{متحرک} \\ T_{t-1}(x, y) & \text{ساکن} \end{cases} \quad (3)$$

در نهایت، تصویر پیش زمینه بروزرسانی می شود. بروزرسانی تصویر پیش زمینه نیز با استفاده از رابطه زیر انجام می شود:

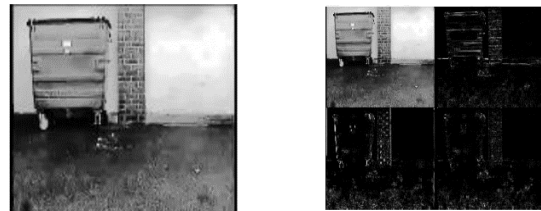
$$F_t = (I_{t-1} + (\beta - 1)B_t) / \beta \quad (4)$$

در خروجی تابع این بخش، سه ماتریس  $T$ ،  $B$  و  $F$  وجود دارد که دو ماتریس  $T$  و  $B$  برای تکرار حلقه بعدی دوباره به عنوان ورودی به همین الگوریتم داده می شود. اما از ماتریس  $F$  برای پردازش های آینده استفاده می شود تا وجود دود در آن تشخیص داده شود. در شکل (۳) یک نمونه از تصویر ورودی، تصویر پس زمینه ( $B$ ) و تصویر پیش زمینه ( $F$ ) نشان داده شده است. با نگاهی دقیق، به شکل (۳) می توانید کاملا تفاوت بین  $T$  و  $B$  را تشخیص دهید. درحالی که در

پیش پردازش از سه بخش تشکیل شده است. ابتدا، تصویر RGB ورودی به تصویر سطح خاکستری<sup>۹</sup> تبدیل می شود. روش پیشنهادی به گونه ای است که از اطلاعات رنگ استفاده نمی کند و با تبدیل تصویر رنگی به سطح خاکستری، اطلاعات رنگی را حذف می کند. سپس، برای بهبود کیفیت تصویر از متعادل سازی هیستوگرام<sup>۱۰</sup> استفاده شده است. در نهایت، تبدیل موجک هار<sup>۱۱</sup> برای کاهش اندازه تصویر و حذف فرکانس های بالا بکار برده شده است که خروجی آن چهار ماتریس مولفه تقریب ( $CA$ ) مولفه افقی ( $CH$ ) مولفه عمودی ( $CV$ ) و مولفه قطری ( $CD$ ) است. همچنین اعداد هر چهار ماتریس تبدیل به ۰ تا ۲۵۵ می شوند. به عبارت دیگر به فرمت اعداد تصویر در می آیند [۴]. در شکل (۲) یک نمونه از اعمال سه مرحله پیش پردازش بر روی یک فریم ورودی نشان داده شده است. در نهایت، تصویر شکل (۲-د) تصویری است سطح خاکستری، متعادل سازی هیستوگرام شده و فشرده شده با موجک که تصویر پیش پردازش شده نهایی است.



(الف) (ب)



(د) (ج)

شکل ۲- نمونه ای از مراحل پیش پردازش بر روی یک فریم نمونه (الف) فریم اولیه، (ب) فریم تبدیل به سطح خاکستری و متعادل سازی هیستوگرام، (ج) تصویر کلی از موجک هار، (د) تصویر نهایی

### ۳-۲- تشخیص نواحی متحرک

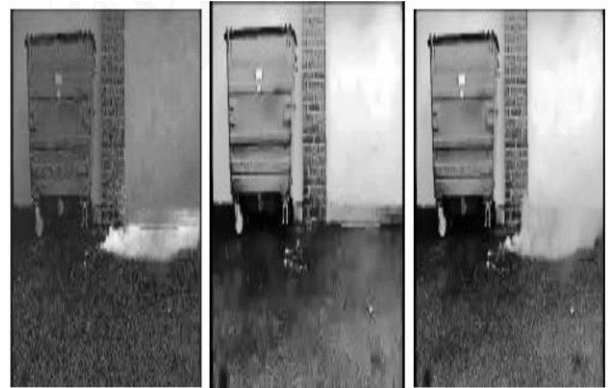
یکی از بارزترین مشخصه های دود، متحرک بودن آن است. بنابراین، پس از اجرای مرحله پیش پردازش، الگوریتم پیشنهادی نواحی متحرک را استخراج می کند. اما نواحی متحرک استخراج شده ممکن است ناحیه دود، افراد متحرک، اشیای متحرک مانند خودروها، پرندگان و غیره باشند. پس از اینکه نواحی متحرک از تصویر ورودی استخراج شد، بسیاری از نواحی ثابت حذف می شوند. برای استخراج نواحی متحرک در این مقاله از الگوریتم تفریق پس زمینه<sup>۱۲</sup>، استفاده

شکل (۳-ب)، اصلا خبری از دود نیست، اما در شکل (۳-ج) نه تنها دود بسیار واضح است حتی از تصویر اصلی آن نیز واضح تر و مشخص تر است.

شکل (۳-ب)، اصلا خبری از دود نیست، اما در شکل (۳-ج) نه تنها دود بسیار واضح است حتی از تصویر اصلی آن نیز واضح تر و مشخص تر است.



شکل ۵- عملگرهای مورفولوژی (الف) مورفولوژی باز (ب) مورفولوژی بسته



شکل ۳- نتایج الگوریتم تفریق پس زمینه (الف) فریم اصلی، (ب) فریم B، (ج) فریم F

#### ۴- دسته بندی دود

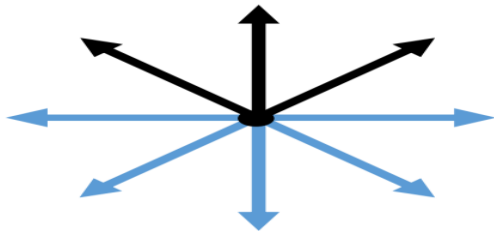
در این مرحله، تمامی نواحی متحرک بررسی می‌شوند تا مشخص شود کدام ناحیه دود است. به عنوان نمونه، در شکل (۵-ب) سه ناحیه کاندید دود وجود دارد که دو تا از ناحیه‌ها نادرست است و باید در این مرحله حذف گردند. در اینجا از مشخصه‌های رنگ و نحوه حرکت دود برای متمایز ساختن دود از سایر نواحی متحرک پیشنهاد شده است. دسته بندی دود از دو مرحله تشکیل شده است؛ جهت حرکت دود و کنتراست دود. لازم به ذکر است که در هر تصویر باینری، به تکه ناحیه‌های سفید جدا از هم حباب<sup>۱۶</sup> گفته می‌شود. مثلا در شکل (۵-ب) سه عدد بلاب داریم. باید در مرحله دسته بندی هر یک از این بلاب‌ها را جداگانه بررسی نماییم که آیا دود هستند یا خیر. برای بررسی جهت دودها، این ایده در نظر گرفته شده که نحوه انتشار دود به صورت ۰ تا ۴۵ درجه است و دود به صورت افقی منتشر نمی‌شود. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، از هشت جهت حرکت، تنها سه جهت حرکت سیاه رنگ متناسب با حرکت دود است.

شکل ۳- نتایج الگوریتم تفریق پس زمینه (الف) فریم اصلی، (ب) فریم B، (ج) فریم F تصویر پیش زمینه با استفاده از معیار زیر تبدیل به یک تصویر باینری می‌شود. رابطه زیر بیان می‌کند که تنها پیکسل‌های با شدت روشنایی بالاتر از ۲۴۵ در تصویر F حفظ شوند. شکل (۴) خروجی باینری تصویر را نشان می‌دهد.

$$F_{bin} = \begin{cases} 1, & F_{t+1} < 245 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (۵)$$



شکل ۴- تصویر باینری شده Fbin



شکل ۶- جهت‌های حرکتی احتمالی دود که با رنگ سیاه نشان داده شده است

اگر به شکل (۴) دقت نمایید، مشاهده می‌کنید که علاوه بر ناحیه‌های بزرگی که در تصویر وجود دارد، نواحی بسیار کوچکی در تصویر پیش زمینه باینری وجود دارد که عامل مزاحمی هستند و بهتر است حذف شوند. برای این منظور از آنالیز مولفه‌های متصل<sup>۱۳</sup> استفاده شده است. آنالیز مولفه‌های متصل شامل عملگرهای مورفولوژی باز<sup>۱۴</sup> و بسته<sup>۱۵</sup> است که عملگر مورفولوژی باز برای حذف اشیای کوچک و ریز و عملگر مورفولوژی بسته برای حذف حفره‌های کوچک و ریز استفاده می‌شود [۷-۵]. در شکل (۵) نتیجه اعمال عملگرهای مورفولوژی بر روی تصویر باینری شکل (۴) را مشاهده می‌نمایید. تصویر شکل (۵-)

برای این منظور کل تصویر به بلوک‌های ۲\*۲ تقسیم شده تا نحوه حرکت ناحیه‌های متحرک مورد بررسی قرار گیرد. این روش جریان نوری<sup>۱۷</sup> نامیده می‌شود و در آن دو فریم حاضر و فریم قبلی برای زاویه حرکت پیکسل‌های متحرک بررسی می‌شود. خروجی این کار،

می یابد. در تمام سکانس های ویدئویی مورد آزمایش که دود در آنها بود، دود با موفقیت شناسایی شد.

جدول ۱- نتایج تشخیص روش پیشنهادی برای تعدادی از آزمایش ها

نمونه	مدت زمان پردازش (ثانیه)	تعداد کل فریم فیلم	تعداد فریم هشدار اشتباه
۱	۷.۳۹۹	۲۳۶	۰
۲	۱۲.۵۴۰	۳۱۴	۰
۳	۱۱.۱۲۶	۳۵۳	۵
۴	۱۰.۳۸۵	۳۸۳	۱۰
۵	۲۴.۹۵۲	۸۹۷	۰
۶	۱۷.۲۷۷	۶۲۷	۰
۷	۱۴.۹۶۹	۴۸۳	۰
۸	۳۰.۹۸۲	۱۲۰۰	۲۰

اگر دود در لحظه ظهور در صحنه آهسته حرکت کند و به شدت منبسط شود به این ترتیب بتدریج در پس زمینه جای می گیرد. بنابراین در این مورد، نمی توانیم مستقیماً متوجه افزایش دود و زمان تشخیص آن شویم. آزمایشات انجام شده نشان داده اند که الگوریتم سریعاً روی صحنه پویای پیچیده دود را تشخیص می دهد. عملاً تشخیص دود در زمان واقعی صورت می گیرد. الگوریتم مدنظر ویژگی های دینامیک و استاتیک دود را لحاظ می کند. الگوریتم مزبور سطح پایینی از اختلال اشتباه دارد. برخی مواقع ممکن است اختلالهایی اشتباه در مورد اشیایی با خصوصیات مشابه دود پیش بیاید.

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله الگوریتمی برای تشخیص دود در سکانس های ویدئویی ارائه کردیم. مراحل الگوریتم مورد نظر عبارتند از: پیش پردازش؛ قطعه بندی پیکسل ها و نواحی با حرکت آهسته در فریم ورودی جاری براساس روش تفریق پس زمینه انطباقی؛ ترکیب نواحی با حرکت آهسته با پیکسل ها به شکل حباب؛ طبقه بندی حباب های حاصل از مراحل قبلی از روش تفریق پس زمینه انطباقی در مرحله تشخیص حرکتی استفاده کردیم. طبقه بندی حباب های غلتان بر اساس محاسبه جریان نوری، بررسی کنتراست و بر است و مسیر اولیه انتشار دود را نیز در نظر می گیرد. ویدئوهای آزمایشی کارایی رویکرد موردنظرمان را ثابت و تأیید کردند. البته مقاله ما براساس تصاویر ویدئویی ثابت انجام شده است و به تکان ها و حرکت زیاد تصاویر و همچنین به نویز زیاد حساس است. پس برای کارهای آینده بررسی تشخیص دود در تصاویر متحرک و با نویز پیشنهاد می شود.

CS است که تعداد جهت ها را در خود ذخیره می کند. یک پارامتر برای مقایسه به نام  $\rho$  به صورت  $\rho = Cs / C$  تعریف می کنیم که در آن C تعداد کل بلوک های ۲\*۲ در تصویر است. مقدار C در تمامی فریم ها یکسان است.

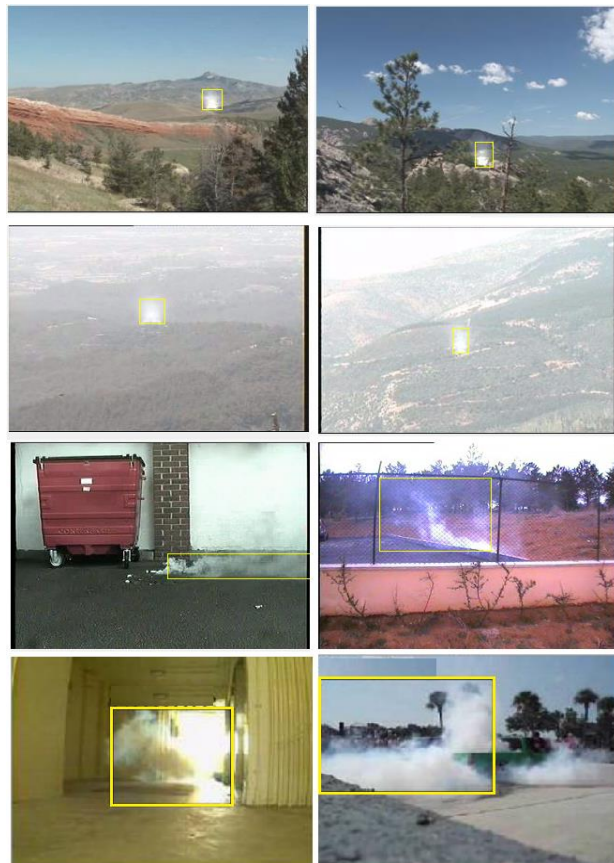
در مرحله دوم از دسته بندی، از رابطه کنتراست و بر<sup>۱۸</sup> برای حذف نواحی غیر دود استفاده شده است. این رابطه بسیار خوب ناحیه دود را از سایر نواحی متحرک دیگر جدا می کند. رابطه و بر عبارتست از:

$$C_w = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{F_{t-1}(x, y) - B_t(x, y)}{B_t(x, y)} \quad (۶)$$

در ادامه با دو شرط زیر، بررسی می شود که کدام ناحیه دود است:

$$C_w > 0.5 \ \& \ \rho = 0.2 \quad (۷)$$

در نهایت مختصات ناحیه های سفیدرنگ که دود تشخیص داده شده اند را پیدا می کنیم [۱۰-۸]. در شکل (۷) نمونه هایی از نواحی دود استخراج شده را مشاهده می نمایید.



شکل ۷- تعدادی از آزمایشهای انجام شده

در جدول (۱) نتایج را برای تعدادی از آزمایش ها می توانید مشاهده کنید. زمان پردازش فریم جاری به اندازه حباب ها و فراوانی تغییراتی که در پس زمینه رخ می دهد، بستگی دارد. اگر پس زمینه ثابت باشد و تعداد کمی حباب تشخیص داده شود بنابراین زمان پردازش کاهش

- [6] B. Toreyin, et al, Wavelet based real-time smoke detection in video, Signal Processing: Image communication, EURASIP, Elsevier.20 (2005) 55 256.
- [7] D. Kim, Y. F. Wang, Smoke Detection in Video, World Congress on Computer Science and Information Engineering (2009) 759 763.
- [8] F. Comez-Rodriuez, et al, Smoke Monitoring and measurement Using Image Processing. Application to Forest Fires. In:Automatic Target Recognition XIII, Proceedings of SPIE 5094, 2003 (404 411).
- [9] D. Kristini, T. Jakovevi, D. Stipaniev, Histogram-Based Smoke Segmentation in Forest Fire Detection System, Information Technology and Control 38 (3) (2009) 237 244.
- [10] F. Yuan., A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection, Pattern Recognition Letters 29 (7)(2008) 925 932.
- [1] D. Han, B. Lee, Flame and smoke detection method for early real-time detection of a tunnel fire, Fire Safety Journal 44 (2009) 951 961.
- [2] W. Phillips III , M. Shah, N. V. Lobo, Flame recognition in video, Pattern Recognition Letters 23 (2002) 319 327.
- [3] B. U. Toreyin, Y. Dedeoglu, U. Gudukbay, Computer vision based method for real-time fire and flame detection, Pattern recognition letters (2006) 49 58.
- [4] E. Stolz, T. DeRose, D. Salesin, Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications, Morgan Kaufmann.
- [5] P. Piccinini, S. Calderara, R. Cucchiara, Reliable smoke detection system in the domains of image energy and color, 15th International Conference on Image Processing (2008) 1376 1379.