

## بررسی توان تصاویر پهپادی دقیق در ارزیابی پدیده فرسودگی آسفالت (نمونه موردی: روستای الوار سفلی، حوالی شهر تبریز)

علی اکبر تقی‌پور، استادیار دانشگاه دامغان، دانشکده علوم زمین، گروه جغرافیا، دامغان، ایران.  
حمید رسولی\*، کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی،  
دانشگاه تبریز

افشین فامیلی، دانشجوی دکتری حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کلمسون، ایالت  
کارولینای جنوبی، آمریکا

Email: Hamid\_rasouli71@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۶ - پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۲

### چکیده

پدیده پیری و شیارشدگی آسفالت یکی از عوامل عمده‌ی کاهش عمر مفید آن است. در دهه اخیر و با تصاویر دارای دقت مکانی بالا (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر)، عملاً قابلیت کنترل کیفیت سطح جاده‌ها به صورت کمی و با دقت بالا به دست آمده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی پدیده‌ی پیری و شیارشدگی ایجاد شده روی آسفالت و ارزیابی توان DSM مستخرج از تصاویر پهپادی در زمینه کنترل کیفیت آسفالت در روستای الوار سفلی صورت گرفته است. تصویربرداری فرآطیفی برای سه نوع آسفالت دارای عمر کمتر از ۲ سال، بین ۴ تا ۷ سال و بیشتر از ۱۰ سال نشان می‌دهد که نمودار آسفالت داری عمر کمتر از دو سال همواره پایین‌تر از سایر نمودارهاست، چرا که قیر استفاده شده در ترکیب آسفالت پس از گذشت مدت مشخصی کیفیت خود را از دست داده، روشن‌تر شده و در نتیجه بازتاب سطحی آن بیشتر می‌شود. صحت‌سنجی نقاط تعلیمی انتخاب شده روی زمین برای فرسودگی، دقت کلی برابر ۹۵٪ و ضریب کاپا ۹۵ را نشان می‌دهد که بیانگر دقت بالا و صحت نتایج است. همچنین، دقت مکانی بالا (7.5 cm) امکان مطالعه شیارشدگی‌های نوع دوم و سوم و امکان بررسی عمق ترک خوردگی و تنش با استفاده از این تصاویر در حد سانتی‌متر را نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که DSM حاصل از هم‌پوشانی تصاویر پهپادی، قابلیت استخراج شیب‌های عرضی سطوح معابر و خیابان‌ها را داراست که این مورد در بررسی میزان نشست آسفالت در گذر زمان کاربردی است. در صورت رفع مشکل و استانداردسازی شیب سطوح جاده‌ها و معابر، عملاً میزان آبرگرفتنی معابر در فصول سرد کاهش یافته و بر عمر مفید آسفالت افزوده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پهپاد (پهباد)، پیری آسفالت، شیارشدگی آسفالت، نمودار طیفی

## ۱. مقدمه

که سطح راه‌ها توسط کارگران و کارشناسان فنی و به صورت حضور در محل و بازدید میدانی صورت می‌گیرد، بسیار مقرون به صرفه‌تر است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل تغییر طیفی مواد تشکیل دهنده آسفالت تازه، سنجش از دور را می‌توان برای نظارت بر تغییرات وضعیت آسفالت مورد استفاده قرار داد. با این حال، مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بررسی وضعیت کیفیت آسفالت با استفاده از تصاویر دارای دقت مکانی کم (پیکسل اندازه بزرگ) دارای اشکالاتی است. زیرا در تصاویر دارای دقت مکانی بالا، چون هر پیکسل می‌تواند سطوح مختلف از قبیل انواع پوشش‌های زمینی (مانند پوشش گیاهی، ساختمان‌ها و خاک) را شامل شود. لذا، بر سیگنال طیفی تأثیر می‌گذارد و متغیرهای قابل توجه و عدم اطمینان را به آن اضافه می‌کند. لذا، روش طبقه‌بندی سطوح جاده برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد می‌گردد. روش طبقه‌بندی تصاویر برای نشان دادن وضعیت آسفالت از تصاویر دارای دقت مکانی استفاده می‌نماید. در این روش، از تصاویر چند بانندی که شامل باندهای سبز، قرمز، آبی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد، استفاده می‌گردد. در پژوهش حاضر، سعی شده از به‌روزترین تکنولوژی پهپادی موجود با هدف بررسی میزان کارایی این تصاویر در دو پدیده پیری آسفالت (میزان عمر) و تنش آسفالت (انواع شیارشدگی) بهره‌گیری شود. همچنین، با استفاده از لایه DSM حاصل از تصاویر اُرتوفتو پهپادی سعی می‌شود میزان استاندارد بودن شیب ورودی اصلی روستا، به عنوان مثال موردی، بررسی گردد. در این راستا، در زمینه پیری، از تصاویر رستری پهپاد و در زمینه پدیده تنش و صحت شیب عرضی از لایه DSM حاصل از تصاویر مزدوج دارای همپوشانی تهیه شده از همان پرواز، بهره‌گیری می‌شود.

صرف هزینه‌های سرسام‌آور جهت رفع خرابی روسازی خیابان‌های شهری مسئله عمده مدیران و تصمیم‌گیران حوزه عمران شهری است. با بررسی و کنترل سطح آسفالت و سایر روسازی‌های مورد استفاده در شهرها و جاده‌ها، پلان‌هایی از وضعیت خرابی و محل وقوع خرابی‌های روسازی خیابان‌های شهری به دست می‌آید که ابزار بسیار مناسبی جهت اولویت‌دهی به مراحل روسازی و یا نوسازی پوشش معابر و خیابان‌های مراکز جمعیتی است. با بهره‌گیری از سنجش از دور<sup>۱</sup> می‌توان قضاوتی در مورد وضعیت روسازی از نظر نوع خرابی‌های موجود و برآورد سن نسبی روسازی انجام داد. اطلاعات به دست آمده از تصاویر سنجش از دور، در بحث مدیریت راه‌ها بسیار مفید و سودمند می‌باشند (خبیری و خویش اردستانی، ۱۳۹۲). روسازی‌هایی که در معرض رطوبت و بارهای محوری سنگین قرار دارند به سرعت دچار اضمحلال شده و از بین می‌روند (اکسوی و همکاران، ۲۰۰۵). مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت سطوح راه‌ها عبارتند از عمر راه، حجم ترافیک و شرایط جوی غالب بر منطقه (هارتگن و همکاران، ۲۰۱۴). میزان توانایی سرویس‌دهی به خودروها در یک مسیر در درجه اول به شرایط راه بستگی داشته و در درجه دوم وابسته به مراکز مدیریت و آژانس‌های رسیدگی به راه در سطوح محلی، استانی و کشوری می‌باشد. برای کنترل کیفیت و تعمیر و نگهداری از راه‌ها در هر یک از سطوح باید مقدار قابل توجهی پول و زمان صرف نمود (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

یکی از روش‌های کنترل کیفیت آسفالت، سیستم مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر بهره‌گیری از پهپاد<sup>۲</sup> می‌باشد که علاوه بر جامعیت و دقت زیاد، بسیار کم‌هزینه و البته سریع می‌باشد و در مقایسه با روش‌های قدیمی

۲- UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

۱- Remote Sensing

## ۲. مبانی نظری

### ۲-۱. سنجش از دور

سنجش از دور به طور کلی عبارت است از تشخیص و جمع آوری داده از فواصل دور و به عنوان فناوری و علمی تعریف می گردد که به وسیله آن می توان بدون تماس مستقیم، مشخصه های (مکانی، طیفی، زمانی) یک شیء یا پدیده را تعیین، اندازه گیری و یا تجزیه و تحلیل نمود (سلمانی و رسولی، ۱۳۹۶).

در سنجش از دور، انواع مختلف سکوها جهت نصب سنجنده (گیرنده موج دریافتی) استفاده می گردد که به لحاظ ارتفاع محدوده ای از چند متر تا هزاران کیلومتر را پوشش می دهد. همچنین، سنجش از دور به لحاظ ارتفاعی، با توجه به وجود جو زمین، به دو گروه کلی هوابرد و فضایی تقسیم می گردد (سلمانی و رسولی، ۱۳۹۶). امروزه در سطح جهان در زمینه سنجش از دور هوابرد بهره گیری از دو نوع سکوی هلی کوپتر و پهپاد مرسوم است که در این بین هوایمای بدون سرنشین (پهپاد) با توجه به قابلیت کنترل از راه دور و عدم نیازمندی به سکو جهت نشست و برخاست، قابلیت ارسال و دریافت به هنگام تصاویر دریافتی، سبکی و قابلیت حمل، قابلیت مانور بالا، کم هزینه تر بودن به نسبت هلی کوپتر و هوایمما، سطح بالای تکنولوژی و تنوع سنجنده های قابل نصب، در حال همه گیر شدن و گسترش است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). مهمترین مشخصات فنی سنجنده های کاربردی در سنجش از دور، ابتدا قدرت تفکیک مکانی و در مرحله دوم پهنای باند یا محدوده طول موجی است که سنجنده توان تشخیص و تصویرسازی در محدوده الکترومغناطیسی را دارا می باشد (فاطمی عقدا و رضایی، ۱۳۹۳). معیارهایی مانند قدرت تفکیک سنجنده (چند متر را پوشش می دهد) و تشخیص دامنه ی طیف الکترومغناطیس در انتخاب تصویر مهم

هستند. از آنجا که موضوع این مطالعه، بررسی ارتباط بین سنجش از دور و ارزیابی کیفیت آسفالت در مناطق شهری می باشد، می توان گفت در این زمینه، با توجه به ماهیت کار، هرچه قدرت تفکیک طیفی بیشتر بوده و قدرت تفکیک مکانی نیز بیشتر باشد، نتیجه کار نیز مطلوب تر خواهد بود.

### ۲-۲. پوشش سطح جاده (آسفالت) و آسیب های

#### آن

همانطور که مشخص است، روسازی مشکل از مواد سنگدانه ای و قیری می باشد و مواد سنگدانه ای (معدنی) اساساً از ترکیبات  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{C}_2\text{O}$  و  $\text{MgO}$  و بخش قیری عمدتاً از هیدروکربن به همراه اتم کربن (۸۰-۷۸ درصد)، اتم های هیدروژن (۱۱-۹ درصد)، اکسیژن (۸-۲ درصد)، سولفور (۵-۱ درصد) و نیتروژن (۰-۱ درصد) که یک ترکیب قطبی به وجود می آورند تشکیل شده است (هرولد، ۲۰۰۴). بررسی وضعیت روسازی راه، پیش نیاز اصلی برنامه ریزی برای تعیین اولویت ها و انتخاب روش یا روش های بهسازی می باشد. وضعیت روسازی راه را می توان به یکی از روش های معتبر  $\text{PCI}^1$  و  $\text{PSI}^2$  انجام داد. در این روش ها، انواع آسیب دیدگی آسفالت مانند انواع ترک ها، چاله ها، فرورفتگی و جداشدگی سنگدانه مورد بررسی قرار می گیرد. شاخص وضعیت روسازی ( $\text{PCI}$ ) عددی بین ۱۰۰-۰ را نشان می دهد که در آن نمره ۱۰۰ به معنی بهترین حالت ممکن است و عددهای کم نشانگر آسیب دیدگی هایی مانند ترک های سوسماری (ترک های به هم پیوسته که از مجموعه ای از تکه های کوچک تشکیل شده و ظاهری شبیه پوست سوسمار دارند)، ترک های عرضی و ترک های بلوکی می باشد (حیدری، ۱۳۹۱؛ هونگ ژو، ۲۰۰۱)..

۲۰۰۴)، فشار کار بالا (ونگ، ۲۰۰۰)، وقت گیر و پُر خطر برای بازرسان (اشنبل و همکاران، ۲۰۱۵)، خسته کننده (تیم و مک کوئین، ۲۰۰۴)، مطابق با ذهنیت کارکنان (آته اُکین و آدارکوا، ۲۰۱۳)، نیازمند کارکنان متخصص و در شیفتهای کاری منظم (ولترز و همکاران، ۲۰۱۱) و در نهایت دارای ویژگی عدم امکان اشتراک داده‌ها می‌باشند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵).

در دهه‌های قبل، تکنیک‌های هوابرد سنجش از دور توجه بیشتری را به خود معطوف کرده بود (جنسن و کون، ۱۹۹۹). البته این روش خود ایراداتی دارد که از آن جمله می‌توان ضرورت دارا بودن دقت مکانی بالا (در حد یک سانتی‌متر) برای تشخیص ترک‌های منفرد را نام برد (گو، ۲۰۱۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهمترین مشکل برای بهره‌گیری از تصاویر دیجیتال، قدرت تفکیک مکانی بالا است که محدودیت ایجاد کرده و در صورت ورود به محدوده کمتر از یک سانتی‌متر نتایج بسیار خوبی به‌دست خواهد آمد. پیشرفت‌های اخیر سنجش از راه دور، به طور مؤثر جمع‌آوری تصاویر با وضوح بالا (محدوده‌ی کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) و تصاویر هوایی رنگ طبیعی با هزینه کم را ممکن ساخته که این مورد بسته به نوع و ارتفاع پرواز سکوه‌های پهپادی دارای دقت‌های مکانی متفاوتی است.

یکی از مشکلات آسفالت، بحث فرسودگی می‌باشد. فرسودگی باعث می‌گردد تا آسفالت مواد روغنی خود را به دلایل مختلف از دست بدهد. این تأثیر نسبت به تغییر در ترکیب شیمیایی و تغییر ساختار مولکولی خیلی سریعتر و در بازه زمانی کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد. در نتیجه‌ی از دست دادن مواد روغنی، آسفالت به یک جسم خشک و شکننده تبدیل می‌گردد (غفارپور جهرمی و خدایی، ۱۳۸۸). نتیجه دیگری که با از بین رفتن روغن سطح آسفالت اتفاق می‌افتد افزایش خاصیت انعکاس‌پذیری سطح جاده است. به عبارتی، در هنگام روغنی بودن سطح آسفالت، امواج الکترومغناطیس بیشتری جذب می‌شوند.

یکی از آسیب‌دیدگی‌های آسفالت، پدیده شیارشدگی است. پدیده شیارشدگی به صورت تغییرشکل مکانیکی در محل عبور چرخ خودروها رخ می‌دهد که علت وقوع آن می‌تواند بارگذاری بیش از حد، ضخامت ناکافی روسازی و یا کمبود مقاومت مخلوط آسفالت باشد. شیارشدگی مکانیکی معمولاً با ترک‌های سوسماری همراه است که اغلب در لایه روسازی آسفالتی که در آن قسمت تنش کششی بیش از تحمل لایه روسازی است شکل می‌گیرد. البته خود پدیده شیارشدگی به سه نوع شیارشدگی با شدت کم (۱۲ میلی - متر و کمتر)، شدت متوسط (۱۲ تا ۲۵ میلی‌متر) و شدت بالا (بیش از ۲۵ میلی‌متر) وجود دارد که در این وضعیت، احتمال وقوع پدیده رانش آسفالت به جوانب نیز محتمل بوده و شیب استاندارد جاده به کلی از حالت استاندارد خارج می‌گردد (غفارپور جهرمی و خدایی، ۱۳۸۸).

از مشکلات عمده راه‌های آسفالت، بحث فرسودگی آن می‌باشد. عواملی مانند اکسیژن هوا و عکس‌العمل‌های شیمیایی آسفالت که تحت تأثیر نور خورشید و گرما به وجود می‌آیند، بیشترین تأثیر را در فرسودگی آسفالت دارند. این عوامل به سه گونه بر روسازی آسفالت تأثیر می‌گذارند: (۱) از دست دادن مواد روغنی بر اثر تبخیر یا جذب توسط مواد خارجی، (۲) تغییر در ترکیب شیمیایی مصالح به واسطه اکسید شدن و (۳) تغییر در ساختار مولکولی مصالح که باعث تأثیر در ویسکوزیته روسازی می‌شود.

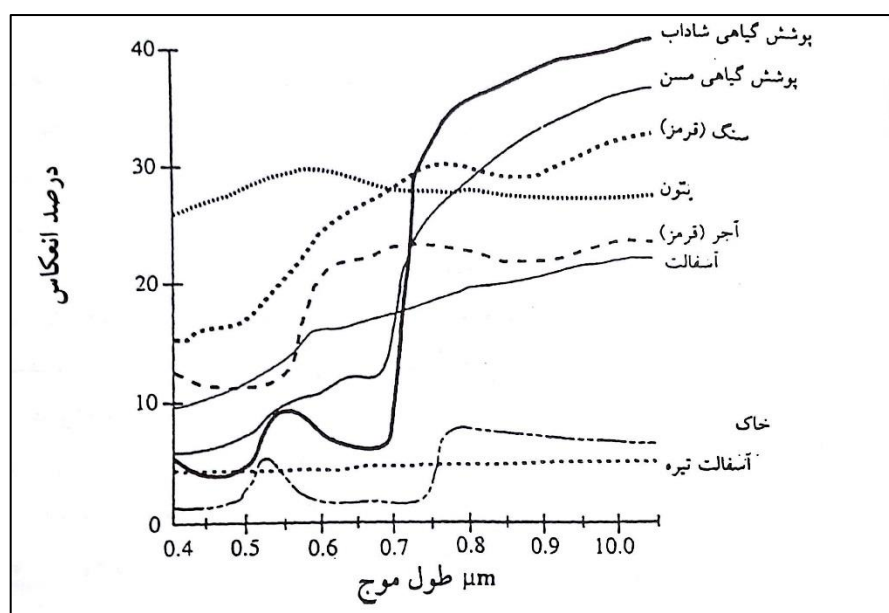
### ۲-۳. ارتباط بین سنجش از دور و کیفیت آسفالت

برای مطالعه آسیب‌های آسفالت، روش‌های گوناگونی وجود دارد. روش‌های ارزیابی زمینی در عین اینکه می‌توانند به سهولت و با دقت بالا نوع آسیب‌دیدگی و محل را مشخص نمایند (به عنوان مثال، این مورد که نوع ترک خوردگی از نوع ترک‌های پوست سوسماری است یا خیر؟) اما این روش‌ها مطمئناً پُرهزینه (مک‌گی،

قرمز انعکاسی و نور مرئی می‌باشند. در حالی که مواد معدنی، بسته به نوع ماده معدنی، طیف گسترده‌ای از جذب و انعکاس را در طول موج‌های مادون قرمز انعکاسی و نور مرئی از خود نشان می‌دهند. شکل ۱ به خوبی نشان می‌دهد که درصد بازتاب چگونه در مواد مختلف و حتی بین آسفالت تیره و آسفالت با هم متفاوت می‌باشد. همین طیف‌های برگشتی عامل مهمی برای تحلیل تصاویر پهبادی و سنسجش از دور در مورد خرابی آسفالت می‌باشند.

با فرسودگی آسفالت، میزان انعکاس بیشتر می‌گردد و می‌توان بیان نمود که ویژگی جذب و یا انعکاس امواج با تغییر از فاز مواد هیدروکربن (مانند آسفالت تازه و سالم) به فاز مواد معدنی (کم شدن مواد روغنی و قیری آسفالت) تغییر پیدا می‌کند و همین انعکاس بیشتر توسط سنجنده‌ها و تصاویر پهبادی دریافت و تحلیل می‌گردد. به عبارت ساده، امواج دریافتی بیشتر توسط سنجنده، عاملی بر فرسودگی بیشتر آسفالت می‌باشد (متاس و همکاران، ۲۰۱۵).

به صورت کلی، می‌توان بیان نمود که مواد هیدروکربنی دارای جذب زیاد در طول موج‌های مادون



شکل ۱. منحنی درصد بازتاب طیفی برخی مواد در مناطق شهری (علوی پناه، ۱۳۸۲)

به وجود می‌آید پدیده جداشدگی سنگ‌دانه‌هاست. این نوع خرابی همان جدا شدن دانه‌های مصالح دانه‌ای از سطح روسازی است که پدیده‌ای است پیش‌رونده؛ یعنی از یک نقطه شروع شده و به کلیه سطوح سرایت می‌کند. روسازی در این نوع خرابی، در معرض جدا شدن دانه‌ها از بتن آسفالتی می‌باشد و مقادیری از دانه‌ها نیز در سطح روسازی شناور هستند. بنابراین، مقادیر زیادی دانه معدنی

راه‌های سالخورده، همراه با کاهش هیدروکربن، درخشان‌تر می‌شوند. در حالی که راه‌های دچار کرنش و ترک خوردگی به خاطر تزریق هیدروکربن جدید به سطح راه، انعکاس<sup>۱</sup> کمتری از امواج الکترومغناطیس خواهند داشت. اما تفاوت بین بازتاب یا انعکاس و شدت جذب توسط هیدروکربن‌ها برای ترک‌ها کم است. دومین عارضه‌ای که معمولاً بعد از ترک خوردن برای روسازی

۱- Darkness

می‌دهد و در نتیجه می‌توان در آینده از این تکنیک در جهت پایش و دیدبانی کیفیت سطوح راه‌ها بهره برد. در مطالعه‌ای که شرکت مطالعاتی ایرسایت (Airsight UAV, 2016) انجام دادند، تصاویر پهپادی در ترکیب با لایه DSM حاصل از همان پهپاد و در یک پرواز (آنی) برای کنترل کیفیت باندهای فرودگاه‌های آلمان مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از پهپادهای دارای دقت مکانی بالا در ارزیابی کیفیت آسفالت جاده نیز می‌تواند عملی و مؤثر باشد، به-خصوص در جاده‌هایی که در آنها کنترل لحظه‌ای سطح آسفالت امری ضروری است.

#### ۴. مواد و روش‌ها

پهپاد eBee SQ یکی از جدیدترین پهپادهای تولیدی شرکت Sense Fly می‌باشد که در مقایسه با پهپادهای موجود حال حاضر عملاً دامنه طیفی وسیعی را پوشش می‌دهد. با توجه به زمین مرجع شدن خودکار با دقت مکانی بالا (قابل ارتقا تا ۳ سانتی‌متر)، محدوده پوشش طیفی گسترده، پوشش مساحت گسترده در یک پرواز (تا ۱۰۰ هکتار در یک پرواز)، ایستایی مناسب در مقابل تنش‌های حاصل از باد و همچنین دوره پرواز طولانی، این پهپاد عملاً قابلیت استفاده از تصاویر تهیه شده در زمینه کنترل کیفیت سطوح جاده‌های داخل شهری و بین شهری را به دست می‌دهد (www.SenseFly.com). از ویژگی‌های مهم این پهپاد، سنجنده تعبیه شده در آن می‌باشد که محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک را نیز پوشش می‌دهد و قابل استخراج است (متاس و همکاران، ۲۰۱۵). در پهپاد مورد نظر، از یک سنسور چندمنظوره با کیفیت عالی و انعطاف‌پذیر برای استفاده در انواع پهپادها، با نام Parrot Sequoia استفاده شده است. این سنسور دارای دقت بسیار زیاد در برداشت داده‌ها، چند باند برداشت داده، قابلیت عکس‌برداری دیجیتال RGB (ترکیب رنگی طول موج‌های قرمز، سبز و آبی) می‌باشد.

روی سطح روسازی وجود دارد. همین امر باعث کاهش جذب امواج الکترومغناطیسی توسط ترکیبات هیدروکربنی می‌شود و نهایتاً تصویری شفاف از سطح روسازی در تصاویر سنجنش از دور حاصل می‌شود (خبیری و خویش اردستانی، ۱۳۹۲).

کنترل سرعت شاتر سنجنده (تنگ و شائو، ۲۰۱۵)، امکان دید سه‌بعدی (یوان و همکاران، ۲۰۰۹)، استفاده از نقاط کنترلی بیشتر، صرفه‌جویی در زمان، ارزیابی دقیق، موزائیک کردن تصاویر به صورت اتوماتیک، ساخت آرتوفتو و سایر تولیدات از قبیل DSM، از کاربردهای بحث سنجنش از دور در بررسی آسفالت می‌باشند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل همین مزایا، امروزه شاهد گسترش استفاده از پهپادها در بحث بررسی آسفالت می‌باشیم (لیپیت، ۲۰۱۵).

#### ۳. مطالعات پیشین

از لحاظ تاریخی، سابقه کنترل شرایط راه توسط کارشناسانی انجام می‌شده که با حضور در محل، به قضاوت در مورد شرایط آسفالت می‌پرداختند (کیم و همکاران، ۲۰۰۶). در سال ۱۹۸۰، سنسورهای الکترونیکی نصب شده روی ماشین‌ها برای اولین بار به کار گرفته شده که دارای فیلم‌برداری دیجیتال، عکس‌برداری و سنسورهای لیزری بودند (کورفی و همکاران، ۱۹۸۶).

در سال ۲۰۱۵، پژوهشی برای بررسی ویژگی‌های کیفی قسمتی از راه‌های واقع در نیومکزیکو توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت. در این مطالعه، از بالن دارای گاز هلیوم برای بررسی جزئیات خرابی سطوح جاده‌ها با استفاده از مقایسات بصری بهره گرفته شد. نتایج حاصل از تصویربرداری با استانداردهای کنترل شرایط آسفالت سطوح جاده‌ها مقایسه شد. نتیجه‌ی حاصل نشان داد که ترکیب تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا با تکنیک‌های مثلث بلندی ارتفاع جاده‌ها، اطلاعات صحیح و قابل اتکایی را به دست

نمود. برای مثال، هنگامی که با استفاده از روش‌های مختلف اقدام به تولید DSM می‌شود، برای کنترل دقت تولید DSM ابتدا تعداد مشخصی از نقاط کنترل را انتخاب کرده و با استفاده از روش‌های میدانی (مانند قرائت مختصات توسط GPS) ارتفاع زمین و مختصات آن نقاط به دست می‌آید. سپس، ارتفاع نقاط برداشت شده و ارتفاع DSM در همان مختصات وارد فرمول محاسبه خطای RMSE می‌شود. پس از به دست آوردن مقدار خطای RMSE نوبت به تحلیل دقت داده‌ها می‌رسد. عدد RMSE می‌بایست از یک سوم فاصله بین منحنی‌های میزان مورد انتظار کمتر باشد. برای مثال، در تصویری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ فاصله بین منحنی‌های میزان یک متر در نظر گرفته می‌شود. پس یک سوم این فاصله حدوداً ۳۳ سانتی‌متر خواهد بود. اگر مقدار RMSE داده‌ها بیش از این مقدار باشد به این معنا است که تولید DSM با دقت مناسبی صورت نپذیرفته است (ذوالفقاری، ۱۳۶۷). لازم به ذکر است که این مراحل پس از ارائه نقاط کنترل زمینی جهت تطبیق تصاویر به دست آمده با واقعیت‌های زمینی توسط نرم‌افزار به شکل خودکار انجام می‌پذیرد و اصلاحات لازم نیز صورت می‌گیرد.

مشخصات سنسور استفاده شده در پهباد در جدول ۱ آورده شده است (<https://www.parrot.com>). همچنین، امکان برداشت سریع منطقه، قابلیت زمین مرجع نمودن تصاویر در مقیاس سانتی‌متر را که میزان خطای RMSE را کاهش می‌دهد (رابطه ۱) از دیگر ویژگی‌های این پهباد است. این قابلیت، لزوم بهره‌گیری از تعداد زیادی از نقاط کنترل زمینی حاصل از نقشه‌برداری با GPS دو فرکانسه را به شدت کاهش می‌دهد. علاوه بر این، پردازش و مماس نمودن تصاویر به صورت همزمان با پرواز توسط نرم‌افزار تخصصی صورت می‌گیرد که در واقع روند کار را تماماً اتوماتیک کرده و توانایی آنالیز طیفی سریع آسفالت را مهیا می‌کند. لازم به ذکر است که تصویربرداری از منطقه در روز ۲۲ مرداد ماه سال ۱۳۹۶ و در وضعیت هوای آفتابی، دمای ۲۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی هوای ۲۶٪ صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

مقدار RMSE بیانگر میانگینی از خطاهای موجود است و هنگامی که هدف ما ارزیابی دقت کل داده‌ها باشد، می‌توان از این عدد به‌عنوان یک شاخص مهم استفاده

جدول ۱. محدوده طیفی و مشخصات سنسور تصاویر پهباد eBee SQ

نام باند	حداقل طول موج (میکرومتر)	حداکثر طول موج (میکرومتر)	میانگین طول موج (میکرومتر)
Green <sup>۱</sup>	0.533	0.590	0.561
Red <sup>۲</sup>	0.633	0.673	0.653
Blue	0.435	0.451	0.443
Near-infrared <sup>۳</sup>	0.851	0.879	0.865
Red-edge <sup>۴</sup>	0.734	0.746	0.740
RGB <sup>۵</sup>	0.503	0.676	0.589

کاربرد دارد.

۱ محدوده رنگ سبز (مرئی) طیف الکترومغناطیس

۲ محدوده قرمز (مرئی) طیف الکترومغناطیس

۳ محدوده مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس

۴ این محدوده از طیف الکترومغناطیس در شـناسایی

بیماری‌های گیاهان و رسیدگی میوه و سایر محصولات کشاورزی

منبع: سایت رسمی کمپانی تولید کننده پهپاد مربوطه ([www.SenseFly.com](http://www.SenseFly.com))، تهیه و تنظیم: پژوهشگران

## ۵. محدوده مطالعاتی

جغرافیایی  $38^{\circ} 9' 17''$  و  $38^{\circ} 7' 56''$  واقع شده است. همچنین، براساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ کشور، این روستا دارای جمعیتی بالغ بر ۳۷۰۰ نفر بوده و مساحتی معادل ۲ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد (نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵).

الوار سفلی یکی از روستاهای استان آذربایجان شرقی است که در دهستان آجی‌چای بخش مرکزی شهرستان تبریز واقع شده است (شکل ۲). این روستا در طول‌های جغرافیایی  $38^{\circ} 9' 18''$  و  $38^{\circ} 8' 1''$  و عرض‌های



شکل ۲. موقعیت مکانی روستای الوار سفلی

طیفی و مقایسه طیفی مورد مطالعه قرار گرفت. در بازدیدهای میدانی، سه نوع آسفالت دارای عمر متفاوت برداشت شد و در ادامه به پشتوانه اطلاعات به‌دست آمده از سطح جهت طبقه‌بندی پوشش سطح جاده (آسفالت) بهره‌گیری شد. با پیاده‌سازی الگوریتم ماشین بردار

## ۶. نتایج

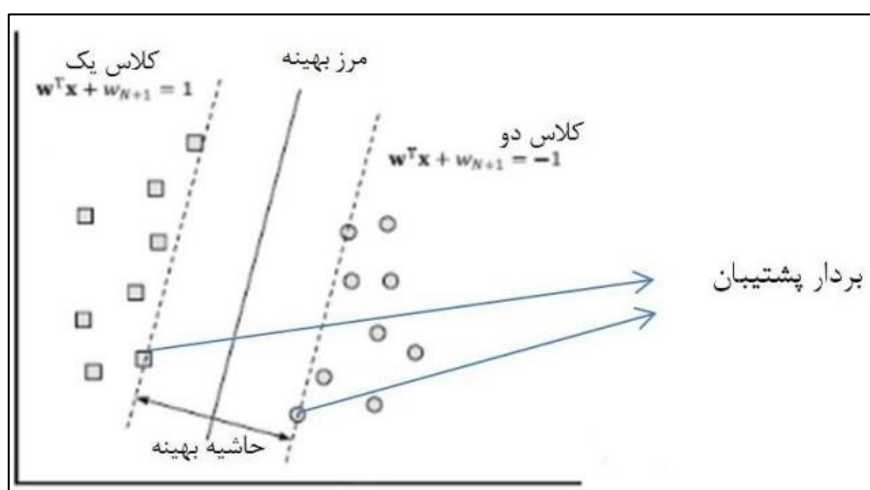
تجزیه طیفی، مقایسه طیفی و کتابخانه طیفی از جمله ابزارهای سنجنش از دوری هستند که شناخت مواد سطح زمین را به وسیله امضاهای طیفی تسهیل می‌کنند. به منظور مطالعه کیفیت آسفالت، مباحث مرتبط با تجزیه



غیرپارامتریک نظارت شده است. در این روش، با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها تشکیل می‌دهند به دست می‌آید و با استفاده از آنها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود. این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان می‌گویند. بردارهای پشتیبان در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در تصویر دیده می‌شود، به نمونه‌های مرزی بردارهای پشتیبان می‌گویند و برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری دو کلاس جدا از هم از روش حاشیه بهینه استفاده می‌شود (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴).

پشتیبان<sup>۱</sup> (رابطه ۲) و تعیین موقعیت نمونه‌های آموزشی<sup>۲</sup> که دارای بازتاب‌های طیفی متفاوت (شکل ۳) (سه محل نمونه) برداشت شده که دارای عمر متفاوت آسفالت بودند (شکل ۴). در نهایت، طبقه‌بندی آسفالت (شکل ۵) براساس بازتاب طیفی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان صورت گرفت. ماشین بردار پشتیبان<sup>۳</sup> مجموعه‌ای از روش یادگیری نظارت شده<sup>۴</sup> است که برای طبقه‌بندی<sup>۵</sup> استفاده می‌گردد (کورتس و واپینک، ۱۹۹۵).

این روش بر اساس نظریه یادگیری آماری بنا نهاده شده که به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد و یک روش آماری



شکل ۳. بردارهای پشتیبان به همراه مرز و حاشیه بهینه (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴)

$$L(\vec{w}, b, \alpha) \Rightarrow Q(\alpha)$$

$$= \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j y_i y_j \vec{x}_i^T \vec{x}_j$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0, \quad \alpha_i \geq 0 \text{ for } i = 1, \dots, N$$

در روابط بالا، بردار  $W$  یک بردار نرمال است. این بردار برابر صفحه عمود است. پارامتر  $\frac{b}{w}$  آفست ابرصفحه از مبدأ در امتداد بردار نرمال  $W$  می‌باشد. لازم به ذکر است

رابطه (۲) الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بهینه شده جهت تشخیص حداکثر مقدار ممکن تابع طبقه‌بندی براساس نمونه‌های آموزشی انتخاب شده روی زمین را نشان می‌دهد

$$\begin{aligned} (\vec{w}, b, \alpha) = & \frac{1}{2} \|\vec{w}\|^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i [y_i (\vec{w}^T \vec{x}_i + b) - \\ & 1] = \frac{1}{2} \vec{w}^T \vec{w} - \sum_{i=1}^N \alpha_i \vec{w}^T \vec{x}_i y_i - b \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i + \\ & \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (2) \end{aligned}$$

۱ Supervised learning

۵ classification

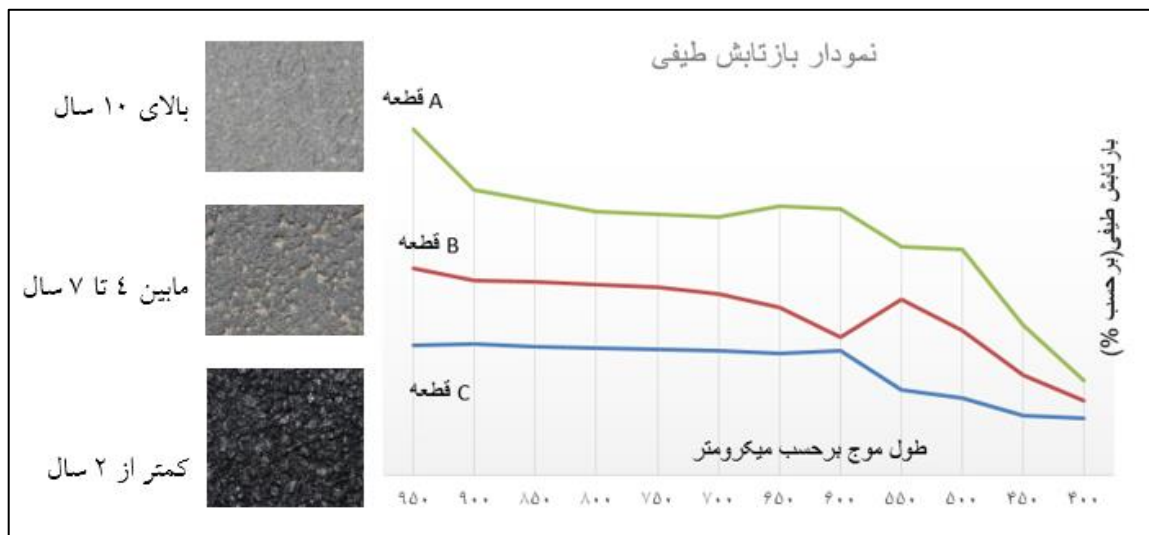
۱- Support Vector Machine (SVM)

۲- Region of Interest (ROI)

۳ Support vector machine

موج‌های طیف مرئی هستند مورد تصویر برداری قرار می‌گیرد. هدف اصلی در تصویربرداری فراطیفی، به‌دست آوردن محتوای طیفی یا به اصطلاح اثر طیفی یا امضای طیفی برای هر پیکسل از تصویر است (مقصود تصویر شیئی مورد عکس‌برداری است). اثر طیفی مربوط به مواد مختلف منحصر به فرد است مانند اثر انگشت و در نتیجه به‌دست آوردن آن به شناسایی مواد کمک می‌کند.

که معادله بالا در صورتی صادق است که فرض کنیم داده‌ها را می‌توان با یک خط راست جدا کرد. تصویربرداری فراطیفی نوعی از تصویربرداری طیفی است که مانند سایر انواع تصویربرداری طیفی داده‌ها را از بخشی یا تمام طیف الکترومغناطیسی گردآوری و پردازش می‌کند. در حقیقت یک شیء در طول موج‌های مربوط به طیف فراطیفی که بالاتر از طول



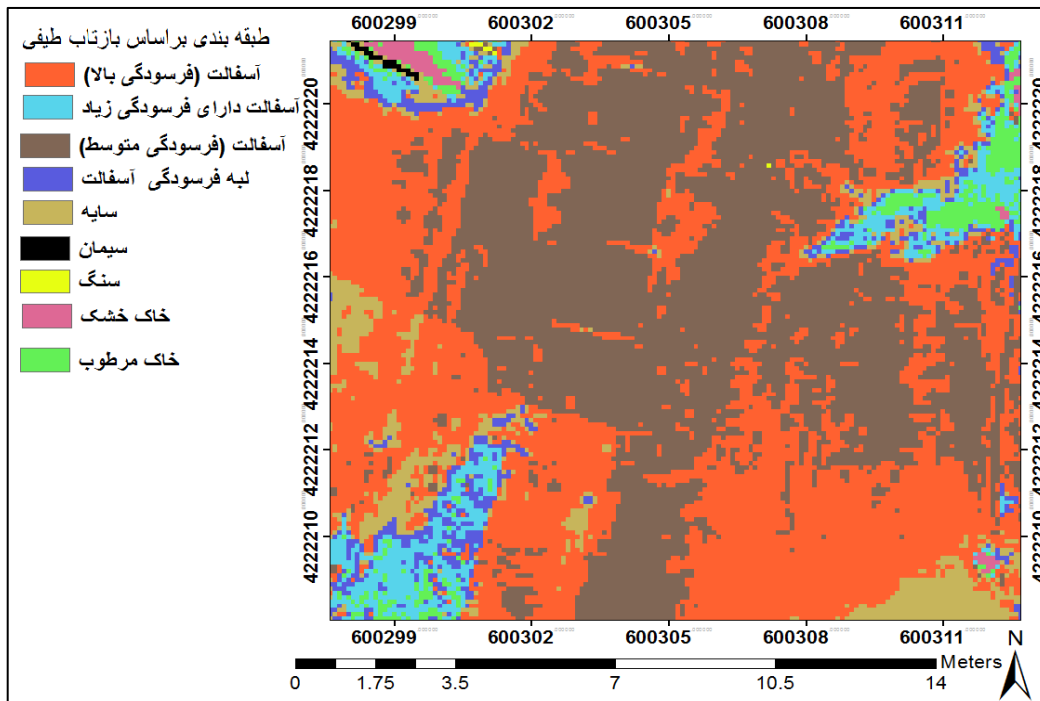
شکل ۴. بازتابش طیفی حاصل از برداشت تصاویر توسط سنجنده (براساس عمر آسفالت) (مأخذ: نتایج پژوهش)

مورد آسفالت، قابلیت استفاده در مبحث کشاورزی را نیز ممکن می‌کند. بازتاب هر سه طیف در این بخش را می‌توان به عنوان امضای طیفی هر نوع در جهت تعمیم و تشخیص در هر نقطه دیگر نیز استفاده کرد. به طور کلی، عمر کمتر آسفالت منجر به بازتاب کمتر و عمر بیشتر منجر به بازتاب بیشتر است. طبقه‌بندی کلی نیز در محیط طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان که طیف بازتابی از هر بازه زمانی را از ما می‌گیرد و براساس منحنی طیفی قطعات مشابه را تحویل می‌دهد و ضریب کاپا نیز دقت این طبقه‌بندی را بر اساس نمونه‌هایی که از ماهیت آنها اطمینان داشته‌ایم و مشخص کرده‌ایم مشخص می‌باشد.

همانگونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، نمودار آسفالت دارای عمر کمتر از دو سال همواره پایین‌تر از سایر نمودارهاست چرا که قیر استفاده شده در ترکیب آسفالت پس از گذشت مدت مشخصی کیفیت خود را از دست داده و روشن‌تر می‌شود. در نتیجه، بازتاب سطحی بیشتر و بیشتر شده، رنگ آسفالت از تیره به سمت سفیدی (بازتاب بیشتر) تمایل می‌یابد که در شکل ۴ نیز کاملاً مشهود است. نکته قابل توجه در رابطه با شکل ۴ تغییرات هر سه نمودار در بخش ۵۰۰ الی ۶۰۰ میکرومتری موج الکترومغناطیس است، چرا که ویژگی اصلی سنسور پهپاد استفاده شده در همین بخش است و علاوه بر استفاده در



شکل ۵. سطح آسفالت قسمتی از منطقه مورد مطالعه که دارای سه کیفیت متفاوت در همجواری یکدیگر است



شکل ۶. طبقه‌بندی براساس اطلاعات مستخرج از نمودار طیفی نمونه‌های تعلیمی (برداشت زمینی)  
(مأخذ: نتایج پژوهش)

جدول ۲. ماتریس خطای طبقه‌بندی کاربری اراضی (مأخذ: نتایج پژوهش)

طبقات کاربری اراضی	خاک مرطوب	خاک خشک	سنگ	سیمان	سایه	لبه فرسودگی آسفالت	آسفالت (فرسودگی متوسط)	آسفالت (فرسودگی زیاد)	آسفالت (فرسودگی بالا)
آسفالت (فرسودگی بالا)	۲۳	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آسفالت (فرسودگی زیاد)	۰	۲۴	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
آسفالت (فرسودگی متوسط)	۱	۰	۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
لبه فرسودگی آسفالت	۰	۱	۰	۱۴	۰	۰	۰	۰	۰
سایه	۰	۰	۰	۰	۱۵	۰	۰	۰	۰
سیمان	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰	۰
سنگ	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۰	۰
خاک خشک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۰
خاک مرطوب	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۹
خطای Commision	۸	۴	۴	۶/۶	۰	۰	۰	۰	۱۰
خطای omission	۴/۱	۷/۶	۴	۱۲/۵	۰	۰	۰	۰	۰
ضریب کاپا (درصد)	۹۵								
Overall accuracy	۹۵								

در این تحقیق هدف عمده، محدوده آسفالت دارای عمر متفاوت و براساس میزان پیری است. در پژوهش حاضر، برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، علاوه بر محاسبه ماتریس خطای طبقه‌بندی کاربری اراضی، برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده، صحت کلی و ضریب کاپا، مقادیر مربوط به خطای گماشته شده<sup>۲</sup> و خطای حذف شده<sup>۳</sup> (جدول ۲) نیز برآورد شده است. با استناد به مطالعات مختلف مانند عسکری و معزی نسب

در ادامه، با بهره‌گیری از بازتاب طیفی و روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر شد (شکل‌های ۵ و ۶). تکنیک‌های طبقه‌بندی برای گروه‌بندی پیکسل‌ها به کار می‌روند تا بتوانند جزئیات پوشش زمین<sup>۱</sup> را نشان دهند. پوشش زمین در مناطق شهری طبیعتاً می‌تواند آسفالت، فضای سبز، مصالح ساختمانی، خاک و یا دیگر موارد باشد که

۳- Omission

۱- Land cover

۲- Commision

تنش و یا هر پدیده دیگر روی داده در مورد پوشش آسفالتی که دارای عمق (ارتفاع) باشد، محاسبه می‌شود:

$$H_C = \frac{H_A \cdot D_A + H_B \cdot D_B}{D_A + D_B} \quad (3)$$

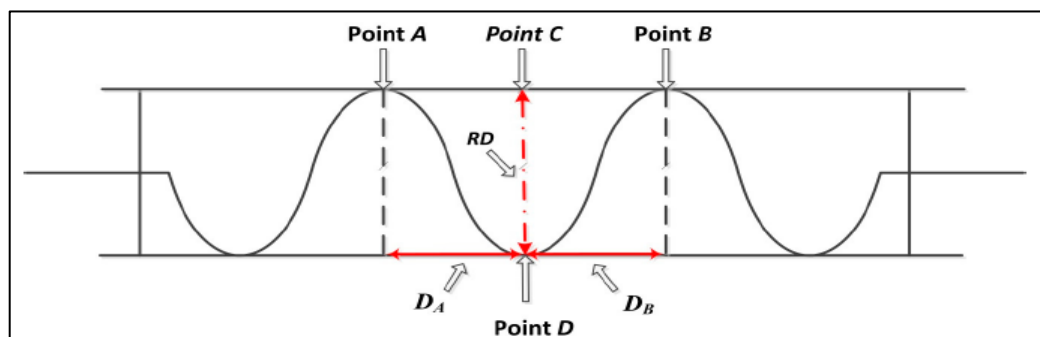
$$RD = H_C - H_D$$

که H نشان دهنده ارتفاع یک نقطه دارای عمق است که روی پوشش آسفالتی واقع شده و می‌تواند دارای فرورفتگی یا برآمدگی باشد. بنابراین،  $H_A$  نشان‌دهنده ارتفاع نقطه A،  $H_B$  ارتفاع نقطه B،  $D_A$  فاصله افقی از نقطه A به نقطه D،  $D_B$  فاصله افقی از نقطه B تا نقطه D و RD عمق عارضه است.  $H_A$  و  $H_B$  از DSM ها تعیین می‌شوند؛ در حالی که  $D_A$  و  $D_B$  از تصاویر اُرتوفتوها تعیین می‌شوند.

(۲۰۱۴)، کانینگهام (۲۰۰۹) و نیکخو و همکاران (۱۳۹۴) که بیان نمودند در روش‌های طبقه‌بندی صحت کلی و ضریب کاپای بالای ۹۰٪ یک روش مناسب برای طبقه‌بندی می‌باشد می‌توان بیان نمود که طبقه‌بندی انجام شده برای کاربری اراضی در مطالعه حاضر دارای دقت خوبی بوده و صحت آن مورد قبول می‌باشد.

در مرحله بعد، در قسمت ورودی اصلی روستا که عملاً دارای بیشترین میزان رفت و آمد وسائط نقلیه می‌باشد سعی شد آسیب آسفالت از نوع شیارشدگی بررسی شود.

در شکل ۷،  $D_A$  نشان‌دهنده فاصله افقی نقطه A تا RD است. در حالی که  $D_B$  فاصله افقی از نقطه B تا RD است. با استفاده از رابطه (۳)، عمق نشست، خوردگی و



شکل ۷. روش محاسبه عمق تنش و یا ترک خوردگی با بهره‌گیری از لایه DSM حاصل از تصویر پهپاد (ژانگ و همکاران،

(۲۰۱۵)

نیمرخ‌های عرضی، شیب عرضی خیابان‌های شهری بایستی مابین ۱/۵ الی ۲ درصد باشد. اما به مرور زمان و براساس کیفیت زیرسازی و روسازی راه‌های شهری و میانگین رطوبت منطقه در ماه‌های مختلف سال، سطوح آسفالتی دچار پدیده افت و یا شیارشدگی می‌شوند، که مجموعه این موارد می‌تواند بر شیب عرضی خیابان‌ها تأثیرگذار باشد. با توجه به دقت مکانی لایه DSM برداشت شده از منطقه به صورت موضوعی، تحلیل پدیده شیارشدگی دارای شدت کم قابل انجام نیست. اما نوع دوم و سوم شیارشدگی (شدت متوسط و زیاد) آسفالت قابل تشخیص بود. تحلیل شیب عرضی استاندارد سطح

اندازه پیکسل لایه DSM برابر است با ۱۳\*۱۱ سانتی‌متر. در نتیجه، در مقایسه با مطالعات مشابه، بررسی و مشاهده ترک‌های فرعی روی آسفالت ممکن نخواهد بود و نیازمند دقت مکانی بیشتری است. اما در رابطه با شیب‌بندی، با توجه به اینکه شیب‌بندی سطح جاده از مسائل اجرایی است که بایستی درست انجام شود، چرا که شیب‌های عرضی خیابان جهت هدایت آب حاصل از بارش از سطح خیابان به سمت کانال‌های انتقال آب می‌باشد.

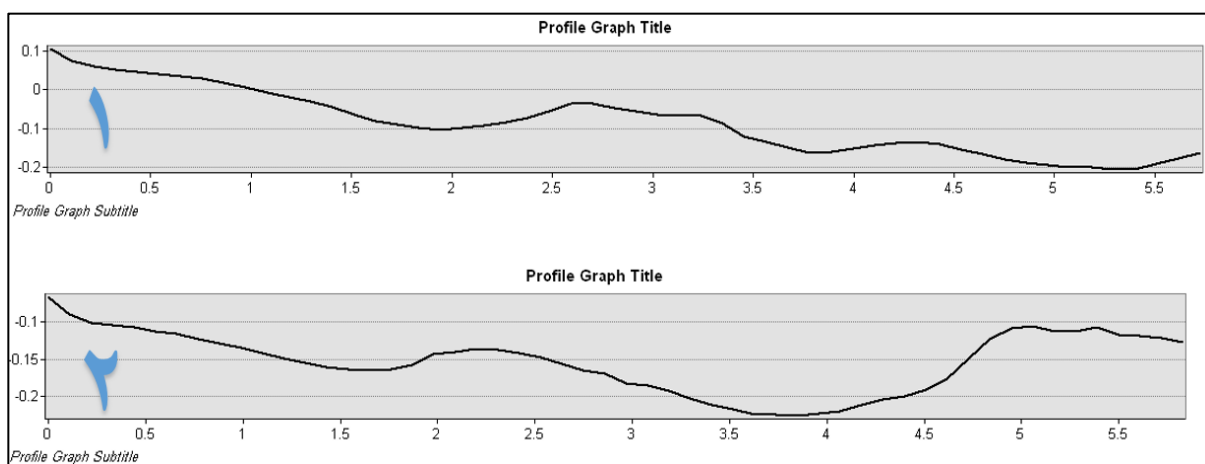
براساس استانداردهای ارائه شده در مجموعه کتاب- های راهنمای طراحی راه‌های شهری در قسمت اجزای

خیابان نیز با توجه به دقت مکانی DSM ممکن می‌باشد. سغلی با بهره‌گیری از ابزار تحلیل مکانی و لایه رقمی  
لذا، شکل ۸ تحلیل شیب عرضی ورودی روستای الوار سطوح می‌باشد.



شکل ۸. تصویر مدل رقمی سطح مربوط به ورودی روستا (سمت راست) و تصویر محدوده مرئی از همان زاویه (سمت چپ) (مأخذ: نتایج پژوهش)

در شکل ۹، خطوط موازی پروفیل‌های<sup>۱</sup> عرضی شمالی و جنوبی ورودی روستاست که با استفاده از ابزار ایجاد پروفیل سه‌بعدی و با بهره‌گیری از اطلاعات پیکسل‌های لایه DSM ایجاد شده است.



شکل ۹. پروفیل شماره ۱، پروفیل عرضی شمالی و پروفیل شماره ۲، پروفیل عرضی جنوبی ورودی روستا

۱- قابل ذکر می‌باشد که با تصاویر گوگل ارث و گوگل مپ نیز می‌توان پروفیل طولی و عرضی تهیه نمود. ولی دقیق‌ترین آنها دقت یک متری دارد و صرفاً افقی هستند. این در حالی است که دقت تصاویر استفاده شده توسط پژوهش حاضر ۱۰ سانتی‌متر است و محدوده مادون قرمز نزدیک را هم دارد که عملاً تمایز بین کیفیت آسفالت‌های در عمرهای مختلف در این بخش مشخص می‌شود. همچنین، DSM تولید شده در پژوهش دارای دقت ۳ سانتی‌متر می‌باشد که در گوگل مپ غیرممکن است.

## (مأخذ: نتایج پژوهش)

می‌باشد. به طوری که توزیع یکنواختی از طبقه‌های مورد مطالعه بسته به مساحت آنها در دسترس باشد. مقایسه نتایج به دست آمده با پژوهش‌های دیگر مانند ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) هماهنگی بین مطالعات را نشان می‌دهد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود از تصاویر با رزولوشن بالا (۶ اینچ، ۱۲ اینچ و ۲۴ اینچ) برای بررسی سطح آسفالت استفاده کرده‌اند. نتایج کار آنها نشان داد که می‌توان از این تصاویر برای بررسی سطح آسفالت استفاده کرد و میزان همبستگی و نتایج اعتبارسنجی کار آنها به صورت کلی عدد ۰/۹۲ و برای تصاویر با رزولوشن عالی (۶ اینچ) ۰/۹۵ را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر نیز در نهایت با صحت کلی و ضریب کاپای ۹۵، نشان داده شد که می‌توان از روش‌های سنجش از دور و تصاویر پهبادی برای بررسی آسفالت کمک گرفت.

همچنین، نتیجه بررسی‌های شرکت ایرسایت (۲۰۱۶) که در زمینه خدمات فرودگاه، ناوبری هوایی و مهندسی هوایی فعال است نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از دوربین‌ها و سنسورهای با رزولوشن بالا، موارد مختلف آسیب به آسفالت مانند ترک خوردگی‌های سوسماری، ترک‌های عرضی و بلوکی، فرسایش، شکستگی‌های بلوکی، فرسایش ناشی از فشار و نشست آسفالت، هوازگی و یخ زدگی را مشخص نمود (<https://www.airsight.de>). در پژوهش انجام شده نیز نشان داده شد که با پهباد مورد استفاده می‌توان شیارشدگی نوع دوم و سوم (نوع اول نیاز به رزولوشن بالاتری دارد)، پروفیل عرضی جاده و نشست را تشخیص داد (در صورت استفاده از سنسور با کیفیت خیلی عالی تر می‌توان تعداد بیشتری از آسیب‌های آسفالت را مشخص نمود) و نتایج با هم همخوانی دارند.

در نهایت، برای صحت‌سنجی نتایج به دست آمده به دو موضوع اشاره شد. موضوع اول، بازدیدهای میدانی از

در تحلیل پروفیل‌های سه‌بعدی قطعه شمالی و جنوبی ورودی روستا، با توجه به فاکتور سوم (ارتفاع) سطح آسفالت در قطعه شمالی از نوع شیارشدگی درجه دوم و در پروفیل جنوبی نیز از شیارشدگی درجه دوم می‌باشد. اما در رابطه با شیب استاندارد که بایستی ۱/۵ الی ۲ درصد باشد، پدیده شیارشدگی وضعیت این قسمت را به طور کلی از حالت شیب استاندارد خارج کرده و وقوع آب‌گرفتگی و افزایش سرعت فرسودگی آسفالت در فصول سرد و دارای بارش محتمل خواهد بود.

## ۷. نتیجه‌گیری و بحث

استفاده از پهباد، اطلاعات بسیار مفید و سودمندی از وضعیت خرابی روسازی آسفالت در بحث مدیریت راه‌ها، خصوصاً در راه‌های اصلی داخل شهری و بزرگراه‌ها، در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان کلان قرار می‌دهد. از آنجا که سنجش از دور را می‌توان از مرحله مطالعات اولیه راه‌سازی تا مرحله بهره‌برداری و ترمیم روسازی خیابان‌ها در مدیریت شهری به کار بست. در این پژوهش، ضمن معرفی اصول اولیه کار با تصاویر سنجش از دور که با پهباد تهیه شده‌اند، اقدام به ثبت و بررسی تغییرات بازتاب امواج الکترومغناطیس از سطح آسفالت‌های دارای کیفیت مختلف گردید که موفقیت‌آمیز بود.

به طور کلی، نتایج این تحقیق مبین این مطلب است که تصاویر تهیه شده توسط پهباد eBee SQ مجهز به سنسور پیشرفته و چندکارکردی Parrot Sequoia برای اهداف ارزیابی و ترمیم آسفالت جاده‌ای قابل کاربرد می‌باشند. تصاویر تهیه شده در این مطالعه در محدوده امواج مرئی تهیه شد و سپس برای طبقه‌بندی کیفیت آسفالت از روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. تعداد نمونه‌های تعلیمی به منظور طبقه‌بندی در کل ۷۹ نمونه مبتنی بر مطالعات میدانی

نتایج طبقه‌بندی و مطالعات میدانی می‌باشد. با استناد به مطالعات مختلف مانند کانینگهام (۲۰۰۹) و نیکخو و همکاران (۱۳۹۴) که بیان نمودند در روش‌های طبقه‌بندی صحت کلی و ضریب کاپای بالای ۹۰٪ یک روش مناسب برای طبقه‌بندی می‌باشد، می‌توان بیان نمود که در پژوهش حاضر، ضریب کاپای ۹۵٪ نشان‌دهنده‌ی دقت زیاد و صحت نتایج بر اساس نمونه‌های تعلیمی می‌باشد که همان نقاط برداشت زمینی هستند.

منطقه و اینکه بعد از پردازش تصاویر پهپادی مناطقی که به عنوان فرسودگی و شیارشدگی تشخیص داده شد مورد بازدید قرار گرفت و بررسی گردید که آیا این موضوع درست می‌باشد یا خیر. این کار، انطباق نتایج با مکان آسفالت‌های فرسوده را نشان داد. موضوع دوم، برای صحت‌سنجی استفاده از آمار استنباطی و مفهومی می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی مبتنی بر ماتریس خطا، ضریب کاپا و صحت کلی مبین انطباق ۹۵ درصدی بین

## ۸. مراجع

- حیدری، ع. ا. ۱۳۹۱. "آسفالت گرم و سرد". سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، تهران.
- خبیری، م. م. و خویش اردستانی، ا. ۱۳۹۲. "مروری بر کاربردهای سنجش از دور در تحلیل شرایط سطحی روسازی خیابان‌های شهری". پنجمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مشهد مقدس.
- ذوالفقاری، م. ۱۳۶۷. "نقشه برداری- شناخت کلی". انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- سلمانی، س. و رسولی، ح. ۱۳۹۶. "سنجش از دور حرارتی". انتشارات پژوهش‌های دانشگاهی.
- علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۲. "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)". دانشگاه تهران.
- غفارپور جهومی، س. و خدایی، ع. ۱۳۸۸. "تأثیر خصوصیات فیزیکی- هندسی فیلترهای نوین و سنتی بر مشخصات مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی". پژوهش‌نامه حمل و نقل، ۶(۱): ۵۰-۴۱.
- فاطمی عقدا، س. و رضایی، ی. ۱۳۹۳. "مبانی سنجش از دور". انتشارات آزاده تهران.
- مختاری، م. ح. و نجفی، ا. ۱۳۹۴. "مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM. علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲): ۴۴-۳۵.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۵. "نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن (کل کشور)". تهران.
- نیکخو، ن.، ایلدرمی، ع. و نوری، ح. ۱۳۹۴. تحولات کاربری اراضی شهر ملایر با بهره‌گیری از سنجش از دور. فصل‌نامه آمایش محیط، ۳۰: ۶۳-۸۶.
- وزارت مسکن و شهرسازی. ۱۳۷۵. "راهنمای آیین‌نامه طراحی راه‌های شهری". جلد ۳، بخش اجزای نیم‌رخ‌های عرضی.
- Airsight UAV. 2016. "Pavement inspections". Available online: <https://www.airsight.de/en/consulting/uav-aerodrome-inspections.html#references> (accessed on 14 March 2016).
- Aksoy, A., Şamlioglu, K., Tayfur, S. and Özen, H. 2005. "Effects of various additives on the moisture damage sensitivity of asphalt mixtures". Constr. Build. Mater., 19(1): 11-18.
- Askari, G., Li, Y. and MoezziNasab, R. 2014. "An adaptive polygonal centroidal Voronoi Tessellation algorithm for segmentation of noisy SAR images". International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, The 1<sup>st</sup> ISPRS International Conference on Geospatial Information Research, 15-17 November, Tehran, Iran.
- Attoh-Okine, N. and Adarkwa, O. 2013. "Pavement condition surveys-overview of current practices". Delaware Center for Transportation, University of Delaware, Newark, USA.
- Cortes, C. and Vapnik, V. 1995. "Support-vector networks". Machine Learning, 20: 273-297.
- Cunningham, M. 2009. "More than just the Kappa coefficient: A program to fully characterize inter-rater reliability between two raters". SAS Global Forum 2009, Paper 242, pp. 1-7.



- Curphey, D. R., Fronek, D. K. and Wilson, J. H. 1986. "Highway pavement surface remote sensing using video image processing". Proceedings of the ASCE Spring Convention, , 29 April-2 May, Denver, CO, USA.
- Guo, H. D. 2010. "Understanding global natural disasters and the role of earth observation". *Int. J. Digit Earth*, 3: 221-230.
- Hartgen, D. T., Fields, M. G. and Feigenbaum, B. 2014. "21<sup>st</sup> annual report on the performance of state highway systems (1984-2012)". Reason Foundation, Los Angeles, CA, USA.
- Herold, M. 2004. "Understanding spectral characteristics of asphalt roads". National Center for Remote Sensing in Transportation, University of California, Santa Barbara.
- Hongzhou, G. 2001. "Application of remote sensing technology in engineering geological survey of Datong-Yuncheng Highway". China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources.
- Jensen, J. R. and Cowen, D. D. 1999. "Remote sensing of urban/suburban infra structure and socio-economic attributes". *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 81: 709-720.
- Kim, H., Soleymani, H., Han, H. and Nam, H. 2006. "Evaluation of asphalt pavemen track sealing performance using image processing technique". Proceedings of Software International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), ,3-5 October, Tokyo, Japan, pp. 341-345.
- Lippitt, C. D. 2015. "Perspectives from the field: Remote sensing from small unmanned platforms: A paradigm shift". *Environ. Pract.*, 17(3): 235-236.
- McGhee, K. H. 2004. "Automated pavement distress collection techniques: A synthesis of highway practice". National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC, USA.
- Mettas, C., Themistocleous, K., Neocleous, K. and Hadjimitsis, D. G. 2015. "Monitoring Asphalt pavement damages using remote sensing techniques". Proceedings of SPIE, The International Society for Optical Engineering 9535, June.
- Schnebele, E., Tanyu, B. F., Cervone, G. and Waters, N. 2015. "Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment". *Eur. Transport. Res. Rev.*, 7: 1-19.
- Tang, L. and Shao, G. 2015. "Drone remote sensing for forestry research and practice". *J. For. Res.*, 26: 791-797.
- Timm, D. H. and McQueen, J. M. 2004. "A study of manual vs. automated pavement condition surveys". Alabama Department of Transportation, Montgomery, AL, USA.
- Wang, K. C. P. 2000. "Designs and implementations of automated systems for pavement surface distress survey". *J. Infrastruct. Syst.*, 6: 24-32.
- Wolters, A., Zimmerman, K., Schattler, K. and Rietgraf, A. 2011. "Implementing pavement management systems for local agencies". Illinois Center for Transportation, Rantoul, IL, USA.  
www.parrot.com  
www.SenseFly.com
- Yuan, X., Fu, J., Sun, H. and Toth, C. 2009. "The application of GPS precise point positioning technology in aerial triangulation". *ISPRSJ Photogramm. Remote Sens.*, 64: 541-550.
- Zhang, S., Bogus, S. M., Lippitt, C. D., Neville, P. R. H., Zhang, G., Chen, C. and Valentin, V. 2015. "Extracting pavement surface distress conditions based on high spatial resolution multispectral digital aerial photography". *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 81(9): 709-720.

