دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری
2ND NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING
تاریخ برگزاری
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

مدیریت نگهداری پروژه های عمرانی با استفاده از قابلیت های پهپاد

نویسندگان:
علیرضا جباری زادگان، علی محمد پور

چکیده

در چند دهه گذشته بازرسی از جاده ها، رو سازی را با موانع و مشکلات زیادی همراه کرده است که یی توان به هزینه بالا، خطرهای جانی، عدم اطلاعات کافی از بازرسی، سرعت پایین، عدم دسترسی به بعضی نقاط، آب و هوای نامناسب، جاده های پر رفت و آمد و کیفیت پایین بازرسی با چشم اشاره کرد.

امروزه پهپادها(UAV) منابع داده ای با ارزشی در زمینه بازرسی، بازبینی، پایش، نقشه کشی و مدل های سه بعدی هستند. پرنده های بدون سرنشین توانایی پرواز با دستورالعمل های تعیین شده به صورت خودکار ونیمه خودکار را دارا هستند. به هر سیستمی که بدون خلبان پرواز کند و از راه دور کنترل شود سیستم هوایی بدون سرنشین گفته می شود. در گذشته هواپیماهای بدون سرنشین فقط در مسائل نظامی کاربرد داشته اند. اما هم اکنون در محیط مهندسی به ویژه در مهندسی عمران کاربرد دارند.

هواپیما بدون سرنشین یک سیستم امن، سبک وزن و انعطاف پذیراست. محققان به تازگی علاقمند به تحقیق درحوزه استفاده از پهپاد در صنایع مختلف نظیر: بازرسی و نگهداری از پل ها، بازرسی از ساختمان‌ها، کاربردهای فتوگرامتری، کشاورزی ونظارت بر ترافیک شده اند.

در این مقاله درباره تعریف پهپاد، انواع آن، تاریخچه پهپاد وتجهیزات قابل حمل در پهپاد ترک های روسازی و... صحبت شده است. هدف از انجام این مقاله این است که قابلیت های مختلف پهپاد را شناسایی کرده و به دنیا نشان دهد پهپاد به غیر از استفاده های نظامی کاربرد های عمرانی هم دارد.و نشان دهد پهپاد در مدیریت نگهداری روسازی هم قابل استفاده است.

کلمات کلیدی: پروژه های عمرانی، روسازی، پهپاد، بازرسی و نگهداری.

۱. مقدمه

بازرسی از روسازی از همان اوایل به وجود آمدن جاده ها از مشکلات این صنعت بوده است. روسازی از اجزا مهم و اساسی راه است که می توان آن را از پرهزینه ترین قسمت آن دانست. روسازی به مرور زمان به تدریج فرسوده و خرابی در آنها به وجود می آید و عدم ترمیم و مرمت خرابی ها هر ساله هزینه های فراوانی را در پی خواهد داشت. برای اطلاع از وضعیت سطح جاده نیازمند بازرسی صحیح، دقیق وبه موقع است. به منظور مرمت و اصلاح این خرابی ها ابتدا باید نوع خرابی شناسایی و ارزیابی شود و سپس با توجه به اولویت ها با روش مناسب ترمیم یابد شهرداری های کشور سالیانه میلیاردها ریال بودجه عمرانی خود را صرف تهیه و اجرای پروژه های روسازی آسفالت می کنند. اما کارایی لازم را به دلیل عدم توجه به نیاز های پروژه ندارد.

پهپاد (سیستم هدایت پذیر از راه دور) تا حدودی توانسته این مشکل را حل نماید. استفاده از پهپاد در کشور های در حال توسعه به دلیل عدم امکانات کافی، عدم آموزش نیروی متخصص ومسیرطولانی اخذ مجوز دشوار است.

پهپاد یا پرنده هدایت پذیر از راه دور، هواپیماهایی هستند که خلبان به طور غیر مستقیم و خارج از پرنده، آن ها را توسط سامانه هدایت از راه دور کنترل می نماید (عابدینی و سعادت سرشت، ۱۳۹۳).

پهپادهای هوشمند هواپیماهای بدون سرنشینی اطلاق می گردند که عمل هدایت آن توسط سامانه هدایت از راه دور صورت نمی گیرد بلکه با برنامه های رایانه ای از پیش طراحی شده هدایت می شوند (عابدینی و سعادت سرشت، ۱۳۹۳).

دسته ای از پهپادها هستند که بیش از دو موتور درآن ها بکار رفته و به صورت عمودی پرواز می کنند. از مهمترین ویژگی آن ها می توان به مانور پذیری بالا و امکان پرواز در ارتفاع و سرعت کم اشاره کرد همان گونه که در شکل۲-۲. قابل مشاهده است (علیپور و همکاران، ۱۳۸۸).

نمونه‌های پیشگام، در حقیقت برای پرواز از چند موتور استفاده می کردند. به این علت که استفاده از بیش از یک موتور راه حل ساده و طبیعی برای حل مشکل پرواز به صورت عمودی می باشد. اولین نمونه های آزمایشگاهی پرنده های موتوری اغلب با سیستم مولتی روتور ها از زمین بر میخواستند. اوایل سال ۱۹۰۷ میلادی برادران فرانسوی به نام های جاکوئس و لوییس برگوئت یک کواد کوپتر به نام جایروپلن شماره ۱ طراحی و ساختند. هدف از طراحی آن ها بر خواستن از سطح زمین بود، اما آزمایش ها نشان می داد که این پرنده از تعادل خوبی در پرواز برخورد نمی باشد. در ۱۹۲۴ میلادی مهندسی فرانسوی به نام اتین همچنین کوادکوپتر خود را به مسافت ۳۶۰ متر به پرواز در آورد و یک رکورد جهانی را به نام خود ثبت کرد. در همان سال او توانست پروازی به مسافت ۱ کیلومتر دست پیدا کند.

اولین باراستفاده از وسیله نقلیه بدون سرنشین برای جنگ در در سال ۱۸۴۹ ثبت شده است (باکلی، ۲۰۰۲). در ۲۲ آگوست اتریشی ها به شهر ایتالیایی ونیز با بالون بدون سرنشینی که از مواد منفجره پر شده بود حمله کردند. پیشرفت مهم بعدی درزمینهUAV ها در طول و بعد از جنگ جهانی اول اتفاق افتاد در نوامبر۱۹۱۷ ارتش ایالات متحده پروژهای را برای ساختUAV شروع کرد که اولین پرواز آن هم سال ۱۹۱۸ انجام شد.

این UAV به عنوان یک اژدر هوایی برعلیه کشتیهای هوایی آلمانی انتخاب گردید. اولین UAV که توسط فرانسوی طراحی شده بود در سال ۱۱۲۳ ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. در حدود سال های ۱۹۳۰ انگلستان و ایالات متحده Radioplane OQ- 2 را توسعه دادند که یک هواپیمای کنترل شونده از راه دور بود ارتش آلمان در سال ۱۹۳۸ شروع به توسعه یک بمب پرنده رادیو کنترلی ضد کشتی کرد همچنین نوع طراحی بال هواپیمای بودون سرنشین V1ساخت.آلمان به عنوان یک مدل مرجع برای دیگر هواپیماهای بدون سرنشین شد. توسعه UAV تا به امروز ادامه پیدا کرده و از لحاظ تکنولوژی بسیار پیشرفت کرده اند. در شکل۲-۴ یک نمونه از پیشرفته ترین UAV های جهان که دارای مجموعه ای از حسگر ها و سیستم های ارتباطی است و میتواند به صورت خود مختار پروازکند مشاهده می کنید (شاهوردی، ۱۳۹۳).

تجهیزات مختلفی توسط پهپاد ها برای بازرسی هوایی قابل حمل هستند که هرکدم کاربرد های متفاوتی دارند. و میتوانند در انواع بازرسی مورد استفاده قرار گیرند. تجهیزات مختلف اطلاعات مختلفی را حین بازرسی به کاربر می دهند از این رو با توجه

به محدودیت های حمل تجهیزات توسط پهپادها برای بازرسی‌های مختلف نهایتا از یک یا دو نوع از تجهیزات میتوان استفاده کرد.

۱-۱. روش‌های بارزرسی از روسازی

اطلاعات مورد نیاز را میتوان از مکان هایی با مسافت های زیاد جمع آوری کرد که با سیستم های زیر بیشترین نتیجه به دست می آید (شنبل و همکاران، ۲۰۱۵).

۱- ماهواره

۲- هواپیما

۳- خودرو های مخصوص

۴ - پهپاد

پهپاد قادر به ارائه تصاویر با وضوح بالا و ارسال آنلاین تصاویر با کمترین هزینه است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۹). از توانایی پهپاد میتوان به ضبط تصاویر و نقشه برداری از جاده، ارائه اطلاعات ترافیکی و آگاهی از حوادث یا بلاهای طبیعی در مدت زمان ۲ ساعت بعد از رویداد است (ژانگ، ۲۰۰۸) قادر به شناسائی خرابی های روسازی (ژانگ و الاکشر، ۲۰۱۲)، ارائه تصاویر فتوگرامتری با وضوح بالا از سطح جاده وابزاری برای ارزیابی بلاهای طبیعی است (تاتهام، ۲۰۰۹).

برای اکثر مردم جاده ها فقط یک لایه آسفالت و یا بتن هستند که برروی خاک ساخته شده است برای ایجاد یک سطح صاف که اجازه حرکت ترافیکی را دهد (هانگ،۱۹۹۳). برای ارزیابی جاده مهم این است که از مشخصات جاده اطلاعاتی در دست باشد. و سنجش از راه دور را میتوان، این گونه تعریف کرد به روشی اطلاق می شود که با سطح جاده و یا زیرزمین در تماس نیست.سنجش از راه دور را نمیتوان جایگزین کامل روش های سنتی کرد اما اگر به درستی از آن استفاده شود میتواند ابزاری برای سرعت بخشیدن در مناطق وسیع باشد (شنبل و همکاران، ۲۰۱۵). برخلاف جاده های سنگی که در دوران باستان ساخته شده اند طراحی جاده های امروزی برای همیشه نیست در ایالات متحده جاده ها برای ۱۵ تا ۲۰ سال با مرور زمان نیاز به تعمیر و نگه داری دارند (MDOT، ۲۰۱۲). به طور معمول هزینه بازسازی یک جاده خراب ممکن است بیشتر از سه برابر هزینه نگهداری جاده باشد (AASHTO، ۲۰۰۹). از این نظر که جاده های اروپا و آمریکا گسترده هستند استفاده از روشهای سنتی امکان پذیر نیست برای بررسی از تمام سطح جاده بهتر است از روش سنجش از راه دور استفاده شود که خود ابزاری برای تکمیل روش سنتی و مقرون به صرفه است در بعضی از مواقع لازم است برای بازرسی، مسیر جاده بسته شود که خود اختلالاتی در حمل و نقل به وجود می آید بازرسان روش سنتی نیاز به آموزش دارند. در همین راستا، سنجش از راه دور هواپیماهای بدون سرنشین را ارائه می دهد (بنی احمد و همکاران، ۱۳۹۰). درروش سنتی میزان شدت نقص جاده را نشان می دهد. انتقال اطلاعات از روش دستی به روش خودکار در طول ۲۰ سال گذشته افزایش یافته است (گرملینگ، ۱۹۹۴). سال ۲۰۰۴، ۴۵ آژانس دولتی روسازی مورد بررسی قرار گرفته است که فقط ۱۷ آژانس از روش دستی استفاده می کردند (مک گی، ۲۰۰۴) واز ۲۸ آژانس باقیمانده، برخی از آنها نظارت تصویری دیجیتالی را اجرا کرده بودند در سال ۲۰۰۷ چندین شرکت بازرسی به روش نیمه خودکار تاسیس شد (اسمیت و چانگ، ۲۰۰۷).

درسال ۱۳۷۹ احداث هر گونه راه در کشور بین ۰/۲ الی ۲۰ میلیارد هزینه در بر دارد که مشخص می کند که راه ها جزء سرمایه های ملی کشور است. در کشور آمریکا برنامه ریزی و مدیریت راه ها از اواخر دوره هفتاد میلادی مطرح شد واز اوایل دهه هشتاد با پیشرفت صنعت رایانه توسعه یافت هم اکنون بسیاری از کشورها به غیر از آمریکا مانند انگلیسان، کانادا، فرانسه، آلمان و... تحقیقات گسترده ای انجام داده اند (هس و هادسون، ۱۹۹۶)

۷۵مهمترین بخش از ساختمان یک راه را روسازی تشکیل می دهد. و بخش قابل توجهی از هزینه های ساخت جاده به روسازی متعلق است. مطالعات و برنامه ریزی در این بخش بیشتر بوده است (سبالی و همکاران، ۱۹۹۶).

در سیستم مدیریت روسازی راه ها [1] که شامل کلیه فعالیت های مربوطه به طراحی نگهداری ترمیم بازسازی و... می شود مدل پیش بینی خرابی روسازی راه بخش مهم و اعظم و پیچیده کار است. ارزیابی روسازی به منظور مرمت تحلیل ویا بازسازی روسازی بر اساس اطلاعات به دست آمده از قسمت های مختلف روسازی می باشد تحلیل اطلاعات بر اساس شاخص های روسازی می باشد (آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، ۱۳۹۰).

۲. روش تحقیق

روش تحقیق به صورت توصیفی و تحلیلی است و یک نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته است. و منابع از مقالات معتبر، اطلاعات شرکت مهندسی فلات شرق پارثاوا و شبکه جهانی اینترنت برگرفته شده است در این مقاله با توجه به برداشت های انجام شده از مشاهدات عینی، عکس برداری، تحلیل آنها و مقایسه با هم ودر نظر گرفتن نظرات متخصصان مربوطه در این زمینه سعی در توسعه و گسترش روش های بازرسی شده است.

روسازی راه ها همواره در معرض انواع تنش های ناشی از عواملی همچون بار ترافیکی، تغییر شکل لایه های اساس، زیراساس و بستر، میزان رطوبت و تغییر دما قرار دارند که این تنش ها نیز موجب خرابی هایی در روسازی راه ها می شوند انواع ترک ها، چاله ها و تغییر شکل لایه ها از انواع این خرابی ها می باشند.به منظور مرمت و اصلاح این خرابی ها ابتدا باید نوع خرابی شناسایی و ارزیابی شود و سپس با توجه به اولویت ها با روش مناسب ترمیم یابد.در دستورالعمل بندی و ترمیم و اصلاح خرابی ها ارائه می شود. ازگذشته یکی از مهم ترین زیرساخت های شهری، کوچه ها وخیابان ها بوده اند.با گسترش شهرها و افزایش تقاضا برای حمل و نقل، بزرگرا ه ها و آزاد راه ها نیز به را ه های شهری افزوده شدند می توان راهکارها و پیشگیری در انواع خرابی های آسفالتی در روسازی راه ها و معابر شهری را این گونه تعریف کرد :اجرای روش مناسب برای روسازی های مناسب در زمان مناسب تنها در این صورت است که فایده های این روش قابل لمس روسازی آسفالتی راه ها وبزرگراه های شهری روش ها و الزامات فنی عمومی شناسایی، ارزیابی، اولویت است. با به به کار بردن روش های پیشگیرانه مناسب در زمان مناسب، عمر خدمت دهی روسازی افزایش چشمگیری پیدا می کند که مدیریت اجرایی در سطح پروژه و شبکه ای را می طلبد :تعداد و نوع وسایل نقلیه عبوری، نوع و جنس مصالح بستر و روسازی،شرایط جوی، شرایط زهکشی، کیفیت اجرا، ضوابط و معیارهای طرح، اجرا و نگهداری.

[1] Pavement management system

۳. شرح بازدید با پهپاد

اغلب آسیب های وارده به روسازی قابل دیدن هستند از این رو بازرسی چشمی یکی متداول ترین نوع بازرسی ازروسازی می باشد. این عمل می تواند با استفاده از دوربین انجام شود، با نصب دوربین بر روی پهپاد میتوان خرابی هایی همچون ترک های طولی، عرضی، سوسماری، گودال ها و شیار شدگی ها.. را به راحتی تشخیص داد. با توجه به گستردگی سطوحی که باید مورد بازرسی قرار گیرد بازرسی این سطوح با دوربین هایی که قابلیت نصب بر روی ماهواره، هواپیما، خودرو، ربات و یا انواع پهپاد ها را دارند انجام می پذیرد.

تصویرهای ضبط شده توسط وسایل ذکر شده نیز میتوانند به روش های مختلفی مورد بررسی قرار گیرند. ۱- میتوان به صورت دستی توسط کارشناسان عکس های گرفته شده را مورد بررسی قرار داد. کارشناسان ومحققین مربوطه عکس های گرفته شده را با توجه به تجربه، دقت و دانش خود مورد تجزیه و تحلیل قرار میدهند و نظرات خود را به صورت مکتوب با شماره گزاری عکس ها بایگانی می کنند. این گونه بازرسی های چشمی بیشتر نظرات به صورت سلیقه ای می باشد و با توجه به نظر کارشناس است.

۲- با استفاده از پردازش تصویر بیشتر فعالیت ها توسط کامپیوترها انجام پذیرد عکس ها به کامپیوتر ارسال می شود. کامپیوتر این تصاویر را یک پارچه وپشت سر هم قرار می دهد و میتواند با سرعت بالا به بررسی اطلاعات بپردازد و در هزینه ها صرفه جویی کند.

۴. خلاصه و نتیجه‌گیری

یک وسیله نقلیه بدون سرنشین هوایی‌معمولا به عنوان یک هواپیمای بدون خلبان انسانی که قابلیت استفاده مجدد و توانایی پرواز کنترل شده، قابلیت حمل بار و... را داشته باشد، تعریف میشود.پرواز وسیله نقلیه بدون سرنشین هوایی، یا از راه دور توسط یک خلبان ازروی زمین کنترل میشود یا کامپیوتر نصب شده روی آن وظیفه کنترلی را انجام میدهد.وسیله نقلیه بدون سرنشین هوایی به اختصار UAV گفته میشود از قدیم UAVها هواپیماهای هدایت پذیر از راه دور بودند اما کنترل خودمختار به شکل افزایشی در حال بهکارگیری است.برای سالهای سال یکی از نقاط برجسته تاریخ حمل ونقل هوایی بوده است.منشأ پیدایشUAV ارتباط نزدیکی با موشکهای کروز دارد؛ تفاوت اصلی آن با موشکهای کروز ان است UAV ها ها برای استفاده شدن در چندین مأموریت طراحی میشوند. و موشک کروز برای این طراحی میشود که خودش را به همراه هدف نابود کند.از این جهت یک موشک میتواند به عنوان یک UAVمطرح شود، در حالی یک UAV کروزنمیتواند به عنوان یک شکل تکامل یافته از هواپیمای خودمختار مطرح شود. پهپاد در صنایعی از قبیل نظارت بر ترافیک،کشاورزی، فتوگرامتری، بازرسی از پل ها، سد ها، روسازی و ایمنی ساختمان ها و... استفاده می شود. بازرسی از صنایع و نقاطی که برای انسان خطرناک و دشوار است و انسان قادر به بازرسی همه جانبه از آن نمی شود توسط پرنده هدایت پذیر از راه دور انجام می شود مانند :

- بازرسی نقاط مرتفع و صعب العبور

- بازرسی صنایع آب و برق و خطوط انتقال و توزیع
- بازرسی صنایع نفت و گاز، پتروشیمی و پالایش
- بازرسی صنایع نفت و گاز فراساحلی
- بازرسی زمین و ساختمان ها در صنایع

روسازی راه سازه ای است که برروی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده، خاکریز ی ها، یا کف برش های خاکی و یا سنگی که بطور کلی بستر روسازی نامیده میشود، قرار می گیرد.

بازرسی از روسازی همواره با مشکلات فراوانی روبه رو بوده است. بازرسی روسازی نیازمند تجهیزات و لوازم گران قیمت بوده که در کشوری مانند ایران تهیه این لوازم با دشواری های زیادی همراه است.

محققین و مهندسین راهسازی ایران به جای استفاده از روش‌های پرهزینه که در کشورهای پیشرفته استفاده می شود روش ساده ای را جایگزین نموده اند که درآن وضعیت سازه ای روسازی توسط شاخصی بنام " شاخص وضعیت روسازی" و ضرائب و نمودارهای تنظیم شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

بازرسی چشمی مشکلاتی از قبیل تعداد افراد، خطای انسانی در محاسبات، تلف کردن وقت، ترافیک مسیر،آب و هوای نامناسب و عدم دقت در کسب نتایج دقیق را در پی دارد.

البته عدم اطلاعات کافی از ویژگی های پهپاد نیز از مشکلات روش عکس برداری و بررسی وضعیت روسازی با پهپاد می باشد و استفاده از پهپاد نیاز به آموزش نیروی ماهردارد. با استفاده از تکنولوژی پهپاد ها میتوان بازرسی را با سهولت و سریع تر از روش های پیشین را انجام داد.

در بازرسی چشمی تعیین نوع و شدت خرابی بر حسب تجربه و تسلط مهندسین ناظر به روسازی انجام میشود. و عکس ها به صورت یکپارچه و منظم پشت سر هم قرار نمیگیرند. چندین نمونه از سطح جاده انتخاب میشود و شاخص وضعیت روسازی برای کل سطح جاده تعیین میگردد و این امر زمان بر و خسته کننده است. و از دقت بالایی هم برخوردارنیست

اما بازرسی با پهپاد توسط نرم افزار صورت می گیرد. ومیتوان زاویه دوربین را گونه ای تنظیم کرد که کل مسیر مورد ارزیابی، در تصویر قرار گیرد.

عکس ها توسط نرم افزار های به روز دنیا پردازش می شود اطلاعات لازم در مورد وضعیت روسازی و خرابی ها برداشت می شود عکس هایی که به صورت دستی گرفته میشود چنین امکانی را نمی توانند فراهم کنند.

پردازش تصویر در پهپاد میتواند بررسی اطلاعات را بالا ببرد و در هزینه و زمان صرفه جویی کند.

استفاده از پهپاد میتواند به احتمال زیاد در مدیریت هزینه های جاده بسیار موثر واقع شود. به این منظور با وجود متخصصین مربوطه می توان برآوردی دقیق و جامع برای ترمیم و نگهداری سطح جاده ها داشته باشد بررسی عکس های تهیه شده به روش مشروح در این تحقیق نشان می دهد که خرابی هایی نظیر انواع ترک ها، چاله ها، شیار ها و برآمدگی ها قابل تشخیص و اندازه گیری میباشد.

با این وجود که پهپاد نیاز به ساخت و خرید قطعات و نیازمند نیروی ماهر است و بازرسی چشمی به لوازم و تجهیزات زیادی نیاز ندارد. اما حدس زده می شود به خاطر عدم اطلاعات کافی از بازرسی و زمان بر بودن بازرسی چشمی پهپاد اقتصادی تر باشد.

از پهپاد در کشور های پیشرفته استفاده هایی به غیر از مسائل نظامی شده است. اما در ایران هنوز چنین استفاده هایی نشده است.

منابع

1. Puri A. A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance. Technical Paper. 2005; 1-29.
2. Metni .N, Hamel.T. A UAV for bridge inspection: visual serving control law with orientation limits. Automat. Constr.2007; 17 (1): 3-10.
3. Eschmann.C, Kuo C-M, Boller.C. Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. In: Proceedings of the 6th European Workshop on Structural Health Monitoring. Dresden, Germany.2012; 2: 1-8
4. Tejada V. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera, Remote Sens. Environ.2012; 117:322-337.
5. Buckley J. The Future of Drone Use: Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Asser Press-Springer. Chapter by Alan McKenna. Page 355.2002;
6. [52] Schnebele E, Tanyu B , Cervone G. N. Waters. Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. This article is published with open access at SpringerLink.com .2015;
7. Feng W, Yundong W, Qiang Z. UAV borne real-time road mapping system. In: Urban Remote Sensing Event.2009;
8. Zhang C. An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. In: Proceedings of theInternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress, pp 627 -631 .2008;
9. Zhang C, Elaksher A . An unmanned aerial vehicle-based imaging system for 3D measurement of unpaved road surface distresses. Comput-Aided Civil Infrastruct Eng 27(2):118-129 . 2012;
10. Tatham P. An investigation into the suitability of the use of unmanned aerial vehicle systems (UAVS) to support the initial needs assessment process in rapid onset humanitarian disasters.Int J Risk Assess Manag 13(1):60-78 . 2009;
11. Huang Y.H . Pavament Analysis& Design prentice Hall. Newjersey U.A.S. 1993;
12. MDOT Pavement Design and Selection Manual. MDOTConstruction Field Services Division. Technical Report .2012;

13. AASHTO. Rough Roads Ahead: Fix Them Now or Pay for it Later. Joint publication of the American Association of StateHighway and Transportation Officials and National Transportation Research Group, Washington, DC. 2009;
14. Gramling W. Current practices for determining pavement condition. National Cooperative Highway Research Program(NCHRP), Synthesis 203. Transportation Research BoardPublication.1994;
15. McGhee KH.) Automated pavement distress collectiontechniques. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Synthesis 334. Transportation Research Board Publication.2004;
16. Smith R, Chang-Albitres C. The impact of semiautomated pavement istribution collection methods on pavement management network-level analysis using the MTC treetsaver.Report prepared for Metropolitan Transportation Commission by the Texas Transportation Institute, Texas A & M University System, Project No. 2007;
17. Hass R. & R.Hudson,Deffining & serving clients for pavements,transportation Research ,No.1524.1996;
18. Sebaaly P.E. & A.Hand & c.Bosch,"Nevada s Approach To pavement",Transportation Research Record,NO.1524.1996;

۱۹. صادقیان س. بررسی نقش پهپاد در کشاورزی دقیق با رویکرد سنجش از دور. کنفرانس بین المللی عمران، معماری و منظر شهری. ۱۳۹۵؛

۲۰. عابدینی ع، سعادت سرشت م. سامانه مدیریت ترافیک بر فتوگرامتری پهپاد. اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار. ۱۳۹۳

۲۱. علیپور م ، رجول دزفولی ح، دانش کهن ح. استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین به منظور بازرسی خطوط نفت و گاز دومین کنفرانس لوله و صنایع وابسته. ۱۳۸۸؛

۲۲. شاهوردی س. یک شیوه برای ردیابی جاده با استفاده از تصاویر هوایی به منظور هدایت وسائل نقلیه بدون سرنشین(UAV) مبنی بر ماموریت. پایان‌نامه اراک. دانشگاه فنی مهندسی اراک، ۱۳۹۳.

۲۳. بنی احمد ش، منجمی م ، فتح الهی فرد ع. مشخصات سطح راه: وزارت راه و ترابری- معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری- دفتر مطالعات فناوری و ایمنی، بهار ۱۳۹۰.

۲۴. معاونت نظام راهبردی وزارت راه و شهر سازی . آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران، دفتر نظام فنی، موسسه قیر و آسفالت ایران،پژوهشکده حمل و نقل، نشریه شماره ۲۹۶ ، تهران ۱۳۹۰؛