

شناسایی وجود شعله و اندازه آن در تصویر مبتنی بر لبه‌یاب کنی و استخراج پیکسل، با ایجاد یک پایگاه داده تصویر

رضا ذاکر*

گروه برق - دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - تبریز - ایران
پست الکترونیکی: zaker@azaruniv.ac.ir

چکیده

شناسایی و مهار کردن به موقع آتش می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر به اموال، هزینه‌ی اطفاء حریق، آلودگی و خسارات جانی را کاهش دهد و از این رو شناسایی دقیق آتش و کاهش مؤثر آذیرهای خطر نادرست، اهداف مهم محققان هستند. در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر استخراج پیکسل برای شناسایی دقیق و مؤثر آتش و تخمین مساحت بخش میانی آن پیشنهاد می‌گردد. در این کار ابتدا یک پایگاه داده‌ی جدید تصاویر از شعله‌ی آتش که اندازه آن از کوچک به بزرگ رو به افزایش است، برای آزمایش و ارزیابی روش پیشنهادی ایجاد می‌شود. سپس یک روش برای شناسایی آتش مبتنی بر ویژگی‌های حرکت و رنگ شعله ارائه می‌شود. ابتدا، نواحی نامزد برای وجود آتش به وسیله‌ی تشخیص ناحیه‌ی متحرک شناسایی می‌شوند. سپس به وسیله‌ی اعمال الگوریتم تشخیص لبه کنی روی نواحی نامزد، ناحیه‌ی دقیق آتش شناسایی می‌شود. از آنجایی که شعله به قسمت میانی آتش با بالاترین شدت رنگ اطلاق می‌شود که بیشترین خسارت را وارد می‌کند، این ناحیه و مساحت واقعی و دقیق آن به وسیله‌ی یک روش جدید و مؤثر تخمین زده می‌شود. این روش روی پایگاه

داده‌ی ایجاد شده توسط نرم‌افزار متلب ارزیابی می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده دقت و کارایی بالایی دارد.

واژه‌های کلیدی: بینایی کامپیوتر، پردازش تصویر، تشخیص لبه، شناسایی آتش

۱- مقدمه

در صنایع، مسائل زیادی مربوط به خطرات آتش وجود دارد بخصوص این امر در صنایع نفت و گاز اهمیت فراوانی دارد. بنابراین یک سیستم شناسایی سریع برای پیشگیری از خسارات مالی برای این صنایع باید وجود داشته باشد [۱]. به تازگی در سیستم‌های حفاظت آتش از حسگرها برای تشخیص وجود آتش استفاده می‌شود و براساس آن تصمیم‌گیری‌ها انجام می‌شود. با این وجود، بسیاری از این حسگرها (حسگرهای شناسایی دود، شناسایی گرما و غیره) برای پاسخ دادن به روند مورد نظر به زمان نیاز دارند [۲] و باید به‌طور دقیق در مکان‌های مختلفی قرار داده شوند تا محصولات آتش به آن‌ها برسند [۳]. همچنین این حسگرها برای فضای باز مناسب نیستند زیرا محصولات احتراق تمایل به پخش سریع در فضا دارند که این امر باعث تضعیف در شناسایی می‌شود. سیستم‌های مبتنی بر

* نویسنده‌ی مسئول

تصویر یا ویدئو می‌توانند مشکلاتی را که به آن‌ها اشاره کردیم را حل کنند و آتش‌سوزی‌های غیرقابل کنترل را قبل از این‌که به یک فاجعه بزرگ تبدیل شوند سریع شناسایی کنند.

مراجع [۴-۸] از رنگ شعله برای شناسایی آتش استفاده می‌کنند. ویژگی‌های شکل شعله در مقالات [۹-۱۱] استفاده شده است. محققین بسیاری نیز وجود دارند که از ویژگی‌های کلی شعله برای شناسایی آتش استفاده می‌کنند. Noda و همکاران [۱۲] از عناصر R و G استفاده کرده و به یک رابطه بین نسبت G/R و توزیع دما دست یافته‌اند. یعنی زمانی که دما افزایش می‌یابد، نسبت G/R نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، رنگ شعله می‌تواند اطلاعات مفیدی برای تخمین دمای آتش و نیز مرحله آتش در اختیار ما قرار دهد. Phillips و همکاران [۱۳] از رنگ پیکسل‌ها و اختلاف دما در آن‌ها استفاده کرده‌اند. True [۱۴] از ویژگی‌های رنگ و حرکت برای تشخیص وجود آتش استفاده کرده است درحالی که Kandil و همکاران [۳] و Liu و همکاران [۱۵] از ویژگی‌های شکل و رنگ برای این کار استفاده کرده‌اند. در [۱۶] یک روش جدید شناسایی آتش پیشنهاد داده شده است که با استفاده از یک دوربین فضایی، فاصله بین دوربین و ناحیه آتش را اندازه‌گیری کرده و سطح سه بعدی از قسمت روبروی آتش را می‌سازد. برای شناسایی آتش، مناطقی که آتش به نظر می‌رسند با استفاده از مدل رنگی عام و یک مدل تفاضلی پس‌زمینه ساده مشخص می‌شوند. Chi و همکاران [۱۷] یک سیستم شناسایی شعله آتش با استفاده از پردازش و تحلیل ویدئوهای دوربین ثابت پیشنهاد داده‌اند. این سیستم مبتنی بر ویژگی‌های چندگانه یعنی ویژگی‌های رنگ، ویژگی‌های حرکت، ویژگی‌های بافت و ویژگی‌های کانتور است که می‌تواند حساسیت و قابلیت اطمینان در شناسایی آتش را بهبود بخشد. در [۱۸]، نویسندگان یک روش مؤثر شناسایی شعله پیشنهاد داده‌اند که در آن ابتدا از مدل رنگ برای شناسایی مناطق نامزد برای آتش استفاده کرده و سپس ویژگی حرکتی شعله

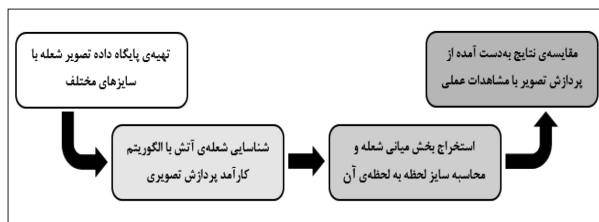
برای شناسایی آن اعمال می‌شود. Wang و همکاران [۱۹] یک روش شناسایی آتش ویدئویی پیشنهاد داده‌اند که از سه بخش تشکیل می‌شود. مرحله اول براساس مدل رنگی RGB و HIS شعله، مرحله دوم مبتنی بر ویژگی‌های حرکتی شعله و مرحله سوم با استفاده از یک سیستم چندخبره‌ای است.

شبکه‌های عصبی هم‌آمیختگی^۱ (CNN) عملکرد جدیدی در کاربردهای بینایی کامپیوتر از خود نشان می‌دهند که شامل رده‌بندی و بازیابی تصویر، شناسایی اشیاء، مکان‌یابی اشیاء و بخش‌بندی اشیاء می‌باشد. موفقیت این سیستم در کاربردهای وسیع مختلف باعث شده است که به‌تازگی از این روش به‌طور گسترده در شناسایی آتش استفاده شود. Muhammad و همکاران [۲۰] یک سیستم شناسایی آتش سریع با استفاده از CNN به خوبی تنظیم شده^۲ ارائه داده‌اند که می‌تواند آتش را در محیط‌های داخلی و خارجی مختلفی شناسایی کند. در این روش برای اطمینان از عملکرد خودکار سیستم، یک سازوکار اولویت‌دهی تطبیقی^۳ برای دوربین‌ها در سیستم نظارتی پیشنهاد شده است. در [۲۱] یک ساختار CNN مؤثر الهام گرفته شده از Squeeze-Net برای شناسایی و مکان‌یابی آتش و فهم دقیق از صحنه آتش ارائه شده است. مشابه با این کار، نویسندگان در [۲۲] یک سیستم مؤثر مبتنی بر CNN برای شناسایی آتش پیشنهاد دادند که از شبکه‌های عصبی عمیق با وزن سبک بدون هیچ لایه متراکم به‌طور کامل متصل شده استفاده می‌کند که پیچیدگی محاسباتی را کاهش می‌دهد. Wu و همکاران [۲۳] یک روش جدید برای شناسایی آتش در ویدئو با استفاده از شبکه CNN عمیق ترکیبی پیشنهاد داده‌اند که با شناسایی حرکت آتش درگیر است. به‌تازگی یک مقاله مروری توسط Bu و Samadi منتشر شده است [۲۴] که در آن برخی سیستم‌های شناسایی آتش مبتنی بر هوش مصنوعی و بینایی که در دهه اخیر توسط محققین ارائه شده‌اند بررسی می‌شود.

1- Convolution neural networks

2- Fine-tuned CNN

3- Adaptive prioritization mechanism



شکل ۱: چهارچوب کلی روش پیشنهادی

میانی شعله این ویژگی را داراست. چهارچوب اصلی روش پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است.

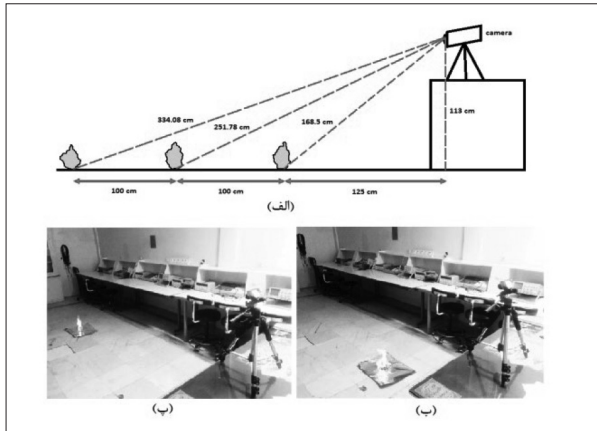
در ادامه، در بخش دوم چیدمان پیشنهاد شده برای تهیه پایگاه داده مورد نظر و نمونه‌هایی از این پایگاه داده ارائه می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی برای شناسایی شعله آتش و تعیین اندازه لحظه به لحظه بخش میانی آن بیان می‌شود. در بخش چهارم نتایج شبیه‌سازی به دست آمده از هر مرحله از روش پیشنهادی گزارش شده و با مقادیر عینی و عملی مقایسه می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری کلی و مزایا و معایب روش پیشنهادی و پیشنهادهایی برای ادامه کار در آینده در بخش پنجم بیان می‌گردد.

۲- ایجاد پایگاه داده از شعله آتش با اندازه‌های مختلف

برای ایجاد پایگاه داده شعله از یک دوربین دیجیتال با کیفیت ۱۲ مگاپیکسلی استفاده می‌شود. عدسی این دوربین همان‌طور که در شکل (۲-الف) مشخص شده است در فاصله ۱۱۳ سانتی‌متری از کف زمین قرار دارد و فیلم‌برداری از شعله در سه فاصله مختلف در یک محیط آزمایشگاهی با پس‌زمینه ثابت انجام می‌شود. هر ثانیه از ویدئو به ۱۵ قاب تقسیم شده و هر یک به‌عنوان یک تصویر در پایگاه داده ذخیره می‌شود.

در تحقیقی که در این مقاله انجام می‌گیرد دست‌یابی به مساحت واقعی شعله آتش از روی پیکسل‌های تصویر هدف اصلی است اما با جابجایی آتش و تغییر فاصله آن از دوربین، اندازه پیکسل‌ها در تصویر عوض می‌شود. بدین منظور قبل از تصویربرداری از شعله آتش، به تعیین اندازه پیکسل‌ها در فواصل مختلف پرداخته می‌شود. بنابراین به

با وجود تحقیقاتی که در سال‌های اخیر انجام گرفته است هنوز چالش‌های فراوانی در این زمینه وجود دارد. آتش‌سوزی در زمان بسیار اندکی گسترش می‌یابد، بنابراین وجود یک سیستم سریع که بتواند در زمان کوتاهی وجود آتش را با دقت بالایی تشخیص دهد بسیار ضروری است. چالش دیگری که سیستم‌های شناسایی آتش مبتنی بر تصویر با آن روبه‌رو هستند بالا بودن نرخ آژیر خطر نادرست است زیرا آن‌ها بدون در نظر گرفتن اندازه شعله، آژیر خطر را اعلام می‌کنند. بنابراین وجود یک سیستم که بتواند اندازه لحظه به لحظه شعله شناسایی شده را محاسبه کند بسیار ضروری است تا در صورت بالا بودن سرعت گسترش شعله آتش و یا ازدیاد آتش بیش از یک حد آستانه آژیر خطر به صدا درآید و نرخ هشدار نادرست به حداقل ممکن برسد. همچنین برای کارهای انجام گرفته در زمینه شناسایی آتش پایگاه داده مناسب که به صورت آزمایشگاهی تهیه شود و شامل تصاویر شعله با اندازه‌های مختلف وجود ندارد و این امر باعث می‌شود کارهای تحقیقاتی با مشکل مواجه شوند. با توجه به چالش‌های مطرح شده، هدف در این مقاله ارائه یک سیستم شناسایی آتش مبتنی بر یک الگوریتم ساده و کارآمد بر اساس الگوریتم‌های پردازش تصویر می‌باشد تا وجود شعله، سریع و با راندمان بالا از روی تصاویر تشخیص داده شود و سپس از روی این تصاویر برخی پارامترها از جمله اندازه واقعی شعله آتش محاسبه شده تا در صورت نیاز آژیر خطر به صدا درآید. بدین منظور یک پایگاه داده از شعله ایجاد می‌شود. سپس بر روی این پایگاه داده، الگوریتم مناسب پردازش تصویری پیاده می‌شود تا وجود شعله شناسایی شده و پارامترهای مربوط به آن از جمله اندازه لحظه به لحظه شعله بخصوص بخش میانی شعله محاسبه شود (در اینجا منظور از اندازه شعله، مساحت دو بعدی واقعی شعله است). زیرا در یک آتش، شعله به آن قسمتی اطلاق می‌شود که بالاترین شدت نور را داشته باشد [۱] و بر اساس تحقیقات انجام گرفته، قسمت



شکل ۲: چینی آزمایشگاهی برای ایجاد پایگاه داده. (الف) چینی شعله به صورت شماتیک در سه فاصله مختلف از دوربین، (ب) شعله واقعی در آزمایشگاه در اولین فاصله از دوربین، (پ) شعله واقعی در آزمایشگاه در سومین فاصله از دوربین

مساحت هر پیکسل از تصویر است. حال می توان با معلوم بودن فاصله هر جسم از عدسی دوربین به مساحت هر پیکسل از تصویر پی برد. با پیشرفت فناوری، امروزه دوربین های دیجیتال پیشرفته به صورت خودکار فاصله جسم تا عدسی دوربین را محاسبه می کنند. مثلاً در عمل می توان مساحت هر پیکسل در فاصله 251.78 سانتی متری را با استفاده از مربع ۲ به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\text{مساحت هر پیکسل در فاصله } 251.78 \text{ سانتی متری از عدسی دوربین} \\ = \frac{\text{مساحت مربع } 2}{\text{تعداد پیکسل های مربع } 2} = \frac{10\text{cm} \times 10\text{cm}}{15 \times 14} = \frac{100\text{cm}^2}{210 \text{ px}} = (4) \\ 0.476 \text{ cm}^2/\text{pixel}$$

حال با استفاده از معادله (۳) می توان مساحت هر پیکسل را در فاصله مورد نظر به صورت زیر به دست آورد:

$$y = 0.003545x - 0.3584 = 0.003545 \times 251.78 - 0.3584 = 0.534 \quad (5)$$

همان طور که مشاهده می شود با مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر عملی، خطا در حدود 0.05 سانتی متر مربع و بسیار اندک است. این خطا به دلیل نادیده گرفتن زاویه دوربین نسبت به جسم در فواصل مختلف و همچنین خطاهای اندک در اندازه گیری به صورت عملی ناشی می شود که بسیار کم است و در نتایج نهایی تأثیر چندانی نخواهد داشت. بنابراین با استفاده از معادله (۳) می توان

جای شعله ها در شکل (۲-الف)، از سه مربع مقوایی به ابعاد استفاده شده که دو مربع اول و آخر برای انجام محاسبات و مربع میانی برای ارزیابی و آزمون، مورد استفاده قرار می گیرد. این مربع ها در چینی معرفی شده برای شعله ها، قرار می گیرند و از آن ها فیلم برداری شده و قاب ها به تصویر تبدیل شده و یک تصویر از آن ها استفاده می شود (شکل (۳)). با توجه به اندازه واقعی مربع ها و تعداد پیکسل های آن ها در تصویر، در فاصله های مختلف می توان مساحت هر پیکسل را از روی تصویر محاسبه کرد. مساحت هر پیکسل در فاصله 168.5 سانتی متری از عدسی دوربین با استفاده از مربع ۱ که نزدیک ترین فاصله قابل رویت به عدسی دوربین را دارد به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{مساحت هر پیکسل در فاصله } 168.5 \text{ سانتی متری از عدسی دوربین.} \\ = \frac{\text{مساحت مربع } 1}{\text{تعداد پیکسل های مربع } 1} = \frac{10\text{cm} \times 10\text{cm}}{22 \times 19} = \frac{100\text{cm}^2}{418 \text{ px}} = (1) \\ 0.239 \text{ cm}^2/\text{pixel}$$

و مساحت هر پیکسل در فاصله 334.08 سانتی متری از عدسی دوربین با استفاده از مربع ۳ که دورترین فاصله مستقیم قابل رویت به عدسی دوربین را دارد به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{مساحت هر پیکسل در فاصله } 334.08 \text{ سانتی متری از عدسی دوربین.} \\ = \frac{\text{مساحت مربع } 3}{\text{تعداد پیکسل های مربع } 3} = \frac{10\text{cm} \times 10\text{cm}}{11 \times 11} = \frac{100\text{cm}^2}{121 \text{ px}} = (2) \\ 0.826 \text{ cm}^2/\text{pixel}$$

از آنجایی که تغییر مقیاس پیکسل ها و بزرگی و کوچکی آن ها در تصویر نسبت به فاصله جسم تا دوربین، یک رابطه خطی است می توان نمودار مربوط به تغییرات اندازه هر پیکسل نسبت به فاصله عدسی دوربین از جسم مورد نظر را با استفاده از دو نقطه به دست آمده از معادلات (۱) و (۲) رسم کرد (شکل (۴)). با توجه به این دو نقطه می توان یک معادله خطی به صورت زیر برای این نمودار نوشت:

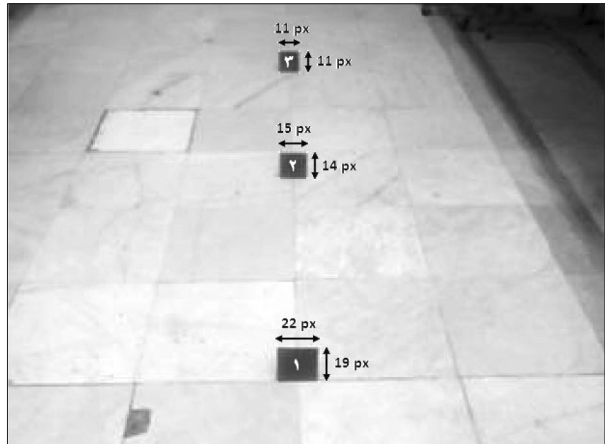
$$y = 0.003545x - 0.3584 \quad (3)$$

که در آن x ، فاصله دوربین از جسم مورد نظر و y ،

برش آن ناحیه که شامل شعله آتش است، روی آن ناحیه، الگوریتم تشخیص لبه پیاده می‌شود به طوری که تنها لبه‌های شعله آشکار شده و در نتیجه آتش به طور دقیق شناسایی می‌شود. پس از شناسایی شعله، با استفاده از الگوریتم پیشنهاد شده در این مقاله، قسمت میانی شعله استخراج شده و مساحت لحظه به لحظه آن محاسبه می‌شود. وقتی مساحت شعله از یک حد آستانه بیشتر شود یا سرعت گسترش شعله از یک حد آستانه فراتر رود، آژیر خطر به کاربر اعلام می‌شود. مراحل کار بعد از تشکیل پایگاه داده با جزئیات در شکل (۷) نشان داده شده است. در ادامه به توضیح هر بخش از روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۱.۳. شناسایی شعله آتش

۱،۱،۳. تشخیص و استخراج ناحیه متحرک در تصویر رنگ به تنهایی برای شناسایی شعله آتش کافی نیست. اجسام بسیاری وجود دارد که رنگ مشابه با آتش دارند در حالی که آتش نیستند. ویژگی کلیدی برای تشخیص آتش از اجسامی که به رنگ آتش هستند، ویژگی حرکت آنها است. بین قاب‌های متوالی، آتش به طور قابل توجهی تغییرات حرکتی دارد که در شکل (۸) نمونه‌ای از آن نشان داده شده است. شعله‌ها همواره در اطراف حرکت می‌کنند بنابراین یک پیکسل خاص تنها در کسری از زمان شامل شعله آتش می‌باشد. بنابراین اگر در تصاویر گرفته شده ناحیه متحرک مشخص شود می‌توان آن را به عنوان ROI در نظر گرفت که در آن ناحیه یک بخش به عنوان شعله وجود دارد. این امر باعث می‌شود تا بار محاسباتی برای پردازش‌های بعدی به طور قابل توجهی کاهش یابد زیرا با تشخیص ناحیه متحرک، ناحیه جستجوی شعله کاهش می‌یابد و پردازش‌ها تنها در قسمت‌های متحرک که به عنوان ROI تعیین شده‌اند انجام می‌شود. بدین منظور پس از ایجاد پایگاه داده و تشکیل قاب‌ها، از یک روش مقایسه‌ای و تفاضل ساده بین دو قاب متوالی برای تشخیص ناحیه متحرک استفاده می‌شود. برای این کار، ابتدا دو تصویر رنگی از دو قاب متوالی به تصاویر خاکستری تبدیل می‌شوند (شکل



شکل ۳: چینش آزمایشگاهی برای تعیین مساحت هر پیکسل از تصویر در فواصل مختلف از عدسی دوربین

مساحت معادل برای هر پیکسل را با توجه به فاصله جسم از عدسی دوربین، با دقت بالایی تخمین زد.

حال برای تهیه پایگاه داده به جای مربع‌های ۱، ۲ و ۳، به ترتیب شعله آتش قرار داده می‌شود (شکل (۲)). همان‌طور که در شکل (۲-الف) نشان داده شده است، این شعله‌ها به ترتیب در فواصل ۱۲۵، ۲۲۵ و ۳۲۵ سانتی‌متری از پایه عدسی دوربین جاگذاری می‌شوند. اندازه این شعله‌ها در طول فیلم برداری رفته رفته افزایش می‌یابد. پس از انجام عمل فیلم برداری، هر ثانیه از ویدئوی ضبط شده به ۱۵ قاب تبدیل شده و به صورت تصویر در پایگاه داده ذخیره می‌شود. در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب نمونه‌هایی از این شعله‌ها با افزایش اندازه شعله نشان داده شده است.

۳- روش پیشنهادی

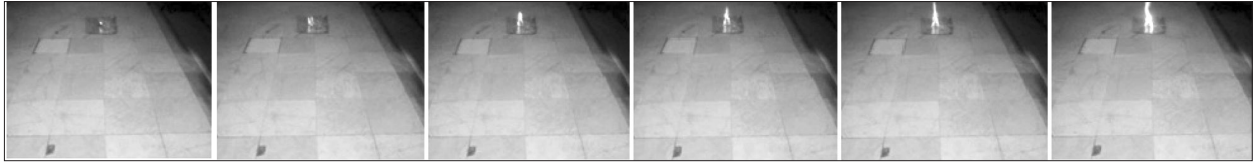
در این بخش روش پیشنهادی برای شناسایی شعله آتش و تعیین مساحت لحظه به لحظه آن برای اعلام آژیر خطر ارائه می‌شود. برای تشخیص شعله آتش از ترکیب ویژگی‌های حرکت و رنگ شعله که ویژگی‌های بسیار قوی برای شناسایی هستند استفاده می‌شود. بدین منظور پس از تبدیل ویدئوی ضبط شده از شعله به تصویر و ایجاد پایگاه داده، ابتدا با استفاده از تفاضل دو تصویر از دو قاب متوالی، ناحیه متحرک تصویر تشخیص داده شده و استخراج می‌شود. پس از تشخیص ناحیه متحرک و



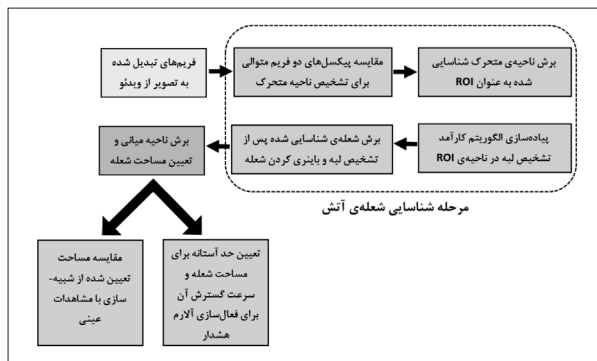
شکل ۴: نمونه‌ای از پایگاه داده شعله در اولین فاصله از دوربین (اندازه شعله در تصویر از چپ به راست رو به افزایش است).



شکل ۵: نمونه‌ای از پایگاه داده شعله در دومین فاصله از دوربین (اندازه شعله از تصویر از چپ به راست رو به افزایش است).



شکل ۶: نمونه‌ای از پایگاه داده شعله در سومین فاصله از دوربین (اندازه شعله از تصویر از چپ به راست رو به افزایش است).



شکل ۷: مراحل کار در روش پیشنهادی با جزئیات پس از ایجاد پایگاه داده



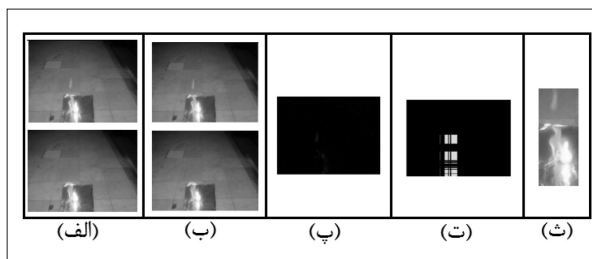
شکل ۸: تغییرات حرکتی شعله در قاب‌های مختلف [۲۵].

می‌شود.

۲.۱.۳. تشخیص لبه شعله آتش

پس از این‌که ناحیه متحرک تصویر به‌عنوان ROI استخراج شد، روی این ناحیه الگوریتم تشخیص لبه را پیاده‌سازی می‌کنیم تا تنها شعله آتش شناسایی شود و اجسام دیگر بجز آتش از تصویر حذف گردند. از آنجایی که سیستم‌های پردازش تصویری شامل شناسایی و رده‌بندی اشیا می‌باشند، تشخیص لبه یک ابزار لازم

(۹-ب)). سپس تفاضل دو تصویر به‌دست می‌آید (شکل (۹-پ)). همان‌طور که در شکل (۹-پ) مشاهده می‌شود، تفاضل بین دو تصویر فقط در نواحی متحرک دارای مقدار سطح خاکستری قابل توجهی است بنابراین با تعیین یک حد آستانه فقط نواحی متحرک مشخص می‌شود. حد آستانه در اینجا به صورت شهودی برابر با ۱۵ تعیین می‌شود، یعنی اگر تفاضل سطح خاکستری پیکسل‌های دو تصویر بیشتر از ۱۵ باشد مقدار سطح خاکستری آن پیکسل ۲۵۵ یعنی به رنگ سفید می‌شود، در غیر این صورت پیکسل برابر صفر یعنی به رنگ سیاه قرار داده می‌شود (شکل (۹-ت)). با این کار تصویر به صورت یک تصویر دودویی از پیکسل‌های سفید و سیاه در می‌آید که در آن، نواحی با پیکسل‌های سفید نشانگر نواحی متحرک است. پس از مشخص شدن ناحیه متحرک، مختصات ناحیه با پیکسل‌های سفید، از تصویر اصلی برش داده شده و به‌عنوان ROI در نظر گرفته می‌شود (شکل (۹-ث)). ناحیه متحرک استخراج شده شامل شعله آتش می‌باشد اما ممکن است در اطراف شعله اجسامی که شعله نیستند نیز برش داده شود. بنابراین برای شناسایی دقیق شعله آتش، تشخیص لبه انجام می‌دهیم که در بخش بعدی ارائه



شکل ۹: تشخیص و استخراج ناحیه متحرک. (الف) تصاویر اصلی، (ب) تصاویر خاکستری، (پ) تفاضل دو تصویر متوالی، (ت) تصویر باینری شده ناحیه متحرک، و (ث) استخراج ناحیه متحرک تصویر اصلی.

و ضروری در این سیستم‌ها به‌عنوان پیش‌پردازش محسوب می‌شود. با بهره‌مندی از تشخیص لبه، عملکرد تکنیک‌های پردازش تصویری مانند بخش‌بندی تصویر، کدکردن تصویر بر اساس اشیاء و استخراج تصویر، بهبود خواهد یافت. بنابراین در این کار برای افزایش کارایی از تکنیک‌های تشخیص لبه برای لبه‌یابی شعله استفاده خواهد شد. تشخیص لبه به پروسه شناسایی و تعیین خطوط تند ناپیوسته در یک تصویر برمی‌گردد. این خطوط ناپیوسته تغییرات ناگهانی در شدت رنگ دارند و محدوده اشیاء را در تصویر مشخص می‌کنند. الگوریتم‌های زیادی به منظور تشخیص لبه‌ها در مبحث پردازش تصویر ارائه شده‌اند که در این مقاله از لبه‌یاب کنی^۴ استفاده می‌کنیم. آشکارساز لبه کنی یک عملگر تشخیص لبه است که از یک الگوریتم چند مرحله‌ای برای آشکارسازی بازه و وسیعی از لبه‌ها در تصویر استفاده می‌کند. الگوریتم کنی در آشکارسازی لبه به الگوریتم بهینه معروف است. هدف کنی بهبود الگوریتم‌های آشکارسازی لبه است. اهداف این روش عبارتند از:

- اولین و مهم‌ترین هدف آن نرخ خطای کم بود.
- مهم‌ترین نکته در یک الگوریتم این است که تمام لبه‌های موجود در تصویر را آشکارسازی کند و هیچ لبه‌ای از دست نرود و الگوریتم برای غیرلبه‌ها واکنش نشان ندهد.
- دومین هدف این بود که نقاط موجود در لبه به خوبی شناسایی شوند، به بیان دیگر فاصله بین پیکسل‌های لبه که توسط آشکارساز پیدا شده و حالت واقعی آن کمینه باشد.
- معیار سوم این است که الگوریتم نسبت به لبه منفرد

4-Canny edge detection

تنها یک واکنش نشان دهد. این معیار به این علت در نظر گرفته شده است که دو معیار اول به اندازه کافی توانایی آن را نداشتند تا اثر واکنش‌های چندگانه نسبت به یک لبه را حذف کنند.

مسئله مهم دیگر که در آشکارسازی لبه‌ها مشکل ایجاد می‌کند وجود نوفه‌ها می‌باشد. الگوریتم کنی تأکید زیادی بر کاهش نوفه در تصویر دارد. براساس اهدافی که برای الگوریتم کنی ذکر شد می‌توان مراحل پیاده‌سازی آن را به ۵ مرحله زیر تقسیم کرد:

- ۱- اعمال فیلتر گوسی برای هموارسازی تصویر و حذف نوفه
- ۲- به‌دست آوردن گرادیان در هر نقطه از تصویر
- ۳- حذف غیربیشینه‌های محلی^۵ برای از بین بردن جواب‌های نادرست برای تشخیص لبه
- ۴- اعمال حد آستانه دوگانه برای تعیین لبه‌های واقعی
- ۵- جستجوی لبه توسط هیستریزیس^۶: نهایی کردن تشخیص لبه‌ها با حذف تمامی لبه‌هایی که ضعیف هستند و به هیچ لبه قوی متصل نیستند.

هر مرحله با جزئیات در زیر توضیح داده می‌شود. **فیلتر گوسی:** از آنجایی که تمامی نتایج تشخیص لبه توسط نوفه تحت تأثیر قرار می‌گیرند، لازم است که نوفه با فیلتر حذف شود تا از تشخیص نادرست که در اثر نوفه ایجاد می‌شود جلوگیری شود. برای هموارسازی تصویر، یک فیلتر گوسی برای هم‌آمیخت شدن با تصویر اعمال می‌شود. این مرحله تصویر را هموار می‌کند تا اثرات نوفه روی آشکارساز لبه را کاهش دهد. معادله کرنل فیلتر گوسی با اندازه $(2k + 1) \times (2k + 1)$ به‌صورت زیر است:

$$H_{ij} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(i-(k+1))^2 + (j-(k+1))^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

$$; 1 \leq i, j \leq (2k + 1)$$

انتخاب اندازه کرنل گوسی عملکرد آشکارساز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هرچقدر که اندازه کرنل بزرگ‌تر باشد،

5-Non-local maximum suppression
6-Hysteresis

حساسیت آشکار ساز نسبت به نوفه کمتر می شود اما با افزایش اندازه کرنل فیلتر گوسی، خطای مکان یابی برای تشخیص لبه نیز افزایش خواهد یافت. در اینجا از یک فیلتر گوسی 5×5 با $\sigma = 1.4$ استفاده می شود:

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} * A \quad (7)$$

یافتن گرادیان تصویر: یک لبه در تصویر می تواند در جهت های مختلفی باشد، بنابراین الگوریتم کنی از ۴ فیلتر برای تشخیص لبه های افقی، عمودی و قطری در تصویر استفاده می کند. عملگر تشخیص لبه (برای مثال رابرت، پرویت، سوبل) مقدار مشتق اول در جهت افقی (Gx) و در جهت عمودی (Gy) را محاسبه می کند. در اینجا از عملگر سوبل استفاده می شود. سپس اندازه و جهت گرادیان لبه محاسبه شده و زاویه جهت لبه به یکی از ۴ زاویه متناظر با جهت های عمودی، افقی و دو جهت قطری (برای مثال 0° ، 45° ، 90° و 135°) گرد می شود.

حذف غیربیشینه های محلی: حذف غیربیشینه های محلی یک روش باریک سازی لبه^۷ است. حذف غیربیشینه محلی برای باریک کردن لبه اعمال می شود. بعد از انجام محاسبات گرادیان، لبه استخراج شده از مقدار گرادیان، هنوز تقریباً یک لبه^۸ است. اما بر اساس هدف های تعیین شده برای الگوریتم کنی، باید تنها یک پاسخ صحیح برای لبه وجود داشته باشد. بنابراین حذف غیربیشینه محلی می تواند تمامی مقادیر گرادیان را بجز آن هایی که به صورت محلی بیشینه هستند صفر کند، که این امر باعث می شود مکان هایی با تغییرات بسیار تیز در شدت رنگ آشکار شوند.

الگوریتم برای هر پیکسل در تصویر گرادیان به صورت زیر است:

۱- مقایسه مقدار گرادیان پیکسل مورد نظر با مقدار گرادیان پیکسل های در جهت گرادیان و خلاف جهت گرادیان

۲- اگر مقدار گرادیان پیکسل مورد نظر در مقایسه با سایر پیکسل های که در جهت گرادیان پیکسل مورد نظر قرار دارد (برای مثال اگر گرادیان پیکسل مورد نظر در جهت محور ۷ باشد، آن پیکسل با پیکسل بالا و پایینش مقایسه می شود) بیشترین مقدار باشد، در این صورت آن پیکسل به عنوان لبه انتخاب می شود. در غیر این صورت، پیکسل حذف می شود.

در برخی پیاده سازی ها، الگوریتم، جهت های پیوسته گرادیان را به جهت های گسسته کوچک تقسیم می کند و سپس یک فیلتر 3×3 را روی تصویر گرادیان حرکت می دهد. در هر پیکسل، اگر اندازه گرادیان پیکسل مرکزی بزرگتر از اندازه گرادیان دو پیکسل همسایه در جهت گرادیان نباشد، آن پیکسل را حذف می کند.

در برخی حالات، اگر پیکسل های همسایه در جهت گرادیان نبوده و از آن دور باشند، درون یابی خطی بین دو پیکسل همسایه انجام می دهیم. برای مثال، اگر زاویه گرادیان بین 45° و 90° باشد، درون یابی بین گرادیان های پیکسل های شمال و شمال شرقی یک مقدار درون یابی شده خواهد داد و درون یابی بین گرادیان های پیکسل های جنوب و جنوب غربی یک مقدار درون یابی شده دیگر را خواهد داد. دامنه گرادیان در پیکسل مرکزی باید بیشتر از هر دو مقدار به دست آمده باشد تا آن پیکسل به عنوان لبه انتخاب شود. باید توجه شود که علامت جهت در اینجا مهم نیست، یعنی جهت شمال به جنوب با جهت جنوب به شمال یکسان است.

حد آستانه دوگانه: پس از حذف غیربیشینه های محلی، پیکسل های لبه تقریباً لبه های واقعی را نشان می دهند. با این حال هنوز برخی پیکسل های لبه وجود دارد که در اثر نوفه و یا تغییرات رنگ ایجاد شده است. برای حذف این لبه های نادرست، لازم است تا پیکسل های لبه با مقدار گرادیان کم حذف شده و لبه با مقدار گرادیان بزرگ باقی بماند. بنابراین دو حد آستانه برای مشخص کردن انواع مختلف لبه تعیین می شود. یک حد آستانه، حد آستانه بالا و دیگری حد آستانه پایین نامیده می شود. اگر مقدار گرادیان

7-Edge thinning
8-Blurred

شکل ۱۰: تصویر شعله برش داده شده و استخراج بخش میانی شعله



جدول ۱: تعیین اندازه شعله

قسمت میانی شعله	تعداد پیکسل‌های قسمت میانی شعله	فاصله شعله از لنز دوربین (cm)	مساحت هر پیکسل از تصویر (cm ² /per px)	مساحت واقعی قسمت میانی شعله cm ²
	۷۵۲	۱۶۸.۵	۰.۲۳۹	۱۷۹.۷۲۷ = ۰.۲۳۹ × ۷۵۲

۲.۳. استخراج بخش میانی شعله و تعیین اندازه لحظه به لحظه آن

پس از این که شعله از تصویر شناسایی و استخراج شد با تعیین یک حد آستانه تصویر شعله دودویی می‌شود به گونه‌ای که اگر سطح خاکستری نرمالیزه شده یک پیکسل از آن حد آستانه بیشتر باشد آن پیکسل سفید و اگر از آن حد آستانه کمتر باشد آن پیکسل سیاه می‌شود. رنگ پیکسل‌های آتش از قرمز تا نارنجی سپس زرد و بعد تقریباً تا سفید پخش شده‌اند. این بازه‌های رنگی نشانگر انرژی آتش هستند و هرچه قدر شعله آتش قرمزتر باشد دمای کمتری دارد و گرمای کمتری آزاد می‌کند [۲۶]. بنابراین حد آستانه برای دودویی کردن تصویر شعله طوری تعیین می‌شود که تنها نواحی با شدت نور بیشتر (زردتر و سفیدتر) استخراج شوند زیرا این نواحی شعله محسوب می‌شوند. پس از دودویی کردن تصویر، حال بخش میانی شعله را استخراج می‌کنیم. با توجه به بررسی‌هایی که انجام گرفته است بخشی از شعله که دارای شدت نور بالاتری است دارای گرمای بیشتری است و خسارت بیشتری وارد می‌کند و این بخش همان بخش میانی شعله است. بنابراین برای جلوگیری از خسارت آتش‌سوزی بررسی تأثیر بخش میانی شعله بسیار ضروری است. با توجه به مشاهداتی که انجام گرفته، در اینجا برای استخراج

پیکسل لبه از مقدار حد آستانه بالا بیشتر باشد، آن پیکسل به‌عنوان پیکسل لبه قوی تعیین می‌شود. اگر مقدار گرادیان پیکسل لبه از حد آستانه بالا، کمتر و از حد آستانه پایین، بیشتر باشد، آن پیکسل به‌عنوان پیکسل ضعیف تعیین می‌شود. اگر مقدار گرادیان پیکسل لبه از حد آستانه پایین، کمتر باشد آن پیکسل حذف می‌شود. دو حد آستانه به صورت شهودی تعیین می‌شوند و برای تصاویر مختلف باید مقادیر مختلفی تعیین شود.

جستجوی لبه با هیستریزیس: از آنجایی که لبه‌های

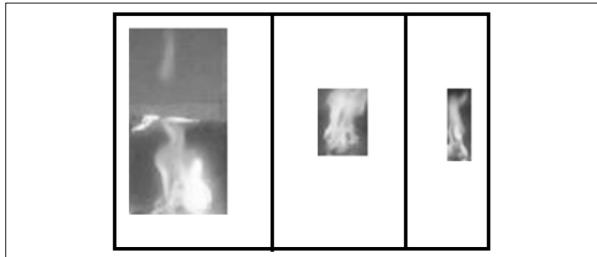
قوی از لبه‌های واقعی در تصویر استخراج می‌شوند، در نهایت باید تنها این لبه‌ها در تصویر باقی بمانند. با این وجود لبه‌های ضعیف نیز می‌توانند از لبه واقعی یا نوفه و یا تغییرات رنگ استخراج شوند. برای دستیابی به یک نتیجه صحیح، لبه‌های ضعیفی که بر اثر نوفه یا تغییرات رنگ ایجاد می‌شوند باید حذف شوند. معمولاً یک لبه ضعیف که از لبه‌های واقعی ایجاد می‌شود با یک لبه قوی در ارتباط است در حالی که پاسخ‌های نوفه هیچ ارتباطی با لبه‌های قوی ندارند. برای جستجوی اتصالات لبه، لبه ضعیف و پیکسل‌های همسایگی ۸ گانه آن بررسی می‌شود. اگر یک لبه قوی در پیکسل‌های همسایگی وجود داشته باشد، آن لبه ضعیف به‌عنوان لبه نهایی تعیین می‌شود.

بخش میانی شعله، کل شعله به ۶ قسمت تقسیم می‌شود، یعنی شعله به شش نوار افقی تبدیل می‌شود که در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با این تقریب که یک قسمت بالا و پایین از قسمت‌های میانی شعله به حساب نمی‌آیند، این دو قسمت را از تصویر حذف می‌کنیم و باقی شعله به‌عنوان بخش میانی شعله در نظر گرفته می‌شود. این انتخاب (حذف یک ششم شعله از بالا و پایین) به صورت شهودی انجام گرفته است. پس از این‌که بخش میانی شعله برش داده شده و استخراج شد، حال به محاسبه مساحت دوبعدی شعله پرداخته می‌شود. قسمت میانی شعله، مهم‌ترین قسمت شعله محسوب می‌شود. هدف از بررسی اندازه شعله (بخصوص قسمت میانی شعله) پس از خارج شدن از یک سیستم احتراق جهت تعیین برخی مجهولات است (از جمله: ۱) تعیین میزان راندمان احتراق برای مثال در سیستم احتراق سوخت فسیلی و نیروگاه‌های تولید برق، ۲) تعیین میزان انتشار آلاینده‌ها به فضای پیرامون آتش برای مثال در پتروشیمی‌ها، ۳) برای مسائل مهندسی ایمنی در صنایع کوچک و بزرگ.

از آنجایی که تصویر شعله به صورت دودویی درآمده است برای محاسبه اندازه شعله، تعداد پیکسل‌های سفیدی که حال به‌عنوان شعله استخراج شده‌اند را در هر لحظه به دست می‌آوریم. سپس با توجه به معادله (۳) به دست آمده در بخش ۲، براساس فاصله شعله از لنز دوربین، مساحت هر پیکسل از تصویر را تخمین می‌زنیم. با ضرب تعداد پیکسل‌های سفید به دست آمده برای شعله در اندازه هر پیکسل از تصویر، اندازه دوبعدی واقعی بخش میانی شعله به دست می‌آید. در جدول (۱) یک نمونه از اندازه محاسبه شده از شعله آورده شده است. در این شکل تعداد پیکسل‌های سفید شعله برابر ۷۵۲ عدد است و چون شعله در فاصله $168/50$ سانتی‌متری از لنز دوربین قرار دارد طبق معادله (۳)، مساحت هر پیکسل برابر با $0/239$ سانتی‌مترمربع است، بنابراین مساحت واقعی شعله برابر با $179/727$ سانتی‌مترمربع خواهد بود.

۳,۳. تعیین حد آستانه برای فعال‌سازی آژیر خطر

در سیستم‌هایی که تاکنون پیشنهاد شده است در صورتی که سیستم هر شعله یا دودی با هر اندازه‌ای را شناسایی کند آژیر خطر به صدا در می‌آید. در حالی که ممکن است شعله بسیار ضعیف باشد و نه تنها گسترش پیدا نکند بلکه در حال خاموشی باشد و نیازی به فعال‌سازی آژیر خطر نباشد. در این مواقع آژیرهای خطر فعال شده، نادرست خواهند بود. در این مقاله با روشی که پیشنهاد شد می‌توان اندازه بخش میانی شعله که اصلی‌ترین بخش شعله محسوب می‌شود را لحظه به لحظه پس از فیلم‌برداری به صورت واقعی و دقیق محاسبه و گزارش کرد. حال مسئله مهم، تعیین زمان به صدا درآمدن آژیر خطر است. در اینجا روشی برای فعال‌سازی آژیر خطر پیشنهاد می‌شود که مبتنی بر محاسبه سرعت گسترش شعله و اندازه لحظه به لحظه شعله است که منظور از شعله، قسمت میانی شعله است. مثلاً اگر با محاسباتی که از اندازه شعله انجام می‌شود در عرض ۱ دقیقه اندازه شعله دو برابر شود یعنی سرعت گسترش شعله بسیار بالاست و فرمان برای به صدا درآمدن آژیر خطر باید صادر شود و یا اگر این سرعت در بازه‌های مختلف ثابت بماند ولی اندازه بخش میانی شعله از یک حد آستانه بیشتر شود باز باید آژیر خطر به صدا درآید. چون مساحت محاسبه شده در روش پیشنهادی به صورت دقیق و واقعی می‌باشد، نرخ هشدار نادرست بسیار پایین می‌آید. این کار در مرحله اجرا و عملی کردن این سیستم، می‌تواند با تعیین زمان، سرعت گسترش شعله و مساحت لحظه به لحظه شعله با توجه به سرعت اجرای برنامه پیاده‌سازی شده و به وسیله یک میکروکنترلر فرمان برای فعال‌سازی آژیر خطر صادر شود. با این روش سرعت عملکرد بسیار افزایش می‌یابد و تعداد آژیرهای خطر نادرست به حداقل می‌رسد و از اتلاف وقت و انرژی جلوگیری می‌شود.

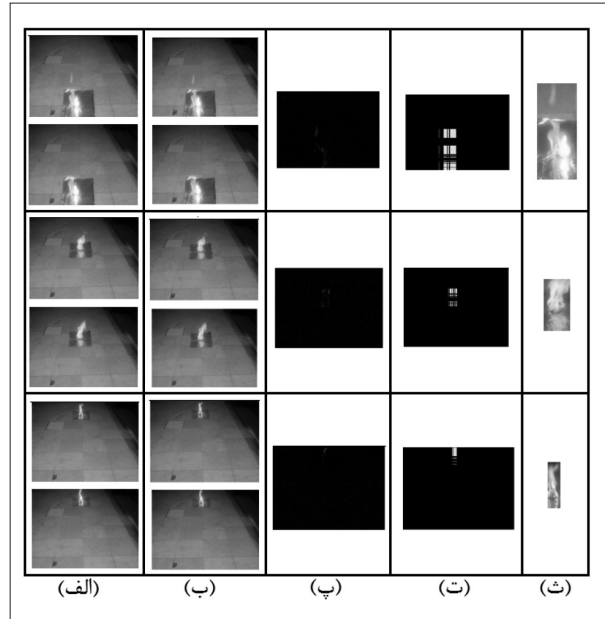


شکل ۱۲: استخراج ناحیه متحرک تصاویر با دقت بالا و با حذف ناحیه بازتابی شعله روی صفحه زمین

برش یافته جدید در پردازش‌های بعدی برای تشخیص لبه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲.۴. نتایج تشخیص لبه با الگوریتم کنی

در این روش ابتدا تصویر را با تابع گوسی 5×5 معرفی شده در معادله (۷) هموار می‌کنیم تا نویز موجود در تصویر حذف شود. سپس در هر نقطه از تصویر گرادیان را محاسبه می‌کنیم و اندازه و جهت گرادیان را در هر نقطه به دست می‌آوریم. حال غیربیشینه‌های محلی را حذف می‌کنیم یعنی نقاطی را که اندازه گرادیان آن‌ها در راستای گرادیان (عمود بر لبه) نسبت به نقاط همسایه بیشینه است بعنوان نقاط لبه انتخاب می‌شوند و نقاطی که این ویژگی را ندارند و غیربیشینه هستند حذف می‌شوند. سپس برای نقاط بیشینه محلی حد آستانه بالا و پایین تعیین می‌شود تا لبه‌های قوی و ضعیف شناسایی شوند. این حد آستانه‌ها به صورت شهودی و به طوری انجام می‌گیرد که تنها شعله آتش در تصویر لبه‌یابی و شناسایی شود. حد آستانه بالا برابر 0.6 و حد آستانه پایین برابر 0.4 تعیین می‌شود. سپس با استفاده از هیستریزس لبه‌های ضعیفی که در اثر نویز و تغییر رنگ ایجاد شده‌اند حذف می‌شوند و لبه‌های قوی و ضعیف ناشی از لبه‌های واقعی به عنوان لبه نهایی انتخاب می‌شوند. در این شبیه‌سازی $\sigma = 1.4$ انتخاب می‌شود. در شکل (۱۳) نمونه تصاویر تشخیص لبه با روش‌های مختلف تشخیص لبه از جمله لبه‌یابی سوبل، پرویت، رابرت، لاپلاسین گوسی و کنی آورده شده است. با مقایسه این تصاویر همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد روش کنی روش بهینه است و مشکلات روش‌های دیگر در این



شکل ۱۱: تشخیص و استخراج ناحیه متحرک تصاویر پایگاه داده. (الف) تصاویر اصلی، (ب) تصاویر خاکستری، (پ) تفاضل دو تصویر متوالی، (ت) تصویر دودویی شده ناحیه متحرک، (ث) استخراج ناحیه متحرک تصویر اصلی

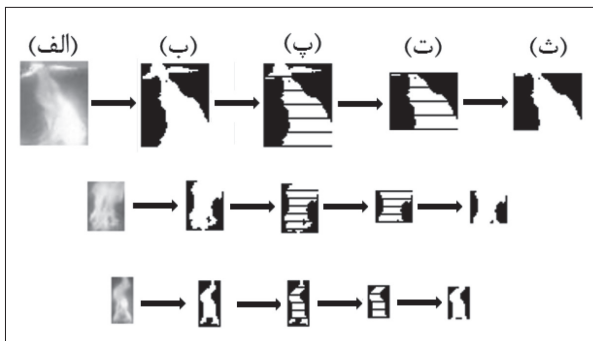
۴- نتایج شبیه‌سازی

۱.۴. نتایج تشخیص ناحیه متحرک

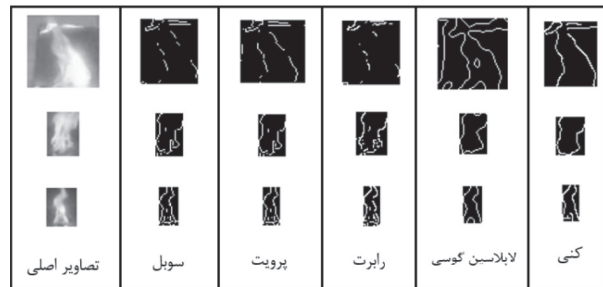
مقایسه و تفاضل دو قاب پشت سر هم از پایگاه داده و شناسایی ناحیه متحرک با روش مطرح شده در بخش ۱.۱.۳ روی نمونه‌هایی از تصاویر پایگاه داده اجرا شده و همان‌طور که در نتایج در شکل (۱۱) نشان داده شده است، ناحیه متحرک استخراج می‌شود. با شناسایی ناحیه متحرک شعله، پردازش‌های بعدی تنها روی این ناحیه برای شناسایی دقیق شعله انجام می‌گیرد و چون در این حالت ناحیه جستجو برای شعله کاهش می‌یابد پس می‌توان گفت که بار محاسباتی نیز بسیار کاهش یافته و دقت شناسایی افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل مشخص است به دلیل این‌که آتش روی یک ورقه آلومینیومی اجرا شده است، تصویر شعله روی ورقه منعکس می‌شود و این باعث بروز خطا در محاسبات خواهد شد. بنابراین پس از این‌که ناحیه متحرک تشخیص داده شد، ناحیه بازتاب آتش که به علت شرایط آزمایشگاهی ما ایجاد شده، به صورت دستی از تصویر حذف می‌شود (شکل (۱۲)) و تصاویر

جدول ۲: تخمین مساحت شعله با اندازه‌های مختلف

مساحت واقعی قسمت میانی شعله cm ²	مساحت هر پیکسل از تصویر (cm ² /per px)	فاصله شعله از لنز دوربین cm	تعداد پیکسل‌های قسمت میانی شعله	قسمت میانی شعله
151×0.826=124.726	0.826	334.08	151	
322×0.534=171.948	0.534	251.78	322	
752×0.239=179.727	0.239	168.5	752	



شکل ۱۴: برش تصویر برای استخراج ناحیه میانی شعله



شکل ۱۳: مقایسه تشخیص لبه شعله با الگوریتم‌های مختلف روی قسمت متحرک استخراج شده از تصاویر پایگاه داده

لبه‌یابی است، شناسایی شد با روش پیشنهادی در این مقاله قسمت میانی شعله را استخراج می‌کنیم. برای این کار پس از شناسایی و استخراج دقیق شعله، تصویر را دودویی می‌کنیم. برای دودویی کردن تصویر یک حد آستانه به صورت شهودی تعیین می‌کنیم. این حد آستانه برابر ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود یعنی پیکسل‌هایی که سطح خاکستری نرمالیزه شده آن‌ها بیشتر از ۰/۷ باشد به رنگ سفید و پیکسل‌هایی که سطح خاکستری نرمالیزه شده آن‌ها کمتر از ۰/۷ باشد به رنگ سیاه نشان داده می‌شوند. در این حالت تصویر نرمالیزه شده و شعله به رنگ سفید و پس زمینه به رنگ سیاه نشان داده می‌شود (شکل (۱۴-ب)). پس از دودویی کردن تصویر آن را به ۶ نوار مساوی به صورت افقی تقسیم می‌کنیم. این تقسیم در شکل (۱۴-پ) برای شعله‌های مختلف نشان داده شده است. سپس یک قسمت از بالا و یک قسمت از پایین را حذف می‌کنیم (شکل (۱۴-ت))، یعنی چهار قسمت میانی از شعله را انتخاب می‌کنیم.

روش حل شده و لبه‌ها با دقت بالایی پیدا می‌شوند و در نتیجه شعله با دقت بالایی شناسایی و استخراج می‌شود. با توجه به اهدافی که در بخش قبل برای روش کنی بیان شده است و تحقق این اهداف در لبه‌یابی، یعنی کاهش خطا در لبه‌یابی و تشخیص تمامی لبه‌های درست، تشخیص لبه‌های واقعی و حذف ریزلبه‌های نادرست اطراف لبه‌های واقعی و حذف لبه‌های نادرست ایجاد شده توسط نوفه، می‌توان گفت که روش کنی روشی است که در حین سادگی بسیار کارآمد است. بنابراین در این مقاله از روش کنی برای تشخیص لبه شعله و شناسایی شعله استفاده می‌کنیم و همانگونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود این روش در حین سادگی، دقت بالایی دارد.

۳،۴. نتایج به دست آمده از استخراج قسمت میانی شعله و تخمین اندازه لحظه به لحظه آن

حال پس از این‌که شعله آتش در تصاویر با ترکیب استخراج قسمت متحرک تصویر و تشخیص لبه شعله توسط الگوریتم لبه‌یاب کنی که یک روش بهینه برای

جدول ۳: تخمین مساحت شعله و مقایسه با مشاهدات عینی (اندازه واقعی شعله از تصویر ۱ تا ۸ رو به افزایش است)

ردیف	تصویر اصلی شعله	قسمت میانی شعله	مساحت واقعی قسمت میانی شعله cm^2	ردیف	تصویر اصلی شعله	قسمت میانی شعله	مساحت واقعی قسمت میانی شعله cm^2
۱			$82.236=0.534 \times 154$	۵			$289 \times 0.534=154.326$
۲			$83.838=0.534 \times 157$	۶			$323 \times 0.534=172.482$
۳			$89.178=0.534 \times 167$	۷			$358 \times 0.534=191.172$
۴			$118.014=0.534 \times 221$	۸			$392 \times 0.534=209.328$

در جدول (۳) نمونه‌ای از تصاویر شعله آورده شده است که همه آن‌ها در فاصله ۲۵۱/۷۸ از عدسی دوربین قرار دارند و مساحت هر پیکسل از این تصاویر برابر با ۰/۵۳۴ سانتی‌مترمربع است. در این شکل، در تصاویر گرفته شده در آزمایشگاه اندازه شعله از تصویر ۱ تا ۸ رو به افزایش است که نتایج شبیه‌سازی هم‌گویای این مشاهده عینی است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد که با افزایش اندازه شعله، مساحت محاسبه شده برای شعله از طریق پردازش تصویر نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً در بخش ۲ مطرح شد خطای کار در حد ۰/۰۵ سانتی‌متر مربع در هر پیکسل است که بر اساس جستجوی نویسنده کار مشابه در کارهای پیشین برای مقایسه این خطا یافت نشد. در کار مشابه ارائه شده در [۲۷] تنها تعداد پیکسل‌های شعله (کل شعله و نه بخش میانی آن) محاسبه می‌شود، ولی در روش پیشنهادی در این مقاله علاوه بر تعداد پیکسل‌ها، مساحت دقیق و واقعی بخش میانی شعله که اصلی‌ترین بخش شعله می‌باشد نیز محاسبه می‌شود. یافتن تنها تعداد پیکسل‌های شعله آتش در یک تصویر یک امر ضروری است ولی کافی نیست زیرا تعداد پیکسل در تصویر با دور و یا نزدیک شدن دوربین به جسم تغییر می‌کند و نمی‌تواند

در برخی موارد مانند دومین نمونه از شعله، پس از تقسیم پیکسل‌ها به ۶ قسمت مساوی، چون تعداد پیکسل‌ها بر ۶ بخش پذیر نیست و عدد به دست آمده گرد می‌شود ممکن است این مقدار گرد شده در پایین تصویر یک نوار باریک دیگر ایجاد کند که این نوار نیز در نهایت با نوار یک ششم پایینی حذف می‌شود و فقط ۴ ناحیه میانی به‌عنوان شعله محسوب می‌شوند. ناحیه میانی باقی مانده اصلی‌ترین ناحیه شعله است که برای تخمین اندازه لحظه به لحظه شعله از آن استفاده می‌کنیم. پس از این‌که ناحیه میانی شعله استخراج شد با شمردن تعداد پیکسل‌های سفید موجود در تصویر، اندازه لحظه به لحظه شعله تخمین زده می‌شود. بدین صورت که ابتدا بر اساس فاصله شعله از عدسی دوربین طبق معادله (۳)، مساحت هر پیکسل تخمین زده می‌شود. سپس تعداد پیکسل‌های سفید که نشانگر تعداد پیکسل‌های بخش میانی شعله است در اندازه هر پیکسل در آن تصویر ضرب می‌شود و مساحت نهایی و واقعی بخش میانی شعله به دست می‌آید. در جدول (۲) نتایج به دست آمده برای تخمین اندازه لحظه به لحظه شعله از طریق شبیه‌سازی برای چند شعله در فواصل مختلف از عدسی دوربین نشان داده شده است.

معیار کافی برای اقدامات مورد نیاز باشد که این مشکل در روش پیشنهادی این مقاله با پیدا کردن اندازه واقعی شعله با توجه به فاصله عدسی دوربین از شعله حل شده است. در کار ارائه شده در [۱۶] نیز روشی برای بازسازی شکل سه بعدی شعله آتش ارائه شده است که در این کار کل شکل شعله (هم بخش میانی شعله با بالاترین دما و هم بخش‌های دیگر شعله با دمای پایین و کم خسارت) بازسازی می‌شود که در مقایسه، در روش ارائه شده در این مقاله تنها قسمت میانی شعله با بیشترین مقدار دما و در نتیجه با بیشترین خسارت شناسایی شده و اندازه دقیق آن به سانتی‌متر مربع به دست می‌آید که این محاسبه دقیق و واقعی برای تخمین مساحت بخش میانی شعله نه تنها برای فعال‌سازی آژیر خطر در زمان مناسب بسیار کاربرد دارد و نرخ آژیر خطر نادرست را به حداقل می‌رساند بلکه در صنعت نیز بسیار مفید می‌باشد. نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که با این‌که بازسازی شکل سه بعدی در [۱۶] می‌تواند مفیدتر از ارائه شکل دو بعدی باشد اما در آن نیاز به وجود دو دوربین می‌باشد که باعث افزایش هزینه، پیچیدگی و زمان پاسخ‌گویی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای شناسایی شعله آتش و تعیین اندازه لحظه به لحظه شعله برای به صدا درآمدن به موقع آژیر خطر درست پیشنهاد شده است. برای این کار ابتدا به ایجاد پایگاه داده تصویر شعله پرداختیم. این پایگاه داده در یک محیط آزمایشگاهی فیلم‌برداری شده و از تصاویر شعله‌ای که لحظه به لحظه اندازه آن در حال تغییر است (از اندازه کوچک به بزرگ) تشکیل می‌شود. ایجاد چنین پایگاه داده‌ای که می‌تواند اندازه دو بعدی شعله‌ای را که در حال تغییر اندازه است نشان دهد در مطالعه حاضر بسیار مفید بوده و در مطالعات آینده نیز می‌تواند در کاربردهای فراوانی از آن استفاده کرد. پس از تشکیل این پایگاه داده به ارائه روشی برای شناسایی

سریع و دقیق شعله پرداختیم. بدین منظور ابتدا با استفاده از تشخیص حرکت در تصویر، قسمت متحرک تصویر را استخراج کردیم. پس از شناسایی و استخراج ناحیه متحرک که در آن شعله آتش وجود دارد، روی این ناحیه الگوریتم تشخیص لبه کنی را پیاده‌سازی کردیم. این لبه‌یابی در تصویر طوری انجام گرفت که تنها شعله آتش لبه‌یابی شود. سپس شعله آتش را که به صورت تصویر دو بعدی درآورده‌ایم را به ۶ نوار افقی مساوی تقسیم کرده و یک قسمت از بالا و یک قسمت از پایین شعله را حذف نمودیم. با این کار به طور تقریبی ناحیه میانی شعله که اصلی‌ترین ناحیه شعله محسوب می‌شود را استخراج کردیم. پس از استخراج ناحیه میانی شعله، با محاسبه تعداد پیکسل‌های شعله و به دست آوردن مساحت آن نواحی، توانستیم اندازه دو بعدی لحظه به لحظه بخش میانی شعله را محاسبه کنیم که می‌تواند در صنعت کاربردهای فراوانی داشته باشد. با مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی برای تعیین اندازه بخش میانی شعله و مشاهدات عینی و عملی، نتیجه گرفتیم که روش پیشنهادی از دقت بالایی برخوردار است و عملکرد بسیار خوبی دارد و کارآمد است. به علاوه در این مقاله با تعیین اندازه دو بعدی بخش میانی شعله می‌توان تعداد آژیرهای خطر نادرست را به حداقل رساند و فرمان فعال‌سازی آژیر خطر را به موقع و دقیق صادر کرد.

مراجع

- [1] S. M. Razmi, N. Saad, and V. S. Asirvadam, "Vision-based flame analysis using motion and edge detection," in *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 1-4.
- [2] "Fire and Gas Protection Systems Part3," PETRONAS Fire and Gas Protection Systems, 2009.
- [3] M. Kandil and M. Salama, "A new hybrid algorithm for fire vision recognition," in *EUROCON 2009, EUROCON'09. IEEE*, 2009, pp. 1460-1466.
- [4] L. Peixun, "All-weather fire detection system based on video surveillance," Master degree thesis. Jilin University, 2011.
- [5] W. Wang and H. Zhou, "Fire detection based on flame color and area," in *Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2012 IEEE International Conference on*, 2012, pp. 222-226.

- [22]K. Muhammad, S. Khan, M. Elhoseny, S. H. Ahmed, and S. W. Baik, "Efficient Fire Detection for Uncertain Surveillance Environment," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, pp. 3113-3122, 2019.
- [23]Y. Wu, Y. He, P. Shivakumara, Z. Li, H. Guo, and T. Lu, "Channel-wise attention model-based fire and rating level detection in video," *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 4, pp. 117-121, 2019.
- [24]F. Bu and M. S. Gharajeh, "Intelligent and vision-based fire detection systems: A survey," *Image and Vision Computing*, vol. 91, p. 103803, 2019.
- [25]R. D. P. Hemangi Tawade "Optimized Fire Detection Using Image Processing Based Techniques," *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSE-TR)*, vol. 4, 2015.
- [26]M. Wirth and R. Zaremba, "Flame region detection based on histogram backprojection," in *Computer and Robot Vision (CRV)*, 2010 Canadian Conference on, 2010, pp. 167-174.
- [27]Q. Jiang and Q. Wang, "Large space fire image processing of improving canny edge detector based on adaptive smoothing," in *Innovative Computing & Communication*, 2010 Intl Conf on and Information Technology & Ocean Engineering, 2010 Asia-Pacific Conf on (CICC-ITOE), 2010, pp. 264-267.
- [6]Y. Yan, Z. Guo, and H. Wang, "Fire detection based on feature of flame color," in *Pattern Recognition, 2009. CCPR 2009. Chinese Conference on*, 2009, pp. 1-5.
- [7]J. Chen, Y. He, and J. Wang, "Multi-feature fusion based fast video flame detection," *Building and Environment*, vol. 45, pp. 1113-1122, 2010.
- [8]W.-B. Horng and J.-W. Peng, "A fast image-based fire flame detection method using color analysis," , vol. 11, pp. 273-285, 2008.
- [9]Z. Junying and D. Xiaoxiao, "Image recognition technology in fire detection," *Fire Science and Technology*, vol. 26, pp. 417-420, 2007.
- [10]L. Ding, X. Ding, and C. Fang, "Continuous pose normalization for pose-robust face recognition," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 19, pp. 721-724, 2012.
- [11]Y. Y. Yan, S. B. Gao, H. Y. Wang, and Z. B. Guo, "Contour extraction of flame for fire detection," in *Advanced Materials Research*, 2012, pp. 1106-1110.
- [12]S. Noda and K. Ueda, "Fire detection in tunnels using an image processing method," in *Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, 1994. Proceedings., 1994, 1994, pp. 57-62.
- [13]W. Phillips Iii, M. Shah, and N. da Vitoria Lobo, "Flame recognition in video," *Pattern recognition letters*, vol. 23, pp. 319-327, 2002.
- [14]N. True, "Computer vision based fire detection," *University of California, San Diego, San Diego*, 2008.
- [15]C.-B. Liu and N. Ahuja, "Vision based fire detection," in *Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on*, 2004, pp. 134-137.
- [16]B. Ko, J.-H. Jung, and J.-Y. Nam, "Fire detection and 3D surface reconstruction based on stereoscopic pictures and probabilistic fuzzy logic," *Fire Safety Journal*, vol. 68, pp. 61-70, 2014.
- [17]R. Chi, Z.-M. Lu, and Q.-G. Ji, "Real-time multi-feature based fire flame detection in video," *IET Image Processing*, vol. 11, pp. 31-37, 2016.
- [18]M. Hashemzadeh and A. Zademehti, "Fire detection for video surveillance applications using ICA K-medoids-based color model and efficient spatio-temporal visual features," *Expert Systems with Applications*, vol. 130, pp. 60-78, 2019.
- [19]T. Wang, L. Bu, Z. Yang, P. Yuan, and J. Ouyang, "A new fire detection method using a multi-expert system based on color dispersion, similarity and centroid motion in indoor environment," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 7, pp. 263-275, 2019.
- [20]K. Muhammad, J. Ahmad, and S. W. Baik, "Early fire detection using convolutional neural networks during surveillance for effective disaster management," *Neurocomputing*, vol. 288, pp. 30-42, 2018.
- [21]K. Muhammad, J. Ahmad, Z. Lv, P. Bellavista, P. Yang, and S. W. Baik, "Efficient deep CNN-based fire detection and localization in video surveillance applications," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 49, pp. 1419-1434, 2018.