اویل ایندستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

پردازش تصویر، تکنیکی نوین در خدمت صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

محمود محمدی[۱]، وحید محمدپور کاریزکی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه مهندسی فناوریهای نوین قوچان؛ m2che@hotmail.com
[۲]استادیار، دانشگاه مهندسی فناوریهای نوین قوچان؛ mohammadpour_vahid@yahoo.com

چکیده

پردازش تصویر یکی از جدیدترین فناوری‌های حال حاضر دنیا می‌باشد. این فناوری به سرعت به یکی از پرکاربردترین علوم در تمامی‌زمینه‌ها تبدیل شده است. پردازش تصویر با ورود خود به تمامی علوم رخنه کرده و کاربردهای فراوانی در انواع زمینه‌ها دارد. همانند محققان سایر علوم، مانند پزشکی، کشاورزی، صنایع غذایی، هوا و فضا و غیره، که از تکنیک پردازش تصویر در کاربردهای مختلف استفاده می‌کنند، محققان صنایع نفت، گاز و پتروشیمی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و کارهای مثبتی در این زمینه به انجام رسانیده‌اند. کارهایی نظیر ارزیابی و نظارت احتراق (برای کنترل و تشخیص عیوب)، بررسی و تشخیص خوردگی، اکتشاف منابع نفت و گازی، تعیین خصوصیات مواد با استفاده از تصاویر در مقیاس میکرومتر (مثل مواد متخلخل)، کنترل کیفیت محصولات به خصوص در صنایع فرآیندی محصولات جامد مثل پالپ کاغذ و ورق‌های پلیمری، شناسایی مخاطرات زیست محیطی ناشی از نشتی‌های خطوط لوله و ... انجام شده‌اند. در کار حاضر پس از بررسی اصول کلی پردازش تصویر به برخی کاربردهای اخیر این فناوری در مباحث مهندسی شیمی و نفت و نحوه اجرای انواع تکنیک‌های پردازش تصویر در زمینه‌های مختلف پرداخته شده است.

کلمات کلیدی

پردازش دیجیتال تصویر، بویلر، شعله، ارزیابی و نظارت، خوردگی، کنترل کیفیت، نشت

Image Processing, New Technology in Serve of Oil, Gas & Petrochemical Industries

Mahmood Mohammadi[1], Vahid Mohammadpour Karizaki[2]

1, 2- Chemical Engineering Department, Quchan University of Advanced Technologies, Quchan, Khorasan Razavi, Iran

ABSTRACT

Image Processing (IP) is one of the newest technologies in the world. This knowledge quickly becomes one of the most widely used in all fields of science and it has many applications. Oil, gas and petrochemical industries researchers done positive things by using image processing techniques just like other researchers, such as medicine, agriculture, food processing, aerospace, etc., which used image processing techniques in various application. Combustion monitoring (to monitor and detect flaws), check and detect corrosion, oil and gas exploration, characterization of materials using micrometer-scale images (such as porous materials), quality control (particularly in the process industries for solid products such as paper pulp and polymer slab), identify environmental hazards caused by leaking pipes, etc. are done. In present work, after describe basic concept of image processing, some of recent applications in chemical and petroleum engineering and method to perform various image processing techniques in various fields have been discussed.

Keywords

Digital Image Processing, Boiler, Flame, Monitoring, Corrosion, Quality Control, Leakage

[i] محمود محمدی- خراسان رضوی- قوچان- دانشگاه مهندسی فناوریهای نوین قوچان؛ تلفن: ۰۵۱-۴۷۳۴۴۰۰۱ ؛ نمابر: ۰۵۱-۴۷۳۴۳۰۰۱

۱- مقدمه

پردازش تصویر یکی از جدیدترین تکنولوژی‌های حال حاضر دنیا می‌باشد که به سرعت به یکی از پرکاربردترین علوم در تمامی زمینه‌ها تبدیل شده است. در حال حاضر سیستم‌های کنترل شده بسیاری را می‌توان یافت که در آن از علم پردازش تصویر استفاده شده است. سیستم‌های کنترلی که با این علم در ارتباط هستند ماشین‌های بینایی[۱] نامیده می‌شوند [۱]. از جمله کاربردهای صنعتی پردازش تصویر می‌توان بازرسی و کنترل کیفیت، اندازه گیری، هدایت روبات، کنترل فرآیند، شناسایی قطعات، بازشناسی حروف و علائم و غیره، را نام برد. امروزه با پیشرفت سیستمهای تصویر برداری و الگوریتم‌های پردازش تصویر شاخه جدیدی در کنترل کیفیت و ابزار دقیق به وجود آمده است و هر روز شاهد عرضه سیستمهای تصویری پیشرفته برای سنجش اندازه، کالیبراسیون، کنترل اتصالات مکانیکی و افزایش کیفیت تولید هستیم. بینایی، یکی از پیشرفته ترین حس‌های انسانی است، لذا تصاویر مهم ترین نقش را در ادراک انسان‌ها دارا می‌باشند. بر خلاف دید انسان، که محدود به باند بصری طیف الکترومغناطیسی (EM) است، ماشین‌های بینایی تقریباً کل طیف EM، از گاما تا امواج رادیویی، را پوشش می‌دهند و به همین دلیل است که گستره وسیع و حوزه متنوعی از کاربردها را در بر می‌گیرند [۳-۱].

با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر می‌توان دگرگونی اساسی در خطوط تولید ایجاد کرد. پیاده سازی بسیاری از فرآیندهای صنعتی که تا چند دهه پیش دور از انتظار بود، هم اکنون با بهره گیری از پردازش هوشمند تصاویر به مرحله عمل رسیده‌اند. علاقه به پردازش تصویر از دو جهت ناشی می‌شود؛ یکی بهبود اطلاعات تصویری برای تفسیر انسان و دیگری پردازش داده‌های تصویر برای ذخیره سازی، انتقال و استفاده برای مکانیزه نمودن خطوط تولید و کنترل. امروزه هیچ بخشی از شاخه‌های فنی وجود ندارد که به نوعی تحت تاثیر پردازش دیجیتال تصویر قرار نداشته باشد. پردازش تصویر شامل تکنیک‌ها و الگوریتم‌هایی برای پردازش دیجیتال تصویر است. از آنجایی که در جامعه مدرن تصاویر دیجیتال نقش مهمی ایفا می‌کنند، پردازش تصویر کمک بسیار بزرگی به علم و فناوری است. امروزه استفاده از تکنولوژی ماشین بینایی و تکنیک‌های پردازش تصویر کاربرد گسترده‌ای در صنعت پیدا کرده است و کاربرد آن روز به روز گسترده‌تر می‌شود [۱، ۴]. پردازش تصویر شامل تکنیک‌های بسیاری مثل الگوشناسی، استخراج ویژگی، تطبیق الگو و تشخیص لبه برای پردازش دیجیتال تصاویر است. بازرسی‌های دستی با استفاده از پردازش تصویر به حالت اتوماتیک درمی‌آیند. اتوماسیون بازرسی‌های چشمی در صنعت، به منظور کنترل کیفیت محصولات بسیار مهم است [۳-۱].

کارهای بسیاری در زمینه‌های مختلف و با استفاده از پردازش تصویر، توسط محققین مهندسی شیمی انجام گرفته است. در نوشتار حاضر پس از بررسی اصول کلی پردازش تصویر به برخی کاربردهای اخیر این تکنولوژی در مباحث مهندسی شیمی و نفت و نحوه اجرای انواع تکنیک‌های پردازش تصویر در زمینه‌های مختلف پرداخته شده است.

۲- اصول کلی پردازش تصویر

حوزه پردازش تصویر دیجیتال، پردازش تصاویر به وسیله کامپیوتر است. باید توجه داشت که تصویر دیجیتال، مرکب از تعداد متناهی از عناصر است که هر کدام دارای مکان و مقدار خاصی هستند. این عناصر را به صورت متداول پیکسل[۲] می‌نامند. تهیه تصویر اولین مرحله تکنیک‌های بررسی بصری است. وجود اختلال[۳] در تصویر نیز از همین مرحله شروع می‌شود. برای به دست آوردن تصویر، نیمه رساناهای متمم فلزی اکساید (CMOS) [۸] و دستگاه شارژ جفت شده (CCD) [۹] دستگاه‌هایی هستند که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش تصویربرداری CCD در گذشته به خاطر محدوده دینامیکی بالا، نویز با الگوی ثابت پایین‌تر، فاکتور پر کردن[۴] بیشتر و همچنین حساسیت بیشتر به نور نسبت به نوع CMOS، به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گرفت [۹]. با این وجود در طول دهه گذشته ذخیره سازی سنسور CMOS در هر پیکسل ارتقاء یافته است که به عنوان سنسورهای پیکسل فعال (APS) شناخته می‌شوند. تکنولوژی APS موجب افزایش سرعت زیادی در تصویربرداری می‌شود [۱۰]. خصوصیات و شرایط مساله مورد بررسی، مشخص کننده تکنیک‌های پردازش تصویری است که باید مورد استفاده قرار گیرد. رویه‌های کلی پردازش تصویر عبارتند از: هم ترازسازی[۵] تصویر، ترمیم تصویر، افزایش کنتراست[۶]، آستانه سازی و کاهش یا تفریق[۷] تصویر [۳-۱].

اکثر فعالیت‌های در زمینه پردازش تصویر شامل روش‌هایی است که با استفاده از آنها تصویر را تغییر داده و اصلاح نموده تا تصویر از نظر بصری جذاب‌تر شود و یا اینکه اطلاعاتی همچون شکل‌ها، مرزها یا موقعیت خصوصیات مختلف قابل مشاهده را از آن استخراج کرد. در این مفهوم تکنیک‌های پردازش تصویر مرسوم به عنوان سیستم‌های بینایی خودکار، عملیات را بسیار دقیق‌تر و سریع‌تر از اپراتورهای انسانی اجرا می‌کنند [۷-۵].

پس از مسائل مربوط به بهبود تصویر مساله مهمی که در زمینه پردازش تصویر موجود می‌باشد، در مورد استخراج اطلاعات دقیق از تصویر است (غالباً در مواردی که با چشم انسان قابل تشخیص نیستند) که در اکثر موارد به کیفیت محصول مرتبط‌اند. پس از اینکه نواحی مورد نظر و مطلوب در تصاویر به دست آمدند، می‌توان اهداف مورد نظر در تصاویر را مورد تجزیه و تحلیل بیشتری قرار داد و پس از اندازه‌گیری خصوصیات‌شان، آنها را توصیف نمود و از اطلاعات به

دست آمده برای اهداف دیگر، به خصوص کنترل، بهره برد. همچنین می‌توان از مقایسه اطلاعات به دست آمده از پیش پردازش تصویر با دانسته‌های قبلی راجع به اهداف مشخص، دسته بندی‌هایی انجام داد و سپس اندازه‌گیری ویژگی‌ها را به صورت جداگانه و برای هر دسته به صورت مجزا انجام داد. اکثر سیستم‌های تجزیه و تحلیل، حداقل چند اندازه‌گیری در هر دسته بندی انجام داده و خروجی عددی مناسبی برای آنالیز تصویر مورد مطالعه به دست می‌آورند.

۳- کاربردهای پردازش تصویر در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

با مروری بر مقالات منتشر شده می‌توان کاربردهای بسیاری از پردازش تصویر را در علوم مختلف مانند پزشکی [۱۱]، کشاورزی [۱۲]، صنایع غذایی [۱۳، ۱۴]، هوا فضا [۱۵] و ... مشاهده کرد. محققان صنایع نفت، گاز و پتروشیمی نیز پژوهش‌های گوناگونی را در این زمینه به انجام رسانیده اند. فعالیت‌هایی نظیر ارزیابی و نظارت احتراق (برای کنترل و تشخیص عیوب) [۲۷-۱۶]، بررسی و تشخیص خوردگی [۳۰-۲۸]، اکتشاف منابع نفت و گازی [۳۱]، تعیین خصوصیات مواد با استفاده از تصاویر در مقیاس میکرومتر (مثل مواد متخلخل) [۳۶-۳۲]، کنترل کیفیت محصولات به خصوص در صنایع فرآیندی محصولات جامد مانند پالپ کاغذ و ورق‌های پلیمری [۳۹-۳۷]، از جمله موارد قابل اشاره هستند.

بدین منظور مجموعه ای از تکنیک‌ها با تبعیت از آنالیز چند متغیره تصویر (MIA) به کار برده شده است [۴۰]. روش MIA توسعه یافته روش‌های آماری چند متغیره مانند آنالیز اجزای اساسی (PCA) و حداقل مربعات جزئی (PLS) می‌باشد. در این روش بسیاری از تجزیه و تحلیل‌ها در فضای ویژگی نهفته است و نه در فضای تصویر [۴۰، ۴۱]. اگرچه اغلب روش‌های MIA برای آنالیز تصاویر به صورت منفرد به کار برده شده است، مطالعاتی نیز وجود دارد که نشان از توانایی بالقوه این روش‌ها برای ارزیابی و نظارت تصاویر متغیر با زمان می‌باشد [۴۰].

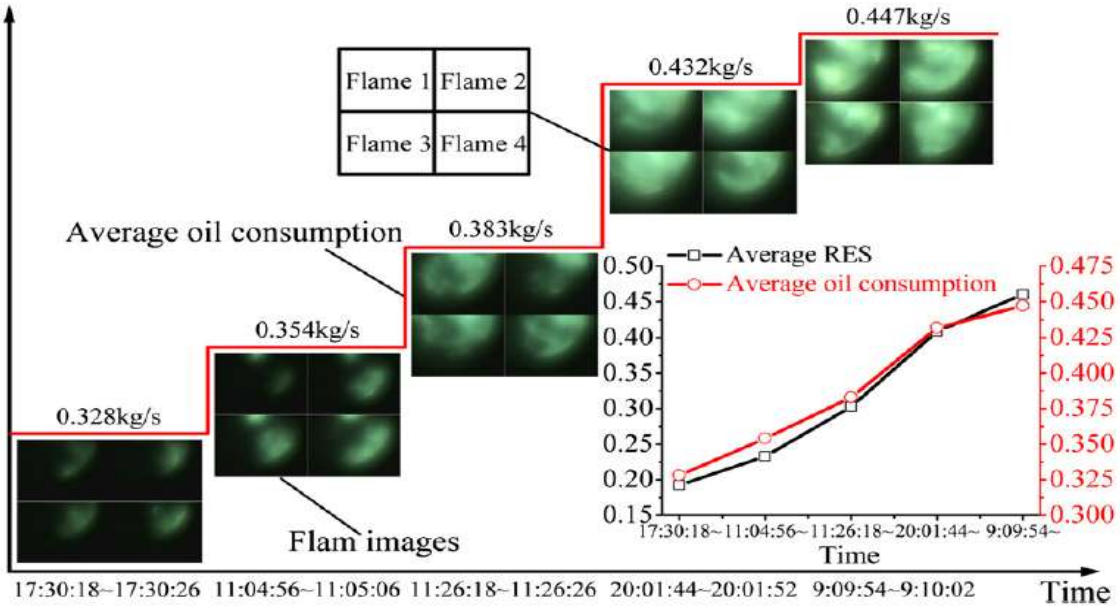
در اغلب دوربین‌های الکترونیکی مورد استفاده، رنگ هر پیکسل با مقادیر عددی، به طور معمول صحیح بین صفر تا ۲۵۵، کانال‌های رنگی قرمز، سبز و آبی (RGB)، مشخص می‌شود. بنابراین یک تصویر رنگی را می‌توان توسط یک ماتریس سه بعدی مشخص کرد. دو بعد ماتریس مختصات فضایی، و بعد سوم مربوط به کانال رنگ است. بدون در نظر گرفتن مختصات فضایی پیکسل، می‌توان ماتریس تصویر را به صورت یک ماتریس دو بعدی بیان نمود [۲، ۳]. با استفاده از اطلاعات شدت رنگ و نور (اطلاعات پیکسلی) موجود در این ماتریس‌ها می‌توان اطلاعات بسیاری از تصاویر به دست آورد و برای کاربردهای گوناگون مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در ادامه به مواردی از کاربرد تکنیک‌های مختلف پردازش تصویر در تجزیه و تحلیل تصاویر در علوم مهندسی شیمی و نفت و گاز پرداخته شده و به طور کلی رویه مورد استفاده در مطالعات اخیر در زمینه‌های مختلف مرتبط با این حوزه، شرح داده شده است.

۳-۱- ارزیابی و نظارت احتراق

ارزیابی سیستم‌های احتراق، از آنجایی که در بهبود عملکرد سیستم نقش دارد، مساله‌ای مناسب و مورد توجه است. پس از انجام ارزیابی می‌توان اصلاحاتی روی سیستم انجام داد تا عملکرد و بهره‌وری آن افزایش یابد. محققان پیشرفت‌های قابل توجهی در ارزیابی و نظارت احتراق و تشخیص عیوب توسط تکنیک‌های پردازش تصویر شعله به دست آورده‌اند. به عنوان مثال مدل سه بعدی (3-D) دمای شعله و خصوصیات ساختار نمای شعله مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۹-۱۷]. بالدینی و همکاران یک الگوریتم سه مرحله ای برای تجزیه و تحلیل تصویر رنگی شعله با هدف آنالیز غیر مستقیم فرآیند سوختن و پارامترهای کنترلی آن، شرح داده‌اند. این الگوریتم مناطق مورد نظر و مناسب را استخراج، از یک روش خوشه بندی در فضای رنگی RGB استفاده کرده و نواحی زائد شناسایی و حذف می‌گردند. سپس عملگرهای مورفولوژی لازم در تصویر اعمال می‌شوند و پارامترهای هندسی مختلف برای هر تصویر محاسبه می‌شود. در نهایت این الگوریتم برای هر پارامتر تابع زمانی و طیف فرکانسی تولید می‌کند. طیف تولید شده ناپایداری شعله پیش مخلوط شده را به خوبی پیش‌بینی می‌کند [۲۲]. ترینداد و همکاران روشی برای ارزیابی سیستم احتراق گاز پیشنهاد نموده‌اند. آنها پس از تهیه تصویر رنگی (RGB) از شعله با استفاده از دوربین CCD، توزیع فضایی نسبت هم ارزی شعله را مورد ارزیابی قرار داده و سپس با استفاده از یک الگوریتم پردازش تصویر، با استفاده از تصویر شعله اطلاعات مربوط به حالت احتراق را در سیستم احتراق گازهای متان و پروپان به دست آوردند [۲۳].

با استفاده از فناوری پردازش تصویر شعله، سطوح دمایی دو یا سه بعدی و سیگنال‌های انرژی تابشی را می‌توان بلافاصله و همزمان به دست آورد. چو و همکاران توزیع جریان گرمایی تابشی درون سطوح دیواره آب را از توزیع سه بعدی دما به دست آوردند [۲۴]. گووائی و همکاران با آزمایشهای پردازش تصویر شعله در زمان‌های متفاوت و با مقادیر مختلف میزان دبی نفت مصرفی در دیگ‌های بخار، خصوصیات شعله در این دیگ‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها یک سیستم آشکارسازی شعله طراحی و با موفقیت روی بویلر فرا شارژ شده یک کشتی برای ارزیابی و نظارت سریع و همزمان با سوختن درون کوره نصب کردند [۲۵].

سیگنال انرژی تابشی (RES) نشان دهنده قدرت انرژی تابش شده از شعله به سطح کوره می‌باشد [۴۲]. مقدار RES به صورت خیلی نزدیک و خطی با دبی جرمی سوخت یا شدت حرارت آزاد شده داخل کوره تغییر می‌کند. از آنجایی که زمان اقامت سوخت درون کوره بسیار کوتاه است، RES توانایی دارد تغییر در شدت احتراق را به سرعت منعکس کند.



شکل (۱) تصاویر شعله و مقدار RES محاسبه شده در زمانهای مختلف همراه با تغییر در میانگین دبی سوخت نفت بر اساس پژوهش گووائی و همکاران [۲۵]

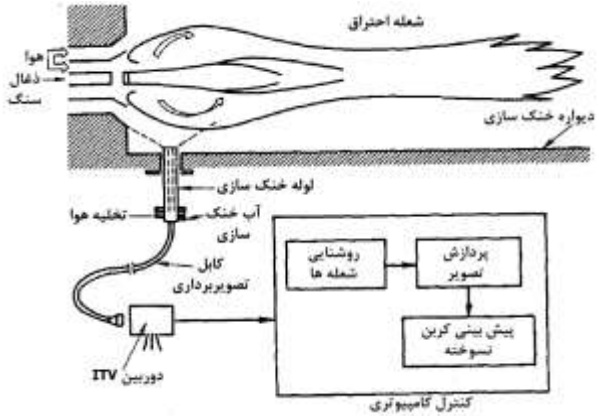
این مبنای استفاده از RES در پژوهش گووائی و همکاران، به عنوان یک سیگنال پسخور برای طراحی استراتژی کنترل می‌باشد [۴۲، ۴۳]. گوائی و همکاران با استفاده از تصاویر شعله در زمانهای مختلف، که برای گرفتن تصاویر در آزمایش از سیستم آشکار ساز شعله با دوربین CCD استفاده نمودند، مقدار RES موثر را از روی تصویر خاکستری بر اساس تابعیتی از شدت رنگ‌ها (تصویر دو بعدی شامل i×j پیکسل) و با استفاده از رابطه ۱ به دست آوردند [۲۵].

$$RES = \sum_{i,j=1}^{I,J} \left[0.11R_{i,j} + 0.59G_{i,j} + 0.3B_{i,j} / 255 \right] / I.J \qquad (۱)$$

که در رابطه ۱، $R_{i,j}$، $G_{i,j}$ و $B_{i,j}$ به ترتیب نمایانگر اطلاعات قرمز، سبز و آبی (RGB) هر پیکسل می‌باشند. گاهی اوقات که حجم شعله نسبت به اندازه کل تصویر بسیار کوچک بوده با استفاده از روش لبه موثر [۱]، شعله درون تصویر تعیین شده است [۲۵]. شکل ۱ نشان دهنده تعدادی از تصاویر شعله در زمان‌های مختلف و در شدت‌های مختلف نفت سوخته شده، بر اساس پژوهش گووائی و همکاران، می‌باشد که منحنی قرمز نشان دهنده شدت نفت مصرفی است. آنها با مقایسه مقدار نفت سوخته شده با روشنایی تصویر شعله نشان دادند که روشنایی به طور کاملاً آشکار با افزایش دبی سوخت مصرفی افزایش می‌یابد و انرژی تابشی بیشتری از این فرآیند احتراق آزاد می‌شود. گووائی و همکاران با استفاده از تکنیک پردازش تصویر شعله نشان دادند که احتراق ناپایا و انحراف شعله در بویلر با شدت شارژ بالای کشتی‌ها معمول‌ترند و باعث انتقال حرارت غیر یکنواخت درون کوره می‌شود، که ممکن است منجر به اتفاقاتی جدی نظیر گرمایش بیش از حد و انفجار لوله‌های بویلر و آبزدایی از مخزن شود. فناوری آشکارسازی شعله که برای ارزیابی و نظارت همزمان احتراق درون کوره چنین بویلرهایی گسترش یافته است، بر مبنای دانش فنی قوی برای حل مشکلات فوق می‌باشد [۲۵].

شیمودا و همکاران روشی برای پیش بینی کربن نسوخته در یک دیگ بخار با سوخت ذغال سنگ را با استفاده از روش پردازش تصویر توسعه داده‌اند. روش کار آنها شامل یک واحد پردازش تصویر و یک واحد مدل کوره بوده است. چنین سیستمی می‌تواند متغیرهای قابل تنظیم[۸] دیگ‌های بخار، ترکیب گاز دودکش و شعله‌های آتش را اندازه‌گیری کند و آنها را در یک نمایشگر به منظور تعیین وضعیت احتراق برای اپراتور به نمایش درآورد [۲۷]. آنها همچنین در کار دیگری با استفاده از تکنیک پردازش تصویر دمای شعله را اندازه‌گیری نموده و از آن در به دست آوردن میزان انرژی تشعشعی و متعاقباً تعیین شدت احتراق و غلظت اکسیژن درون شعله استفاده نمودند [۲۷]. شماتیک سیستم مورد استفاده شیمودا و همکاران در اندازه‌گیری شعله‌های احتراق در شکل ۲ نشان داده شده است.

در این سیستم تصویر شعله توسط کابلی از لنز به دوربین انتقال یافته و پس از آن با تکنیک پردازش تصویر روشنایی شعله احتراق اندازه‌گیری شده و از آن در پیش‌بینی کربن سوخته نشده استفاده شده است. کابل موجود در سیستم توسط آب خنک می‌شود تا از بروز مشکلات در اثر حرارت زیاد جلوگیری شود، و همچنین سطح لنز توسط شیشه کوارتز پوشانده شده است که با استفاده از جریان هوا آن را از خاک و دود معلق در هوا، به منظور بهتر شدن کیفیت تصویر، پاکسازی می‌نماید. اطلاعات تصاویر گرفته شده از شعله پس از میانگین‌گیری در یک بازه زمانی خاص، با استفاده از گرماسنجی دو رنگی که از تکنیک پردازش تصویر برای تعیین آن استفاده می‌شود، به یک تصویر توزیع دما تبدیل می‌شوند [۲۷].



شکل (۲) شماتیک سیستم مورد استفاده شیمودا و همکاران در پیش بینی کربن نسوخته در احتراق [۲۷]

یو و مک گرگور از تکنیک پردازش تصویر برای پیش بینی محتوای حرارت جریان سوخت زائد و غلظت NOx و SO_2 در جریان دود خروجی در یک سیستم بویلر استفاده نموده و همچنین با استفاده از این اطلاعات برای ارزیابی و نظارت و کنترل بهره برده اند [۴۴].

۳-۲- ارزیابی، نظارت و کنترل فرآیندهای با محصولات جامد

در دسترس بودن سنسورهای حاوی اطلاعات مفید، ارزان و قوی یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای ارزیابی و نظارت موفق و کنترل فرآیندهاست. در صنعت پتروشیمی پیشرفت‌های سریعی در مدل چند متغیره پیش بینی کنترل حاصل شده است، که این پیشرفت مدیون در دسترس بودن و فراوانی سنسورهای حاوی اطلاعات مفید و ارزانی مثل ترموکوپل‌ها، مبدل‌های فشار، دبی سنج‌ها، pH سنج و مشخص‌کننده یون و کروماتوگراف گاز، می‌باشد [۴۵]. این، نتیجه مستقیم این واقعیت است که جریان‌های عمده در فرآیندهای پتروشیمی از گازهای کاملاً مخلوط و مایعاتی تشکیل شده که باعث شده اند استفاده از چنین سنسورهایی بسیار آسان گردد. اما از طرفی در صنعت فرآیندهای مواد جامد، به خاطر فقدان چنین سنسورهایی، موفقیت کمتری در پیاده سازی کنترل پیشرفته به دست آمده است. در صنایعی که محصولات به شکل جامد تولید می‌کنند، به طور کلی خصوصیات محصول به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری می‌شود. به این صورت که نمونه‌ها به صورت دستی جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند [۴۵، ۴۶]. روند تجزیه و تحلیل اغلب مستلزم آن است که نمونه‌ها خراب شوند و همچنین این روند وقت‌گیر بوده و انرژی انسانی زیادی می‌طلبد [۴۶]. با این حال با ظهور دوربین‌های دیجیتال ارزان قیمت طی دهه اخیر، همه چیز به سرعت در حال تغییر است. اگر سیستم‌های مقرون به صرفه تصویربرداری دیجیتال را بتوان به طور موثر برای استخراج اطلاعات مناسب از رفتار یک فرآیند یا در تعیین کیفیت محصول مورد استفاده قرار داد، سپس می‌توان با استفاده از آن به یک نرم افزار سریع‌تر از کنترل‌های پیشرفته در صنایع فرآیندی تولید محصولات جامد مانند پالپ کاغذ، ورق و فیلم‌های پلیمری و محصولات غذایی دسترسی پیدا کرد [۴۸-۴۶].

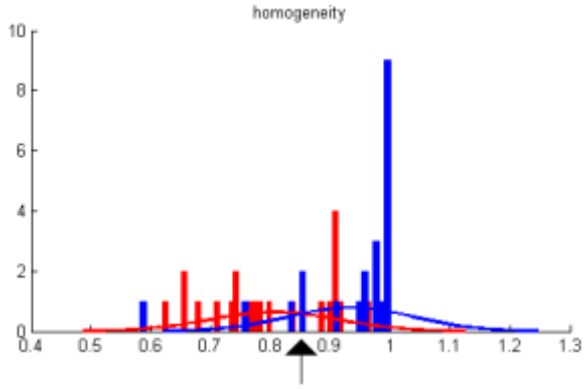
۳-۳- تشخیص خوردگی

تشخیص مناطق خورده شده در طول زمان با استفاده از روش‌های مختلف بازرسی به طوری که بتوان اقدامات مناسبی برای جلوگیری از بروز هرگونه حوادث نامطلوب انجام داد، بسیار مهم می‌باشد. روش ارزیابی غیر مخرب تا حد زیادی برای بازرسی مخازن ذخیره سازی و خطوط لوله، بدون اخلال در خواص و عملکرد آنها، در صنعت نفت استفاده می‌شود [۴۹]. تجزیه و تحلیل خوردگی با استفاده از پردازش دیجیتال تصویر گامی مهم در توسعه یک سیستم تشخیص خوردگی غیر مخرب است. نتایج تجربی محققان نشان می‌دهد که سطوح خورده شده در تصاویر را می‌توان به درستی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر دیجیتال تقسیم بندی و مشخص کرد [۳۰-۲۸].

زمانی که بافت[۹] برای شناسایی اجسام در یک تصویر به کار می‌رود، بسیار حائز اهمیت است. تقریباً برای تمام انواع مواد، فرآیند خوردگی یک ساختار سطحی زبر معمولی تولید می‌کند. الگوهای بافت در این سطح مشخص کننده انواع مختلف خوردگی می‌باشد [۲۹]. برای توصیف و بخش بندی ناحیه خورده شده درون یک تصویر، از روش‌های تشخیص الگو استفاده می‌شود، که این کار با طبقه‌بندی پیکسل‌ها با توجه به ویژگی بافت انجام می‌پذیرد. از این شیوه می‌توان استفاده نمود و سیستم‌های هوشمند و قابل آموزشی طراحی کرد که پس از تعریف و شناسایی یک الگوی خاص در آن، الگوهای بافت نامطلوب را با استفاده از آن مورد ارزیابی قرار داد [۲۸، ۲۹]. پس از تقسیم بندی نواحی خورده شده و بدون خوردگی با استفاده از ویژگی‌های بافت، می‌توان سیستم رباتیک خودکاری برای شناسایی خوردگی توسعه داد که در انواع مختلف طرح‌های کاربردی بازرسی در صنایع مفید می‌باشد.

مدیروس و همکاران تجزیه و تحلیلی جدید از خوردگی سطوح را با استفاده از تکنیک پردازش دیجیتال تصویر ارائه داده اند. آنها از یک ماتریس مربوط به سطح خاکستری تصویر برای استخراج ویژگی‌های بافت تصویر (مثل انرژی، آنتروپی، همگنی و همبستگی) برای مشخص کردن مناطق دارای خوردگی استفاده کردند. این روش یک روش ارزیابی غیر مخرب برای شناسایی خودکار از خسارات خوردگی است. آنها نشان دادند که نتایج آزمایشات قابل اعتماد و روش مورد استفاده در طراحی سیستم‌های تشخیص زود به هنگام خوردگی در تجهیزات صنایع نفت و گاز و پتروشیمی‌مناسب است. روال کلی فرآیند بدین صورت است که یک تصویر با سطح فلز خورده شده انتخاب شده و دو ناحیه دلخواه (ROI) از تصویر استخراج

می‌شود. ناحیه اول بخش خورده شده و ناحیه دوم معرف قسمت بدون خوردگی خواهد بود. بنابراین، نتیجه مجموعه ای متشکل از دو ناحیه که تمام عکس را پوشش می‌دهند به دست آمده که هر ناحیه مربوط به بعضی خصوصیات یا ویژگی‌هایی مثل رنگ، شدت یا بافت است که نواحی خورده شده و نواحی بدون عیب تصویر را مشخص می‌کنند [۲۸]. با استفاده از اطلاعات موجود در تصویر و با استفاده از روابط موجود برای استحصال مقادیری مانند همگنی، توزیع همگنی برای نواحی خورده شده و بدون خوردگی به دست آمده است (نمودار هیستوگرام مربوط به تصویر). شکل ۳ نمودار میله ای خصوصیت همگنی را با استفاده از ۲۲ نمونه تصویری، بر اساس کار مدیروس و همکاران، نشان می‌دهد.



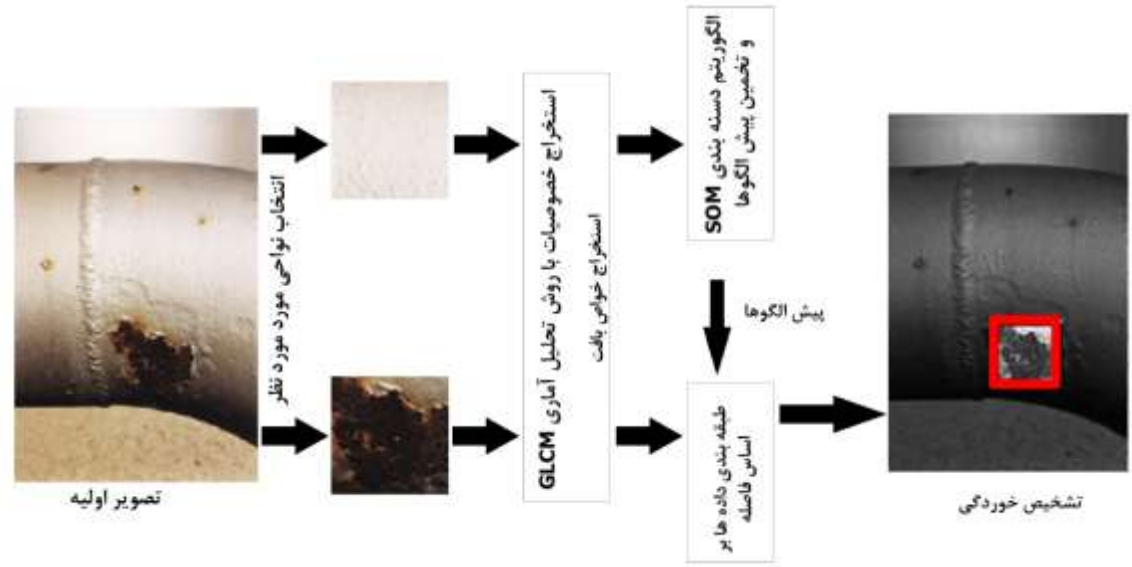
شکل (۳) نمودار هیستوگرام مربوط به نواحی خورده شده (نمودارهای قرمز رنگ) و بدون خوردگی (نمودارهای آبی رنگ) بر اساس کار مدیروس و همکاران [۲۸]

در شکل ۳، نمودارهای قرمز نشان دهنده فرکانس همگنی مناطق خورده شده و نمودارهای آبی مربوط به نواحی بدون خوردگی هستند. با توجه به توزیع همگنی، از هر دسته می‌توان تصمیمی برای تعیین آستانه در تهیه تقسیم بندی تصویر به مناطق خورده شده و بدون خوردگی اتخاذ نمود؛ که در شکل مقدار آستانه نیز توسط مدیروس و همکاران مشخص گردیده است [۲۸]. شکل ۴ خلاصه روش کار مدیروس و همکاران را نشان می‌دهد.

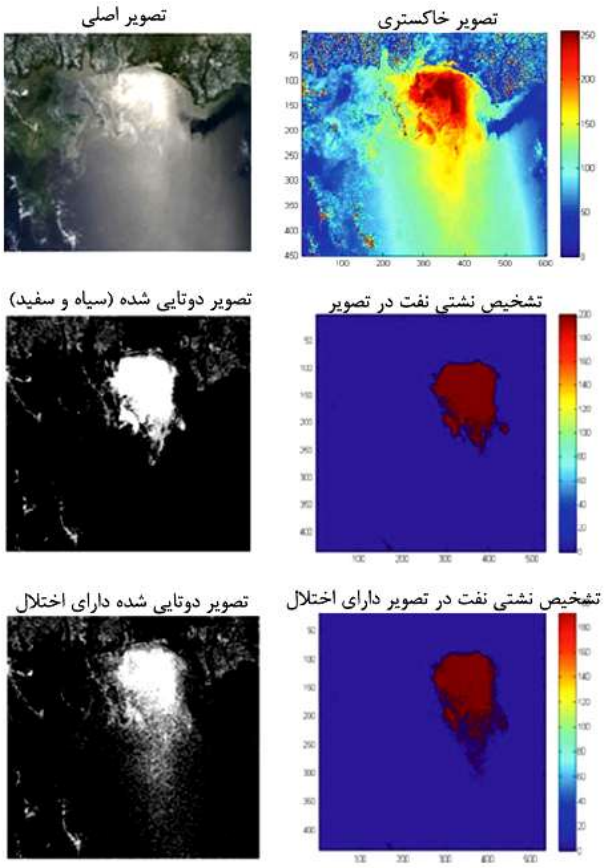
۳-۴- تشخیص آلودگی‌های نفتی و نشتی‌های خطوط لوله

استفاده از تصویربرداری و پردازش تصویر این امکان را برای محققان فراهم می‌آورد که پدیده‌های زیست محیطی را با نرخ نمونه برداری‌های بالا و برای مقیاس‌های متعدد مورد مشاهده و بررسی قرار دهند. با استفاده از این روش می‌توان مجموعه داده‌های زیادی جمع آوری نمود که با پرداش آنها اطلاعات مفیدی حاصل خواهند شد. در طول دو دهه اخیر تکنیک‌های متعددی برای نظارت بر جنبه‌های مختلف محیط زیست توسعه یافته‌اند. روشی که بیشترین استفاده و کمترین هزینه را داراست، پردازش دیجیتال تصویر است که خود در قالب تکنیک‌های متعددی به اجرا گذاشته می‌شود.

آلودگی نفتی یکی از شایع‌ترین مشکلات جهانی در اقیانوس‌هاست. نشت نفت در مقیاس بزرگ در سطح دریا ممکن است بدون هیچ گونه آگاهی قبلی اتفاق بیفتد؛ مانند حادثه ای که در خلیج مکزیک در آپریل سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاد که به عنوان بزرگترین نشت نفت در تاریخ آمریکا شناخته شده است [۵۰]. خطر فاجعه آلودگی نفتی در مقیاس بزرگ در سالهای اخیر به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است، که ممکن است نه تنها اثرات زیست محیطی و اقتصادی بزرگ، بلکه در دراز مدت تاثیرات جبران ناپذیری بر شیلات، حیات وحش و سلامت انسان‌ها بگذارد [۵۱]. نظارت موثر و کارآمد در ارزیابی و نظارت و تشخیص نشت نفت، زمان عکس العمل را کاهش داده، هزینه‌های بازسازی را به حداقل رسانده و اثرات خطرناک را محدود می‌کند [۵۰، ۵۱].



شکل (۴) مراحل کار تشخیص خوردگی با استفاده از پردازش تصویر بر اساس پژوهش مدیروس و همکاران [۲۸]

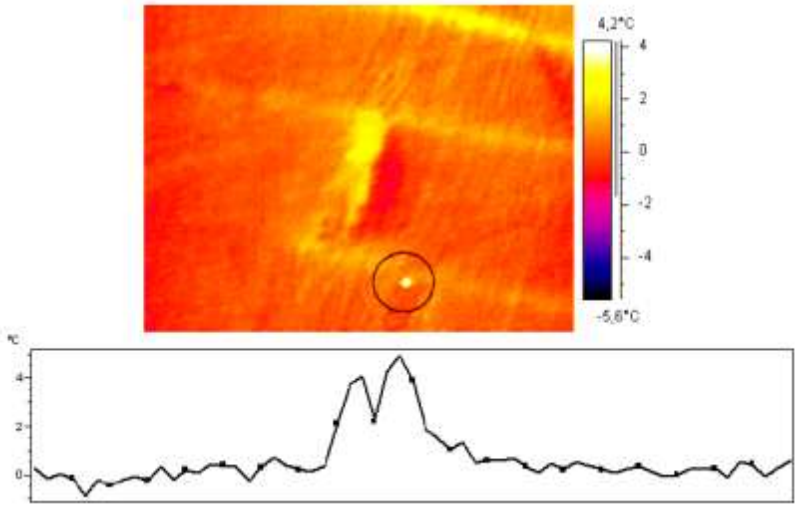


شکل (۵) مراحل پردازش تصویر نمونه برای تشخیص نشتی نفت در تصویر ماهواره ای بر اساس پژوهش ایتلیسی و دنگ [۵۲]

ایتلیسی و دنگ سیستمی برای تشخیص آلودگی نفتی بر مبنای تصویربرداری از طریق سنجش ماهواره‌ای و استفاده از تکنیک پردازش تصویر ارائه داده‌اند. آنها در روش خود از تکنیک‌های پردازش تصویر متعددی برای تشخیص نشتی نفت استفاده کرده اند، که از جمله می‌توان به خاکستری نمودن تصویر و سیاه و سفید کردن تصویر و سپس از استفاده از محاسبات آماری برای مشخص کردن مقادیر آستانه، اشاره نمود. آنها نتیجه کار خود را برای حالتی که هوا مه آلود و ابری باشد، یا اینکه نشتی نزدیک به یک ساحل نامنظم باشد، بسط دادند. شکل ۵ مراحل خلاصه شده پژوهش ایتلیسی و دنگ و نتایج به دست آمده در تشخیص یک نمونه نشتی نفت در ساحل نامنظم را برای هر دو حالت تصویر دارای اختلال (هوای ابری) و بدون اختلال (هوای صاف) نشان می‌دهد [۵۲].

خطوط لوله قدیمی به خاطر فرایندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی ممکن است شکسته شوند یا نشتی ایجاد کنند و به دنبال آن خاک و آب زیرزمینی به نفت، بنزین و دیگر مواد زائد آلوده شوند. خوردگی ناشی از آب‌های زیرزمینی و مواد معدنی موجود در آن باعث نشت خطوط لوله نفت و آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی خواهد شد. مواد مختلفی با درجات حرارت مختلف مثل آب داغ (^{o}C ۷۰-۶۰)، نفت خام گرم (^{o}C ۶۰-۳۰) و گاز مایع با دمای خیلی پایین، در خطوط لوله انتقال می‌یابند. آلودگی حرارتی خط لوله را می‌توان با ذوب یک لایه نازک برف روی آن در زمستان، یا در بهار وقتی که گیاهان روی یک قسمت خط لوله سریع تر از نواحی اطرافش رشد می‌کنند، شناسایی کرد [۵۳، ۵۴].

با توجه به پژوهش‌های مختلف، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری و کشف نشت خطوط لوله وجود دارد. سیستم اندازه‌گیری را می‌توان زیر خط لوله نصب کرد. نشتی را می‌توان با افزایش فشار درون خط لوله شناسایی کرد. محتوای هیدروکربنی خاک را می‌توان با استفاده از دستگاه بویایی دیجیتال اندازه‌گیری نمود. محققان مختلفی بدین منظور از تکنیک پردازش تصویر استفاده نموده‌اند که از سیستم‌های تصویربرداری و ارزیابی و نظارت متفاوتی استفاده شده است؛ از جمله می‌توان ارزیابی و نظارت بر پایه تصاویر هوایی، تصاویر گرمایی یا تصاویر ۳ بعدی لرزه شناسی را نام برد [۵۴].



شکل (۶) موقعیت یابی یک نمونه نشتی خط لوله در تصویر گرمایی بر اساس پژوهش ماکسی [۵۵]

ماکسی با استفاده از این تئوری که شبکه‌های خطوط لوله نفت و آبهای گرم زیرزمینی را می‌توان از ذوب یک لایه نازک برف روی آنها، یا در فصل بهار هنگامی که گیاهان روی خطوط لوله سریع تر از محیط اطراف رشد می‌کنند تشخیص داد، نشتی خط لوله را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. هدف ماکسی توسعه یک روش برای کشف نشتی خطوط لوله در همان مراحل اولیه ایجاد، بر اساس تصاویر حرارتی هوایی و ویدئویی بوده است. بدین منظور مختصات GPS به تصاویر اضافه شده اند که این اطلاعات در یک پایگاه خود توسعه یافته GIS مورد پردازش قرار گرفته‌اند. ماکسی نشان داد که تصاویر گرمایی نسبت به تصاویر ویدئویی در تشخیص خط لوله مفیدتر هستند، زیرا هنگام بهار و تابستان وقتی که رشد گیاهی در آن منطقه نسبت به محیط اطرافش تغییر داشته و در هنگام زمستان وقتی که یک لایه نازک برف روی زمین وجود داشته باشد، با توجه به وضوح فضایی و گرمایی، نقاط کوچک نشتی در سطح را می‌توان در تصاویر حرارتی شناسایی کرد. در سیستمی که او طراحی و ارائه نموده، تصاویر ویدیویی و گرمایی با استفاده از دوربین‌های نصب شده در هواپیما گرفته شده و به صورت همزمان GPS نصب شده، مختصات هر نقطه تصویربرداری را ذخیره نموده که سیستم آن بر مبنای مرکز تصویر می‌باشد. موقعیت پیدا شده از نظر نشتی سریعاً توسط مختصات فضایی محل نشت مشخص شده و حاصل این کار مزیتی بزرگ است، زیرا امکان عکس العمل سریع و بازسازی سریع محیط زیست می‌باشد. شکل ۶، یک نمونه از نتایج کار ماکسی را در پیدا کردن نشتی خط لوله در تصاویر گرمایی نشان می‌دهد [۵۵].

۴- نتیجه گیری

ادغام ارزیابی چشمی (به کمک دوربین) و کامپیوتر دیجیتال، امکان پردازش تصویر را فراهم می‌نماید که برای هر حوزه‌ای نسبت به روش‌های مرسوم و سنتی مزایای عمده ای دارد. مزیت یک سیستم پردازش تصویر سادگی و کم هزینه بودن آن است که می‌توان تجزیه و تحلیل‌های مختلف را با استفاده از یک دوربین دیجیتال ساده با کیفیت مطلوب و یک کامپیوتر شخصی و با سرعتی که نسبت به بازرسی و ارزیابی دستی بسیار بالاتر و کم هزینه‌تر است انجام داد. علاوه بر این با افزایش سرعت پردازش کامپیوتر، استفاده از دوربین‌های با دقت بالاتر و طراحی الگوریتم‌های کارآمدتر، ارزیابی‌ها به شیوه موثرتر و بهتری انجام خواهند گرفت.

مزیت یک سیستم پردازش تصویر سادگی و کم هزینه بودن آن است که می‌توان تجزیه و تحلیل‌های مختلف را با استفاده از یک دوربین دیجیتال ساده با کیفیت مطلوب و یک کامپیوتر شخصی و با سرعتی که نسبت به بازرسی و ارزیابی دستی بسیار بالاتر و کم هزینه‌تر است انجام داد. علاوه بر این با افزایش سرعت پردازش کامپیوتر، استفاده از دوربین‌های با دقت بالاتر و طراحی الگوریتم‌های کارآمدتر، ارزیابی‌ها و کنترل کیفیت به شیوه موثرتر و بهتری انجام خواهند گرفت.

۵- مراجع

[1] Gonzalez, R.C.; Woods, R.E. (2007), *Digital Image Processing*, Third Edition, New Jersey, Prentice Hall.

[2] Umbaugh, S. E., (2005), *Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing*, Florida, CRC Press.

[3] Jahne, B., (1997), *Digital Image Processing: Concepts, Algorithms, and Scientific Applications*, New York, Springer-Verlag.

[4] I. Pitas, *Digital image processing algorithms and applications*, John Wiley & Sons, NewYork (2000).

[5] Ross, B. J.; Fueten, F.; Yashkir, D. Y. (2001), *Automatic Mineral Identification Using Genetic Programming*, Machine Vision and Applications, 13, 61.

[6] Stojanovic, R.; Mitropulos, P.; Koulamas, C.; Karayiannis, Y.; Koubias, S. (2001), *Real-Time Vision- Based System for Textile Fabric Inspection*, Real-time Imaging, 7, 507.

[7] Katafuchi, N.; Sano, M.; Ohara, S.; Okudaira, M. (2000), *A Method for Inspecting Industrial Parts Surfaces Based on an Optics Model*, Machine Vision and Applications, 12, 170.

[8] W. S. Boyle and G. Smith, Charge-coupled semiconductor devices. Bell System Techanics of Journal, 1970. 49: p. 587-593.

[9] Stephen Kempainen, CMOS image sensors: Eclipsing CCDs in visual information? EDN, 1997. 42(21): p. 101-102.

[10] J. Zarnowski, M. Pace, and M. Joyner, Active-pixel CMOS sensors improve their image. Laser Focus World, 1999. 35(7): p. 111-114.

[11] Van den Elsen, P. A., Pol, E. J., & Viergever, M. A. (1993). Medical image matching-a review with classification. Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE, 12(1), 26-39.

[12] J.C. Pastrana, T. Rath, "Novel Image Processing Approach for Solving the Overlapping Problem in Agriculture", Biosystems Engineering, 115 (2013) 106-115.

[13] R.D. Tillett, "Image analysis for agricultural processes", Division Note DN 1585. Silsoe Research Institute, 1990.

[14] T. Brosnan & D.W. Sun, "Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems- a review", Computers and Electronics in Agriculture, 36 (2002) 193-213.

[15] Pan, B., Qian, K., Xie, H., & Asundi, A. (2009). Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement: a review. Measurement science and technology, 20(6), 062001.

[16] D. Durox, T. Yuan, E. Villermaux, The effect of buoyancy on flickering in diffusion flames, Combust Sci Tech, 124 (1997) 277–94.

[17] P.M. Brisley, G. Lu, Y. Yan, et al., Three-dimensional temperature measurement of combustion flames using a single monochromatic CCD camera, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 54 (4) (2005) 1417-1421.

[18] H.C. Bheemul, G. Lu, Y. Yan, Digital imaging-based three-dimensional characterization of flame front structures in a turbulent flame, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 54 (3) (2005) 1073-1078.
[19] G. Lu, Y. Yan, Temperature profiling of pulverized coal flames using multicolor pyrometric and digital imaging techniques, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 55 (4) (2006) 1303-1308.
[20] S. Simonini, S.J. Elston, C.R. Stone, Soot temperature and concentration measurements from colour charge coupled device camera images using a three-colour method, Proc IMechE-C, 215 (2001) 10: 41–52.
[21] H.W. Huang, Y. Zhang, Flame colour characterization in the visible and infrared spectrum using a digital camera and image processing, Meas Sci Technol, 2008;19:085406.
[22] G. Baldini, P. Campadelli, R. Lanzarotti, Combustion Analysis by Image Processing of Premixed Flames, International Conference on Image Processing, 10-13 Sept. 2000, Vancouver, BC, Canada, Vol. 2, 708 – 711.
[23] T.P. Trindade, A.J. Ferreira, E.C. Fernandes, Characterization of Combustion Chemiluminescence: an Image Processing Approach, Project Report of ISEL/ADEETC: Department of Electronics, Telecommunications and Computers Engineering, http://www.adeetc.isel.pt/en/.
[24] Y.T. Chu, C. Lou, Q. Cheng, et al., Distributed parameter modeling and simulation for the evaporation system of a controlled circulation boiler based on 3-D combustion monitoring, Applied Thermal Engineering 28 (2008) 164-177.
[25] Z. Guoyi, Q. Jianwei, S. Yipeng, L. Zhonggen, L. Zixue, Z. Huaichun, Experimental detection of radiative energy signal from a supercharged marine boiler and simulation on its application in control of drum water level, Applied Thermal Engineering 31 (2011) 3168-3175.
[26] H. Yu, J.F. MacGregor, G. Haarsma, W. Bourg, Digital imaging for online monitoring and control of industrial snack food processes, Industrial & Engineering Chemistry Research 42, 13 (2003) 3036-3044.
[27] H. Shimoda, A. Sugano, T. Kimura, Y. Watanabe, K. Ishiyama, Prediction Method of Unburnt Carbon for Coal Fired Utility Boiler Using Image Processing Technique of Combustion Flame, IEEE Transactions on Energy Conversion,Vol. 5, 4 (1990) 640-645.
[28] F.N. Medeiros, G.L. Ramalho, M.P. Bento, L.C. Medeiros, On the evaluation of texture and color features for nondestructive corrosion detection, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol. 2010, Article 7.
[29] C. Choi, Morphological analysis and classification of types of surface corrosion damage by digital image processing, Corrosion Science, (2005) 1-15.
[30] S. Rebbapragada, Intelligent Computational Methods for Corrosion Damage Assessment, Master Thesis, Purdue University, USA, 2000.
[31] R. N. Anderson, E.P. Bagdonas, A. Boulanger, W. He, L. Xu, Method for identifying subsurface fluid migration and drainage pathways in and among oil and gas reservoirs using 3-D and 4-D seismic imaging, U.S. Patent 5,586,082, issued December 17, 1996.
[32] A. Kaestner, E. Lehmann, M. Stampanoni, Imaging and image processing in porous media research, Advances in Water Resources, Vol. 31, 9 (2008) 1174-1187.
[33] J. Wang, M. Gan, J. Shi, Detection and characterization of penetrating pores in porous materials, Materials Characterization, Vol. 58, 1 (2007) 8-12.
[34] F.H. She, K.L. Tung, L.X. Kong, Calculation of effective pore diameters in porous filtration membranes with image analysis, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 24, 3 (2008) 427-434.
[35] J.F. Daian, C.P. Fernandes, P.C. Philippi, J. A. Bellini da Cunha Neto, 3D reconstitution of porous media from image processing data using a multiscale percolation system, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 42, 1 (2004) 15-28.
[36] E. Sevostianova, B. Leinauer, I. Sevostianov, Quantitative characterization of the microstructure of a porous material in the context of tortuosity, International Journal of Engineering Science, Vol. 48, 12 (2010) 1693-1701.
[37] W. Schreiber, Image processing for quality improvement, Proceedings of the IEEE, Vol. 66, 12 (1978) 1640-1651.
[38] R. Rösch, F. C. Krebs, D. M. Tanenbaum, H. Hoppe, Quality control of roll-to-roll processed polymer solar modules by complementary imaging methods, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 97, (2012) 176–180.
[39] A. Gutiérrez, J.C. del Río, M.J. Martínez, A.T. Martínez, The biotechnological control of pitch in paper pulp manufacturing, Trends in Biotechnology, Vol. 19, 9 (2001) 340-348.
[40] Geladi, P., & Grahn, H. (1996). Multivariate image analysis (pp. 107-136). Chichester: Wiley.
[41] Bharati, M. H., & MacGregor, J. F. (1998). Multivariate image analysis for real-time process monitoring and control. Industrial & Engineering Chemistry Research, 37(12), 4715-4724.
[42] H.C. Zhou, S.S. Zhang, Y.L. Huang, et al., Monitoring of 2-D combustion temperature images in a 670 t/h utility boiler and simulation of its application in combustion control, Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing 8 (3/4) (2000) 311-322.
[43] Z.X. Luo, H.C. Zhou, A combustion monitoring system with 3-D temperature reconstruction based on flame image processing technique, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 56 (5) (2007) 1877-1882.
[44] Yu, H., & MacGregor, J. F. (2004). Monitoring flames in an industrial boiler using multivariate image analysis. AIChE Journal, 50(7), 1474-1483.

processing using optimized SDC algorithm, J. Signal, Image and Video Processing, Vol. 2012, 1-15.
[53] Mucsi, L. (2001), Characterisation of oil-industrial contamination using aerial and thermal images, EARSeL Symposium, Drezda in: A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation, (ed: Buchroithner). Balkema, Rotterdam, 373-377.
[54] Mucsi, L.; Varga, Sz.; Ferenczy, M. (2001), Introduction to research project organizing for characterization and monitoring of the environmental effect of petroleum industrial contamination in Hungary, Acta Geographica Szegediensis XXXVII, 117–126.
[55] Mucsi, L. (2004), Application of GIS and Aerial Thermal Image Processing Methods to Solve Enviromental Problems of the Oil Industry, University of Szeged, Department of Physical Geography and Geoinformatics.
[56] Alsharhan, A. S. (2003). Petroleum geology and potential hydrocarbon plays in the Gulf of Suez rift basin, Egypt. AAPG bulletin, 87(1), 143-180.
[57] Lin, Z., Wu, C., Mao, X., & Liu, G. (2009, October). Application of Image Processing and Discrete Analysis Method in Simulation of Oil and Gas Migration and Accumulation. In Image and Signal Processing, 2009. CISP'09. 2nd International Congress on (pp. 1-5). IEEE.
[45] Luyben, W. L. (1989). Process modeling, simulation and control for chemical engineers. McGraw-Hill Higher Education.
[46] Bequette, B. W. (1991). Nonlinear control of chemical processes: A review. Industrial & Engineering Chemistry Research, 30(7), 1391-1413.
[47] Watano, S. (2001). Direct control of wet granulation processes by image processing system. Powder technology, 117(1), 163-172.
[48] Yu, H., MacGregor, J. F., Haarsma, G., & Bourg, W. (2003). Digital imaging for online monitoring and control of industrial snack food processes. Industrial & Engineering Chemistry Research, 42(13), 3036-3044.
[49] MacGregor, J. F., Yu, H., García Muñoz, S., & Flores-Cerrillo, J. (2005). Data-based latent variable methods for process analysis, monitoring and control. Computers & chemical engineering, 29(6), 1217-1223.
[50] Sherwell, P. (2010), BP Disaster:Worst Oil Spill in US History Turns Seas into a Dead Zone, www.telegraph.co.uk
[51] BP (2010), Update on Gulf of Mexico Oil Spill Response, www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=2012968contentId=7061856.
[52] Etellisi, E.A.; Deng, Y. (2012), Oil spill detection: imaging system modeling and advanced image

زیرنویس‌ها

[1] Vision Machines
[2] Pixel
[3] Noise
[4] Fill factor
[5] Alignment
[6] Contrast
[7] Subtraction
[8] Manipulated
[9] Texture