

استخراج ترک سطح جاده‌های بین شهری به کمک تصاویر پهپاد

اعظم عامری^۱، فرزانه دادرسی جوان^{۲*}، نیما زرین پنجه^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد نقشه‌برداری، فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس

دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

a.ameri@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

fdadrasjavan@ut.ac.ir

^۳ استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد قزوین

nzarrn@qiau.ac.ir

(تاریخ دریافت شهریور ۱۳۹۷، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۷)

چکیده

اطلاعات وضعیت سطح جاده‌ها شاخص مهمی برای ارزیابی کیفیت در سیستم مدیریت راه‌ها می باشد. شناسایی ترک سطوح جاده ها، پروسه مهمی در امر نگهداری از جاده ها و امنیت ترافیک می باشد که به طور سنتی، بر اساس بازدید میدانی انجام می شود. امروزه روش های مبتنی بر سنجش از دور به ویژه تصویربرداری مبتنی بر فتوگرامتری هوایی مورد توجه بسیار قرار گرفته است. در این مقاله با استفاده از تصاویر اخذ شده توسط پهپاد، اقدام به شناسایی خودکار ترک های سطح جاده شده است. روش پیشنهادی شامل شش مرحله تولید تصاویر، جدا نمودن جاده از محیط اطراف، شناسایی و حذف عوامل مزاحم، پیش پردازش تصاویر، ترکیب فیلترهای مورفولوژی همراه با ویژگی های به هم پیوستگی عوارض و انتخاب کاندید ترک‌ها، اعمال کلاسه بندی SVM و در نهایت بازبینی نهایی تصویر و ارائه نقشه ترک بر روی تصویر می‌باشد. نتایج حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی موفقیت ۹۸/۴۳ درصد در استخراج ترک‌ها را نشان داده است.

واژگان کلیدی: شناسایی ترک، پهپاد، پردازش تصاویر، استخراج اتوماتیک، SVM، مورفولوژی، جاده های بین شهری

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

سلامت و نگهداری از سازه‌های عمرانی و به خصوص جاده‌ها از دیرباز مورد توجه دولت مردان و محققان بوده است [۱، ۲]. در این میان، جاده‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی ارتباطی و تجاری کشورها نقش مهم و گسترده‌ای در حمل و نقل داشته‌اند [۱]. تامین هزینه‌های سنگین راهسازی در کشورها نیز نشان‌دهنده اهمیت فراوان و روزافزون این موضوع می‌باشد. بر اساس گزارش سازمان جامعه مهندسی آمریکا، مرمت و تعمیر آسیب‌های سطح سازه‌ها، هر سال برای این کشور ۶۷ میلیارد دلار هزینه در بر دارد [۳].

پایش و نگهداری از این سازه‌ها موجب کاهش هزینه‌ها در تعمیرات اساسی و ساخت مجدد آنها شده و در نتیجه بسیار اقتصادی و ضروری است، چرا که موجب شناسایی و پیشگیری آسیب‌ها، قبل از بحرانی‌تر شدن وضعیت سلامت جاده‌ها می‌شود. علاوه بر این، امنیت جاده‌ها و وابستگی زیادی به سلامت آنها دارد و شرایط مساعد

راه باعث کاهش وضعیت تصادفات و در نتیجه کاهش تلفات جانی می‌گردد. [۱-۳]. استانداردهای مورد استفاده در بررسی راه‌ها متفاوت بوده که در ایران برای ارزیابی کیفی راه‌ها از آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران - نشریه ۲۳۴ استفاده می‌گردد.

آسیب‌های زیادی در انواع جاده‌ها به چشم می‌خورد که از جمله آنها می‌توان به ترک‌ها اشاره کرد. سازه‌های عمرانی از ترک‌های ایجاد شده به خاطر عوامل مختلفی از جمله طول عمر زیاد، چروک شدن، کنش‌های طبیعی مختلف، فرسودگی، فساد تدریجی و غیره متحمل آسیب شوند. آنالیز ترک‌ها یکی از موارد مهم برای تخمین و ارزیابی میزان سلامت سازه مورد نظر می‌باشد. اطلاعات تعداد، شکل، طول و عرض ترک‌ها می‌تواند امکان هدایت نگهداری اولیه برای امنیت سازه را ممکن سازد [۲-۷]. در جدول شماره یک شرح انواع مختلف ترک جاده‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- شرح انواع مختلف ترک

ترک‌های مستطیلی ^۱	جدا شدگی‌هایی که اغلب به شکل مستطیل اند. ویژگی‌های آنها، عرض ترک، عرض سلول مستطیل شکل و مساحت ناحیه محدود شده می‌باشد. می‌تواند به دلیل عرض ناکافی آسفالت یا نشست لایه زیرین و یا به پایان رسیدن طول عمر آسفالت باشد. در این حالت ترک‌های نازک می‌تواند به وسیله پر کردن شکاف‌های خالی به هم دوخته شود اما در مورد شکاف‌های بزرگ باید مجدداً بازسازی انجام گیرد.
ترک‌های گرنر ^۲	ترک‌هایی که بین پلیت‌های مجاور یک سطح به وجود می‌آیند. ویژگی‌های طول و عرض ترک و تعداد پلیت‌های درگیر می‌باشد. ترک‌های عمیق باید تعمیر و مرمت شوند.
ترک‌های دیاگونال ^۳	ترک‌های چند جهته که دارای جهت خاصی مانند طولی و عرضی نیستند.
ترک‌های طولی ^۴	ترک‌های جدا از همی که در امتداد جاده اتفاق می‌افتند. ویژگی‌ها طول و عرض ترک، فضای بین دو ترک و ناحیه درگیر دو ترک می‌باشد.
ترک‌های پوست سوسماری ^۵	این ترک‌های کوتاه و دارای جهت‌های اریب و مختلف هستند و عمق نسبتاً کمی دارند، از نظر اهمیت زیاد بارزش نیستند اما در اثر تغییرات آب و هوایی می‌توانند به شکاف‌های بزرگ و عمیق تبدیل شوند.
ترک‌های عرضی ^۶	ترک‌های عمود بر طول جاده را گویند.
به هم رسیدگی‌ها ^۷	ترک حاصل از فاصله گرفتن دو پلیت مجاور هم را گویند.
ترک‌های عمیق ^۸	ترک‌هایی که در راستای عمود تشکیل می‌شوند و هنگام عبور وسیله از روی این صفحات، آب از بین درزهای آنها به بیرون دفع می‌شود. این نوع ترک باید به طور اساسی و پی‌ریزی تعمیر شود.

^۱ Block Cracks
^۲ Corner Cracks
^۳ Diagonal cracks
^۴ Longitudinal cracks
^۵ Shrinkage cracks
^۶ Transverse
^۷ Joint Stepping
^۸ Rocking

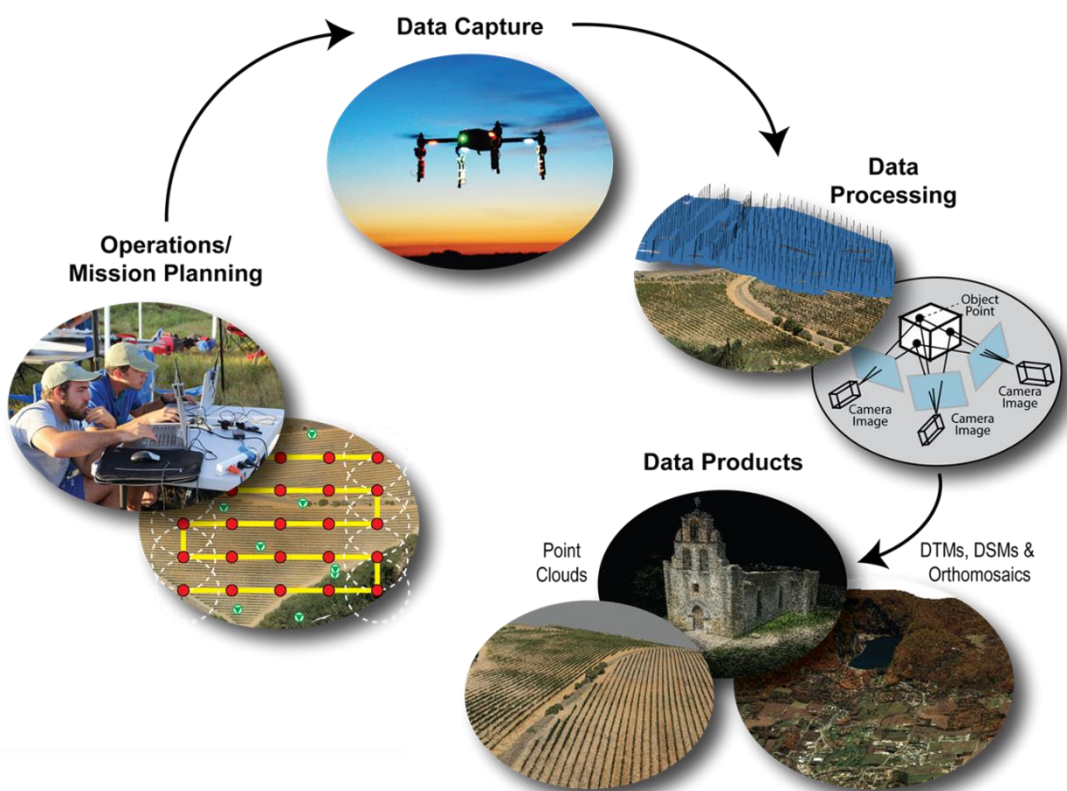
اند. در سال‌های اخیر استفاده از پهپادها به دلیل دسترسی و سرعت نسبی بالا به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. می‌توان از توانایی اخذ دیتای زیاد و با کیفیت از منابع مختلف، قیمت ارزان برای پایش یک منطقه وسیع، توانایی انطباق با مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف و همچنین توانایی حمل سنسورهای مختلف به عنوان قابلیت‌های ویژه‌ای که پهپاد را برجسته کرده است، نام برد. پهپاد فرآیند مکملی برای بهبود عملکرد سیستم حمل و نقل می‌باشد [۶-۱۱].

مساله شناسایی ترک از تصاویر پهپاد به دلیل جدید بودن این فناوری و تفاوت داده‌های ورودی از نظر کیفیت، جامعیت، توالی بین دو تصویر، سهولت و قدرت تفکیک با روش‌های رایج کنونی برای استخراج ترک جاده از تصاویر زمینی و یا تصاویر هوایی متفاوت بوده و به این دلیل نیازمند بررسی و مطالعه بیشتر می‌باشد.

سنجش‌ازدور یکی از برترین، مناسب‌ترین و سهل‌الوصول‌ترین روش‌ها در پایش و مدیریت سازه‌های عمرانی است. چنانچه تکنیک‌های پردازش تصاویر برای شناسایی ترک در سطح آسفالت‌ها توجه زیادی را از سال ۱۹۹۰ به خود جلب کرده اند [۱، ۲].

با گسترش علوم فتوگرامتری و سنجش از دور، طیف وسیعی از داده‌های مکانی در دسترس علوم مختلف قرار گرفته است. از مهمترین دستاوردهای دهه اخیر که بهره‌گیری از آنها در مهندسی ژئوماتیک توجه زیادی را به خود معطوف کرده است، پرندگی‌های بدون سرنشین یا همان پهپادها می‌باشند. پهپادها کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف دارند. آن‌ها قابلیت دسترسی به مکان‌هایی را دارند که رسیدن به آنجا برای انسان بسیار دشوار و بعضاً خطرناک است و می‌توانند قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالایی را در تامین داده‌ها برای ما فراهم آورند [۶-۱۱].

پهپادها، در زمینه‌های مختلف از جمله در صنعت حمل و نقل به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته



شکل ۱- شمای کلی سامانه‌های پهپادی و تصویربرداری توسط آنها

طور کلی، در گذشته ترک‌ها توسط افراد خیره‌بازدید و گزارش می‌شدند که به شدت زمان‌بر و هزینه‌بر است [۱]. [۳][۱۲]. هم‌چنین برای افراد مستقر در محل خطرناک

روش‌های مختلفی برای شناسایی آسیب‌های سطح آسفالت موجود است که بسته به روش مورد استفاده در پردازش و نوع داده‌ها، متفاوت می‌باشد [۳، ۴]. به

بوده و ممکن است اطلاعات نادرستی را بخاطر خطای انسانی و دید محدود از منطقه وارد سازد. اخیراً، پردازش رقومی تصاویر به عنوان جایگزینی برای تشخیص اتوماتیک ترک و ارزیابی آن پیشنهاد شده است. در طی سالهای اخیر، عموماً سیستم‌های اخذ داده پیرامون شرایط سطح راه، بر روی وسایل مخصوص نصب می شوند و باید به صورت دقیق و تنظیم شده بر روی محیط مورد نظر حرکت می کنند. این وسایل می تواند شامل هواپیما، ون های جاده ای و ریلی باشد [۱]. این روش ها از لحاظ زمانی، هزینه و دقت بر روش‌های اپراتور محور پیشین برتری دارد [۱]. سیستم شناسایی ترک می‌تواند توسط الگوریتم های شناسایی و کلاسه بندی که باعث بهبود دقت و سرعت و کاهش هزینه تهیه گزارش وضعیت از جاده ها شود و موجب اتوماتیک سازی آن گردد. امروزه سازمانها و شرکت های فعال و مطرح جهانی نظیر WSP^۱، سازمان بین المللی مشورت و نگهداری از محیط زیست، نیز از سیستم‌های موبایل مپینگ جهت آنالیز اتوماتیک وضعیت جاده استفاده می کنند [۱].

هدف از تحقیق حاضر بررسی و پیاده سازی یک الگوریتم نیمه اتوماتیک به منظور شناسایی ترک سطح جاده‌ها و همچنین کاهش زمان پردازش، بالا بردن دقت و صحت با استفاده از شناسایی و ماسک نمودن عوارض گمراه کننده می‌باشد. یک کلاسه بندی SVM^۲ بهبود داده شده برپایه ویژگی های طیفی، بافتی و شکل هندسی به عنوان ورودی، می تواند شناسایی سگمنت‌های خطی استخراج شده به عنوان ترک را که در ابتدا توسط عملگرهای تشخیص لبه تشخیص داده شده و با کمک مورفولوژی و به هم پیوستگی پیکسل ها ارتقا داده شده است، را بهبود دهد.

۲- مروری بر تحقیقات

روش‌های شناسایی ترک برپایه پردازش تصاویر در تصاویر مرئی، اغلب از چهار مرحله کلی پیش پردازش، قطعه بندی، کلاسه بندی و در نهایت بهبود شناسایی تشکیل می‌شود. پیش پردازش ها شامل نویز زدایی، نرم

کردن، واضح^۳ و یا برجسته نمودن عوارض خطی و در برخی مقالات شامل شناسایی و حذف عوارض گمراه کننده ای چون ماشین‌ها، خطوط سفید، نواحی اطراف جاده، به هم رسیدگی ها، لکه های روغنی، ترک های مرمت شده و ... می‌باشد [۲، ۴، ۱۳]. اغلب تحقیقات با استفاده از روشهایی نظیر روشهای برپایه حدآستانه، بافت، مدل، عملگرهای خطی و غیره، قطعه بندی تصویر برای مشخص شدن نقاط و یا تکه های ترک های کاندید اولیه صورت می‌پذیرد. پس از آن مرحله کلاسه بندی و یا دنبال کردن می باشد [۱۴]. در مراحل میانی و پایانی این پروسه، از روش‌های مختلفی مانند مورفولوژی و ویژگی‌های عوارض به منظور بهبود شناسایی، قطعه بندی و کلاسه بندی استفاده می شود [۱، ۴].

شگورو یوکویاما و تاکاشی ترماتسوموتو ۲۰۱۷، به منظور ارتقاء ابزار شناسایی کننده خودکار ترک های سطح سازه‌های بتنی از تصاویر، پس از جمع آوری تصاویر و تقسیم آنها به هریک از گروه های ترک، خط سفید، مناطق ترمیم شده، سطح عادی، به هم رسیدگی ها و غیره، شبکه عصبی را آموزش داده و دیگر بخش های کوچک شده تصویر را به هریک از کلاس ها تعمیم می‌دهد. نتایج این الگوریتم نشان می دهد که نتیجه برای تقسیم تصویر به دو کلاس ترک و غیر ترک، ۷۹/۹۰ درصد و برای تقسیم در سه کلاس ترک، خطوط سفید و غیر ترک های دیگر، ۷۳/۳ درصد است. زمان پردازش‌های صورت گرفته نیز چهار ساعت محاسبه شد. به عنوان نتیجه، شناسایی در تصاویر بدون لکه مناسب بوده در حالی که نتیجه شناسایی در تصاویر بتنی دارای لکه، بسیار پایین است [۱۵].

هیونجون کیم و همکاران در ۲۰۱۷ روشی برای شناسایی ترک در تصاویر پهپاد بر مبنای تلفیق روش های پردازش تصاویر ارائه دادند. نوآوری آنها اندازه گیری عرض ترک های با عرض بیش از ۱/ میلی‌متر با درصد خطای ۷/۳ درصد بوده است. سیستم های مورد استفاده آنها در این مقاله یک پهپاد، یک کنترلر و مخابره کننده، یک دوربین و همچنین یک سیستم آلتراسونیک می باشد. آنها با استفاده از یک مجموعه پارامتر برای باینری سازی توسط روش ساوالا و در نهایت تلفیق نتایج آن با الگوریتم

^۱ An international consulting and management company for the built environment

^۲ Support Vector Machine

^۳ Sharp

بر مبنای عملگرهای مورفولوژی بوده که در این مقاله به منظور استخراج ترک خصوصی سازی شده و نام MorphLink-C بر این تکنیک نهاده شده است. نتایج به دست آمده از لحاظ موقعیت مکانی ترکها دارای خطا بوده اما نتایج استخراج پارامترهای ترک نظیر طول و عرض بسیار امیدوار کننده می باشد [۱۴].

ژائونگ بین در تز دکتری خود در سال ۲۰۱۵، با استفاده از تصاویر رنگی پهپاد، الگوریتم شناسایی و استخراج ترک برای استفاده بر روی دیوار و پوشش سطح راه را ارتقا داده اند که شامل چهار مرحله اصلی: تغییر سایز تصویر اصلی به منظور ساختن پیرامید، اعمال فیلتر کنی به تصاویر در مقیاس های متفاوت، برگرداندن تصاویر به مقیاس اولیه و در نهایت ساخت تصویر نهایی با میانگین گیری می باشد. مشکلات اصلی روش های پیشین، مانند الگوریتم کنی، پریویت و سو بل در انتخاب حد آستانه اولیه و پارامترهای مربوط به فاصله تصویر برداری و مقیاس می باشد که با استفاده از این روش به حداقل رسیده است [۹].

گاولین و همکاران که در این مقاله داده های اولیه توسط ماشین مجهز به یک دوربین آرایه خطی و یک لیزر اسکنر اخذ شده اند. پس از پیش پردازش، عوارض غیر ترک (خطوط سفید، به هم رسیدگی ها و ترک های مرمت شده) شناسایی و ماسک شده و پس از آن با استفاده از روش دانه مینا^۲، نقاط دانه اولیه تعیین شده و سپس مرحله اتصال و نازک کردن نتایج انجام می شود. روند های طی شده در این مقاله بسیار وابسته به تعیین پارامتر هاست [۱۳].

چمن و همکاران ۲۰۱۱، در مطالعه خود از تصاویر شبیه سازی کامپیوتری استفاده کرده اند. در این مطالعه روش قطعه بندی بر اساس مدل مارکوف همراه با فیلترینگ انطباق پذیر برای شناسایی ترک مورد استفاده قرار گرفته است. دستاورد این مقاله ترکیب این دو الگوریتم برای ارائه نتایج بهتر می باشد که به روش AFMM^۳ نامگذاری شده است. یکی از چالش ها شناسایی تابع مادر اولیه مویک برای استفاده در فیلتر است. شانزده جهت در چرخه مارکوف وجود دارد که یکی از دستاورد های این مقاله برآورد بهترین جهت است. سایز پنجره مورد استفاده فیلتر نیز یک چالش است که در مقاله به آن پرداخته شده

نازک سازی، به شناسایی و محاسبه عرض ترک پرداختند [۸]. این تحقیق متمرکز بر ترک نمای ساختمانها بوده و با پیچیدگی های کمتری در قیاس با راه ها روبرو بوده است.

کوبرو فرناندزو همکاران در ۲۰۱۷، پس از پیش پردازش که شامل برجسته کردن ترکها توسط فیلتر لگاریتم، نویز زدایی یا نرم کردن توسط فیلتر بیلاترال، شناسایی لبه های ممکن توسط الگوریتم کنی و در نهایت استفاده از فیلتر کلوزینگ مورفولوژی برای پر کردن گپها می شود، با استفاده از یک درخت تصمیم گیرنده برای کلاسه بندی نهایی به موفقیت ۸۸٪ در شناسایی ترکها و ۸۰٪ در کلاس بندی آنها دست یافته اند [۲].

احمت باهادیین ارسوز و همکاران ۲۰۱۷، تکنیکی شامل دو قسمت قطعه بندی و کلاسه بندی به منظور استخراج ترک از تصاویر پهپاد ارائه کرده اند. در این مقاله از تصاویر یک جاده کم ترافیک معمولی اخذ شده، استفاده شده است. در ابتدا تصویر نرم شده و سپس واضح می شود، پس از اعمال حد آستانه بر روی آن، نویز های باقیمانده با عملگر کلوزینگ^۱ از بین رفته و ترکها پیوسته می گردد. پس از آن ویژگی های ژئومتریکی داده های تست ترک و غیر ترک به منظور آموزش SVM به کار می رود. ضعف این روش در مواجهه با سایه ها و عوامل مزاحم خارجی می باشد. دقت به دست آمده برای این الگوریتم، ۹۷ درصد می باشد [۱۶].

کیم و همکاران ۲۰۱۵، در مقاله خود با تصویر برداری دیوار با استفاده از پهپاد در فاصله ۱/۵ متری پس از پیش پردازش، ترکها را استخراج کرده، و شکل و عرض ترک را محاسبه کرده اند. پهپاد استفاده شده، مجهز به دوربین مرئی Raspberry Pi برای اخذ تصاویر و سنسور اولتراسونیک برای به دست آوردن فاصله و عمق می باشد. طی بررسی های انجام شده بر روی روش های مختلف پردازش تصاویر برای هر مرحله، استفاده از فیلتر میانه برای پیش پردازش، روش ساولا برای باینری سازی، بازنگری در تصویر به وسیله ی ارتباط و گریز پیکسل ها از هم انتخاب شده است [۱۰].

جونگ وو کیم و همکاران ۲۰۱۵، از تصاویری که توسط یک پهپاد مولتی روتور از یک پل معمولی تهیه شده است، استفاده نموده اند. پردازش تصاویر در این مقاله

^۲ seed based

^۳ Adapted Filtering and Markov Model-based segmentation

^۱ closing

است [۱۷]. داده‌های استفاده شده در این مطالعه از پیچیدگی‌های داده‌های واقعی فاصله بسیار دارد.

لیونل سام ۲۰۱۶ در پروژه خود در از روش یادگیری عمیق برای شناسایی ترک در تصاویر اخذ شده زمینی استفاده کرده است که با به دست آمدن دقت کلاسه بندی ۹۸ درصد، از سایر روش‌ها نتیجه بهتری داشته است. این روش شامل آنالیز درجه خاکستری تصویر بر اساس پیمودن پیکسل به پیکسل و آموزش عمیق می‌باشد [۱].

امانوئل آلدعا و همکاران ۲۰۱۵ بر روی دو الگوریتم آنالیز کوتاهترین مسیر و نفوذ عکس فوکوس و محدودیت‌های آنها را در این زمینه را بررسی کرده‌اند. سپس یک استراتژی بر پایه مدل کردن یکپارچه که قادر است در برابر تار شدن بر اثر حرکت و نبود چندین حدآستانه که به منظور پیدا کردن ترک‌ها با درجه روشنایی‌های متفاوت استفاده می‌شود مقاومت کند، ارائه شده است. همچنین نتایج سه روش نفوذ تصویر، NFA^۱ و FFA ارائه و با هم مقایسه شد که در نهایت مشخص شد که روش NFA به دلیل کاهش تشخیصات اشتباه از دقت بیشتری برخوردار است. [۱۸]

الیورا و همکاران ۲۰۰۹، در مقاله خود یک فلوجارت کامل برای شناسایی و دسته بندی ترک‌های سطح جاده با استفاده از تصاویر اخذ شده به وسیله ماشین‌های مخصوص پایش جاده، با سرعت بالاتری نسبت به سایر وسایل مشابه ارائه کرده‌اند. در این روش ابتدا با استفاده از عملگرهای مورفولوژی به منظور کاهش نویز، حدآستانه پویا برای شناسایی پیکسل‌های تیره و با استفاده از مفهوم آنتروپی، حدآستانه پویای دوم بر روی تصاویری با آنتروپی بالا است، اعمال می‌شود. دقت به دست آمده برای این روش بین ۹۴/۸ تا ۹۵/۶ درصد به دست آمده است. [۱۹]

با توجه به مطالعات انجام شده، می‌توان اظهار داشت که روش‌های فتوگرامتری در تشخیص ترک موفق ظاهر شده و در این میان استفاده از پهپادها کمک شایانی به تسریع آن دارد. در روش‌های مبتنی بر پردازش تصاویر بخش پایش پردازش، اهمیت فراوانی از نظر دقت و صحت کلی در نتیجه نهایی دارد این درحالیست که نتایج به دست آمده امیدوار کننده بوده اما در مواجهه با تصاویر دارای لکه و یا سایه دچار اشتباه می‌شود. همچنین استفاده از ویژگی‌های عوارض به منظور کلاسه بندی

تکنیکی موثر و کارآمد محسوب می‌شود، چنانکه در تحقیقات پیشین با استفاده از ویژگی‌های هندسی عوارض دقت طبقه بندی با روش SVM بهبود یافته است.

با توجه به مرور مطالعات انجام شده تاکنون، نتایج نشان داد که از میان روش‌های موجود، روش‌هایی که سعی در اخذ داده با ارتفاع پایین‌تری داشته‌اند، اصولاً موفق‌تر عمل کرده‌اند. این روش‌ها به دو بخش روش‌های مبتنی بر فتوگرامتری و روش‌های مبتنی بر موبایل مپینگ تقسیم می‌شوند. روش‌های موبایل مپینگ با چالش‌هایی نظیر محدودیت سرعت، حضور مستقیم در محل، وجود زاویه مایل، پیچیدگی داده‌ها از لحاظ وجود داشتن سنجنده‌های مختلف، زمین مرجع-سازی تصاویر، حجم بالای داده و پردازش مربوطه و غیره روبرو بودند؛ اما روش‌های فتوگرامتری در این زمینه سرعت، وسعت و دقت کلی بیشتری دارند و در این میان استفاده از پهپادها کمک شایانی به تسریع این کار نموده‌اند. مطالعات فراوانی در این زمینه انجام شده است که نشان می‌دهد با توجه ساده بودن داده، سرعت بالاتر، مساحت بیشتر، قیمت کمتر، تکرار پذیری، یکپارچگی، امنیت بیشتر، عدم نیاز به حضور مستقیم در محل و غیره، فتوگرامتری روش مناسب تری به منظور شناسایی ترک محسوب می‌شود.

روش‌های شناسایی ترک در تصاویر مرئی، اغلب از سه مرحله کلی تشکیل می‌شود. که در آن ابتدا پیش‌پردازش‌هایی به منظور بهبود شناسایی بر روی تصاویر انجام می‌شود. پس از آن با استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل روش‌های برپایه حدآستانه، بافت، مدل، عملگرهای خطی و غیره، قطعه بندی تصویر برای مشخص شدن ترک‌های کاندید اولیه و یا دانه‌های شروع کننده در روش‌های برپایه رشد دانه صورت می‌پذیرد. سپس مرحله کلاسه بندی و یا دنبال کردن دانه‌ها به منظور مشخص کردن ترک‌ها می‌باشد. در مراحل میانی و پایانی این پروسه، از ابزار مختلفی به منظور بهبود شناسایی و یا قطعه بندی و کلاسه بندی استفاده می‌شود.

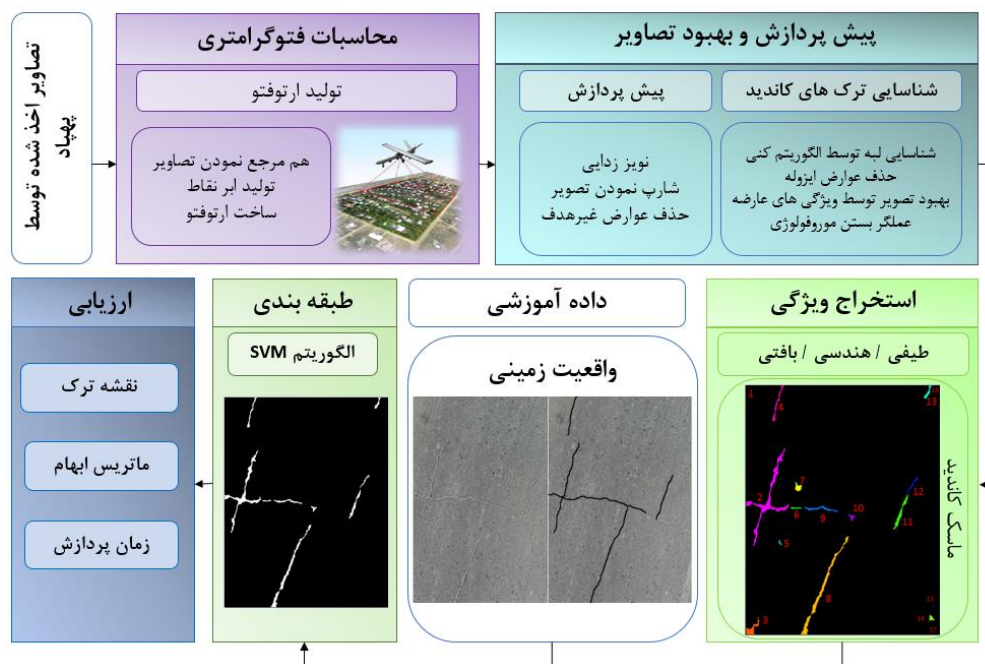
تحقیقات انجام شده بر روی استخراج ترک تا به امروز محدود بوده و در عین حال اغلب برای شناسایی ترک در سطوح بتنی و در دیتاست‌های ساده مورد استفاده قرار داده شده‌اند. بر این اساس در این مقاله روشی کارا به منظور استخراج اتوماتیک ترک‌های جاده‌ای به کمک تصاویر پهپادها در سطوح آسفالتی و پیچیده ارائه شده است.

^۱ number of false alarms

۳- روش پیشنهادی

اغلب روش‌های بینایی کامپیوتری به منظور شناسایی عوارض یک روند را طی می‌کنند. این روند در ابتدا شامل پیش پردازش‌هایی مانند ترمیم، بهبود کنتراست و کاهش نویز است. پس از آن مرحله قطعه‌بندی توسط روش‌هایی

نظیر حدآستانه، شناسایی لبه، رشد ناحیه و کلاسترینگ انجام می‌گیرد. پس از آن ویژگی‌های عوارض مانند بافت، شکل، رنگ و حرکت به منظور تشخیص عارضه توسط روش‌هایی نظیر کلاسه‌بندی استخراج می‌شود. در نهایت این تشخیصات توسط تحلیل‌گرها و آنالیز ساختاری بررسی می‌گردد.



شکل ۲- فلوجارت روش پیشنهادی در تشخیص اتوماتیک ترک آسفالت

به صورت کلی الگوریتم پیشنهادی در شناسایی ترک در این مقاله بر اساس شکل شماره (۲) شامل شش مرحله کلی اخذ تصاویر، محاسبات فتوگرامتری، پیش‌پردازش، استخراج کاندید ترک‌ها، استخراج ویژگی و کلاسه بندی می باشد که در ادامه به بررسی آنها خواهیم پرداخت.

فیلمبرداری آن متناسب با سرعت پرنده می باشد. با توجه به نرخ بالای فریم‌های تصاویر در فیلمبرداری هوایی، فیلم اخذ شده از پرنده سپس وارد مرحله استخراج فریم‌های کلیدی می شود تا از افزونگی داده جلوگیری شود. فریم‌های تصویری استخراج شده سپس وارد مرحله محاسبات فتوگرامتری به منظور حل المان‌های هندسی می گردد.

۳-۱- اخذ تصاویر به کمک پهپاد

امروزه پهپادها به عنوان ابزاری در دسترس و به صرفه به خدمت مهندسی ژئوماتیک در آمده و به ابزاری قدرتمند در اخذ تصاویر مبدل شده‌اند. برای اخذ تصاویر مورد استفاده در استخراج ترک‌ها، پرنده مالتی روتور با قابلیت پرواز در ارتفاع و سرعت پایین و در راستای جاده بر اساس وکتور جاده پیشنهاد می‌گردد. طراحی پرواز باید بر اساس مقادیر بهینه پوشش‌های طولی و عرضی در نظر گرفته شود. با توجه به اندازه ترک‌ها پیکسل‌سایز زمینی باید بهتر از ده سانتی متر تعیین گردد.

۳-۲- محاسبات فتوگرامتری

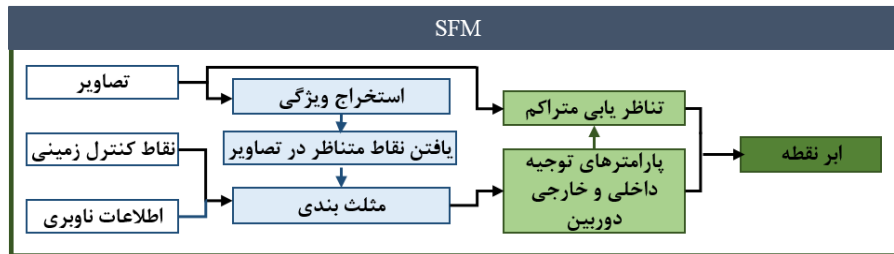
تاکنون تلاش‌های بسیاری در زمینه خودکارسازی فرآیند تولید ارتوموزاییک از تصاویر اخذ شده در ارتفاع پایین و کیفیت بالا انجام پذیرفته است. مراحل معمول ایجاد ارتوموزاییک با داشتن تصاویر و اطلاعات ناوبری مربوط به آنها به ترتیب زیر می‌باشد:

استفاده از الگوریتم SfM^۱ به منظور ایجاد مدل سه بعدی زمین با استفاده از اطلاعات ناوبری مربوط به تصاویر و نقاط کنترل زمینی، مراحل الگوریتم SfM در شکل

^۱ Structure From Motion

شماره (۳) نمایش داده شده است. برای این منظور بر اساس تصاویر اخذ شده و اطلاعات ناوبری و نقاط کنترل، به استخراج ویژگی پرداخته که در نتیجه آن نقاط متناظر در تصاویر استخراج می‌گردد. در ادامه مثلث بندی انجام

شده و پارامترهای توجیه داخلی و خارجی محاسبه می‌شود. سپس تناظریابی متراکم نقاط انجام شده و ابر نقاط متراکم تولید می‌گردد (در شکل شماره (۳) فلوچارت مربوطه نمایش داده شده است).



شکل ۳- فلوچارت مربوط به تولید ابر نقاط و تصویر ارتو

- i. ساخت تصویر ارتو از تصاویر اخذ شده در نتیجه‌ی تصویرکردن درجات خاکستری هر عکس بر روی مدل ارتفاعی زمین به کمک محاسبات فتوگرامتری صورت گرفته.
- ii. ترکیب تصاویر ارتو و ساخت ارتوموزاییک به نحوی که تغییرات درجه خاکستری در هنگام عبور از یک عکس به عکس دیگر کمینه گردد.

۳-۳-۳- پیش پردازش و بهبود تصاویر

تصاویر پوشش سطح آسفالت راه‌ها تحت شرایط یکسان شب و روز، آفتابی و ابری، و دارای همان عوارض ناخواسته قرار گرفته روی سطح راه مانند بافت غیر همگون، تابش نور غیر یکسان، غیر همگونی سطح راه، سایه‌ها، خطوط، محیط نویزی، آب، خطوط به جای مانده از تایر ماشین‌ها، لکه‌های روغن و نفتی و غیره اخذ نمی‌شود. به عنوان یک نتیجه، انتخاب یک حدآستانه همگون مسئله بسیار پر چالش در مرحله قطعه بندی می‌باشد. بنابراین طراحی یک پیش پردازش موثر گامی ضروری برای به دست آوردن نتایج مناسب می‌باشد. این مرحله وابسته به برجسته سازی یا واضح کردن عوارض مانند لبه‌ها، مرزها و یا ایجاد کنتراست برای شناسایی عوارض می‌باشد. بهبود تصاویر حجم وسیعی از کلاس‌ها مانند کاهش نویز، کاهش منطقی لبه‌ها، فیلتر سازی، درونیایی، بسط دادن کنتراست، مدل سازی هیستوگرام، عملگرهای تبدیل و ایجاد ترکیبات رنگی کاذب را شامل می‌شود [۴].

۳-۳-۱- پیش پردازش

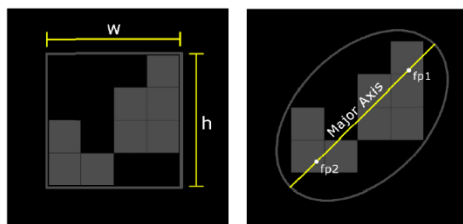
در اکثر الگوریتم‌های پردازش تصاویر، داده‌های خام در ابتدا می‌بایست آماده سازی گشته و سپس وارد

الگوریتم اصلی شوند. در مطالعات بسیاری این مرحله، جزو یکی از مهمترین و ضروری ترین مراحل می‌باشد چنانچه در اکثر مطالعات مانند [۱، ۲، ۱۰، ۱۳، ۱۶]، پیش پردازش‌هایی از قبیل نویز زدایی، برجسته کردن ترک، حذف عوامل مزاحمی مانند خطوط سفید، سایه، به هم رسیدگی‌ها و در برخی موارد حذف اثر پس زمینه انجام شده است. در این مطالعه روش پیشنهادی برای حذف نویزها استفاده از انتقال تاپ هت و روش‌های مینی بر مورفولوژی، حدآستانه و حذف عوارض یکه با استفاده از ویژگی‌های هم پیوستگی به منظور شناسایی و حذف عوامل ایجاد هشدارهای اشتباه^۱ می‌باشد.

۳-۳-۲- شناسایی ترک‌های کاندید

در این مرحله از الگوریتم، از فیلتر لبه یابی کنی به منظور تخمین اولیه ترک‌ها استفاده نموده، سپس با استفاده از ویژگی‌های عوارض مانند طول به هم پیوستگی، جهت قرار گیری، میزان دایروی بودن و گریز از مرکز، استفاده از الگوریتم شناسایی عوارض ایزوله و همچنین استفاده از ابزارات مورفولوژی، شناسایی اولیه را بهبود داده می‌شود. ترک‌ها انواع مختلفی دارند، از جمله آنها می‌توان به ترک‌های طولی، عرضی، پوست سوسماری و ... اشاره کرد. در اینجا ابتدا بر روی ساده ترین نوع ترک، یا به عبارتی ترک طولی کار شده است. از آنجا که ترک‌ها در تصاویر با ویژگی‌های خاصی ظاهر می‌شوند، این ویژگی‌ها را در قالب شکل‌های شماره (۴ و ۵) خلاصه و از این ویژگی‌ها برای شناسایی ترک استفاده شده است.

^۱ False Alarm



شکل ۵- برخی ویژگی‌های هندسی نظیر طول و عرض مستطیل محاطی، زاویه عارضه و طول بزرگترین محور

درجه خاکستری در هر باند، ویژگی‌های بافتی شامل کنتراست، آنتروپی، کورولیشن، همگونی و در نهایت ویژگی‌های هندسی شامل طول، جهت، زاویه، عرض، گریز از مرکز، طول بیضی محاطی می‌باشد. استفاده و یا عدم استفاده از هریک از این ویژگی‌ها بسیار حساس بوده و باعث بهبود و یا ضعف در عملکرد الگوریتم می‌گردد. برخی ویژگی‌های هندسی و بافتی مورد استفاده در محاسبه خصوصیات ترک به شرح جدول شماره (۲) است:

جدول ۲- ویژگی‌های مورد استفاده در کلاسه بندی

وسعت ^۱	به میزان وسعت ناحیه باکس محصور کننده شامل عارضه گفته می‌شود
گریز از مرکز ^۲	پارامتر مشخص کننده مرکز ژئومتریکی عارضه نسبت به دو نقطه کانونی بیضی منطبق بر محور ماکزیمم
مساحت	به مساحت در برگیرنده سطح پیکسل‌های یک عارضه گویند
محیط	به طول در برگیرنده سطح عارضه و یا طول محیط عارضه گویند
طول کوچکترین محور ^۳	به قطر کوچک بیضی محاط به عارضه گویند
طول بزرگترین محور ^۴	به قطر بزرگ بیضی محاط به عارضه گویند
جهت چرخش ^۵	به جهت قرار گیری عارضه نسبت به محور افقی گویند
درجه خاکستری	تصاویر مرئی دارای سه باند رنگی بوده و ارزش هر پیکسل در هریک از این باندها متفاوت است
کانتراست ^۶	نسبت اختلاف درجه خاکستری پیکسل میانی در یک پنجره را به سایر پیکسل‌های موجود در آن
همبستگی ^۷	به میزان همبستگی پیکسل میانی با سایر پیکسل‌های داخل پنجره گویند
انرژی ^۸	مانند سایر پارامترهای بافتی، میزان انرژی پیکسل میانی را محاسبه می‌کند
همگونی ^۹	به میزان همگونی پیکسل میانی با سایر پیکسل‌ها گویند

^۱ Extent
^۲ Eccentricity
^۳ Minor axis Length
^۴ Major axis Length
^۵ Orientation
^۶ Contrast
^۷ Correlation
^۸ Energy
^۹ Homogeneity



شکل ۴- انواع ویژگی‌های ترک

۳-۴- استخراج ویژگی

پس از حذف عوامل مزاحم و نویز و استخراج کاندیدهای ترک، نوبت به استخراج ویژگی‌ها برای عوارض به منظور ورود به الگوریتم SVM می‌رسد. این ویژگی‌ها می‌تواند شامل ویژگی‌های پیکسل مبنا و یا عارضه مبنا و یا تلفیقی از این دو باشد. ویژگی‌های پیشنهادی برای شرکت در الگوریتم SVM شامل سه دسته طیفی، بافتی و هندسی می‌شود. چنانچه سه ویژگی طیفی مربوط به عدد

در جدول شماره (۲) ویژگی‌های هندسی با رنگ سبز، طیفی با رنگ زرد و درنهایت ویژگی‌های بافتی مورد استفاده در این روش با رنگ آبی نشان داده شده است.

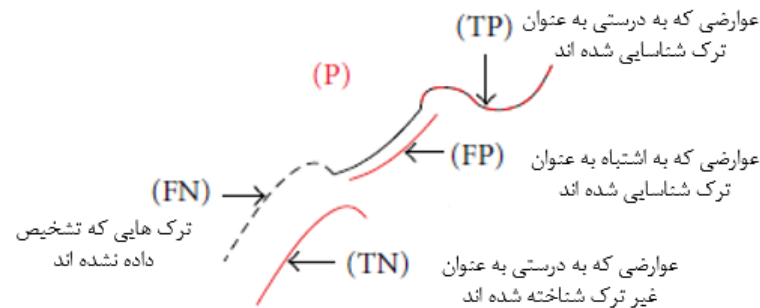
۳-۵- کلاسه بندی توسط الگوریتم SVM

SVM یک روش کلاسه بندی یادگیرنده است که دو نمونه کلاس به همراه ویژگی‌های مربوط به هر عارضه یا پیکسل به آن داده شده، پس از یادگیری، ترک‌های کاندید و ویژگی‌های آنها وارد الگوریتم شده و این پروسه برای لیبل دادن هریک از این پیکسل‌ها و یا عوارض به کلاس اول یا دوم طبق آموخته‌های پیشین انجام می‌گیرد. ویژگی‌های پیکسل مینا شامل اطلاعات درجه خاکستری هر پیکسل، اطلاعات مربوط به بافت ترک

نسبت به محیط اطراف در جهات‌های مختلف، کنتراست پیکسل در یک پنجره محدود کننده و همچنین ویژگی‌های عارضه مینا شامل ویژگی‌های هندسی مانند طول به هم پیوستگی عارضه، مساحت، میزان دایروی بودن، گریز از مرکز و غیره می‌شود.

۳-۶- ارزیابی

ارزیابی و سنجش صحت و دقت نتایج در این مرحله طبق مقادیر به دست آمده از مقایسه داده‌های واقعیت زمینی با مقادیر حاصل از نتایج به دست می‌آید. چنانچه مطابق روابط شکل شماره (۶) میزان حساسیت و دقت کلی، نسبت بین ترک‌های شناسایی شده در تصویر تست به کل ترک‌های موجود در تصویر می‌باشد.



حساسیت	$\frac{TP}{TP+FN}$	نسبت شناسایی درست به کل ترک‌ها
خصوصیت	$\frac{TN}{TN+FP}$	نسبت بین پیکسل‌های تشخیص داده نشده
ضریب مشابهت	$\frac{2TP}{FN+TP+P}$	نسبت بین شناسایی درست و پیکسل‌های تشخیص داده نشده

شکل ۶- پارامترهای دقت و صحت ارزیابی

مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات کامل‌تر مربوط به این سکو در جدول شماره (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۷- سکوی هوایی

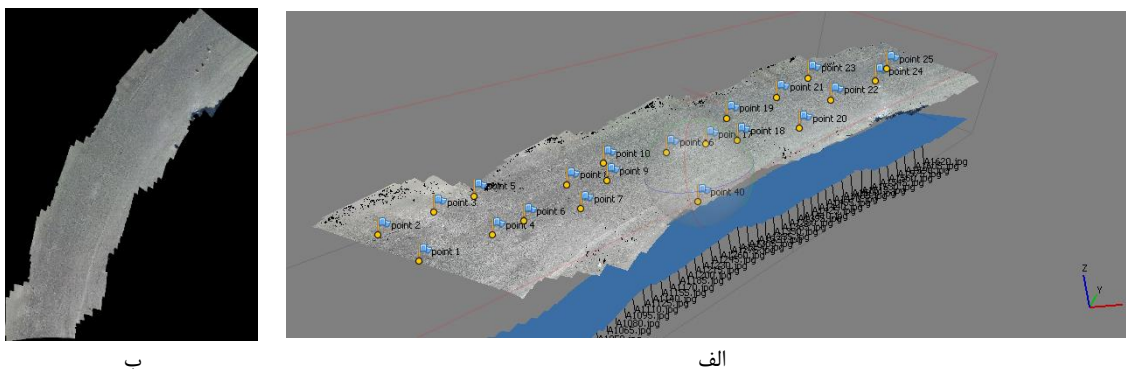
۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

روش اتوماتیک ارائه شده به منظور استخراج ترک آسفالت از جاده‌ها بر اساس سامانه پهپادی ارائه شده پیاده‌سازی و ارزیابی شده است. پرنده بدون سرنشین مالتی‌روتور^۱ مجهز به سنجنده مرئی با قابلیت اخذ تصاویر با توان تفکیک مکانی مناسب برای منطقه‌ی مورد مطالعه،

^۱ Multi rotor

۴-۱- محاسبات فتوگرامتری

پس از اخذ ویدئو هوایی، فریم های کلیدی از ویدئوی ضبط شده توسط پهپاد، حذف تصاویر کم کیفیت، دارای هندسه ضعیف و تار بر اساس مفهوم Blum صورت می پذیرد [۲۰]. هم چنین بر اساس نرخ تصویربرداری و سرعت پرنده، فریم های با پوشش طولی ۷۰ درصد از میان فریم های باقی مانده استخراج می گردد. سپس فریم های باقی مانده برای هم مرجع سازی و تولید ابر نقاط مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت تصویر ارتوفتوی نهایی ساخته می شود. در شکل شماره (۸) نمای پردازش تصویر و در نهایت ارتوفتوی ساخته شده نمایش داده شده است.



شکل ۸- الف) نمای پردازش تصاویر به منظور تولید ارتوفتو (ب) ارتوفتوی نهایی ساخته شده

جدول ۳- مشخصات سکوی هوایی

مدامت پرواز	۳۰-۴۰ دقیقه
حداکثر ارتفاع پرواز	۲۰۰۰ متر از سطح دریا
ابعاد	۱/۲ متر
سرعت بهینه	۲۰ کیلومتر بر ساعت

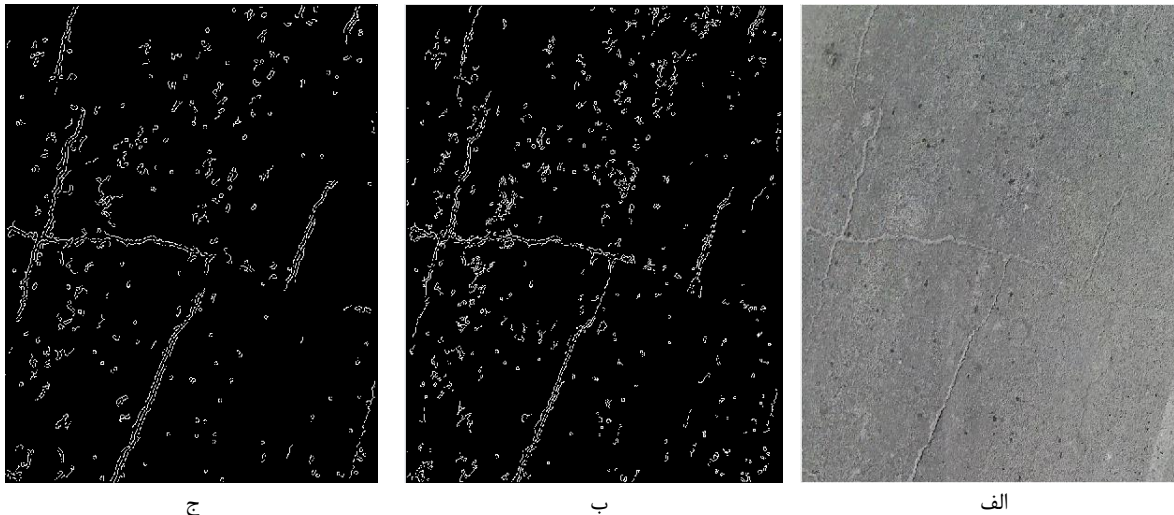
داده های مورد بررسی از جاده های بین شهری در جنوب تهران و منطقه صنعتی چرم شهر اخذ شده است. برای آن منظور با توجه به در دست بودن بردار محور جاده، طراحی پرواز در ارتفاع ۱۰۰ متری سطح زمین به کمک مالتی روتور طراحی شده و بر اساس دوربین GoPro4 فیلمبرداری هوایی انجام شده است.

۴-۲-۱- پیش پردازش

انتقال تاپ هت روشی برای غلبه بر میزان نوردهی متفاوت در مناطق مختلف تصویر و متعادل نمودن تصویر می باشد. در این مقاله این روش همراه با یک نرم سازی با فیلتر میانگین، نتایج قابل قبول تری نسبت به نتایج داده های خام دارد. در شکل شماره (۹) نتیجه شناسایی لبه کنی در دو تصویر با اعمال تابع پردازش و قبل آن نمایش داده شده است.

۴-۲-۲- پیش پردازش و بهبود تصاویر

مرحله پیش پردازش مرحله ای اساسی در روند پردازش تصاویر است چرا که تصاویر تحت شرایط یکسانی مانند نوردهی، عوامل خارجی، نویزهای متفاوت و غیره اخذ نمی شوند. پیش پردازش در این مقاله شامل دو بخش می باشد. در ابتدا نویزهای تصویر توسط انتقال تاپ هت و فیلتر بلرینگ بهبود یافته، سپس مرحله دوم شامل حذف عوامل مزاحم برای بالاتر بردن سرعت و پرهیز از انجام دوباره کاری ها می باشد. عواملی که می بایست در این مرحله شناسایی و ماسک گردند شامل شناسای نواحی اطراف جاده و ماسک آن، پیش پردازش هایی به منظور کاهش نویز و برجسته کردن ترک ها، و همچنین شناسایی و ماسک عوارضی است که باعث به وجود آمدن شناسایی های اشتباه می گردد. نتایج این مرحله در شکل شماره (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۹- نمای کلی تاثیر انتقال تاپ هت بر شناسایی لبه توسط الگوریتم کنی بر تصویر اصلی (ب) نتیجه الگوریتم لبه یابی کنی بر تصویر اصلی (ج) نتیجه الگوریتم کنی بر تصویر به دست آمده توسط تابع تاپ هت (الف) تصویر اصلی (ب) نتیجه الگوریتم لبه یابی کنی بر تصویر اصلی (ج) نتیجه الگوریتم کنی بر تصویر به دست آمده توسط تابع تاپ هت

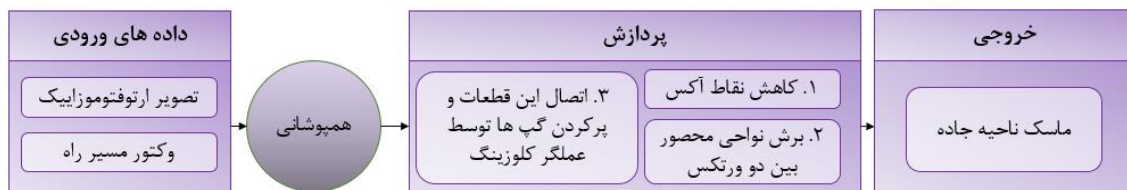
۴-۲-۲- حذف عوارض غیرهدف

عوارض زیادی باعث ایجاد اختلال در شناسایی ترک می‌شوند در اینجا به آن پرداخته شده است.

۴-۲-۲-۱- جدا نمودن جاده از غیرجاده

به منظور کاهش ناحیه جستجو و تشخیصات اشتباه، نیاز به شناسایی ناحیه جاده از غیرجاده داریم. چنانچه در

این بخش از مقاله با فرض در دست داشتن اطلاعات آکس مسیر، عرض استاندارد جاده و اطلاعات پرواز و مقیاس تصویربرداری، می‌توان با نرم سازی وکتور راه و کندن تکه های بین دو نقطه تقاطع و درنهایت بهبود تشخیص توسط فیلترهای مورفولوژی، ناحیه جاده را از غیر جاده تمییز داد. مراحل جدا نمودن جاده از غیر جاده در روش پیشنهادی در شکل شماره (۱۰) نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- فلوچارت استخراج راه از نواحی اطراف

۴-۲-۲-۲- جدا نمودن عوارض گمراه کننده غیرهدف

در اینجا شناسایی و حذف چند عامل مهم شامل ماشین، لکه های روغنی، خطوط سفید جاده، پوشش گیاهی و سایه های شدید پرداخته می شود. پس از شناسایی تمام این عوارض، ماسک مربوطه ایجاد شده و پس از اعمال فیلترهای مورفولوژی به منظور بهبود گپ ها و ایجاد یک بافر نازک به منظور اجتناب از انتخاب لبه مابین ماسک و جاده به عنوان ترک، ماسک نهایی هریک به دست آمده و ترکیب این ماسک ها و حذف این مناطق از تصویر اصلی، موجب بالاتر بردن سرعت پردازش و اجتناب از استخراج نواحی غیر ترک می گردد.

از آنجا که اغلب، جاده ها یک سطح هموزن و با یک طیف خاکستری مشخص دارند، می توان با استفاده از یک حدآستانه منطبق، شناسایی اولیه جاده و عوارض دارای رنگ های دیگر را تفکیک نمود. پس از بریدن جاده با استفاده از بردار محور مسیر، با استفاده از ابزارات مورفولوژی پس از اعمال حدآستانه، سپس حذف لکه های روغنی و عوارض ایزوله، با استفاده از برنامه نوشته شده و همچنین معیارهایی مانند گستردگی، طول و مساحت عارضه، جهت، ضریب گریز از مرکز که بر روی عوارض به دست آمده از برنامه استخراج عوارض به هم پیوسته به دست آمده بود، حاصل گردید.

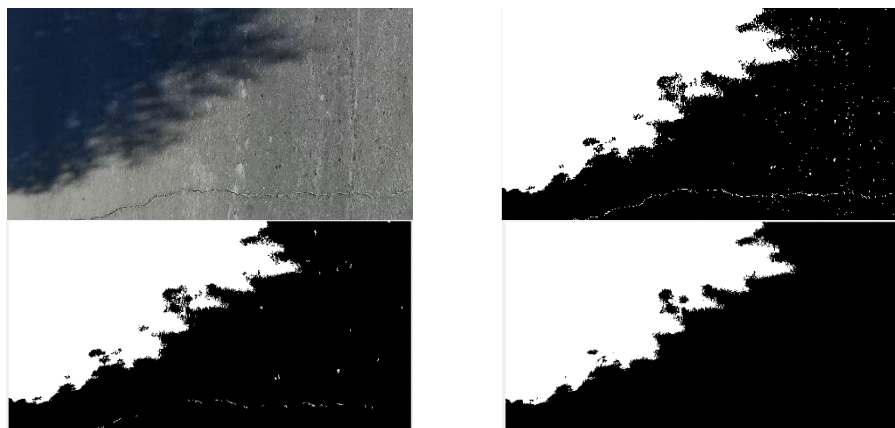


الف) تصویر اصلی ب) اعمال ماسک جاده ج) اعمال فیلتر حدآستانه د) حذف عوارض کوچک توسط تابع حذف عوارض منفرد ه) نتیجه نهایی پس از اعمال فیلتر بستن مورفولوژی

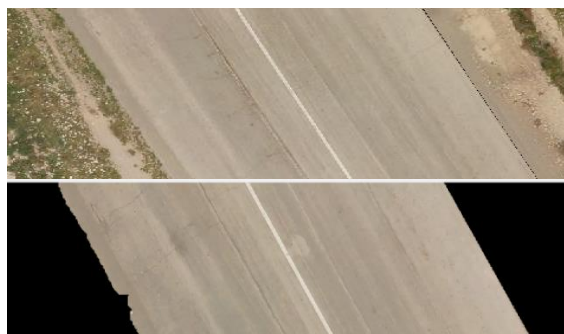
شکل ۱۱- شناسایی و ماسک عوارض غیر هدف با استفاده از ویژگی های هندسی عوارض و مورفولوژی

ایزوله مانند لکه های روغنی بر روی تصویر و اعمال دایلیشن و اروژن به شناسایی مطلوبی از محل سایه دست یافت.

سایه ها عوارضی با وسعت زیاد هستند که می توان با اعمال یه حدآستانه پس از نرم کردن، سپس حذف عوارض



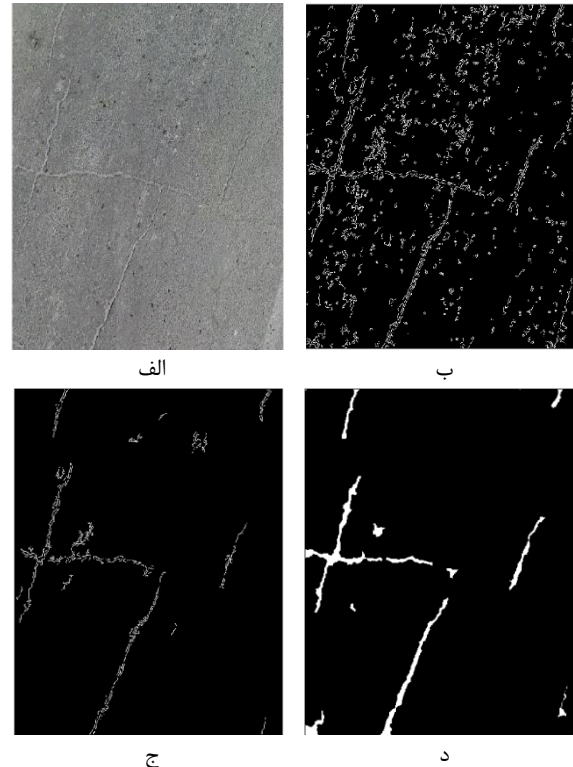
شکل ۱۲- شناسایی و ماسک سایه در تصاویر با استفاده از ویژگی عوارض و حدآستانه و بهبود آن توسط مورفولوژی



شکل ۱۳- شناسایی و ماسک پوشش گیاهی توسط حدآستانه و مورفولوژی

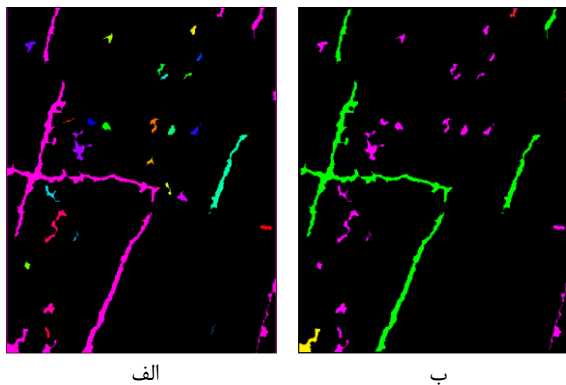
به منظور شناسایی و حذف پوشش گیاهی و خطوط راهنمای سفید می توان با اعمال حد آستانه بر باند سوم طیف مرئی، به علت وجود اختلاف زیاد پوشش سطح جاده با دیگر عوارض، این عوارض غیرهدف را تشخیص داده و سپس با اعمال عملگر مورفولوژی بستن، به تشخیص خوبی در این زمینه دست یافت. در شکل شماره (۱۳) نتیجه شناسایی پوشش گیاهی و خطوط سفید بر تصویر را مشاهده می نمایید.

در شکل شماره (۱۴)، نتیجه اعمال تابع حذف عوارض منفرد مانند لکه‌های روغنی را مشاهده می‌نمایید. مزیت استفاده از این تابع در مقابل توابع مورفولوژی، عدم آسیب به دیگر عوارض در عین حذف عوارض منفرد می‌باشد.



شکل ۱۴- الف) تصویر اصلی ب) شناسایی لبه توسط الگوریتم کنی بهبود تصویر باینری توسط حذف عوارض غیرمشابه از و حذف عوارض ایزوله (لکه های روغنی) د) بهبود شناسایی توسط عملگر بستن مورفولوژی و همچنین تصویر باینری ورودی الگوریتم SVM

شناسایی می‌کند. در حقیقت این مرحله فقط بهبودی در ادامه مراحل قبل و نه تصمیم گیرنده کلی می‌باشد. شکل ۱۵ نتایج اعمال الگوریتم بر محدوده ای از تصویر را نمایش می دهد. همانطور که در شکل شماره (۱۵) مشاهده می‌شود، عوارض سبز و بنفش، هریک به درستی به کلاس مربوطه خود اختصاص داده شده اند در حالی که عوارض قرمز رنگ به اشتباه به کلاس ترک برچسب دهی شده اند. همچنین عارضه زرد رنگ، به عارضه تلفیقی از ترک و غیرترک بوده که به اشتباه به عنوان غیرترک شناسایی شده است.



شکل ۱۵- الف) ورودی طبقه بندی کننده SVM ب) خروجی طبقه بندی کننده SVM

نتایج اعمال الگوریتم کلاسه بندی آموزش داده شده بر روی تمام منطقه تصویر ارتو در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. همچنین به منظور ارزیابی بهتر نتایج در قالب ماتریس ابهام در جدول شماره (۴) نمایش داده شده است.

جدول ۴- ماتریس ابهام برای طبقه بندی ترک از غیر ترک

تعداد کل پیکسل‌ها		تعداد پیکسل‌های پیش‌بینی شده	
		ترک	غیر ترک
۲۰۲۹۱		۱۳۵۳۱	۸۲
تعداد پیکسل‌های واقعی	ترک	۲۳۷	۶۴۴۱
	غیرترک	۹۸/۴۳	درصد
دقت کلی :			

۵- نتیجه گیری

با توجه به قابلیت پهپادها، استفاده از تصاویر آنها به منظور استخراج ترک ها به موضوع مورد توجه ای در سالهای اخیر تبدیل شده است. اگرچه تا کنون مطالعاتی به منظور استخراج ترک از تصاویر پهپادی انجام شده است، اما بیشتر آنها در شرایط ساده و یا ترک های رویه

۴-۳- استخراج ویژگی

برای هریک از نمونه های کلاس ترک و غیرترک ویژگی‌های طیفی، بافتی و هندسی تعریف می‌شود. چنانچه مقدار درجه خاکستری هریک از سه باند طیف مرئی به عنوان ویژگی‌های طیفی، طول ماکزیمم، طول مینیمم، خروج از مرکز، جهت اروشاد و غیره به عنوان ویژگی‌های هندسی و کورلیشن، کانتراست، انرژی و همگونی در شانزده جهت به عنوان ویژگی‌های بافتی به عنوان داده‌های ورودی SVM وارد الگوریتم می‌شوند.

۴-۴- طبقه بندی

طبقه بندی SVM عوارض کوچک و غیرترک که در مراحل قبل امکان شناسایی نداشتند را تا حد خوبی

نرم سازی و واضح نمودن توسط فیلتر میانگین و انتقال تاپ هت، استفاده از عملگر کلوزینگ به منظور اتصال آبجکت‌ها، حذف عوارض غیرهدف و لکه های روغنی توسط توابعی مانند حدآستانه، مورفولوژی، شناسایی عوارض ایزوله و در نهایت استفاده از ویژگی های شکل هندسی ترک برای حذف غیر ترک ها، یک تصویر باینری اولیه برای شرکت در الگوریتم SVM به دست می‌آید. این پردازش ها و تشخیص تصویر اولیه برای کاندیدهای ترک، تاثیر بسیار چشمگیری در نتیجه دقت و صحت و همچنین زمان پردازش داشته و در نهایت درصد موفقیت ۹۸ درصد را در استخراج ترک رویه آسفالت ها به همراه داشته است.

های بتنی موفق ظاهر شده اند. به منظور بهبود صحت و دقت کلی و همچنین کاهش زمان پردازش روش‌های شناسایی شناخته شده مانند الگوریتم های استخراج لبه و یا روشهای حدآستانه و آنالیز هیستوگرام و غیره، نیاز به پیش پردازش هایی از قبیل نویز زدایی، نرم کردن و برجسته نمودن عوارض مورد نظر، شناسایی و ماسک عوارضی که باعث ایجاد اشتباه در تشخیص الگوریتم ها می شوند مانند لکه های روغنی، ماشین، سایه، خطوط خط کشی سفید، به هم پیوستگی ها، ترک های مرمت شده و غیره می‌باشد. در این مقاله پس از اخذ تصاویر هوایی به کمک پهپاد، تولید ارتوفتو و ماسک نمودن نواحی خارج جاده در تصویر، با پیش پردازش هایی مانند

مراجع

- [1] Some, L., Automatic image-based road crack detection methods. 2016.
- [2] Cubero-Fernandez, A., et al., Efficient pavement crack detection and classification. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2017. 2017(1): p. 39.
- [3] Koch, C., et al., A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure. Advanced Engineering Informatics, 2015. 29(2): p. 196-210.
- [4] Zakeri, H., F.M. Nejad, and A. Fahimifar, Image based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review. Archives of Computational Methods in Engineering, 2017. 24(4): p. 935-977.
- [5] Schnebele, E., et al., Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. European Transport Research Review, 2015. 7(2): p. 1-19.
- [6] Sankarasrinivasan, S., et al., Health monitoring of civil structures with integrated UAV and image processing system. Procedia Computer Science, 2015. 54: p. 508-515.
- [7] Pereira, F.C. and C.E. Pereira, Embedded image processing systems for automatic recognition of cracks using UAVs. IFAC-PapersOnLine, 2015. 48(10): p. 16-21.
- [8] Kim, H., et al., Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. Sensors, 2017. 17(9): p. 2052.
- [9] Yin, Z., Y. Mao, and C. Seto, Develop a UAV Platform for Automated Bridge Inspection. A Cooperative Research Project sponsored by U.S. Department of Transportation-Research and Innovative Technology Administration, 2015.
- [10] Kim, H., S. Sim, and S. Cho, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-powered Concrete Crack Detection based on Digital Image Processing. 2015.
- [11] Zhang, C., An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, 2008. 37: p. 627-632.
- [12] McGhee, K.H., Automated pavement distress collection techniques. Vol. 334. 2004: Transportation Research Board.
- [13] Gavilán, M., et al., Adaptive road crack detection system by pavement classification. Sensors, 2011. 11(10): p. 9628-9657.
- [14] Kim, J.-W., et al., Development of Crack Detection System with Unmanned Aerial Vehicles and Digital Image Processing. Advances in structural engineering and mechanics (ASEM15), 2015.
- [15] Yokoyama, S. and T. Matsumoto, Development of an Automatic Detector of Cracks in Concrete Using Machine Learning. Procedia engineering, 2017. 171: p. 1250-1255.
- [16] Ahmet Bahaddin Ersoz, O.P., Turker Teke, Crack identification for rigid pavements using unmanned aerial vehicles. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, conference 1, 2017. 236.

- [17] Chambon, S., et al. Road crack extraction with adapted filtering and Markov model-based segmentation: introduction and validation. in International Joint Conference on Computer Vision Theory and Applications, VISAPP. 2010.
- [18] Aldea, E. and S. Le Hégarat-Mascle, Robust crack detection for unmanned aerial vehicles inspection in an a-contrario decision framework. Journal of Electronic Imaging, 2015. 24(6): p. 061119-061119.
- [19] Oliveira, H. and P.L. Correia. Automatic road crack segmentation using entropy and image dynamic thresholding. in Signal Processing Conference, 2009 17th European. 2009. IEEE.
- [20] Crete, F., Dolmiere, T., Ladret, P. and Nicolas, M., (2007). "The blur effect: perception and estimation with a new no-reference perceptual blur metric". In Electronic Imaging, pp. 649201-649201. International Society for Optics and Photonics.