Archive of SID

بهبود عملکرد حمل و نقل فرودگاهی با بهینه‌سازی عملکرد سرویس‌رسانان به وسیله یک سیستم اطلاعات مکانی

ابوذر رمضانی*، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
محمدرضا ملک، استادیار، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: abouzar.ramezani@gmail.com
دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۰٦ ـ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۸/۱۵

چکیده

با وجود افزایش ترافیک در فرودگاه‌ها، تحقیقات اندکی برای بهبود کنترل زمینی و کاهش تعداد سرویس‌رسانان انجام شده است. با توانایی‌های GIS مدیران فرودگاه‌ها در صدد برآمدند تا در توسعه و مدیریت فرودگاه از پتانسیل آن استفاده کنند. بدین ترتیب گرایش نوینی در GIS با عنوان AGIS ایجاد شد تا کاربردهای GIS در فرودگاه‌ها به گونه‌ای گسترده‌تر و با مشارکت فرودگاه‌های دنیا و متخصصان فن GIS مطرح شود. مهمترین نوآوری این تحقیق تحلیل داده‌های مکانی زمانی به صورت غیرآنی و ارایه متدی جهت کاهش ترافیک با هدف بهینه‌سازی تخصیص خودروهای سرویس‌رسان و با شرط کاهش تاخیر در زمان حرکت پرواز می‌باشد. در طرح پیشنهادی عملیات سرویس رسانی با در نظر گرفتن دو حالت بهینه می‌شود: در حالت اول سرویس‌رسان پس از ارایه سرویس به جایگاه دائم بازمی‌گردد و در حالت دیگر سرویس‌رسان پس از ارایه سرویس در جایگاه موقت توقف می‌کند. نتایج حاکی از آنست که در هردو حالت با ۳ خودرو سرویس‌رسان به ۹ پرواز در مدت ۳۰ دقیقه بدون تاخیر در زمان حرکت پروازها خدمات ارایه شده است.

واژگان کلیدی: سیستم اطلاعات مکانی، فرودگاه، سرویس پوش و تاو، تخصیص

۱- مقدمه

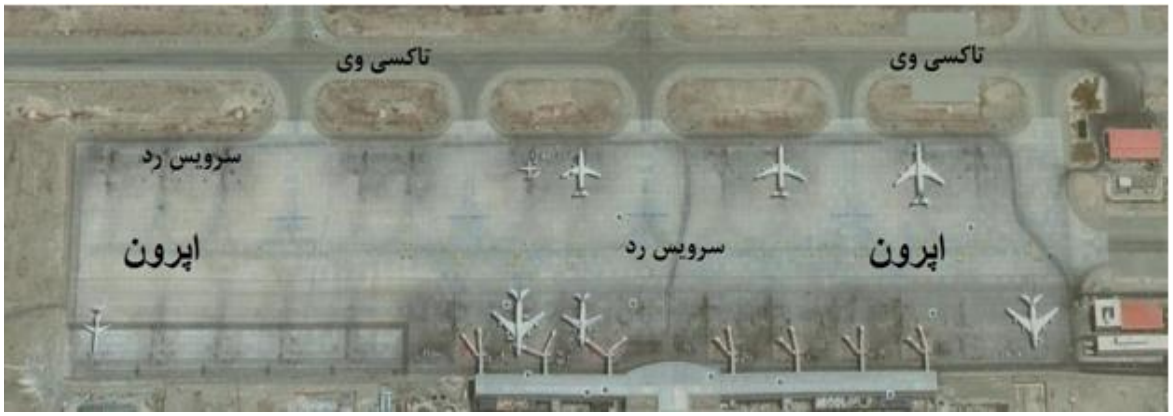
امروزه تحلیلگران و مهندسان فرودگاه‌ها به سمت GIS روی آورده‌اند تا تلاش‌های آنها در برنامه‌ریزی، نگهداری و مدیریت، پشتیبانی شود و در توسعه و مدیریت فرودگاه از پتانسیل GIS استفاده کنند (Neuman ,2011). این عمل متخصصان موجب شد تا گرایش نوینی در GIS با عنوان AGIS ایجاد شود تا کاربردهای GIS در فرودگاه‌ها به گونه‌ای گسترده‌تر با کمک (Perry, 2009) مدیریت مسیرهای پروازی، برنامه‌ریزی پیکربندی فرودگاه، برنامه‌ریزی براساس ظرفیت، مدیریت سرویس‌رسانان چند نمونه از اموری بوده که GIS می‌تواند مدیران فرودگاه را یاری دهد (ESRI, 2007). در همین راستا پروژه AIRNET برای توسعه پلت‌فرمی کم هزینه به منظور مدیریت امنیت حرکت در سطح فرودگاه توسط متخصصان فن شروع به کار کرده است (Pestana, 2005).

در فرودگاه هر یک از عوامل نام مشخصی دارند که در شکل ۱ جزییات موجود در فرودگاه و مناطقی که در فرودگاه با تعریف مشخصی وجود دارند مانند تاکسی‌وی، اپرون و سرویس‌رد آورده شده است.

* ـ نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. اپرون، تاکسی‌وی و سرویس‌رد در فرودگاه

در فرودگاه‌ها سرویس‌های مختلفی ارایه می‌شود که با افزایش تعداد پروازها و به تبع آن افزایش تعداد سرویس‌رسان‌ها نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای تخصیص سرویس‌رسان‌ها به هواپیماها بیش از پیش احساس می‌شود. افزایش سرویس‌رسان‌ها کاهش ایمنی، کاهش بازدهی عملیات و در نتیجه تقلیل کارایی مدیریتی را به همراه دارد. برای پاسخگویی به پیامدهای ناشی از افزایش تعداد سرویس‌رسان‌ها یکی از راه‌حل‌های موثر، کاهش تعداد سرویس‌رسان‌ها با تخصیص بهینه آنها به هواپیماهاست. یکی از سرویس‌هایی که به هواپیماها ارایه می‌شود، سرویس پوش و تاو است. در این سرویس هواپیما به کمک یدک‌کش از اپرون به تاکسی‌وی منتقل می‌شود.

نبود تحقیق قابل ارزیابی و قابل تامل در زمینه کمینه‌سازی تعداد سرویس‌رسان‌ها و تخصیص بهینه آنها در فرودگاه‌ها و نیاز بیش از پیش فرودگاه‌ها در افزایش کارایی عملیات درون فرودگاهی ما را برآن داشت تا به دنبال راه حلی برای بهبود ترافیک در فرودگاه‌ها باشیم. تحقیقات فرودگاهی بیشتر برای ارایه جدول زمانبندی در هریک از عملیات درون فرودگاهی و کاهش زمان عملیات می‌باشد. در مورد فرودگاه‌ها هم ابزار انجام عملیات یعنی وسایل نقلیه سرویس‌رسان نقش مهمی در افزایش بازدهی خواهند داشت. حال در این تحقیق کمینه‌سازی سرویس‌رسان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است تا بتوان راهی دیگر برای بهبود ترافیک یافت. در ادامه مروری بر تحقیقات مرتبط با بهینه‌سازی در فرودگاه‌های مختلف را در بخش دوم خواهیم داشت. سپس در بخش سوم مساله مدل‌سازی شده و در حالات مختلف راه حل ارایه می‌شود و در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی در یکی از ساعات پرترافیک فرودگاه مهرآباد پیاده‌سازی می‌شود و در پایان به بحث و نتیجه‌گیری از نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود.

۲- پیشینهٔ تحقیق

یکی از راه‌های کنترل ترافیک بکارگیری سیستم یکپارچه GPS/GIS است. این سیستم می‌تواند جهت استفاده بهینه از اپرون، تاکسی‌وی، رانوی، مدیریت و تخصیص سرویس‌رسان‌ها موثر باشد. این سیستم از سیستم موقعیت یاب جهانی برای کنترل موقعیت سرویس‌رسان‌ها و هواپیماها در سطح فرودگاه بصورت آنی و نرم‌افزار GIS برای برنامه‌ریزی‌های مختلف، تشکیل شده است (Postorino,2006). در این تحقیق، تخصیص بهینه با توجه به موقعیت هواپیما و سرویس‌رسان صورت می‌پذیرد که این سیستم یکپارچه ابزاری سودمند برای مرکز کنترل جهت رسیدن به پاسخ بهینه می‌باشد.

تحقیقات دیگری در برنامه‌ریزی بهینه پروازهای خروجی انجام شده است. برای مثال می‌توان توسعه CAASD بعنوان نمونه آزمایشگاهی از ابزار برنامه‌ریزی پروازهای خروجی برای فرودگاه نیویورک نام برد (John, 1989). در MIT هم تحقیقاتی صورت گرفته و مقالاتی برای معماری سراسری برنامه‌ریزی برای پروازهای خروجی و تحلیل مشکلات موجود در پروازهای خروجی در فرودگاه بوستون صورت گرفته است (Idris, 1998),(Anagnostakis, 2000),(Shumsky, 1997).

فرایند پوش و تاو کردن هواپیما فقط برای پروازهای خروجی صورت می‌گیرد و در موارد اضطراری برای پروازهای ورودی انجام می‌شود. در تحقیقی (Cooper, 2009) برای بهینه سازی پروازهای خروجی سیستمی با نام DEPARTS[1] مطرح شده که کاهش زمان تاکسی‌کردن هواپیما در فرودگاه بین‌المللی

www.SID.ir

Archive of SID

آتلانتا را تشریح کرده است. همچنین برنامه‌ای بهینه برای تخصیص رانوی ارایه شده است و در برنامه‌ریزی پروازهای خروجی به ناظران برج مراقبت کمک شده است.

در طرح پیشنهادی این تحقیق نشان داده شده که اگر زمان پوش و تاو شدن هواپیما از قبل قابل پیش‌بینی باشد تخصیص یدک‌کش به هواپیماها به صورتی کاملا دقیق و با بیشترین بازدهی همراه خواهد بود. در جایی تاثیر بهبود پیش‌بینی پذیری زمان آماده پوش بودن هواپیما و در دسترس بودن اطلاعات آنی از سطح فرودگاه (یعنی زمان واقعی پوش‌بک و تخلیه تاکسی‌وی) و مزایای برنامه‌ریزی قبل از خروج هواپیما تحلیل شده است (RTCA, 2005) . اگر زمان آماده بودن هواپیما برای دریافت سرویس پوش و تاو از قبل مشخص باشد، برنامه ریزی برای تخصیص یدک‌کش به بهترین نحو و از ساعت‌ها قبل می‌تواند انجام شود.

هواپیما بعد از دریافت سرویس پوش و تاو وارد تاکسی‌وی می شود و به کمک مارشالر به رانوی هدایت می‌شود. در یک کار علمی(Smeltink, 2004) یک مدل بهینه‌سازی برای فرایند تاکسی‌کردن هواپیما در فرودگاه ارایه شده است. در اینجا از برنامه‌ریزی صحیح مختلط[۲] برای نشان دادن حرکت هواپیما در سطح فرودگاه استفاده شده است. در زمان‌بندی بهینه ارایه شده تاخیراتی که در روند تاکسی‌کردن هواپیما در فرودگاه وجود دارد کمینه شده است.

با افزایش ظرفیت در پروازهای ورودی و خروجی می‌توان ساعات پرترافیک در فرودگاه‌های شلوغ را مدیریت کرد. در حال حاضر بهبود چشمگیری برای توسعه ظرفیت ترافیکی در فرودگاه انجام شده است. توسعه در این بخش باعث شده سرویس دهندگان برای فرودگاه‌ها، مسئولان خطوط هوایی و کنترل کنندگان ترافیک هوایی، بهینه‌سازی و بهبود کارایی در فرایندهای فرودگاه‌ها مانند مدیریت پروازهای ورودی (Bolat, 2001)، مدیریت پروازهای خروجی (European CDM website, 2010) و تخصیص استند (Hesselink, 1998) را دستور کار خود قرار دهند. همچنین تلاشی برای تلفیق این فرایندها و سیستم‌ها که آنرا تصمیم‌گیری همکارانه می‌نامند انجام شده است (Neuman, 1990).

اگر تمام عملیات و سرویس‌ها بموقع و در زمان پیش‌بینی شده انجام شود، پروازها بموقع و در زمان مقرر بدون تاخیر انجام خواهد شد. با توجه به اینکه همواره اتفاقات پیش‌بینی نشده در فرودگاه وجود دارد، باید تدابیری برای مقابله با این اختلالات اندیشیده شود و بتواند در لحظه بهترین تصمیم برای کاهش تاخیرات را بگیرد. همانطور که در این تحقیق برای فرایند پوش و تاو هواپیما الگوریتمی ارایه شده که در صورت پیشامد اتفاقات غیرقابل پیش‌بینی در پروازهای دیگر تاثیرگذار نباشد. در تحقیقی طراحی اصول و الگوریتمی برای ساخت جدول زمانبندی آنی ارایه شده است[Erzberger, 1995]. هدف اساسی از برنامه زمانی، تخصیص رانوی برای نشستن هواپیماهای ورودی و برنامه‌ریزی برای آنها بمنظور کمینه‌سازی تاخیرها است. این برنامه زمانی در CTAS[۳] به کار گرفته شده است و توسط FAA[٤] و مرکز تحقیقات ناسا توسعه داده شده است. ابزار خودکارسازی CTAS شامل راهنمای مدیریت ترافیک، راهنمای کاهش ترافیک و ابزار فاصله گذاری با کمترین فاصله یعنی استفاده بهینه از فضاها است (Erzberger, 1989), (Erzberger, 1993), (Davis, 1991).

تخصیص بهینه یدک‌کش، کاهش هزینه‌های خرید این خودرو گران قیمت و کاهش حجم ترافیک در سطح فرودگاه و بدنبال آن افزایش کارایی مدیریت سطح فرودگاه و افزایش ایمنی و پیامدهای دیگر که همگی در راستای پاسخگویی خدمات بهتر به مشتریان می‌باشد را به همراه خواهد داشت. در تحقیقی تخصیص تکراری منابع محدود سرویس‌رسان به مراکز دریافت سرویس بررسی شده است. هدف ارایه سرویس با کیفیت در محدوده زمانی مشخص است. وقتی که تصمیم برای توزیع گرفته می‌شود، زمان مورد نیاز مراکز دریافت سرویس مشخص نیست (Cooper, 2001). راه‌حل‌های زیادی برای حل این گونه مسائل ارایه شده است. یکی از آنها به کارگیری برنامه‌ریزی پویا تصادفی[۵] است(Bertsekas, 2007). کارهایی برای بهینه‌سازی آنلاین و بهینه‌سازی آنی تصادفی در (Hentenryck, 2009), (Auer, 2002), (Kalai, 2005), (Megow, 2004) انجام شده است.

۳- مدل‌سازی

همانطور که ملاحظه شد، تحقیق جدی راجع به بهینه‌سازی تخصیص سرویس‌رسان‌ها و مدلسازی آنها توسط اطلاعات مکانی نشده بود. بیشتر تحقیقات به دنبال ارایه جدول زمان‌بندی برای وظایف موجود در فرودگاه هستند. تخصیص بهینه سرویس‌رسان‌ها بین هواپیماهای آماده پرواز با هدف کمینه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد سرویس رسان‌ها و بدنبال آن کاهش ترافیک و هزینه و افزایش کارایی و امنیت در ادامه این تحقیقات می‌تواند در بسیاری از موارد راهگشا باشد.

سرویس پوش و تاو یکی از چند سرویسی است که به هواپیما ارایه می‌شود. در طی این سرویس خودرو یدک‌کش هواپیما را از اپرون به تاکسی‌وی می‌رساند. سرویس‌های دیگری وجود دارد که در فرودگاه به هواپیماها ارایه می‌شود. برای مثال سرویس حمل بار و مسافر، سرویس تهویه هوا، سرویس آب، سرویس سوخت‌رسانی و سایر سرویس‌های موجود در فرودگاه را می‌توان نام برد. این سرویس‌ها با توجه به شرایط هواپیما در ورود یا خروج و اعلام نیاز آن با ترتیب خاصی ارایه می‌شود. عملیات خدمات رسانی به هواپیما برای سرویس‌های مختلف در دو حالت انجام می‌شود:

۱) سرویس‌رسان پس از ارایه سرویس به جایگاه پارک دائم تجهیزات سرویس رسان بازگردد. سرویس سوخت‌رسان می‌بایست به همین ترتیب در فرودگاه عمل کند. در این سرویس، سوخت‌رسان تحت تدابیر امنیتی و در یک مسیر مشخص به سمت هواپیمای نیازمند سوخت رفته و پس از ارایه سرویس، به سمت جایگاه اولیه خودش باز خواهد گشت.

۲) سرویس‌رسان پس از ارایه سرویس به نزدیکترین جایگاه پارک موقت رفته و در آنجا توقف می‌کند. برای مثال اتوبوس حمل مسافر می‌تواند مسافران را از ترمینال به هواپیمایی که قصد خروج دارد برساند و سپس از همان‌جا به سمت هواپیمایی که تازه نشسته حرکت کند و مسافران آن هواپیما را به ترمینال برساند. یا همینطور برای خودرو حمل بار می‌تواند انجام شود. در سرویس‌های دیگر مثل سرویس تهویه گردان[۶]، خودرو می‌تواند بدون بازگشت به جایگاه دائم خودش بین تمام هواپیماهایی که نیاز به این سرویس دارند حرکت نموده و خدمات مورد نظر خود را انجام دهد.

با بهینه‌سازی سرویس یدک‌کش برای هر دو حالت می‌توان مدل پیشنهادی را برای سایر سرویس‌ها با تغییرات جزئی تعمیم داد و پیاده‌سازی کرد.

یدک کش تنها برای پروازهای خروجی به کار می‌رود و در پاره‌ای از موارد و در شرایط خاص برای پروازهای ورودی به کار می‌رود. این شرایط خاص عبارتند از زمانی که هواپیمای ورودی دچار نقص فنی شده باشد و پس از فرود در فرودگاه قادر به حرکت نباشد برای همین یدک‌کش می‌بایست این هواپیما را از رانوی تا اپرون حمل کند و به جایگاه مختص این هواپیماها برساند. یا در مواردی دیگر اگر چرخ هواپیما پنچر شده باشد بازهم یدک‌کش به سراغ این هواپیمای تازه به زمین نشسته خواهد رفت و آنرا به جایگاه خودش در اپرون خواهد رساند. در این تحقیق تدبیری برای اینگونه پروازهای ورودی نیز اندیشیده شده است.

بر پایه مصاحبه‌های انجام شده زمان پوش و تاو برای موقعیت‌های مختلف هواپیماها متفاوت می‌باشد. براساس جایگاه هواپیما، ترافیک اطراف آن و فاصله آن از تاکسی‌وی مدت زمانی که یدک‌کش صرف پوش و تاو کردن هواپیما می‌کند متفاوت است. برای فرودگاه امام مدت زمان پوش و تاو شدن هواپیما از جایگاه خود تا تاکسی‌وی که توسط یدک‌کش انجام می‌شود از ۳ تا ۱۰ دقیقه می‌باشد. هواپیماها یک ساعت قبل از شروع سفر سرویس‌های مورد نیاز را دریافت می‌کنند. زمان کل سرویس‌ها قبل از حرکت هواپیما حداکثر ۵۰دقیقه طول می‌کشد.

تمام عملیات فرودگاهی در زمان‌های مشخص و طی ترتیب خاصی انجام می‌شود. وقتی هواپیمایی به زمین می‌نشیند اول چاک‌گذاری چرخ‌ها، سپس برق زمینی به هواپیما متصل می‌شود. بعد از این خدمات، پله هوایی به هواپیما متصل می‌شود و بعد از آن مسافران هواپیما را ترک می‌کنند. پس از آن مسافران توسط اتوبوس حمل مسافر به ترمینال انتقال داده می‌شوند و در ادامه مرحله تخلیه بار و در نهایت سوخت گیری هواپیما را مسئولین هندلینگ فرودگاه انجام خواهند داد. به این ترتیب هریک از مراحل وابسته به مرحله قبلی است و تا مرحله قبلی به طور کامل به اتمام نرسد، مراحل بعدی انجام نخواهد پذیرفت. تمام این مراحل زمانی که صرف خواهند کرد مشخص است و در یک چارچوب زمانی از پیش تعریف شده انجام می‌شوند. نکته مد نظر اینست که در بهینه‌سازی هر مرحله فرض می‌شود تمام مراحل قبلی به موقع انجام شده است. یکی از استانداردها در فرودگاه‌ها وجود یک حداقل فاصله زمانی بین پروازهاست. زیرا پس از برخاست[۷] هواپیماهای بزرگ یک گردبادی در رانوی ایجاد می‌شود که در پرواز هواپیماهای بعدی اختلال ایجاد می‌کند و ممکن است حوادث جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. به خاطر همین در ساعات

www.SID.ir

Archive of SID

پرترافیک فرودگاه حداقل ۲ دقیقه زمان بین پروازها در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱- فرمول بندی مساله

در اینجا فرمول‌بندی و بیان ریاضی شرایط برای حالتی که یدک‌کش به جایگاه خود بازگشته ارایه می‌شود. برای سهولت، نخست نمادگان خود را شرح می‌دهیم:

- تعداد هواپیما m تا که هواپیما را با i نمایش می‌دهیم.

$$\forall i,j,k,l$$

- تعداد یدک کش n تا که یدک‌کش‌ها را با نماد j نشان می‌دهیم.
- تعداد جایگاه هواپیما o تا که جایگاه های هواپیما را با نماد k نشان می‌دهیم.
- تعداد جایگاه یدک کش gتا که جایگاه یدک‌کش‌ها را با l نشان می‌دهیم.
- زمان پرواز هواپیمای i را از جایگاه k را با Td_k^i نشان می‌دهیم.
- زمان آماده بودن هواپیما i در جایگاه k برای پوش یا تو شدن که ۱۵ یا ۱۰ دقیقه قبل از زمان پرواز است را با Tr_k^i نشان می‌دهیم.
- زمانی که یدک‌کشj سرویس را ارایه کرده ودر جایگاه l حضور دارد تا به هواپیمای بعدی سرویس دهد را با Tc_l^j نشان می‌دهیم.
- زمان شروع سرویس برای هواپیما i توسط یدک کش j را با Ts_j^i نشان می‌دهیم.
- مدت زمانی که صرف پوش و تاو شدن هواپیمای i توسط یدک کش j می‌شود را با tp_j^i نشان می‌دهیم.
- زمان اتمام سرویس برای هواپیما i توسط یدک کش j را با Te_j^i نشان می‌دهیم.
- فاصله بین جایگاه یدک کشl و جایگاه هواپیما k را با d_{kl} نشان می‌دهیم.
- زمانی که هواپیما از تاکسی‌وی تا رانوی طی می‌کند را با T_r^t نشان می‌دهیم.
- حداکثر سرعتی که یدک کش می تواند در فرودگاه بین جایگاه خود l و جایگاه هواپیما k طی کند ۳۰ کیلومتر بر ساعت است با v_{kl} نشان می دهیم.

فرمول (۱) اختلاف زمانی بین ساعت پرواز واقعی و ساعت پرواز مدلسازی شده را کمینه می‌کند. ساعت پرواز مدلسازی شده به این ترتیب حاصل می‌شود که، زمان شروع سرویس برای هواپیما بعلاوه زمانی که توسط یدک‌کش صرف فاصله می‌شود به علاوه زمان صرف شده برای پوش و تاو کردن هواپیما زمانی که هواپیما از تاکسی‌وی تا رانوی طی می‌کند، می‌شود و زمان پرواز هواپیما به دست می‌آید. تخصیص به زمان آماده بودن برای دریافت و ارایه سرویس از طرف هواپیما و یدک‌کش بستگی دارد. همچنین در تخصیص بهینه فاصله بین موقعیت هواپیما و یدک‌کش و زمان مورد نیاز هواپیما برای پوش وتو شدن بستگی خواهد داشت.

(۱)

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{o}\sum_{l=1}^{u}\left(\left(Ts_j^i + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} + tp_j^i + T_r^t\right) x_{ij}\right) - Td_k^i$$

اگر هواپیمای i با یدک کش j سرویس دهی شود x_{ij} برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر ۰ است. $x_{ij} \in \{0,1\}$

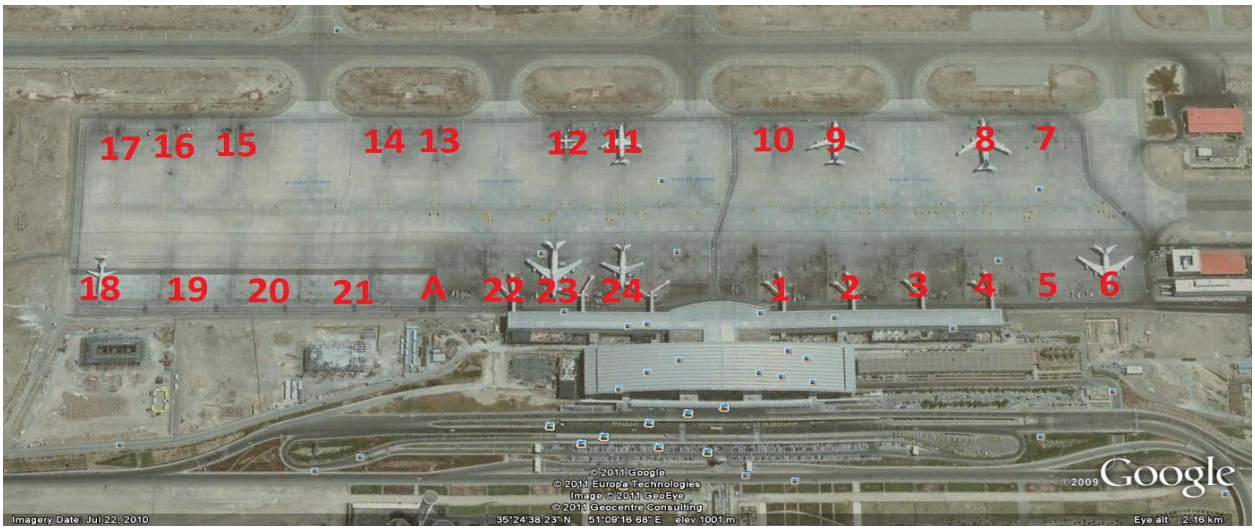
۳-۲- شروط مسئله

جایگاه یدک‌کش در یکی از جایگاه‌های پارک دائم تجهیزات سرویس‌رسان یعنی جایگاه A در تصویر (۲) در نظر گرفته شده است. برای مشخص بودن جایگاه هواپیماها و محاسبه فاصله از جایگاه یدک‌کش این جایگاه‌ها در تصویر (۲) شماره‌گذاری شده‌اند.

- خودرو یدک‌کش پس از ارایه سرویس به جایگاه خود باز می‌گردد.
- فواصل تمام جایگاه‌های هواپیما از محل پارک یدک‌کش معلوم است.
- خودرو یدک‌کش فقط می‌بایست از مسیر سرویس‌رد حرکت کند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. شماره جایگاه هواپیماها و جایگاه A برای یدک‌کش

- حداقل زمانی که باید بین دو پرواز باشد ۲ دقیقه است.

$$Td\ _k^{i+1} - Td\ _k^{i} \geq 2min \qquad (۲)$$

- هواپیماهایی که زمان پوش کمتری نیاز دارند(کمتر از ۵ دقیقه) ۱۰ دقیقه قبل از پرواز آماده پوش یا تو شدن هستند و هواپیماهایی که زمان پوش بیشتر از ۵ دقیقه دارند ۱۵ دقیقه قبل از پرواز اماده پوش و تاو شدن هستند.

$$Tr_k^i = \begin{cases} Td_k^i - 15 & if\ \ tp_k^i \geq 5 \\ Td_k^i - 10 & if\ \ tp_k^i < 5 \end{cases} \qquad (۳)$$

- در این تحقیق برای تمامی هواپیماها فرض می‌شود که فاصله تاکسی‌وی تا رانوی را در ۳ دقیقه طی می‌شود . در واقع T_r^t برابر ۳ دقیقه است.
- زمان اتمام سرویس برای هواپیما برابر است

$$Te_j^i = Ts_j^i + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} + tp_j^i \qquad (٤)$$

- در حالتی که یدک کش به جایگاه دائم خود باز می‌گردد، زمانی که یدک‌کش پس از سرویس به هواپیما دوباره آماده سرویس است برابر است

$$Ts_j^i + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} + tp_j^i + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} \qquad \forall\, j \qquad (۵)$$

- ساعت پرواز هواپیما برابر است با زمان شروع سرویس برای هواپیما بعلاوه فاصله طی شده توسط یدک‌کش بعلاوه زمان صرف شده برای پوش و تاو کردن هواپیما با احتساب ۳ دقیقه که در فرمول (٦) مشاهده می‌کنید.

$$Ts_j^i + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} + tp_j^i + \mathbf{3} \qquad (٦)$$

۳-۳- حالتی که یدک‌کش به جایگاه دائم باز نمی‌گردد.

در این حالت شرایطی دیگر به وجود می‌آید. یدک‌کش پس از ارایه سرویس به هواپیما به جایگاه پارک دائم برنمی‌گردد و در نزدیکترین جایگاه پارک موقت منتظر دستور مرکز کنترل برای سرویس به هواپیمای بعدی می‌ماند. در حالت قبل یعنی زمانی که یدک‌کش پس از ارایه سرویس به جایگاهش باز می‌گشت، زمان آماده بودن یدک‌کش پس از ارایه سرویس وقتی بود که یدک‌کش به جایگاه دائم برمی‌گشت و محاسبه آن هم به همین صورت انجام می‌شود. در این حالت زمان آماده بودن یدک‌کش برای ارایه سرویس، مجموع زمان پوش و تاو و زمان طی شده بین جایگاه یدک‌کش و جایگاه هواپیما است. یعنی زمانی که صرف برگشت یدک‌کش از کنار هواپیما به جایگاه دائم پارک تجهیزات دیگر وجود ندارد. به این ترتیب شاید بتوان با تعداد یدک‌کش کمتر به هواپیماها و بدون تاخیر نسبت به حالت قبل سرویس داد.

۳-٤- شروط مسئله

بیشتر شروطی که در حل این حالت می‌بایست در نظر داشت مانند حالت قبل است. چند تفاوت وجود دارد که در اینجا ذکر می‌شود:

- جایگاه اولیه یدک‌کش در یکی از جایگاه‌های پارک دائم تجهیزات سرویس رسان در نظر گرفته شده است.
- خودرو یدک‌کش پس از ارایه سرویس به جایگاه خود باز نمی‌گردد و در نزدیکترین جایگاه پارک موقت، توقف می‌کند و منتظر سرویس برای هواپیمای بعدی می‌ماند.

www.SID.ir

Archive of SID

- در حالتی که یدک کش به جای خود باز نمی‌گردد، زمانی که یدک‌کش پس از سرویس به هواپیما دوباره آماده سرویس است برابر است با فرمول (۱٤).

$$Tc_l^j + \frac{d_{kl}}{v_{kl}} + tp_j^i \qquad \forall j \qquad (۱٤)$$

یعنی ساعت شروع سرویس برای هواپیما بعلاوه زمان طی شده از جایگاه تا هواپیما بعلاوه زمان صرف شده برای سرویس پوش و تاو.

٤- پیاده سازی

برای پیاده سازی یکی از پرترافیک ترین ساعات پروازهای خروجی فرودگاه مهرآباد در نظر گرفته شده است. مسلما حل مساله برای ساعات کم‌ترافیک‌تر نیز امکان‌پذیر خواهدبود. پروازهای ساعت ۱۵-۱٤:۳۰ فرودگاه مهرآباد در جدول (۱) آورده شده و ساعات پرواز و مقصدهای آنان مشخص است.

فرض می‌شود این داده‌ها برای پروازهای ساعت ۱٤:۳۰ الی ۱۵ فرودگاه مهرآباد ثبت شده است. زمانی که برای پوش و تاو شدن این هواپیماها صرف شده و زمان آماده بودن هواپیماها برای دریافت خدمات یدک‌کش در جدول (۲) آورده شده است. الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله به کار گرفته می‌شود. با یک یدک‌کش تاخیر فراوانی در پروازها مشاهده می‌شود و به تعداد یدک‌کش‌ها یکی اضافه می‌شود. با دو یدک‌کش در ۵ پرواز تاخیر وجود دارد که مجموع تاخیر برابر است با ۱٤ دقیقه ۳۰ ثانیه ودر نتیجه به تعداد یدک‌کش‌ها یکی دیگر اضافه می‌شود.

نتایج برای ۳ یدک‌کش در جدول (۲) آورده شده است. در جدول (۲) یدک‌کش پس از ارایه خدمات به هواپیما در سطر همان هواپیما پس از بازگشت به جایگاه دائم، آمادگی خود را برای ارایه سرویس دوباره اعلام می‌کند. برای مثال پرواز اول، چهارم، ششم و نهم توسط یدک‌کش شماره ۱ سرویس‌رسانی شده است.

اگر زمان حضور در تاکسی‌وی با ۳دقیقه زمانی که هواپیما از تاکسی‌وی تا رانوی طی می‌کند، جمع شود، زمان پرواز مدلسازی شده بدست می‌آید. نتایج با ۳ یدک‌کش نشان دهنده وضعیت خوبی می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌کنید تمام پروازها سر موعد انجام خواهد شد بجز پرواز آخر که یک دقیقه تاخیر دارد. حال سوالی پیش می‌آید و آن اینکه آیا از نظر هزینه اضافه کردن یک یدک‌کش دیگر مقرون به صرفه است؟ مسئله دیگر اینست که ۳ یدک‌کش دیگر در این ٤۵ دقیقه هرکدام به ترتیب ۱۰، ۱۸، ۲۲ دقیقه بدون انجام کاری در جایگاه پارک دائم تجهیزات آماده ارایه خدمات هستند. با توجه به گران‌قیمت بودن و هزینه بر بودن این خودروها و اینکه ۳ یدک‌کش هم در بسیاری از اوقات بیکار مانده‌اند مقرون به صرفه نیست که یک یدک‌کش دیگر اضافه شود.

موضوع دیگری که در اینجا مطرح می‌شود اینست که تدبیری برای هواپیماهای ورودی که در مواقع اضطراری نیاز به یدک‌کش پیدا می‌کنند اندیشیده شده است. همانظور که مشاهده می‌کنید این سه یدک‌کش هر کدام در مواقعی از این ۳۰ دقیقه بدون سرویس و آماده برای سرویس رسانی هستند. پس اگر هواپیمایی از پروازهای ورودی پنچر شود و یا دچار نقص فنی شود و به یدک‌کش نیاز پیدا کند توسط آن نیازش پاسخ گفته خواهد شد.

جدول ۱. نتایج حاصل از تخصیص ۳ یدک‌کش درحالتی که یدک‌کش به جایگاه دائم بازگردد.

ساعت پرواز	جایگاه هواپیما	فاصله از یدک کش	زمان صرف شده برای پوش و تو	زمانی که صرف فاصله شده	زمان آماده دریافت سرویس بودن	زمان حضور هواپیما در تاکسی وی	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۱	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۲	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۳
۱۴:۳۰	۱۸	۴۵۰	۷	۵۴	۱۴:۱۵	۱۴:۲۳	۱۴:۲۴		
۱۴:۳۰	۱۳	۱۰۰۰	۵	۱۲۰	۱۴:۲۰	۱۴:۲۷		۱۴:۲۹	
۱۴:۳۵	۴	۶۵۰	۱۰	۷۸	۱۴:۲۰	۱۴:۳۱:۳۰			۱۴:۳۳
۱۴:۳۵	۷	۳۵۰	۴	۴۲	۱۴:۲۵	۱۴:۳۰	۱۴:۳۱		
۱۴:۴۵	۱	۳۵۰	۶	۴۲	۱۴:۳۰	۱۴:۳۷		۱۴:۳۸	
۱۴:۵۵	۱۹	۱۰۰۰	۸	۱۲۰	۱۴:۴۰	۱۴:۵۰	۱۴:۵۲		
۱۴:۵۵	۱۴	۱۲۰۰	۵	۱۴۴	۱۴:۴۵	۱۴:۵۲:۳۰		۱۴:۵۵	
۱۵:۰۰	۲۱	۱۵۰	۹	۱۸	۱۴:۴۵	۱۴:۵۴:۳۰			۱۴:۵۵
۱۵:۰۰	۱۷	۹۰۰	۴	۱۰۸	۱۴:۵۰	۱۴:۵۸	۱۵:۰۰		

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. نتایج تخصیص ۳ یدک‌کش در حالتی که یدک‌کش به جایگاه دائم بازنگردد.

ساعت پرواز	جایگاه هواپیما	فاصله از یدک کش	زمان صرف شده برای پوش و تو به دقیقه	زمانی که صرف فاصله شده به ثانیه	زمان آماده دریافت سرویس بودن	زمان حضور هواپیما در تاکسی وی	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۱	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۲	زمان آماده سرویس رسانی یدک کش ۳
۱۴:۳۰	۱۸	۵۵۰	۷	۶۶	۱۴:۱۵	۱۴:۲۳:۳۰	۱۴:۲۳:۳۰		
۱۴:۳۰	۱۳	۹۰۰	۵	۱۰۸	۱۴:۲۰	۱۴:۲۷:۰۰		۱۴:۲۷:۰۰	
۱۴:۳۵	۴	۵۵۰	۱۰	۶۶	۱۴:۲۰	۱۴:۳۱:۳۰			۱۴:۳۱:۳۰
۱۴:۳۵	۷	۱۴۵۰	۴	۱۷۴	۱۴:۲۵	۱۴:۳۲:۰۰	۱۴:۳۲:۰۰		
۱۴:۴۵	۱	۸۵۰	۶	۱۰۲	۱۴:۳۰	۱۴:۳۸:۰۰		۱۴:۳۸:۰۰	
۱۴:۵۵	۹	۸۵۰	۸	۱۰۲	۱۴:۴۰	۱۴:۵۰:۰۰			۱۴:۵۰:۰۰
۱۴:۵۵	۱۴	۱۱۰۰	۴	۱۳۲	۱۴:۴۵	۱۴:۵۱:۳۰	۱۴:۵۱:۳۰		
۱۵:۰۰	۲۱	۵۰۰	۹	۶۰	۱۴:۴۵	۱۴:۵۵:۰۰		۱۴:۵۵:۰۰	
۱۵:۰۰	۱۷	۱۲۰۰	۴	۱۴۴	۱۴:۵۰	۱۴:۵۶:۳۰			۱۴:۵۶:۳۰

در صورتی که یدک‌کش به جایگاه دائم بازنگردد، در یکی از جایگاه‌های پارک موقت منتظر سرویس‌رسانی به هواپیمای بعدی می‌شود. این حالت برای خیلی از سرویس‌رسان‌ها وجود دارد و آنها موظف به بازگشت به جایگاه دائم نیستند. این مراحل برای پروازهای ساعت ۱٤:۳۰ الی ۱۵ فرودگاه مهرآباد پیاده شده و نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می‌شود. در این حالت، برای یک یدک‌کش و دو یدک‌کش پروازها با تاخیر مواجه هستند، ولی زمانی که با ۳ یدک‌کش سرویس‌رسانی صورت بگیرد تاخیری در پروازها وجود نخواهد داشت.

در هیچ پروازی تاخیر وجود ندارد و مجموع تأخیرها صفر است. در این حالت هم یدک‌کش‌ها اوقات بیکار در ساعات سرویس‌رسانی دارند، اما مزیت آن مقابله با پیشامدهای اضطراری و فوریتی مثل زمانی که چرخ هواپیمای ورودی پنچر شده یا دچار نقص فنی شده و قادر به حرکت نیست، است. به کمک یدک‌کشی که دارای زمان بدون سرویس است می‌توان به این طور موارد پاسخ گفت و از اختلالات بیشتر در فرودگاه جلوگیری نمود. نسبت به حالت قبل که یدک‌کش به جایگاه دائم بازمی‌گشت، پاسخگویی به سرویس‌ها بهتر انجام شده است. هیچ تاخیری در هیچ پروازی وجود ندارد و یدک‌کش‌ها زمان بیشتری برای پاسخگویی به موارد اضطراری دارند. پس اگر تمام سرویس رسان‌ها به جز خودرو سوخت‌رسان به این شکل خدمات را ارایه دهند صرفه‌جویی بیشتری در وقت و هزینه خواهد شد و از ترددهای بی‌مورد در محوطه فرودگاه کاسته شده و درنتیجه افزایش کارایی و بهبود فرایندهای مدیریتی را به همراه خواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش روزافزون ترافیک فرودگاهی، مدیران فرودگاهی در پی یافتن راه حلی برای افزایش کارایی مدیریتی خود هستند. بهینه‌سازی که می‌توان انجام داد کمینه‌سازی تعداد سرویس رسان‌ها بدون از دست دادن شروط و محدودیت‌های زمانی است. کمینه‌سازی و تخصیص بهینه وسایل نقلیه خدماتی به هواپیماها راه‌حلی بود که در اینجا ارایه شد. با توجه به اینکه خودرو یدک‌کش که وظیفه حمل هواپیما از اپرون تا تاکسی‌وی را به عهده دارد به علت قیمت بالایی که دارد دچار کمبود در فرودگاه مهرآباد شده است، بهینه سازی تخصیص می‌تواند این مشکل را نیز حل کند. عملیات سرویس‌رسانی به دو شکل انجام می‌شود و بهینه‌سازی برای هردو شکل اجرا شد. به این ترتیب می‌توان طرح پیشنهادی را برای تمام سرویس رسان هابا توجه به شرایط زمانی و مکانی خاص خودشان و با اندکی تغییر تعمیم داد و برای آنها حل کرد که به تحقیقات آینده واگذار می‌شود. نتیجه این بهینه‌سازی برای یکی از پرترافیک‌ترین ساعات فرودگاه مهرآباد این بود که با ۳ یدک‌کش به ۹ پرواز بدون تاخیر سرویس‌رسانی شد وحتی تدبیری برای پروازهای ورودی که نیاز به یدک‌کش پیدا می‌کنند اندیشیده شده است. برای همین ساعت پرواز در فرودگاه مهرآباد ٦ خودرو یدک‌کش استفاده می‌شود که بدلیل تخصیص غیربهینه پروازها با تاخیر مواجه هستند. پس با این وجود با کاهش حدوداً ۵۰٪ تعداد خودرو یدک‌کش بدون تاخیر در پروازها و عملی کردن آن برای سایر خودروهای سرویس‌سان، کاهش ۵۰٪ ترافیک با همان تعداد پرواز و در پی آن کاهش احتمال تصادفات، افزایش ایمنی و از همه مهمتر کاهش هزینه‌ها را به همراه خواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

مسئله دیگر اینکه اگر بتوان با توجه به ترافیک اطراف هواپیما و جایگاه آن نسبت به تاکسی‌وی زمان مورد نیاز هواپیما برای پوش و تاو شدن را پیش‌بینی کرد تخصیص آنی و در لحظه را می‌توان برای هواپیماها انجام داد. مهندسان فرودگاهی با کمک ابزارهای تحلیلی مانند GIS می‌توانند به این امر دست پیدا کنند.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Departure Enhanced Planning and Runway or Taxiway System
2. Complex Integer Programming
3. Center TRACON Automation System
4. Federal Aviation Administration
5. Stochastic Dynamic Programming
6. Air Condition
7. Take Off

مراجع

- Bolat (2001), Models and a genetic algorithm for a static aircraft-gate assignment problem, Journal of the Operations Research Society 52 pp. 1107-1120.
- Anagnostakis, Ioannis, H. R. Idris, J. P. Clarke, E. Feron, R. J. Hansman, A. R. Odoni and W. D. Hall. (2000), A Conceptual Design of a Departure Planner Decision Aid, presented at the 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Naples, Italy.
- Auer, P., Cesa-Bianchi, N., & Gentile, C. (2002), Adaptive and self-confident on-line learning algorithms. Journal of Computer and System Sciences, 64(1), pp. 48–75.
- Barrer, John N, G. F. Swetnam, W. E. Weiss, March (1989), The Feasibility Study of Using Computer Optimization for Airport Surface Traffic Management, MTR89W00010, The MITRE Corporation, McLean, VA.
- Bertsekas, D.P., (2007), Dynamic programming and optimal control (3d edition). Nashua: Athena Scientific.
- Christopher Dance, Alexei A. Gaivoronski. (2011), Stochastic optimization for real time service capacity allocation under random service demand, Ann Oper Res, published in Springerlink.
- Cooper, Wayne W., Mohleji, S. C., Burke, C.D., Foster, J. G., Mills, M. J.(2001), DEPARTS: A Tool for Improving Airline Departure Scheduling and Reducing Flight Delays at Busy Airports, in Handbook of Airline Strategy, Public Policy, Regulatory Issues, Challenges, and Solutions, Gail F. Butler and Martin R. Keller, Exec. Ed., First Edition, New York: McGraw-Hill Aviation Week, pp. 577-600.
- David Perry (2009), Airports GIS and electronic ALP, Presented to RTCA SC-217/Eurocae WG-44 Committee.
- Davis, T.J., Erzberger, H., Green, S.M., and Nedell, W., July- August (1991), Design and Evaluation of an Air Traffic Control Final Approach Spacing Tool, Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 14, No. 4, pp. 848-854.
- Erzberger, Heinz, Nedell, William, June 1989, Design of Automated System for Management of Arrival Traffic, NASA TM 102201.
- Engle, Laurie, Oct. 1989, Conflict Detection Tool, Addendum to TM 102201, NASA Ames Research Center.
- Erzberger, H., Davis, T.J. and Green, S.M., 1993, Design of Center-TRACON Automation System, Proceedings of the AGARD Guidance and Control Panel 56th Symposium on Machine Intelligence in Air Traffic Management, Berlin, Germany, pp. 52-1 - 52-14.
- ESRI, 2010, GIS Solutions for Airports and Aviation, No. GS-35F-5086H.
- European CDM website, 2011, Collaborative Decision Making for the ATM Industry, http://www.euro-cdm.org/.
- F. Neuman and H. Erzberger, 1990, Analysis of sequencing and scheduling methods for arrival traffic, NASA Technical Memorandum 102795, Ames Research Center, Moffet Field.
- Gabriel Pestana, Miguel Mira da Silva, Augusto Casaca, João Nunes, 2005, An Airport Decision Support System for Mobiles Surveillance & Alerting, MobiDE'05, Baltimore, Maryland.
- Gil Neumann, Mark Ricketson, Kevin Carlson Assoc, 2011, FAA's Airport GIS Program, ,operational & Affairs conference.
- Heinz Erzberger., November 1995, Design Principles and Algorithms for Automated Air Traffic Management, NASA AMES Research Centre, California, USA, 16-17 and published in LS-200.
- H.H. Hesselink and N. Basjes, Mantea Departure Sequencer, 1998, Increasing Airport Capacity by Planning Optimal Sequences, 2nd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar.
- Idris, Husni R., B. Delcaire, I. Anagnostakis, W. D. Hall, N. Pujet. E. Feron, R. J. Hansman,

www.SID.ir

Archive of SID

- RTCA Select Committee for Free Flight Implementation, Documentation of 2003-2005 Capabilities Working Group Deliberations and Recommendations, 2000, National Airspace System Concept of Operations Addendum 4: Flight Phase 2 Appendix B, RTCA Inc., December 13.
- Shumsky, Robert A., 1997., Real Time Forecasts of Aircraft Departure Queues, Air Traffic Control Quarterly, Vol. 5(4).
- Van Hentenryck, P., Bent, R., Mercier, L., & Vergados, Y. (2009). Online stochastic reservation systems. Annals of Operation Research, 171(1), pp.101–126.
- Wayne W. Cooper, Jr., Dr. Ellen A. Cherniavsky, James S. DeArmon, J. Glenn Foster,Dr. Michael J. Mills, Dr. Satish C. Mohleji and Frank Z. Zhu, 2009, Determination of Minimum Push-Back Time Predictability Needed for Near-Term Departure Scheduling using DEPARTS, The MITRE Corporation Center for Advanced Aviation System Development .

J. P. Clarke, A. R. Odoni, 1998, Identification of Flow Constraints and Control Points in Departure Operations at Airport System, AIAA 98-4291, Proceedings AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Boston, MA.

- J.W. Smeltink, M.J. Soomer, P.R. de Waal, R.D. van der Mei, 11 June 2004, An Optimization Model for Airport Taxi Scheduling., Preprint submitted to Elsevier Science.
- Kalai, A., & Vempala, S. (2005). Efficient algorithms for on-line optimization. Journal of Computer and System Sciences, 71(3), pp.266–290.
- Maria Nadia Postorino, Vincenzo Barrile, Francesco Cotroneo, 2006, Surface movement ground control by means of a GPS–GIS system, Journal of Air Transport Management ,12, pp.375–381.
- Megow, N., & Schulz, A. S. (2004). On-line scheduling to minimize average completion time revisited. Operations Research Letters, 32, pp.485–490.

www.SID.ir