

این مقاله در اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

## یک سیستم حامی تصمیم‌گیری فرودگاهی برای تخصیص لحظه‌ای خودروهای سرویس رسان

ابوذر رمضانی<sup>۱</sup>، محمد رضا ملک<sup>۲\*</sup>

-۱ دکتری سیستم اطلاعات مکانی، آزمایشگاه سیستم اطلاعات مکانی همراه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
-۲ دانشیار گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

### چکیده

بهبود اینمنی حرکت سرویس‌رسانان در سطح فرودگاه، نیاز به یک مدیریت یکپارچه در کل محدوده فرودگاه دارد، که به علت مستقل بودن مدیریت در بخش‌های مختلف یک فعالیت نسبتاً مشکل می‌باشد. این روند در صورت تداوم می‌تواند تمامی عملکرد فرودگاهی را تحت تأثیر قرار دهد. افزایش پروازها در فرودگاهها منجر به افزایش تردد سرویس‌رسانان و در نتیجه افزایش حوادث در سطح فرودگاه شده است. در زمان وقوع بحران در فرودگاه، فرایند تصمیم‌گیری بعلت عدم اطلاع از وضعیت کلی سرویس‌رسانان دچار معضل جدی خواهد شد. بنابراین اینمنی وسائل نقلیه در محدوده سرویس‌رسانی به عنوان یک چالش مطرح می‌شود. در این پژوهش یک سیستم حامی تصمیم‌گیری با فراهم نمودن راه حلی جهت اختصاص سرویس‌رسانان به هواپیماها، امکان تخصیص بهینه آنها را فراهم نموده است. مدل توسعه داده شده در این تحقیق با دریافت موقعیت هواپیماها و سرویس‌رسانان و با انجام پردازش‌های مکانی شامل تحلیل شبکه و برآورد میزان ترافیک سرویس‌رسان راهنمایی خواهد نمود که به کدام هواپیما و از چه مسیری سرویس‌رسانی کند. نتایج پیاده‌سازی در فرودگاه بین المللی امام خمینی نشان از کاهش تاخیر ۲۱ ثانیه برای دو پرواز همزمان دارد. در صورتی که مدل پیشنهادی برای چندین پرواز به کار گرفته شود عملکرد بهتری نشان خواهد داد و موجب کاهش بیشتری در مجموع زمان تاخیر در پروازها خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** سیستم حامی تصمیم‌گیری مکانی، سیستم اطلاعات مکانی همراه، فرودگاه، تخصیص

\* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از میدان ونک، رویروی برج اسکان، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۲۵۶۶۵۶

## ۱- مقدمه

سیستم حامی تصمیم‌گیری در این تحقیق سیستمی است که بتواند با دریافت چند پارامتر و انجام محاسبات بر روی آن‌ها، مسئولان فرودگاه را در اتخاذ تصمیمات دقیق و درست در تخصیص آتی و بهینه سرویس‌رسانان یاری رساند. در این فرایند پردازشها و محاسبات انجام شده بر پایه اطلاعات مکانی انجام می‌شود. با توجه به توانایی سیستم اطلاعات مکانی در تحلیل و پردازش اطلاعات مکانی، از این سیستم به عنوان حامی تصمیم‌گیرنده‌گان در فرایند تخصیص لحظه‌ای سرویس‌رسانان استفاده می‌شود.

رشد قابل توجه ترافیک، محدودیتهایی برای وسائل نقلیه موجود در فرودگاهها ایجاد کرده که مدیران فرودگاهها می‌بایست با دقت فراوان نیازهای بوجود آمده برای افزایش بازدهی را پاسخ دهنند. سیستم اطلاعات مکانی می‌تواند برای مدیریت امکانات موجود و افزایش صحت اطلاعات در دسترس و برای پاسخ سریع به نیازهای اطلاعاتی مورد استفاده قرار بگیرد [۲]. هدایت وسایل نقلیه و ارائه سرویس‌های مختلف به کاربران در هر زمان و هر مکان، به صورت آنی اهمیت استفاده و به کارگیری خدمات الکترونیکی در فرودگاهها را افزایش داده است. برای حل اغلب مشکلات خدمات رسانی در سیستم حمل و نقل به صورت الکترونیکی، جهت اخذ تصمیمات موثر و کارآمد در زمان مناسب، نیاز به داده‌های مکانی و غیرمکانی، انتقال اطلاعات و به اشتراک گذاری پایگاه داده‌ها، استفاده از توابع پایه سیستم اطلاعات مکانی در انجام آنالیزها و بصری‌سازی اطلاعات و نمایش نتایج برای کاربران، محسوس و غیر قابل انکار می‌باشد [۳]. در عصر جدید تقارب تکنولوژی‌های مختلف نظری سیستم اطلاعات مکانی، سیستم تعیین موقعیت جهانی، ارتباطات شبکه بی‌سیم و تلفیق اطلاعات مکانی و محاسبات همراه شاخه جدیدی از انفورماتیک را توسعه داده است که سیستم اطلاعات مکانی همراه نامیده می‌شود. به کارگیری سیستم اطلاعات مکانی همراه در خدمات

با وجود اینکه ترافیک در فرودگاه‌ها افزایش یافته است، فعالیتهای اندکی جهت بهبود وضعیت سرویس‌رسانی در موقع بحرانی و همچنین در کنترل زمینی وسایل نقلیه و هواپیماها انجام شده است. تسهیلاتی که فرودگاهها امروزه با تسریع بسیار خوب فعالیتها برای انسانها فراهم کرده‌اند، مشتریان فراوانی جذب کرده‌است. پروازها موقعیت حساسی بویژه در لحظه فرود و برخاست دارند، که می‌بایست با دقیق بالایی انجام شود، ولی گاهی اوقات با حوادثی همراه است. مدیران فرودگاه در تلاش برای مدیریت از کار افتادگیها و خطاهای غیرمنتظره در عملیات فرودگاهی می‌باشند. همچنین می‌باید برای امکانات موجود طوری برنامه‌ریزی کنند که پاسخگوی ساعت پیک ترافیک باشد [۱]. بسیاری از عملیات درون فرودگاه مربوط به سرویس‌رسان‌ها می‌باشد. با آنالیز داده‌های مربوط به سرویس‌رسان‌ها می‌توان عوامل کاهش کارایی و راه حل‌های افزایش بازدهی را برای بهبود سرویس‌رسانی در سطح فرودگاه یافت. تخصیص بهینه و سریع امکانات موجود برای افزایش کارایی و بهبود بحران‌ها راه حل مناسبی است. همچنین بیشتر عملیات سرویس‌رسانی درون فرودگاه وابسته به پارامترهای زمانی و مکانی هستند. سیستم اطلاعات مکانی ابزاری قوی برای تحلیل روی داده‌های زمانی و مکانی است. ثبت داده‌های مکانی و زمانی و بکارگیری توانایی‌های تحلیلی سیستم اطلاعات مکانی (GIS<sup>۱</sup>) در کنار یکدیگر فرایند اتخاذ تصمیمات مناسب در لحظات بحرانی و حساس را فراهم می‌کند. یکی از نیازهای اصلی این روزهای فرودگاه‌ها توسعه یک سیستم حامی تصمیم‌گیری جهت اختصاص آنی سرویس‌رسانان به هواپیماها جهت تسريع در فعالیت ارائه سرویس به هواپیماها می‌باشد. منظور از

<sup>۱</sup> Geospatial Information System

ارائه می‌کند. همچنین پارامترهای زمانی و مکانی تاثیرگذار در افزایش بازدهی عملیات پوش و تاو در نظر گرفته نمی‌شود. عدم وجود تحلیل‌های مکانی زمانی در تخصیص سرویس‌رسانان ها و نیاز این سرویس‌رسانان به نمایشگری درون خودرو برای کاهش اختلالات و بهبود فرایندهای سرویس‌رسانی و احتمال وقوع خطأ در استفاده از سیستمهای صوتی نیاز به یک سیستم حامی تصمیم‌گیری را بیشتر نمود داد تا به طراحی و پیاده‌سازی سیستمی برای رفع این معضلات پرداخته شود.

یک سیستمی حامی تصمیم‌گیری برای تفکیک مناسب حرکت وسایل نقلیه و هواپیماها در قسمت زمینی فرودگاه توسعه داده شده، که می‌تواند ایده‌هایی برای استفاده بهینه از تاکسی‌وی و رانوی<sup>۴</sup> بدهد. سیستم از سخت‌افزار سیستم تعیین موقعیت جهانی<sup>۵</sup> برای چک کردن موقعیت وسایل زمینی و هواپیماها در روی زمین بصورت آنی و نرم‌افزار GIS با هدف خاص به منظور رדיابی وسایل نقلیه و هواپیماها در عملیات برنامه ریزی مختلف تشکیل شده است.<sup>[۶]</sup>

با ظهور محاسبات موبایل و سرویس‌های مکان مبنای<sup>[۷]</sup> و [۸] بعد مکانی و زمانی برای نگهدارندگان فرودگاه بخش اصلی برای مانیتور کردن رشد مداوم حرکت در سطح فرودگاه‌ها است، که معمولاً منجر به بیشتر شدن تعداد حوادث در سطح فرودگاه می‌شود.<sup>[۹]</sup> یک داشبورد مکانی جهت بهبود تصمیم‌گیری توسعه داده شد که در نظر دارد به تصمیم‌گیرندگان برای جستجو در داده‌ها چند بعدی کمک کند. این سیستم با هدف مدلسازی تغییرات لحظه‌ای در حوزه مکانی و زمانی توسعه داده شده است. داشبورد مکانی یک تکنیک بصری‌سازی برای نمایش عملکرد اینمنی در دو بعد زمانی و مکانی است.<sup>[۱۰]</sup>

<sup>4</sup> Runway

<sup>5</sup> GPS

سیستم حمل و نقل فرودگاهی و امکان دستیابی آنی به داده‌ها، ارائه سرویس‌های مکان مبنا به صورت آنی را بر روی دستگاه‌های همراه برای سرویس‌رسانان ها فراهم نموده و افزایش سرعت عمل و کارایی را فراهم خواهد نمود<sup>[۴]</sup>. با توجه به خطرات در کمین در فرودگاه و اتفاقات غیر قابل پیش‌بینی به کارگیری سیستم‌های اطلاعاتی برای انتقال اطلاعات و اخذ تصمیمات موثر در زمان مناسب برای مدیریت در فرودگاه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. برنامه‌ریزی برای امکانات موجود باید به ترتیبی باشد که در هر لحظه بتوان چاره‌ای برای اتفاقات غیرقابل پیش‌بینی اندیشید و بهترین استفاده از امکانات موجود داشت<sup>[۵]</sup>. یکی از عملیات در فرودگاه‌ها که نقش مهمی در پروازهای خروجی ایفا می‌کند، عملیات پوش و تاو<sup>۱</sup> است. در این عملیات هواپیمایی که قصد خروج از فرودگاه را دارد، بوسیله خودرویی به نام یدک‌کش از محل استقرار خود اپرون<sup>۲</sup> به تاکسی‌وی<sup>۳</sup> منتقل می‌شود. بعلت خطر موتور هواپیما در زمان حرکت رو به عقب و کنترل سخت هواپیما توسط خلبان و افزایش امنیت در سطح فرودگاه این عملیات توسط یدک‌کش انجام می‌شود.

هواپیمایی که سرویس‌های مورد نظر خود را دریافت نموده است و آماده خروج از فرودگاه است ۱۰ الی ۱۵ دقیقه قبل از پرواز به مرکز کنترل آمادگی خود را اعلام می‌کند. مرکز کنترل به یدک‌کش اعلام می‌کند به هواپیمای مورد نظر خدمات‌رسانی کند. این عملیات امروزه در فرودگاه بر اساس سیستم صوتی و شماره جایگاه صورت می‌پذیرد. به این صورت که به یدک‌کش موقعیت هواپیما اعلام می‌شود و با توجه به آشنایی راننده یدک‌کش با جایگاه‌ها و مسیرهای فرودگاه خود را به هواپیما رسانده و خدمات مورد نظر را

<sup>1</sup> Push and Tow

<sup>2</sup> Apron

<sup>3</sup> Taxiway

دارند که به دلیل نیاز به استفاده از آنها، ابتدا این اصطلاحات بصورت مختصر تبیین می‌شود. اپرون یا پارکینگ فرودگاه محوطه‌ای است که در آن هواپیماها توقف نموده و مسافران را سوار یا پیاده می‌کنند و سایر سرویس‌های مورد نیاز خود را دریافت می‌کنند. رانوی از دو مسیر رفت و برگشت تشکیل شده که هواپیماهای ورودی و خروجی برای برخاست و نشست از آنها استفاده می‌کنند. تاکسی‌وی هم مسیری است که اپرون را به رانوی متصل می‌کند. هواپیماهای ورودی از طریق تاکسی‌وی و به کمک مارشالر که وظیفه هدایت هواپیماهای ورودی را بر عهده دارد، به اپرون و جایگاه مشخصی که از قبل تعیین شده منتقل می‌شوند. در شکل (۱) مناطق مذکور نشان داده شده‌اند.



شکل ۱: تاکسی‌وی، رانوی و اپرون در فرودگاه

پارامترهای زمانی و مکانی تاثیرگذار در این فرایند می‌باشد. تخصیص یدک‌کش به‌گونه‌ای است که اگر اختلالی در یکی از عملیات بوجود آید، سایر پروازها را تحت تاثیر قرار ندهد. تخصیص آنی با توجه به موقعیت هواپیما و موقعیت یدک‌کش و فاصله بین آنها صورت می‌پذیرد.

هواپیماها یک ساعت قبل از شروع سفر سرویس‌های مورد نیاز را دریافت می‌کنند. این سرویس‌ها می‌بایست ۱۰ الی ۱۵ دقیقه قبل از پرواز به اتمام برسد که بنا بر

در مقالات ارائه شده جهت توسعه سیستم حامی تصمیم‌گیری برای فرودگاه‌ها بیشتر هدف رصد حرکت سرویس‌رسانان در سطح فرودگاه بوده و به تخصیص لحظه‌ای سرویس‌رسانان به هواپیماها پرداخته نشده است. هدف از این پژوهش ارائه سرویس لحظه‌ای پوش و تاو به هواپیماها است، طوری که مجموع تاخیر پروازها کمینه شود. در ادامه تحقیق در بخش دوم به مبانی تحقیق پرداخته شده. در بخش سوم مدل توسعه داده شده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در بخش چهارم مدل توسعه داده شده، پیاده‌سازی شده است و در بخش پنجم به نتیجه‌گیری و بحث پرداخته شده است.

## ۲- مبانی تحقیق

در فرودگاه مسیرهای دسترسی و نیز مناطقی که ورود به آنها دارای محدودیت بوده، اصطلاحات منحصر به‌فرد

عملیات پوش و تاو برای انتقال هواپیما از اپرون به تاکسی‌وی انجام می‌شود. زمان پرواز برای ارائه خدمات به هواپیما محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند. سرویس‌رسانان می‌بایست در بازه‌های زمانی مشخص خدمات خود را ارائه کنند و تاخیر در سرویس منجر به تاخیر در سایر عملیات خواهد شد. در فرودگاه‌های مختلف زمان سرویس‌ها با توجه به متفاوت بودن شکل کلی فرودگاه، متفاوت می‌باشد. هدف از این پژوهش تخصیص آنی یدک‌کش به هواپیماها با در نظر گرفتن

سرویس‌رسان‌ها باید به گونه‌ای باشد که مجموع تاخیر در پروازها کاهش یابد. در واقع تخصیص یدک‌کش‌ها به هواپیماها با در نظر گرفتن پارامترهای زمانی و مکانی موثر در زمان پرواز به گونه‌ای که تاخیر در زمان پرواز کمینه شود، صورت می‌گیرد. برای سهولت در درک مدل ریاضی نخست نمادگان مسئله شرح داده می‌شود.

#### نمادگذاری‌های مسئله

- تعداد هواپیما  $q$  تا بوده و هواپیما را با نماد  $i$  نمایش می‌دهیم.
- تعداد یدک‌کش  $r$  تا و یدک‌کش را با نماد  $j$  نشان می‌دهیم.
- تعداد جایگاه هواپیما  $s$  تا بوده و جایگاه‌های هواپیما را با نماد  $k$  نشان می‌دهیم.
- تعداد جایگاه یدک‌کش  $p$  تا بوده و جایگاه یدک‌کش‌ها را با نماد  $l$  نشان می‌دهیم.
- زمان پرواز هواپیمای  $i$  از جایگاه  $k$  را با  $Dt_{ik}^j$  نشان می‌دهیم.
- زمان شروع سرویس برای هواپیما  $n$  توسط یدک‌کش  $j$  را با  $St_{jn}$  نشان می‌دهیم.
- مدت زمانی که صرف پوش و تاو شدن هواپیمای  $i$  توسط یدک‌کش  $j$  می‌شود را با  $Pt_{jn}^i$  نشان می‌دهیم.
- فاصله بین جایگاه یدک‌کش  $l$  و جایگاه هواپیما  $k$  را با  $dk_{lk}$  نشان می‌دهیم.
- حداکثر سرعتی که یدک‌کش می‌تواند در فرودگاه بین جایگاه خود  $l$  و جایگاه هواپیما  $k$  طی کند با  $v_{kl}$  نشان می‌دهیم.
- در رابطه  $(1)$ ، زمان پرواز مدلسازی شده، حاصل جمع زمان شروع سرویس برای هواپیمای متقاضی سرویس بعلاوه زمان صرف شده برای طی فاصله بین جایگاه یدک‌کش و هواپیما و زمان صرف شده برای پوش و تاو کردن هواپیما و جمع آن با زمانی که هواپیما برای پیمودن فاصله تاکسی‌وی تا ران وی طی می‌کند، است. رابطه  $(1)$  حاوی چهار سیگما بوده که مربوط به هواپیما، یدک‌کش، جایگاه

جایگاه هواپیما و ترافیک اطراف آن متغیر است. با احتساب این زمان، زمان ارایه کل سرویس‌ها، قبل از حرکت هواپیما حداقل  $45$  الی  $50$  دقیقه طول کشیده و از این زمان تجاوز نمی‌کند. پس از آنکه مسافران به طور کامل سوار هواپیما شدند و هواپیما بارگیری نمود، خلبان به برج مراقبت اعلام می‌کند که آماده دریافت سرویس پوش و تاو است. برج مراقبت به یدک‌کشی که آماده ارایه سرویس است، اعلام می‌کند که به هواپیمایی مورد نظر در جایگاه مشخص خدمات را ارایه کند. حال بین مبدأ و مقصد مسیرهای موجود بررسی می‌شود. با مشخص بودن موقعیت سایر سرویس‌رسانان ترافیک هر یک از مسیرها تعیین می‌شود. سپس بهترین مسیر با توجه به ترافیک و مسافت نسبت به مقصد محاسبه می‌شود. بعد از اعلام ارایه سرویس به هواپیمایی مورد نظر توسط یدک‌کش، یدک‌کش به سمت هواپیما حرکت کرده، در موقعیت صحیح نسبت به هواپیما جای می‌گیرد. پس از اتصال یدک‌کش به هواپیما، آن را به تاکسی‌وی منتقل می‌کند. در مدلسازی، زمان سپری شده جهت جایگیری نسبت به هواپیما در مدت زمان طی مسافت بین جایگاه هواپیما و یدک‌کش در نظر گرفته می‌شود. مدت زمانی را که یدک‌کش برای طی مسافت بین جایگاه خود تا جایگاه هواپیما صرف می‌کند، به  $30$  ثانیه بیشتر گردید. این زمان با استفاده از طول کوتاه‌ترین مسیر و حداقل سرعت مجاز در فرودگاه به دست می‌آید. زمان صرف شده برای عملیات پوش و تاو تابع سه پارامتر اصلی می‌باشد. این سه پارامتر شامل جایگاه هواپیما، ترافیک اطراف آن و فاصله آن از تاکسی‌وی می‌باشد. در حالتی که پروازها همزمان باشند، برج مراقبت در مورد ورود هواپیما به ران وی تصمیم‌گیری می‌کند.

### ۳- روش تحقیق

برای بهبود ترافیک در سطح فرودگاه مدلی توسعه داده شده که در آن، اختلاف زمان پرواز مدلسازی شده و زمان پرواز واقعی کمینه شده است. تخصیص

آماده سرویس رسانی باشد، در صورتی که اولویت سرویس رسانی به هواپیمایی باشد که مدت زمان پوش و تاو کمتری دارد، موجب کمینه شدن تابع هدف می‌شود.

#### شروط مساله

- حداکثر سرعتی که در فرودگاه می‌توان طی کرد برای تمام سرویس رسانها برابر است.
- فواصل تمام جایگاه‌های هواپیما از محل جایگاه‌های یدک‌کش معلوم است.
- خودرو یدک‌کش فقط می‌بایست از مسیر سرویس حرکت کند.
- حداقل زمانی که باید بین دو پرواز باشد ۲ دقیقه است (رابطه (۵)).
- رابطه (۵)

$$Dt_k^{i+1} - Dt_k^i \geq 2\text{min} \quad \forall i, k$$

- برای تمامی هواپیماها فرض می‌شود که فاصله تاکسی‌وی تا رانوی در  $a$  دقیقه طی می‌شود.
- متفاوت بودن تعداد یدک‌کش‌ها و هواپیماها شرایط متفاوتی برای تخصیص را به وجود می‌آورند. این روند برای چند هواپیما آماده دریافت سرویس و یدک‌کش آماده ارایه سرویس مورد بررسی قرار گرفته است. زیرا در پاره‌ای از اوقات چند یدک‌کش آماده ارایه خدمات و چند هواپیمای آماده دریافت خدمات وجود خواهد داشت. این بدلیل وجود پرواز همزمان و یا پروازهای غیر همزمانی است که در آن هواپیماها همزمان آماده دریافت سرویس می‌شوند.
- اگر تعداد یدک‌کش آماده ارایه خدمات، از تعداد هواپیمای آماده دریافت سرویس کمتر باشد، در مدل هر دو پارامتر، زمان صرف شده برای سرویس پوش و تاو هواپیما و زمان طی فاصله بین جایگاه یدک‌کش و جایگاه هواپیما در محاسبات در نظر گرفته خواهد شد. اما اگر تعداد یدک‌کش‌ها از تعداد هواپیماها بیشتر باشد، تنها پارامتر فاصله بین یدک‌کش و هواپیما در نظر گرفته خواهد شد و زمان مورد نیاز برای پوش و تاو کردن هواپیما تاثیری در

هواپیما و جایگاه یدک‌کش می‌باشد. با توجه به این که در هر عملیات سرویس رسانی هر چهار پارامتر حضور دارند و در تخصیص لحظه‌ای تاثیرگذار می‌باشند در تابع هدف لحاظ شده‌اند. در روابط (۲، ۳، ۴) برای اطمینان از حضور هر کدام از هواپیماهای  $i$  و سرویس رسان‌های  $j$  در جایگاه‌های  $k$  و  $k$  اطمینان از اینکه هواپیمای  $i$  خدمات را از یدک‌کش ز دریافت کرده ضریب‌های صفر و یک در تابع هدف ضرب شده است.

(رابطه (۱))

$$\min \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^s \sum_{i=1}^p ((St_j^i + \frac{dt_{kl}}{v_{kl}} + Pt_j^i + a) - Dt_k^i)$$

$$(x_{ij}z_{jp}y_{ik}) \quad \forall i, j, k, p$$

▪ اگر هواپیمای  $i$  با یدک‌کش  $j$  سرویس دهی شود  $x_{ij}$  برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر ۰ است.

(رابطه (۲))  $x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j$

▪ اگر هواپیمای  $i$  در جایگاه  $k$  حضور داشته باشد  $y_{ik}$  برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر ۰ است.

(رابطه (۳))  $y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i$

▪ اگر یدک‌کش  $j$  در جایگاه  $p$  حضور داشته باشد  $z_{jp}$  برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر ۰ است.

(رابطه (۴))  $z_{jp} \in \{0, 1\} \quad \forall j, p$

▪ دو پارامتر تاثیرگذار در مدل پیشنهادی مدت زمان پوش و تاو شدن هواپیما و فاصله بین یدک‌کش و هواپیما است. جهت کمینه کردن فاصله بین یدک‌کش و هواپیما از تحلیل شبکه استفاده شده و فاصله شبکه بین جایگاه هواپیما و یدک‌کش‌ها محاسبه می‌شود. جهت محاسبه مدت زمان پوش و تاو از داده‌های ثبت شده در گذشته و با توجه به موقعیت هواپیما تصمیم‌گیری می‌شود. در صورتی که چند هواپیما و چند یدک‌کش

سرویس دهد. پردازش‌ها هم به این صورت است که هر هواپیمایی که آماده دریافت سرویس شد به مرکز کنترل اعلام می‌کند و یدک‌کش‌هایی که آماده ارایه سرویس هستند، آمادگی خود را به مرکز کنترل اعلام می‌کنند. مرکز کنترل فاصله بین یدک‌کش‌ها و هواپیماها و زمان مورد نیاز برای پوشش و تاو شدن را با توجه به جایگاه هواپیماها و فاصله آن از تاکسی‌وی و در نظر گرفتن ترافیک اطراف هواپیما محاسبه می‌کند. هواپیماهایی که در سمت ترمینال فرودگاه باشند یا فاصله بیشتری تا تاکسی‌وی دارند زمان بیشتری برای پوشش و تاو شدن و رسیدن به تاکسی‌وی صرف خواهند کرد. این مقادیر در رابطه<sup>(۱)</sup> قرار داده شده و حالتی که کمترین باشد به عنوان گزینه بهینه انتخاب می‌شود. در حالت بهینه مشخص می‌شود که کدام یدک‌کش به کدام هواپیما خدمات را ارایه کند. همچنین به کمک تحلیل شبکه مشخص می‌شود که یدک‌کش انتخابی از چه مسیری به هواپیما خدمات خود را ارایه کند.

فرض شود سه یدک‌کش آماده ارایه سرویس وجود دارد و دو هواپیما اعلام آمادگی برای دریافت سرویس نموده‌اند. در مرکز کنترل فاصله بین هر یک از این یدک‌کش‌ها و هواپیماها محاسبه شده و سپس به کمک مدل محاسبه می‌شود که کدام یدک‌کش به کدام هواپیما ارایه خدمات کند. سپس به یدک‌کش از طریق سیستم موجود داخل خودرو اعلام می‌شود که به کدام هواپیما سرویس رسانی کند. در حالتی که یک یدک‌کش در جایگاه<sup>(۲)</sup> EPA ۲۷ حضور دارد و منتظر دستور مرکز کنترل می‌باشد، دو هواپیمایی که اعلام آمادگی دریافت سرویس نموده‌اند در جایگاه‌های ۷ و ۴ حضور دارند. در شکل<sup>(۳)</sup> ابتدا پردازش برای هواپیمایی جایگاه شماره ۴ صورت می‌گیرد تا مشخص شود که یدک‌کش به کدام هواپیما سرویس رسانی کند.

<sup>۵</sup> Equipment Parking Area

تخصیص نخواهد داشت.

در حالتی که تعداد یدک‌کش و هواپیما برابر باشد، هر دو پارامتر یعنی فاصله بین جایگاه‌ها و زمان مورد نیاز برای پوشش و تاو کردن هواپیما تاثیرگذار هستند و در مدل تخصیص لحظه‌ای یدک‌کش در نظر گرفته خواهند شد.

#### ۴- پیاده‌سازی

فرودگاه بین المللی امام خمینی جهت پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. این فرودگاه در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی تهران بین آزاد راه تهران-قم و تهران-ساوه و در زمینی به وسعت ۱۳.۵ هزار هکتار ساخته شده است. مدل پیشنهادی قابلیت به کارگیری برای تمام فرودگاه‌های استاندارد دنیا را دارد و بدون تغییر می‌توان آنرا برای تمام فرودگاه‌های دنیا به کار گرفت.

برای پیاده‌سازی این سیستم از نرم افزارهای مایکروسافت ویژوال استودیو نسخه<sup>۱</sup> ۲۰۱۰، آرک جی آی اس سرور<sup>۲</sup>، آرک جی آی اس موبایل<sup>۳</sup> و آرک جی آی اس دسکتاپ<sup>۴</sup> استفاده شد و روش پیشنهادی در قالب سیستم همراه پیاده‌سازی شد.

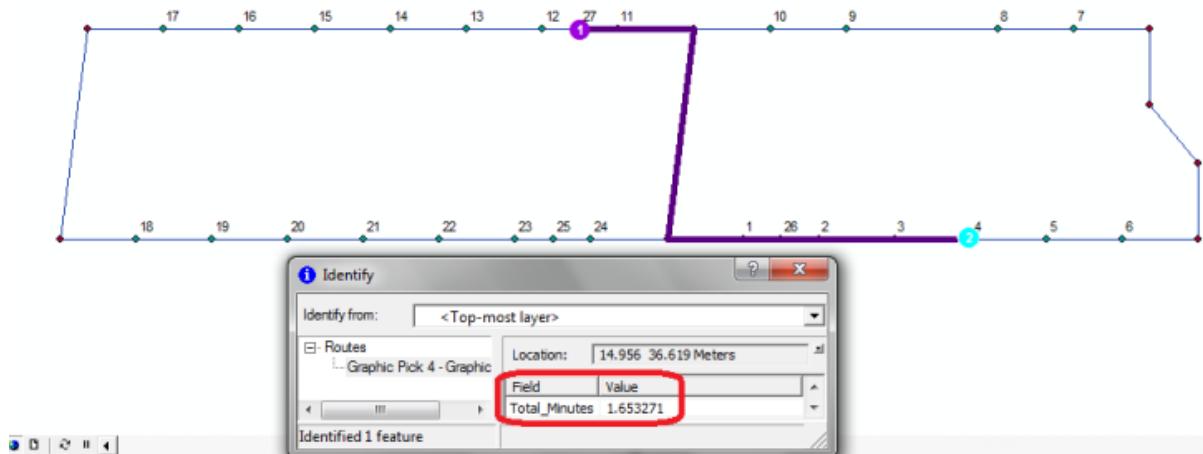
در این سیستم حامی تصمیم‌گیری برای اعلام به یدک‌کش و اینکه به کدام هواپیما خدمات رسانی کند، نیاز به دستگاه همراه در یدک‌کش می‌باشد. این سیستم کوتاه‌ترین مسیر و هواپیمای مورد نیاز سرویس را با توجه به تابع بهینه‌سازی را به یدک‌کش اعلام می‌کند. با توجه به اینکه جایگاه هواپیماها و جایگاه یدک‌کش‌ها از قبل مشخص است، فواصل تمام این جایگاه‌ها در پایگاه داده محاسبه می‌شود و سپس به یدک‌کش ابلاغ می‌شود که به کدام هواپیما

<sup>۱</sup> Microsoft Visual Studio 2010

<sup>۲</sup> ArcGIS Server10

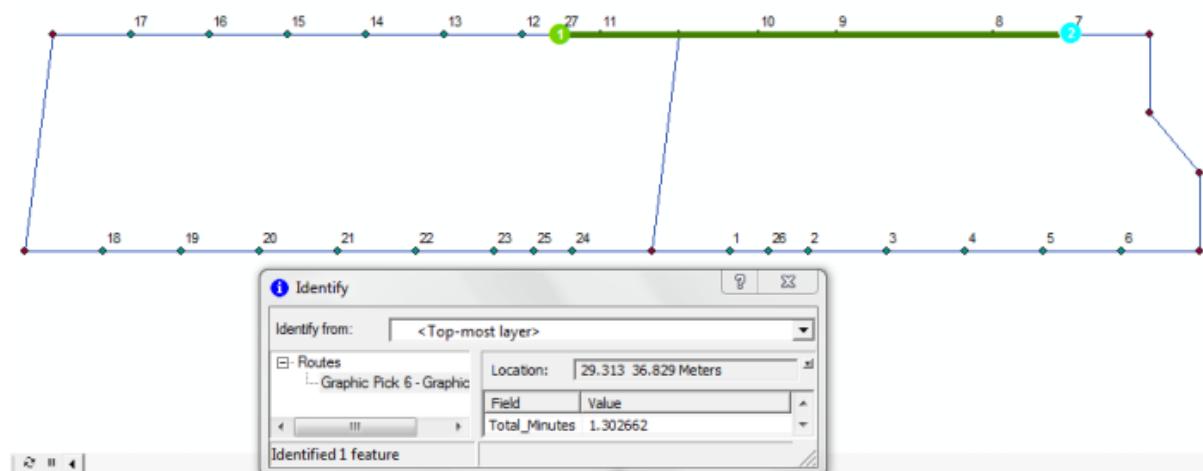
<sup>۳</sup> ArcGIS Mobile 10

<sup>۴</sup> ArcGIS Desktop 10



شکل ۲: محاسبه فاصله زمانی جایگاه یدک کش ۲۷ و هواپیمای ۴

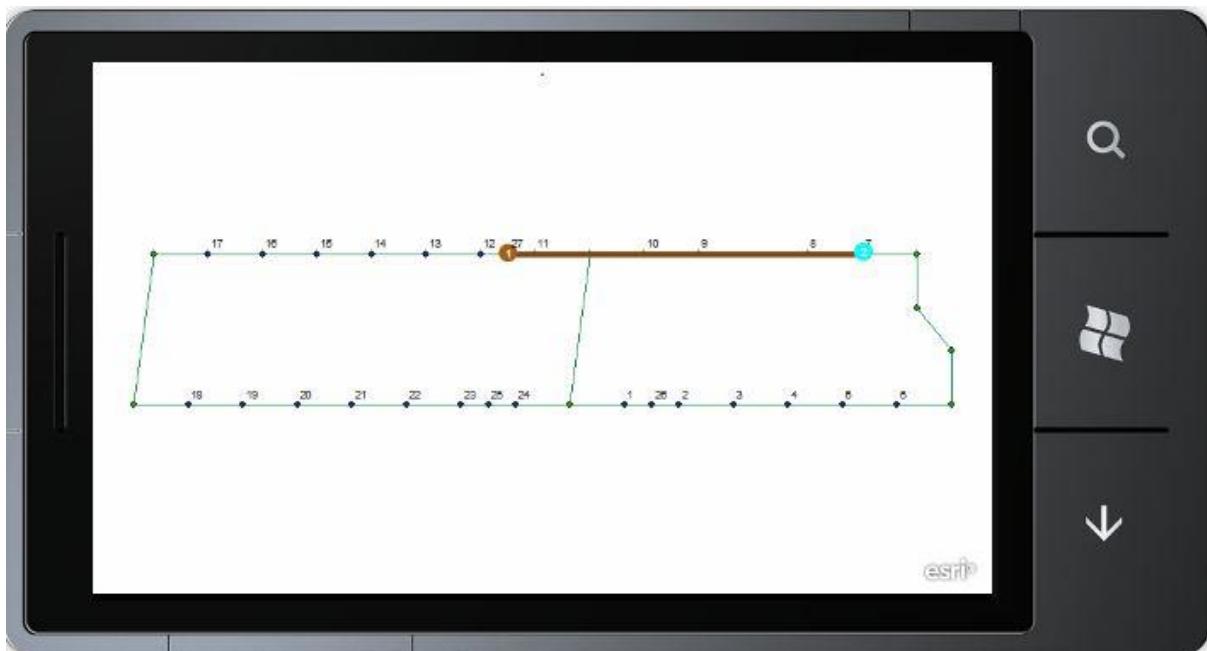
سپس در شکل (۳) برای هواپیمای جایگاه ۷ پردازش صورت می‌گیرد تا فاصله زمانی محاسبه شود.



شکل ۳: محاسبه فاصله زمانی جایگاه ۲۷ و هواپیمای ۷

جایگاه ۷ تخصیص یابد. در شکل (۴) با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی همراه به یدک کش اعلام می‌شود که از کدام مسیر و به کدام هواپیما سرویس رسانی کند.

فاصله زمانی بین جایگاه ۲۷ و ۷،  $\frac{1}{30}$  دقیقه است. فاصله زمانی و جایگاه هواپیماها نسبت به تاکسی‌وی و زمانی که برای پوش و تاو شدن صرف خواهد کرد مشخص می‌کند یدک کش جایگاه ۲۷ به هواپیمای



شکل ۴: اعلام به یدک‌کش جایگاه ۲۷ برای سرویس‌رسانی

جدول ۲: مقایسه سرویس‌رسانی بین مدل پیشنهادی و مدل معمول

مدل معمول	مدل پیشنهادی
اول جایگاه ۷ سرویس‌رسانی شود	اول جایگاه ۴ سرویس رسانی شود
۱۴:۳۳:۳۹	۱۴:۲۹:۱۸
۱۴:۴۱:۳۶	۱۴:۴۱:۱۵
۳۶ دقیقه ۶ ثانیه	۱۵ دقیقه ۶ ثانیه

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، با استفاده از مدل پیشنهادی تاخیر در مجموع دو پرواز را ۲۱ ثانیه کاهش داده است. در مدل پیشنهادی پرواز جایگاه ۴، حدود ۵ دقیقه و ۴۲ ثانیه زودتر در ران وی حاضر شده است. اما در مدل معمول، پرواز جایگاه ۷، حدود ۱ دقیقه و ۲۱ ثانیه قبل از زمان پرواز در ران وی حاضر شده است. در صورتیکه مدل پیشنهادی برای

با استفاده از چنین سیستمی امکان تخصیص لحظه‌ای به بهترین نحو، امکان‌پذیر است. در پیاده‌سازی انجام شده، دو هواپیما در جایگاه‌های ۷ و ۴ آماده دریافت سرویس هستند. یک یدک‌کش هم در جایگاه ۲۷ آماده سرویس‌رسانی می‌باشد. در صورتی که از سیستم حامی تصمیم‌گیری سرویس رسان انجام شود، در ابتدا به هواپیمایی جایگاه ۴ سرویس ارائه می‌شود. مشخصات پرواز هواپیماهای جایگاه ۴ و ۷ در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات پرواز هواپیماهای جایگاه ۴ و ۷

ساعت پرواز	جایگاه هواپیما	فاصله از یدک-کش	فاصله از پوش و تاو	زمان طی شده	زمان آماده دریافت سرویس بودن
۱۴:۳۵	۴	۶۵۰	۵	۷۸	۱۴:۲۰
۱۴:۳۵	۷	۸۰۰	۹	۹۹	۱۴:۲۰

مقایسه سرویس‌رسانی بین مدل‌های پیشنهادی و معمول برای مجموع تاخیر در پروازها در جدول (۲) نشان داده شده است.

بهینه یدک کش‌ها مشخص می‌شود. نتایج نشان داد که در دو پرواز همزمان مجموع تأخیر در پروازها حدود ۲۱ ثانیه کاهش یافت. با به کارگیری مدل پیشنهادی برای تعداد پروازهای بیشتر تاخیر در مجموع پروازها کاهش بیشتری بهمراه خواهد داشت.

در سیستمی که در اینجا ارائه شده است مزایایی وجود دارد که عبارتند از :

- ۱- تخصیص یدک کش به هواپیما به صورت بهینه و با در نظر گرفتن کمینه نمودن تاخیر در پروازها انجام می‌پذیرد.
- ۲- کوتاهترین مسیر برای ارائه خدمات به هواپیما، به یدک کش در قالب سیستم همراه اعلام می‌شود.
- ۳- جایگاه هواپیمای موردنیاز سرویس در دستگاه همراه سرویس رسانی به یدک کش نشان داده می‌شود.

جهت تحقیقات آینده توسعه یک سیستم حامی تصمیم‌گیری برای تخصیص بهینه تمامی سرویس‌رسانان پیشنهاد می‌شود.

چندین پرواز به کارگرفته شود عملکرد بهتری نشان خواهد داد و موجب کاهش بیشتری در مجموع زمان تأخیر در پروازها خواهد شد.

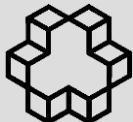
## ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش مسئله توسعه یک سیستم حامی تصمیم‌گیری برای تخصیص آنی یدک کش‌ها به هواپیماها پرداخته شد. مدل توسعه داده شده با در نظر گرفتن تعداد یدک کش‌های موجود و جایگاه‌های آنها به صورت متفاوتی عمل می‌نمود. در سرویس‌رسانی لحظه‌ای یدک کش‌ها و هواپیماها آمادگی خود را برای ارایه و دریافت سرویس به مرکز کنترل اعلام می‌کنند. موقعیت آنها در فرودگاه به کمک سیستم موقعیت‌یاب جهانی مشخص بوده و می‌توان برآورده از ترافیک لحظه‌ای در فرودگاه داشت. در مدل پیشنهادی جهت تخصیص لحظه‌ای دو پارامتر اصلی در نظر گرفته شدند. یک پارامتر فاصله بین جایگاه یدک کش و هواپیما بود و پارامتر دیگر زمان مورد نیاز هواپیما برای پوش و تاو شدن است. با مشخص بودن تعداد هواپیما و تعداد یدک کش‌ها آماده دریافت و ارائه سرویس و به کارگیری مدل پیشنهادی، تخصیص

## مراجع

- [1] ESRI “GIS Solutions for Airports and Aviation”, No. GS-35F-5086H, 2007.
- [2] D. Perry “Airports GIS and electronic ALP”, Presented to RTCA SC-217/Eurocae WG-44 Committee, 2009.
- [3] Meng, L., Zipf, A., and Reichenbacher, T. (2004). Map-based Mobile Services, Springer, Berlin.
- [4] M.N. Postorino, V. Barile, F. Cotronneo “Surface movement ground control by means of a GPS-GIS system”, Journal of Air Transport Management, pp375-381, 2006.
- [5] Pestana, G., Silva, M.M., Casaca, A., and Nunes, J. (2005). An Airport Decision Support System for Mobiles Surveillance &
- [6] Casaca, A., Silva, T., Grilo, A., Nunes, M., Presutto, F., and Rebelo, I. (2006). The Use of Wireless Networks for the Surveillance and Control of Vehicles in an Airport Environment, Proceedings of the 11th IFIP Personal Wireless Communications Conference, Lecture Notes on Computer Science, Springer, Albacete, Spain, ISBN-10 3-540-45174-9, pp.483-493.
- [7] P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Magurie, D.W. Rhind “Geographical Information Systems, Principles and Technical Issues”, 2nd ed. Wiley & Sons, 2002.
- [8] Postorino, M.N., Barile, V., and Cotronneo,

- F., (2006). Surface movement ground control by means of aGPS-GIS system, Journal of Air Transport Management 12, pp.375–381.
- [9] ICAO. (2005). Safety Management Manual, International Civil Aviation Organization, Doc 9859.
- [10] A. Bolat “Models and a genetic algorithm for a static aircraft-gate assignment problem”, Journal of the Operations Research Society, pp. 1107-1120, 2001.
- [11] Schwartz, M. (2004). Mobile Wireless Communications, Cambridge University Press, Cambridge.



## An Airport Decision Support System for Real Time Allocation of Service Cars

Abozar Ramezani <sup>1</sup>, Mohammad Reza Malek <sup>\*2</sup>

1- MSc of Geospatial Information System, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology  
2- Associate Professor of GIS Department, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology

### Abstract

Improve the safety of the service needs total integrated management of the airport, which due to independency of management in various sectors of activity is relatively difficult. Yet, continuance of this process, can affect all operations of an airport alone. Increasing flights in the airports lead to traffic jam of service cars results in an increase in the airport's accidents. In time of crisis in the airport, because of the lack of information on the overall situation, the decision making process will become a serious problem for managers. Hence, the safety of vehicles within the directory service turn into a rising challenge. In this study, a decision support system to provide a solution for dedicated service to aircraft carriers, enabling them to provide optimal allocation. Using this solution in times of crisis enable managers and service providers to use Geographic Information System which will be assigned to aircraft. The developed model in this study, after receiving the aircraft and service cars position, will announce that which aircraft and the service path should be served first. The implementation of proposed model at Imam Khomeini International Airport results show 36 seconds reduction of flight delays related to the real time of flight. If the proposed model be applied in several flight, it will show a better performance and a greater reduction in the total time of flight delays. Applying this model leads to increase of the power of decision-making and as a result can reduce the crisis in the airports.

**Key words:** SDSS, Mobile GIS, Airport, Allocation.

**Correspondence Address** Department of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng., K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran  
Tel : +98 21 22970224  
Email: mrmalek@kntu.ac.ir