فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ١٤، شماره ٣، بهار ١٤٠٢، ص. ٢٧١١-٢٦٩٥

مقاله علمی-پژوهشی

تخصیص گیت مبتنی بر سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و منطق فازی

مریم فرشچیان یزدی، گروه کامپیوتر، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

سید رضا کامل (مسئول مکاتبات)، گروه کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

سید جواد سید مهدوی چابک، گروه کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

مریم خیرآبادی، گروه کامپیوتر، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

E-mail: Drkamel@mshdiau.ac.ir

دریافت: ١٤٠٠/٦/٣١ پذیرش: ١٤٠٠/٠٩/٢١

چکیده

تاخیر در سفرهای هوایی امر اجتناب ناپذیری است و نقش بسیار مهمی در سود و زیان شرکت‌های هواپیمایی دارد. با پیش‌بینی و یا تخمین تاخیر می‌توان تا حدی منافع آژانس‌ها و رضایت مشتریان را افزایش داد. تاخیرات پرواز باعث تغییر در زمانبندی و چیدمان پروازها و همچنین افزایش هزینه‌های سازمان می‌گردد. در این زمینه کارهای زیادی از جمله زمانبندی و تخصیص مجدد گیت انجام شده است که اکثر آنها بدون در نظر گرفتن تاخیرات پروازی و فقط با توجه به محدودیت‌ها و استفاده از منابع موجود سعی در تخصیص گیت داشتند. از آنجاییکه متغیرهای موثر در تخصیص گیت دارای عدم قطعیت هستند و هیچ الگوریتم شناخته شده‌ای برای یافتن راه حل بهینه در مدت زمان محدود برای آن وجود ندارد، این مسئله از نوع مسائل NP-hard محسوب شده و تابع شرایط و سیاست‌های مختلف فرودگاه‌ها و آژانس‌ها نیز می‌باشد. در این مقاله در صورت بروز تاخیر سیستم ترکیبی مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری و منطق فازی طراحی شده است که لیست تخصیص گیت را با توجه به عدم قطعیت‌ها و با استفاده از داده‌های مربوط به پیش‌بینی تاخیر به روز رسانی می‌کند مدل پیشنهادی با استفاده از داده‌های شهر بوستون در محیط متلب، پیاده‌سازی و تست گردید. نتایج ارزیابی مدل نشان دادند که مدل پیشنهادی لیست تخصیص گیت را بهبود بخشده طوری که برخی از گیت‌ها خالی می‌مانند و این بدان معناست که می‌توان بدون تغییر در زیر ساخت فیزیکی فرودگاه، تعداد پروازها را بیشتر و سود سازمان را افزایش داد

واژه‌های کلیدی: الگوریتم گرگ خاکستری، تخصیص گیت، سیستم فازی

۱. مقدمه

امروزه تاخیر پروازها امری اجتناب ناپذیر است و در صورت بروز تاخیر باید به دنبال راهکاری باشیم تا تاثیر تاخیر را در شبکه هوایی به حداقل برسانیم. برخی مشکلات ناشی از تاخیر عبارتند از؛ افزایش هزینه‌های سازمان، رسیدن دو پرواز بصورت همزمان به گیتی که از قبل به آنها تخصیص داده شده واز دست دادن پرواز بعدی برای مسافرانی که پرواز متوالی دارند بنابراین باید بعد از بروز تاخیر، لیست تخصیص گیت با توجه به مسافران، تعداد گیت‌ها و قوانین هوایی به روز رسانی گردد [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017] یک روش کارآمد برای تغییر گیت حین بروز تاخیر از اهمیت زیادی برای صنعت هواپیمایی برخوردار است. همچنین در تخصیص گیت بسته به استراتژی شرکت، سه گروه اپراتور هواپیمایی، شرکت‌های هواپیمایی و مسافران تحت تاثیر قرار می‌گیرند [Daş, Gzara, & Stützle, 2020] که این اختلاف در دیدگاه ذینفعان منجر به طیف گسترده‌ای از اهداف می‌شود. اهداف متفاوت و عمدتاً متناقض و همچنین تغییرات مکرر در برنامه پروازها در هر روز، عمل تخصیص گیت را پیچیده‌تر می‌کند. برخلاف سایر برنامه‌ریزی های هواپیمایی، تخصیص گیت به دلیل داشتن چندین ذینفع و همچنین اهداف متعدد و متناقض برای همان ذینفعان، ماهیت چند هدفی دارد [Daş et al., 2020.] از طرف دیگر عوامل متغیر بسیاری از جمله تعداد مسافر، شرایط آب و هوا، وزن هواپیما، برد هواپیما و اولویت‌های پروازی بر مسئله تخصیص گیت تاثیرگذار هستند و هیچ الگوریتم شناخته شده‌ای برای یافتن راه حل بهینه در مدت زمان محدود برای آن وجود ندارد و با اعمال افزایش محدودیت‌ها فقط ممکن است مسئله راحت‌تر و در زمان کمتری حل شود بنابراین مسئله تخصیص گیت از نوع مسائل NP-hard نیز محسوب شده [Tindell, Burns, & Wellings, 1992] و تابع شرایط و سیاست‌های مختلف فرودگاه‌ها و آژانس‌ها نیز می‌باشد. مسائلی از قبیل تعداد پروازها، تاخیر پروازها، دسترسی یا عدم دسترسی به گیت، زمان صرف شده در گیت و مواردی از این دست، همه پتانسیل تشدید مشکل را دارند. بنابراین روش‌های کارآمد و مؤثر برای حل مسئله تخصیص گیت پس از ایجاد اختلال، در حفظ کیفیت بالای خدمات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. هدف این تحقیق، تمرکز بر روی عملیات تخصیص مجدد گیت در صورت پیش‌بینی تاخیر پرواز [Yazdi, Kamel, Chabok, & Kheirabadi, 2020] در شبکه هوایی آمریکا می‌باشد که جهت به روز رسانی لیست تخصیص گیت بعد از بروز تاخیر سراغ روش‌های فازی رفتیم.

در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان روش‌های تخصیص گیت مانند سیستم خبره، برنامه نویسی ریاضی و هوش مصنوعی را ارائه کردند [Awad & Khanna, 2015; Dorndorf, Jaehn, & Pesch, 2008; Liu et al., 2016; Narciso & Piera, 2015; Şeker & Noyan, 2012; Xia, Wang, Sun, Liu, & Xiong, 2016; Yuan, Xia, & Sun, 2017; Y. Zhang, Sun, & Wang, 2016.] سیستم خبره با استفاده از وضع قانون، پایگاه دانش را ایجاد می‌کند. با توجه به محدودیت دامنه جستجو، در این روش فاکتورهای اصلی نادیده گرفته می‌شوند و مسئله تخصیص گیت به شکل نامطلوبی حل می‌گردد [Tian & Chen, 2017]. در روش برنامه نویسی ریاضی با توجه به بهینه‌سازی هدف و با استفاده از برنامه ریزی صحیح ۰-۱ به کشف ساختار امکان پذیر پرداخته می‌شود اما مشکل اصلی این روش انتخاب یک تابع هدف مناسب است [Li, 2009; Ornek, Ozturk, & Sugut, 2020]. همچنین از روش‌های هوش مصنوعی نیز برای حل مشکل تخصیص گیت [Awad & Khanna, 2015; Liu et al., 2016] استفاده می‌شود ولی هنگامی که تعداد مسافران پروازها به هزاران نفر برسد، پیچیدگی حل مسئله نیز افزایش یافته و این روش به سختی می‌تواند عمل تخصیص گیت مناسب را به درستی انجام دهد.

نویسندگان در [Chen, Ravizza, Atkin, & Stewart, 2011] از سیستم منطق فازی نوع ممدانی جهت پیش‌بینی زمان

پارک هواپیما استفاده کردند که این مدل متوسط دقت پیش بینی را تقریباً ۱۰٪ نسبت به رویکردهای رگرسیون خطی افزایش داد. در این مدل، اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی به درستی محاسبه نشده زیرا توابع عضویت با مقادیر واقعی نشان داده شده‌اند.

یکی از جدیدترین روش‌هایی که امروزه برای حل مسائلی با عدم قطعیت مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته، سیستم‌های فازی می‌باشند [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017]. یکی از کاربردهای سیستم‌های فازی در حوزه هوش مصنوعی است و به عنوان راه حلی جهت نمایش دانش استفاده می‌شوند. همچنین این سیستم‌ها در پردازش تصویر، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی، شناسایی و تشخیص خطا، بهینه‌سازی مدل‌ها و ترکیب آن‌ها با دانش بشری کاربرد فراوانی دارند [Azar, 2010] لذا از سیستم‌های فازی جهت حل مسئله عدم قطعیت متغیرها در این مدل استفاده شده است.

یکی از جدیدترین کارهایی که تا به امروز برای حل این مسئله ارائه شده، مدلی است مبتنی بر طراحی شی‌گرا که در طراحی سیستم کنترل هوشمند ترافیک هوایی و کاهش نرخ تصادف پیشنهاد شده است [Idika & Baridam, 2018]. با تعریف یازده قانون و یک بلوک فازی‌سازی و اعمال آنها بر روی داده‌های هوایی نیجریه در محیط متلب نتایج شبیه‌سازی شده است که این نتایج نشان دادند این مدل [Idika & Baridam, 2018] با پیش‌بینی قوانین ایمنی و کنترل مطلق آن‌ها توسط هواپیماها، صرف نظر از تعداد هواپیماهای متقاضی سرویس در یک بازه زمانی خاص، از حوادث هوایی کاملاً جلوگیری می‌کند. مدل [Idika & Baridam, 2018] فقط اجازه فرود و یا صعود به یک هواپیما را بر اساس قوانین کنترلی صادر می‌کند و نمی‌تواند گیت‌های خالی را پیدا کند بنابراین اگر پروازی دچار تاخیر شود و قادر به به روز رسانی لیست تخصیص گیت نمی‌باشد. همچنین از قوانین فازی جهت کاهش نرخ تصادفات استفاده شده و رضایت مسافران و هزینه‌های سازمان در نظر گرفته نشده است. چنانچه بتوان با استفاده از تکنیک‌هایی لیست تخصیص گیت را با توجه به رضایت مسافران نیز به روزرسانی کرد، می‌توان علاوه بر افزایش رضایت مسافران، هزینه‌های سازمان را نیز کاهش و سود شرکت‌های هواپیمایی را افزایش داد. در این تحقیق هدف آن است که با استفاده از قوانین فازی و الگوریتم گرگ خاکستری لیست تخصیص گیت پس از بروز تاخیر به روز رسانی شود. همچنین با محاسبه فاصله بین گیت‌ها، مسافت پیاده‌روی مسافران بین گیت‌ها نیز کاهش یابد تا در صورت بروز تاخیر بتوان به مسافران عبوری جهت رسیدن به پرواز بعدی کمک کرد. چنانچه بتوان سیستمی ارائه کرد که لیست تخصیص گیت را با توجه به عدم قطعیت متغیرها و سه هدف کاهش مسافت پیاده‌روی، کاهش هزینه‌های سازمان و عدم برخورد دو هواپیما به روز رسانی کند، نسبت به تحقیق [Idika & Baridam, 2018] کمک بیشتری به کنترل ترافیک هوایی انجام شده و هم رضایتمندی مسافران در نظر گرفته شده است. پیش‌بینی می‌شود راهکار ارائه شده برای فرودگاه‌های آمریکا نسبت به سایر فرودگاه‌ها مناسب‌تر و بهینه‌تر باشد زیرا جهت پیش‌بینی تاخیر نیز از همین دیتاست استفاده شده است [Yazdi et al., 2020]. در نهایت سعی می‌شود که مدل پیشنهادی تا حد زیادی به واقعیت موجود نزدیک و با به روز رسانی لیست تخصیص گیت باعث کاهش هزینه‌های فرودگاه و استفاده بهینه از امکانات و تسهیلات فرودگاهی شود.

۲. پیشینه تحقیق

از آنجاییکه سفرهای هوایی نقش بسیار مهمی در اقتصاد آژانس‌ها و فرودگاه‌ها دارند، باید سعی شود که کیفیت خدمات آنها نیز افزایش یابد. یکی از چالش‌های مهم امروزی فرودگاه‌ها و آژانس‌ها، تاخیرات پروازی می‌باشد. تاخیر در پروازها علاوه بر نگرانی و تشویش مسافرین باعث افزایش هزینه‌های آژانس‌ها و فرودگاه‌ها می‌شود بطوریکه در سال ۲۰۰۷ یکی از فرودگاه‌های هند حدود ۳۳ بلیون دلار [Kim, 2017] بصورت مستقیم و غیر مستقیم هزینه‌هایی بابت تاخیر در پروازها به مسافرین پرداخت کرد. دولت آمریکا نیز در سال ۲۰۰۷، بابت تاخیر در

پروازها ۳۱ تا ٤٠ بلیون دلار متحمل هزینه شد [Rebollo & Balakrishnan, 2014]. جهت کاهش این هزینه‌ها باید تاخیر پروازها حداقل شود.

همچنین براساس گزارش کمیسیون اروپا در مورد بازار حمل و نقل هوایی، تعداد پروازهای انجام شده در سراسر جهان از ۲۷٫۸ میلیون در سال ۲۰۱۰ به ۳٦٫۸ میلیون در سال ۲۰۱٦ افزایش چشمگیری داشته است. در حالیکه تعداد مسافران هوایی در سرتاسر جهان با ٦٫۳ درصد افزایش به رکورد ۳٫۷ میلیارد در سال ۲۰۱٦ و درآمد کل این صنعت به ۷۰۹ میلیارد دلار رسیده است [Idika & Baridam, 2018]. با توجه به درخواست‌های فراوان در بخش حمل و نقل هوایی، بسیاری از فرودگاه‌های بزرگ امروز باید صدها یا حتی هزاران پرواز در روز داشته باشند که این امر مستلزم مدیریت قوی مخصوصا در بخش چیدمان پرواز و کنترل ترافیک هوایی می‌باشد. از این رو مطالعات زیادی در زمینه زمانبندی پرواز و تخصیص گیت انجام شده است و اکثر محققین سعی کردند با شناسایی عوامل موثر در حل مسئله تخصیص گیت، به بخش ترافیک هوایی کمک کنند.

هدف از پیش‌بینی تاخیر پرواز کمک به آژانس‌ها و فرودگاه‌هاست تا آنها بتوانند با یافتن راهکاری مانند تخصیص مجدد گیت، تاثیرات منفی تاخیر را به حداقل برسانند و از نارضایتی مسافران نیز بکاهند [Yazdi et al., 2020]. از آنجاییکه تاخیر پرواز باعث تغییر در تخصیص گیت می‌شود و یا تخصیص دیرهنگام گیت باعث ایجاد تاخیر می‌شود، مسئله تخصیص گیت، اهمیت فراوانی پیدا کرده است. مطالعات زیادی در زمینه تخصیص گیت صورت گرفته [Bouras, Ghaleb, Suryahatmaja, & Salem, 2014; Choi, 2019; Daş et al., 2020; Xu & Bailey, 2001] و کتاب‌های فراوانی منتشر شده است [Pintea, Pop, Chira, & Dumitrescu, 2008]. مسایل تخصیص گیت مرتبط با صنعت هوانوردی بسیار متنوع می‌باشد طوریکه در مقاله [Daş et al., 2020] تخصیص گیت به پرواز، از سه دیدگاه مسافران، شرکت‌های هواپیمایی و اپراتورهای هواپیمایی بررسی می‌شود [Liu et al., 2016] که مسئله تخصیص گیت از دیدگاه مسافران و اپراتورهای هواپیمایی، مسئله مورد نظر ماست.

در این تحقیق [Bagamanova & Mota, 2020] با در نظر گرفتن ماهیت تصادفی فرودگاه و با توجه به تاثیرات پایه تخصیص گیت مدل جدیدی جهت تخصیص گیت در فرودگاه مکزیک ارائه شد که این مدل شامل دو فاز است. در فاز اول با استفاده از مدل بیزین تاخیر پرواز پیش‌بینی می‌شود و در فاز دوم با استفاده از یک تابع فراابتکاری لیست تخصیص گیت برای پروازهایی که دچار تاخیر شدند، به روز رسانی می‌شود. نتایج نشان دادند که تعداد هواپیماهای در صف انتظار جهت پرواز و آنهایی که منتظر پارک کردن هستند، کاهش یافته است.

محقق [Mokhtarimousavi, Talebi, & Asgari, 2018] با هدف کاهش مسافت پیاده‌روی و جلب رضایت مسافرین، کاهش تداخلات حین پارک کردن و کاهش هزینه‌های فرودگاه و آژانس‌ها و همچنین با در نظر گرفتن کلیه منابع و محدویت‌ها، مسئله تخصیص گیت را به سه مسئله دیگر شکسته و آن را فرموله کرده است. نویسنده معتقد است که به علت NPHard بودن مسئله تخصیص گیت، استفاده از تابع فراابتکاری بهترین انتخاب می‌باشد زیرا می‌تواند مسئله را بصورت موثری حل کند.

در یکی از آخرین کارهای گذشته [Siahaan, 2017] ابتدا با توجه به شرایط آب و هوا، وزش باد و میزان دید، احتمال وجود بارندگی پیش‌بینی شده سپس با تعریف ٤٥ قانون فازی اجازه بلند شدن یا نشستن پرواز صادر می‌گردد. جهت آموزش و تست مدل از داده‌های هواشناسی اندونزی BMKG استفاده کردند. این قوانین فقط با توجه به شرایط آب و هوایی مانند میزان دید و وزش باد تعریف شده و اولویت‌های پروازی، شرایط هواپیما، مسافر و امکانات فرودگاه در نظر گرفته نشده است.

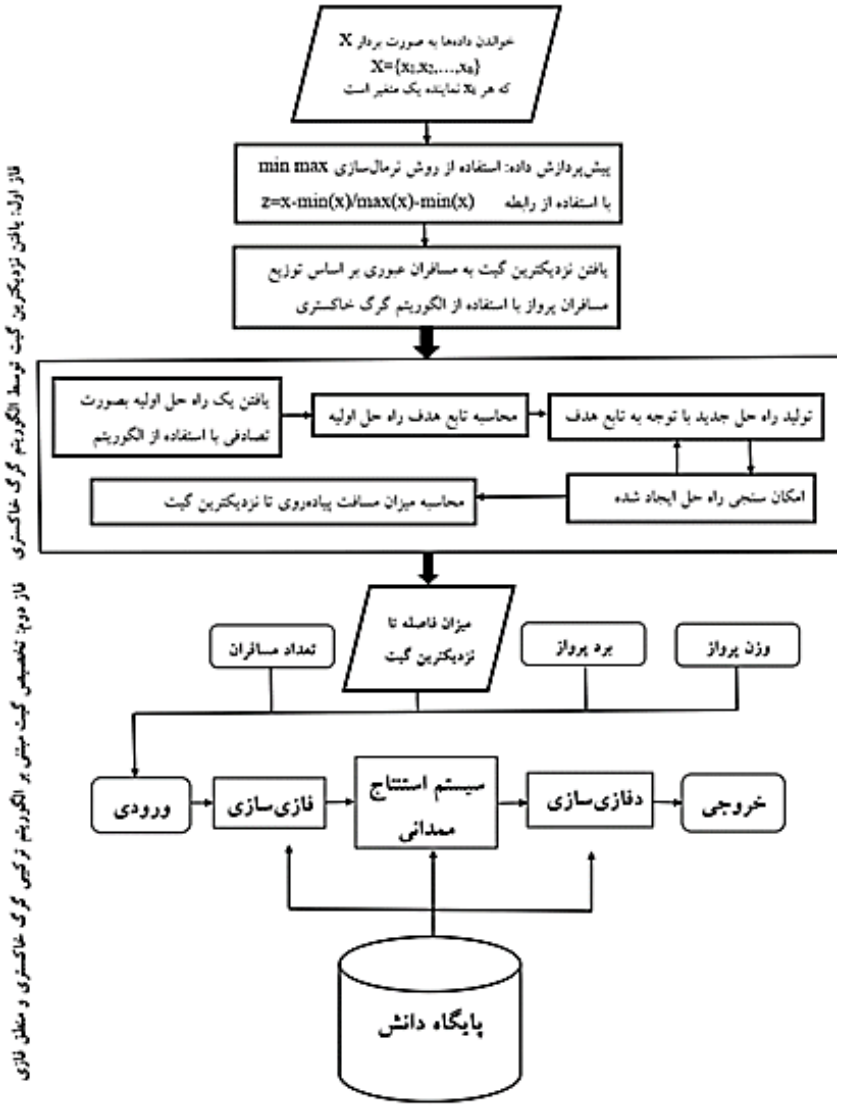
برخی از محققین [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017] جهت حل مسئله عدم قطعیت در تخصیص گیت با تعریف مجموعه‌ای از قوانین بصورت فازی، اجازه فرود یا صعود یک پرواز را صادر کردند.

مسئله تخصیص گیت از نوع مسائل NP Hard است که نمی‌توان برای آن یک راه حل قطعی پیدا کرد [Tindell et al., 1992] بنابراین با توجه به مجموعه اهداف، مجموعه راه حل‌های یافت شده پذیرش می‌شوند. برای حل چنین مسائلی از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود [Bagamanova & Mota, 2020; Deng et al., 2017; Marinelli, Palmisano, Dell'Orco, & Ottomanelli, 2016; Mokhtarimousavi et al., 2018; Yan, Jiao, & Yuan, 2019; Yu, Zhang, & Lau, 2016; D. Zhang & Klabjan, 2017] و اکثر محققین جهت افزایش رضایت مشتریان و افزایش سود شرکت‌های هواپیمایی بدون در نظر گرفتن تاخیر پرواز با هدف کاهش مسافت پیاده‌روی این مسئله را حل کردند [Dell'Orco, Marinelli, & Altieri, 2017; Deng et al., 2017; Marinelli et al., 2016; Mokhtarimousavi et al., 2018] و به نتایج پیش‌بینی تاخیر پرواز [Yazdi et al., 2020] و عدم قطعیت عوامل موثر در تخصیص گیت بصورت همزمان توجهی نکردند. به علت وجود رابطه مستقیم بین تاخیر پرواز و تخصیص گیت، به روز رسانی لیست تخصیص گیت بعد از پیش‌بینی تاخیر [Yazdi et al., 2020] و با استفاده از همان داده‌های پیش‌بینی به واقعیت نزدیکتر می‌باشد.

۳. روش پیشنهادی

در مدل پیشنهای، تخصیص مجدد گیت با توجه به نتیجه پیش‌بینی تاخیر [Yazdi et al., 2020] و با استفاده از داده های پیش‌بینی تاخیر و با در نظر گرفتن اهداف مختلف انجام می‌شود.

ابتدا با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری و با در نظر گرفتن توزیع مسافران هر پرواز، میزان فاصله مسافران تا نزدیکترین گیت محاسبه می شود. سپس با استفاده از خروجی الگوریتم گرگ خاکستری و همچنین پارامترهای مربوط به هواپیما و مسافران و باتعریف قوانین بصورت فازی، تخصیص گیت با اهداف کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران، کاهش هزینه‌های سازمان و جلوگیری از برخورد دو هواپیما انجام می‌شود. شکل ۱ ساختار کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. این مدل شامل دو فاز کلی می‌باشد که در ادامه هر یک توضیح داده شده است.



شکل ۱. مراحل کلی مربوط به پیاده‌سازی مدل پیشنهادی

۱-۳ فاز اول: یافتن نزدیکترین گیت توسط الگوریتم گرگ خاکستری

در این فاز به محاسبه مسافت طی شده توسط مسافران هر پرواز تا نزدیکترین گیت پرداخته می‌شود. بدین گونه که اگر پیش‌بینی شود پروازی تاخیر خواهد داشت [Yazdi et al., 2020] و آن پرواز دارای مسافران عبوری نیز باشد، با توجه به توزیع مسافران آن پرواز نزدیکترین گیت به پرواز بعدی مسافران پیدا می‌شود. همچنین مسافت محاسبه شده به عنوان یکی از متغیرهای ورودی به سیستم فازی ارسال می‌شود. از آنجاییکه سرعت همگرایی الگوریتم گرگ خاکستری بالاست و همچنین در ابتدای شروع حل مسئله به تنظیم پارامترهای کمی نیاز است، الگوریتم گرگ خاکستری جهت محاسبه فاصله تا نزدیکترین گیت انتخاب شد. جهت آموزش الگوریتم گرگ از داده‌های فرودگاه بوستون ۳۹ در مدت یک سال و از سال ۲۰۱٤ تا ۲۰۱۵ استفاده گردید.

در پیاده‌سازی الگوریتم گرگ خاکستری، ابتدا با توجه به لیست ورود و خروج هر پرواز و توزیع مسافران فرمول مناسبی برای زمان ورود و خروج هر پرواز و تعداد مسافران پیدا می‌شود. با استفاده از اطلاعات فرودگاه بوستون ۳۹ که به عنوان نمونه

جهت پیاده‌سازی و تست انتخاب گردید، داده‌ها به شرح زیر شبیه‌سازی می‌شوند [Cheng et al., 2012].

- زمان رسیدن هر پرواز بین فاصله زمانی [a_i* 11 a_i*11+9], دقیقه در نظر گرفته می‌شود که a_i زمان رسیدن i امین پرواز است.
- زمان خروج هر پرواز بین فاصله [[d_i*130] [d_i* 110 d_i*] دقیقه انجام می‌شود که d_i زمان خروج i امین پرواز است.
- توزیع مسافر برای هر پرواز بین بازه [۸۰-۵۰۰] نفر انجام می‌شود.

مسافت کل پیاده‌روی مسافران به حجم تعداد مسافران عبوری جابجا شده بین دو هواپیما و فاصله بین گیت‌ها بستگی دارد. به طور کلی سه نوع مسافر جهت مسافت‌هایی که باید به حداقل برسند وجود دارد؛ مسافرانی که از گیت‌های ورودی به سمت یک پرواز مشخص می‌روند، مسافرانی که از پرواز انجام شده به سمت گیت خروجی می‌روند و در نهایت مسافرانی که از یک پرواز به پرواز دیگر منتقل می‌شوند. از طرف دیگرهر پرواز ورودی می‌تواند برخی از مسافران خود را به پرواز در حال خروج دیگر منتقل کند، بنابراین مسافران از فرودگاه خارج نمی‌شوند بلکه به سمت گیت بعدی پرواز خود حرکت می‌کنند در صورتیکه قبل از خروج پرواز بعدی، وقت کافی داشته باشند که این زمان ۴۰ دقیقه در نظر گرفته شده است یعنی باید حداقل فاصله زمان ورود و زمان خروج دو پرواز ۴۰ دقیقه باشد تا یک انتقال انجام شود. چنانچه فاصله زمانی دو پرواز بیش از ۸ ساعت از یکدیگرباشد، مسافران آن پرواز منتقل نمی‌شوند. همچنین مسافران فقط در خطوط مستقیم حرکت می‌کنند و از این رو فاصله بین گیت‌های مختلف با استفاده از فاصله منهتن محاسبه شده است.

جهت پیاده‌سازی الگوریتم گرگ خاکستری ابتدا یک راه حل تصادفی اولیه q ایجاد می‌شود. از آنجاییکه مسئله تخصیص گیت بسیار محدود است، نمی‌تواند یک راه حل اولیه عملی تولید کند. جهت مقابله با این موضوع از الگوریتم حریصانه استفاده شده است. ابتدا همه پروازها بر اساس زمان خروج آنها مرتب شده و سپس پروازها یک به یک به گیت‌ها اختصاص داده می‌شوند.

مرحله بعدی محاسبه تابع هدف راه حل اولیه می‌باشد. این الگوریتم برای محاسبه تابع هدف راه حل اولیه، اطلاعات مسافر و داده‌های ایجاد شده را در نظر می‌گیرد. با استفاده از رابطه۱ مقدار تابع هدف محاسبه شده و خروجی این تابع شامل مسافت طی شده توسط مسافران در حال ورود، مسافت طی شده توسط مسافران در حال خروج و مسافت طی شده توسط مسافران انتقالی می‌باشد. این مرحله می‌تواند تا زمان رسیدن به هدف نهایی که پیدا کردن حداقل مقدار برای تابع هدف می‌باشد ادامه یابد [Cheng et al., 2012].

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i\subset F}\sum_{j\subset F}\sum_{k\subset G}\sum_{I\subset F} P_{ij}\, W_{kI}\, X_{iK}\, X_{jI} + \sum_{i\subset F}\sum_{k\subset F}(P_{i0}\, W_{k0} + P_{0i}\, W_{0k})X_{ik} \quad (۱)$$

رابطه ۱ از دو بخش تشکیل شده است؛ بخش اول مربوط به مسافران انتقالی بین دو پرواز می‌باشد که متغیر P_{ij} نشان دهنده تعداد مسافران عبوری بین پرواز i و j ، متغیر W_{KI} نشان دهنده میزان مسافت پیاده‌روی بین دو گیت k و I می‌باشد. متغیر تصمیم‌گیری X_{ik} جهت تخصیص پرواز i به گیت k و متغیر تصمیم‌گیری X_{jI} جهت تخصیص پرواز j به گیت I در یک بازه زمانی استفاده شده است. چنانچه عمل تخصیص گیت در آن بازه زمانی انجام پذیرد مقدار متغیر تصمیم‌گیری X_{ik} و یا X_{jI} یک می‌شود و در غیر اینصورت مقدار این متغیرها صفر می‌ماند. بخش دوم رابطه، مربوط به مسافرانی است که قصد ورود به یک گیت و یا خروج از آن را دارند. P_{i0} نشان دهنده تعداد کل مسافران ورودی از هواپیمای i و W_{k0} میزان فاصله پیاده‌روی بین گیت k و گیت خروجی می‌باشد. همچنین متغیر P_{0i} تعداد کل مسافران به سمت هواپیمای i و W_{0k} میزان فاصله پیاده‌روی بین گیت ورودی و گیت k را مشخص می‌کند. X_{ik} متغیر تصمیم‌گیری است و در صورتی که گیت k به پرواز i تخصیص یابد مقدار آن یک می‌شود و در غیر اینصورت مقدار این متغیر صفر باقی می‌ماند.

متغیرهای تصمیم‌گیری با توجه به این که هر هواپیما باید به یک و فقط یک گیت اختصاص یابد و هرگز دو هواپیما به طور همزمان نمی‌توانند به یک گیت اختصاص داده شوند، تخصیص گیت را با توجه به a_i یعنی زمان ورود هواپیمای i و dj زمان خروج هواپیمای j انجام می‌دهد.

جهت تعیین مقداری برای تابع هدف و اجرای الگوریتم تا زمان رسیدن به آن مقدار مشخص، پس از مقدار دهی پارامترهای اولیه به صورت تصادفی، لازم است که یک راه حل جدید از راه حل اولیه ایجاد شده تولید شود که تابع هدف این راه حل طبق رابطه۱ محاسبه می‌شود سپس به بررسی امکان سنجی راه حل تازه تولید شده پرداخته شود. پس از هر مرحله امکان سنجی انجام می‌شود بدین ترتیب که ابتدا ظرفیت گیت کنترل می‌شود و پس از آن به بررسی مسئله استفاده همزمان از یک گیت توسط چند پرواز پرداخته می‌شود تا یک راه حل جدید امکان پذیر تولید شود. پس از اتمام الگوریتم گرگ خاکستری، مسافت محاسبه شده به نزدیکترین گیت که بر اساس توزیع مسافران هر پرواز است به بخش فازی ارسال می‌گردد.

۲-۳ فاز دوم: تخصیص گیت مبتنی بر سیستم ترکیبی الگوریتم گرگ خاکستری و سیستم فازی

در این فاز با در نظر گرفتن، میزان مسافت محاسبه شده تا نزدیکترین گیت برای مسافران توسط الگوریتم گرگ خاکستری، اطلاعات مربوط به برد و وزن پرواز و همچنین اطلاعات مربوط به تعداد مسافران لیست تخصیص گیت به روز رسانی می‌شود. متغیرهای تعداد مسافر واقعی داخل پرواز، اولویت‌های پروازی، میزان مسافت محاسبه شده برای پرواز، وزن هواپیما و برد پروازی هواپیما بر اساس فاکتور مسافت و سوخت پرواز به عنوان ورودی سیستم فازی تعریف می‌شوند. سیستم استنتاج فازی شامل مرحله فازی‌سازی، موتور استتاج فازی و مرحله دفازی‌سازی می‌باشد [Azar, 2010]. پس از تعریف متغیرها نوبت تعریف قوانین فازی می‌باشد که در تعریف این قوانین ابتدا به اولویت‌های پروازی توجه می‌شود که توسط سازمان بین المللی هواپیمایی کشوری (ایکائو) تعریف شده است. سپس اولویت‌های نوع هواپیما بر اساس وزن و برد آنها صورت می‌گیرد به طوری که هواپیماها بر اساس وزن به سه دسته سنگین، متوسط و سبک و بر اساس برد به سه دسته کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شوند. همچنین در این مدل، مسافران به ۵ دسته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد و مسافت محاسبه شده به ٤ دسته نزدیک، میانه، دور و خیلی دور تقسیم می‌شوند. که از این متغیرها و روابطی که بین آنها برقرار است، قوانین مربوط به تخصیص گیت با استفاده از فرد خبره تعریف می‌شود. به طور کلی ۱۸۰ قانون در پایگاه دانش تعریف گردید. سپس با استفاده از سیستم استنتاج ممدانی، قوانین بررسی می‌شوند. سیستم استنتاج ممدانی به دلیل داشتن طبیعت بصری و تفسیری از قوانین می‌تواند به طور گسترده‌ای در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم استفاده شود، همچنین دارای قدرت بیانی بالایی است و می‌تواند به هر دو صورت چند ورودی و چند خروجی و چند ورودی و یک خروجی پیاده‌سازی شود [Azar, 2010]. سیستم استنتاج ممدانی از مجموعه‌های فازی به عنوان نتیجه قانون استفاده می‌کند و خروجی هر قانون به صورت غیرخطی و فازی است [Azar, 2010]. مرحله دفازی‌سازی در سیستم استنتاج ممدانی با سایر سیستم‌های استنتاج متفاوت است [Azar, 2010]. از آنجاییکه خروجی سیستم شماره گیت است و شماره گیت بیانگر یک عدد دقیق می‌باشد، از روش مرکز ثقل جهت دفازی‌سازی در این سیستم استفاده گردید. پس از اتمام کار سیستم فازی، لیست تخصیص گیت به روز رسانی می‌شود.

جهت بررسی تاثیر الگوریتم گرگ خاکستری در سیستم ترکیبی تخصیص گیت مبتنی بر گرگ خاکستری و فازی، پارامتر مسافت طی شده توسط الگوریتم گرگ خاکستری از این مدل حذف می‌گردد و لیست تخصیص گیت توسط سیستم فازی بر اساس سه متغیر مسافر، برد و وزن پرواز به روز رسانی می‌شود. سپس لیست‌های حاصل از نظر میزان مسافت پیاده‌روی و کاهش

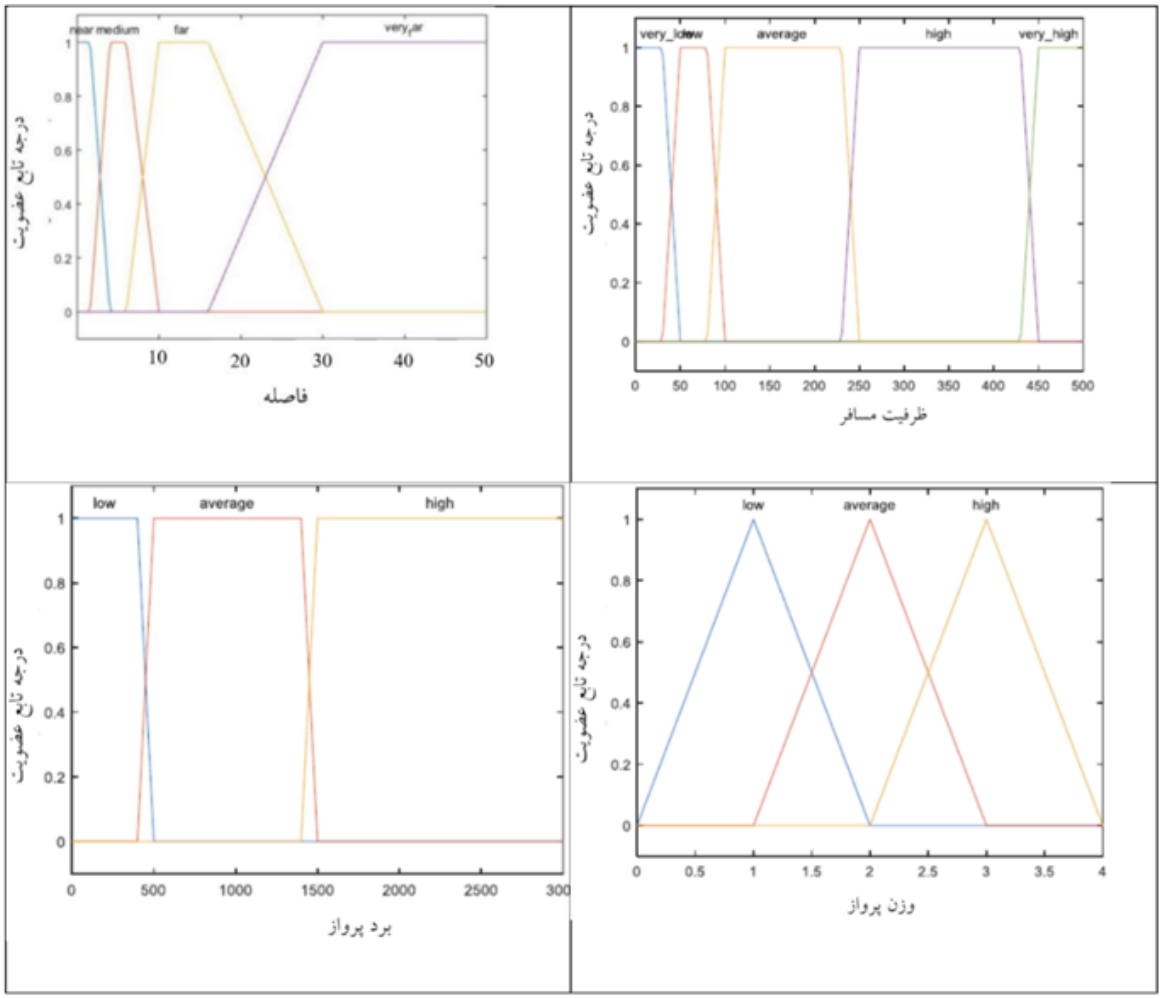
هزینه‌های سازمان با یکدیگر و با لیست تخصیص گیت بر مبنای واقعیت فرودگاه بوستون مقایسه می‌شوند.

٤. تجزیه و تحلیل

پس از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی، به ارزیابی نتایج مربوط به این مدل پرداخته شد. پیاده‌سازی الگوریتم گرگ خاکستری و سیستم فازی در محیط متلب ۲۰۱۹ و با انتخاب شهر بوستون از دیتاست airline data-2005-2015 و بر روی سیستمی با پردازنده ٤٠ هسته و با فرکانس 2.6 hz، 80GRAM و 250GHard صورت گرفت. جهت بررسی تاثیر الگوریتم گرگ خاکستری در کاهش مسافت طی شده توسط مسافران، معیار فاصله از سیستم فازی حذف گردید و در این حالت تخصیص گیت فقط بر مبنای متغیرهای مسافر، برد و وزن پرواز انجام شد. همچنین لیست تخصیص گیتی بر مبنای الگوریتم گرگ خاکستری به تنهایی و لیست تخصیص گیتی بر اساس سیستم فازی بدون در نظر گرفتن متغیر فاصله ایجاد شد و این دو لیست با لیست تخصیص گیت مدل پیشنهادی و لیست تخصیص گیت واقعی فرودگاه بوستون از لحاظ میزان مسافت پیاده‌روی نیز مقایسه گردید. علاوه بر آن، مدل پیشنهادی به لحاظ عدم استفاده از یک گیت مشترک به صورت همزمان و جلوگیری از برخورد دو هواپیما با مقاله [Idika & Baridam, 2018] مقایسه گردید. در نهایت به بررسی تاثیر مدل پیشنهادی تخصیص گیت بر کاهش هزینه‌های فرودگاه پرداخته می‌شود.

٤-١ توابع عضویت ورودی

پس از اتمام کار الگوریتم گرگ خاکستری و پیدا کردن نزدیکترین گیت به مسافران بر اساس توزیع آنها در پرواز، میزان مسافت محاسبه شده تا گیت انتخابی توسط الگوریتم گرگ خاکستری به سیستم فازی ارسال می‌گردد تا سیستم فازی با توجه به متغیرهای مسافت، تعداد مسافر واقعی داخل پرواز، وزن هواپیما و برد هواپیما بر اساس فاکتور مسافت و سوخت پرواز لیست تخصیص گیت را به روز رسانی می‌کند. توابع عضویت ورودی در سیستم فازی با توجه به قوانین تعریف شده در پایگاه دانش و بر اساس فازی ممدانی [Azar, 2010] و در محیط متلب ایجاد گردید. شکل ۲ توابع عضویت متغیرهای ورودی در سیستم فازی که شامل ظرفیت مسافر، میزان مسافت محاسبه شده، وزن و برد پرواز می‌باشد را نشان می‌دهد.



شکل۲. توابع عضویت متغیرهای ورودی فاصله، ظرفیت مسافر، وزن و برد پرواز

شکل ۲ نماینده توابع عضویت متغیرهای فاصله، ظرفیت مسافر، وزن و برد پرواز طبق قوانین تعریف شده در پایگاه دانش می‌باشد. معیار فاصله یکی از ورودی‌های سیستم فازی است که این معیار در بخش قبلی و با استفاده از الگوریتم فراابتکاری گرگ خاکستری بر حسب متر محاسبه گردید. این متغیر به چهار کلاس نزدیک، میانگین، دور و خیلی دور تقسیم می‌شود و همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود به شکل ذوزنقه‌ای رسم شده است.

متغیر بعدی، تعداد مسافران است که تعداد مسافران هر پرواز عدد ثابتی نیست و هر هواپیما همیشه با ظرفیت کل خودش پرواز نمی‌کند، پارامتر ظرفیت مسافر بسیار متغیر است و برای همین در پنج دسته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد با توجه به قوانین تعریف شده قرار می‌گیرند. این متغیر دارای مقدار عددی بوده و همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود به شکل ذوزنقه‌ای رسم شده است.

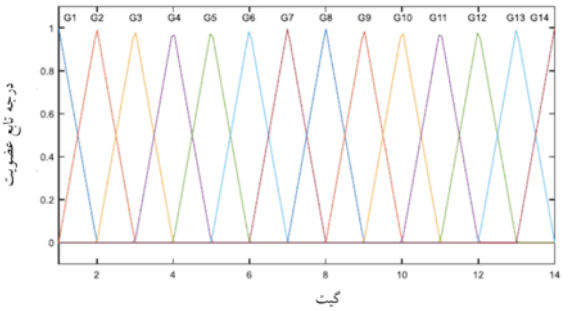
متغیر بعدی وزن هواپیماست که وزن یک هواپیما همیشه عدد ثابتی است ولی تعداد مسافر و بار آنها، وزن کل هواپیما را تغییر می‌دهد. همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود تابع عضویت وزن به شکل مثلثی است زیرا با توجه به اطلاعات موجود، فقط برای هر پرواز مشخص شده بود که در کدام یک از دسته‌های سبک، سنگین و یا متوسط قرار گرفته و وزن عددی آن درج نشده بود.

آخرین متغیر برد پرواز است که بسته به نوع و وزن هواپیما مقادیر متفاوتی دارد و در سه دسته کم، متوسط و زیاد قرار

می‌گیرد.این متغیر دارای مقدار عددی بوده و همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود به شکل ذوزنقه‌ای رسم شده است.

٤-۲ تابع عضویت خروجی

خروجی سیستم فازی نشان دهنده یک شماره گیت است که تابع عضویت آن در شکل ۳ با توجه به قوانین موجود در پایگاه دانش، نشان داده شده است.



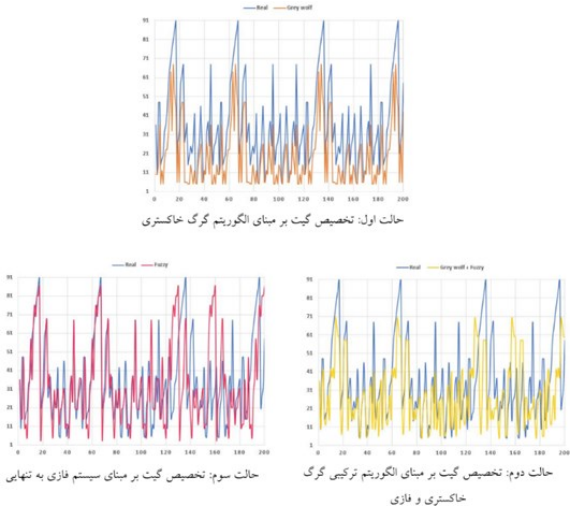
شکل ۳. تابع عضویت خروجی با توجه به شماره گیت

همانطور که در شکل۳ دیده می‌شود چون خروجی سیستم به صورت یک عدد واقعی است که این عدد نشان دهنده شماره گیت تخصیص داده شده به یک پرواز می‌باشد، نمودار تابع عضویت آن به شکل مثلثی رسم شده است.

٤-۳ تحلیل تخصیص گیت از دیدگاه مسافت پیاده‌روی

جهت بررسی تاثیر الگوریتم گرگ خاکستری در سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی تصمیم گرفتیم تا عمل تخصیص گیت را در سه حالت کلی انجام دهیم و در هر حالت میزان مسافت پیاده‌روی را محاسبه کرده و در نهایت حالات مختلف را از نظر مسافت طی شده توسط مسافر با یکدیگر بررسی کنیم. ابتدا لیست تخصیص گیت فقط بر اساس الگوریتم گرگ خاکستری و با هدف کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران به روز رسانی شد و میزان مسافت پیاده‌روی برای مسافران هر پرواز با توجه به گیت پیشنهادی محاسبه گردید. سپس لیست تخصیص گیت بر اساس مدل پیشنهادی به روز رسانی گردید و میزان مسافت پیاده‌روی برای مسافران هر پرواز با توجه به گیت پیشنهادی مشخص شد. در نهایت متغیر فاصله از سیستم کنار گذاشته شد و سیستم فازی به تنهایی و بدون استفاده از متغیر فاصله و فقط با استفاده از سه متغیر تعداد مسافران، وزن پرواز و برد هواپیما تخصیص گیت را انجام داد و میزان مسافت پیاده‌روی برای مسافران هر پرواز با توجه به گیت پیشنهادی محاسبه شد. همچنین لیست واقعی تخصیص گیت را از سایت فرودگاه بوستون و برای یک روز کاری و ۲۰۰ پرواز به صورت دستی استخراج کردیم.

شکل ٤ تغییرات رفتار تخصیص گیت برای ۲۰۰ پرواز را در یکی ازشلوغترین روزهای سال برای سه حالت نشان می‌دهد؛ در حالت اول تخصیص گیت بر مبنای الگوریتم گرگ خاکستری و باتوجه به میزان مسافت محاسبه شده تا گیت انتخاب شده می‌باشد. حالت دوم تخصیص گیت بر مبنای الگوریتم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی با توجه به متغیرهای فاصله، تعداد مسافر، وزن پرواز و برد هواپیما، می‌باشد و در نهایت حالت سوم تخصیص گیت بر مبنای سیستم فازی به تنهایی و با استفاده از متغیرهای تعداد مسافر، وزن پرواز و برد هواپیما صورت گرفته است. در این حالت متغیر فاصله حذف گردید تا تاثیر الگوریتم گرگ خاکستری بر روی سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی سنجیده شود.



شکل ٤. تغییرات رفتار تخصیص گیت

در شکل ٤ خط افقی در هر نمودار شماره پرواز را مشخص می‌کند، خط عمودی نشان دهنده میزان مسافت پیاده‌روی

مسافران تا گیت انتخاب شده می‌باشد. نمودارهای آبی در هر سه حالت نشان دهنده تخصیص گیت واقعی هستند. همچنین نمودار نارنجی رنگ نشان دهنده تخصیص گیت به روش گرگ خاکستری، نمودار زرد رنگ نشان دهنده تخصیص گیت به روش ترکیبی گرگ خاکستری و فازی و نمودار قرمز رنگ نشان دهنده تخصیص گیت بر مبنای سیستم فازی به تنهایی می‌باشد.

همانطور که در شکل ٤ دیده می‌شود، در حالت اول که تخصیص گیت توسط الگوریتم گرگ خاکستری و بر مبنای کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران انجام شده، نمودار نارنجی رنگ به طور کلی زیر نمودار آبی رنگ قرار گرفته و برای تمامی ۲۰۰ پرواز مسافت کمتر یا مساوی با حالت واقعی را محاسبه کرده است.

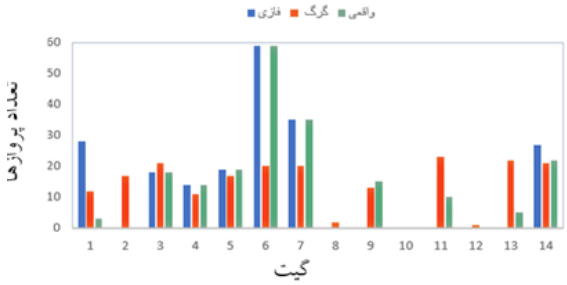
در حالت دوم که تخصیص گیت بر مبنای سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی می‌باشد، نمودار زرد رنگ در بعضی قسمت‌ها پایین‌تر از نمودار آبی رنگ و در برخی قسمت‌ها منطبق بر نمودار آبی رنگ می‌باشد و این بدان معناست که در این سیستم تخصیص گیت تطابق بیشتری با تخصیص گیت واقعی داشته است. از آنجاییکه تخصیص گیت در سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی با توجه به اهداف کاهش مسافت پیاده‌روی، جلوگیری از برخورد دو هواپیما و افزایش سود فرودگاه می‌باشد می‌توان گفت اپراتورهای فرودگاه حین تخصیص گیت چندین هدف مختلف را در نظر می‌گیرند که یکی از آنها مسافت طی شده توسط مسافران است.

در حالت سوم که تخصیص گیت بر مبنای سیستم فازی به تنهایی و بدون در نظر گرفتن معیار فاصله می‌باشد، نمودار قرمز رنگ در برخی قسمت‌ها زیر نمودار آبی رنگ و در برخی قسمت‌ها منطبق بر نمودار آبی رنگ می‌باشد اما در چندین قسمت نمودار قرمز رنگ بالاتر از نمودار آبی رنگ قرار گرفته است و این بدان معناست که با تخصیص گیت دورتر باعث افزایش مسافت پیاده‌روی شده است. بنابراین می‌توان گفت که الگوریتم گرگ خاکستری در کاهش مسافت پیاده‌روی تاثیر مثبتی بر مدل پیشنهادی داشته است. در نهایت به محاسبه میانگین میزان مسافت پیاده‌روی در هر سه حالت پرداختیم به طوری که برای هر پرواز اختلاف فاصله بین گیت تخصیص داده شده در حالت واقعی با گیت تخصیص داده شده در هر سه حالت محاسبه گردید، سپس میانگین آنها محاسبه شد. نتایج نشان دادند که الگوریتم گرگ خاکستری میزان مسافت پیاده‌روی مسافران را در مقایسه با حالت واقعی ١٦,١ متر کاهش می‌دهد. همچنین سیستم ترکیبی گرگ خاکستری و فازی میزان مسافت طی شده توسط مسافر را در مقایسه با حالت واقعی ٦,٧٤ متر و سیستم فازی به تنهایی در مقایسه با حالت واقعی این مسافت را ١,٧٤ متر کاهش داده است. بنابراین الگوریتم گرگ خاکستری در کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران، تاثیر به سزایی داشته و استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری جهت محاسبه متغیر فاصله در مدل پیشنهادی مثبت بوده است.

٤-٤ تحلیل تخصیص گیت از دیدگاه هزینه

همانطور که گفته شد مسئله تخصیص گیت با اهداف مختلفی حل می‌شود که در این تحقیق بر کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران، جلوگیری از برخورد دو هواپیما، کاهش هزینه‌های سازمان با داشتن گیت خالی تمرکز شده است. پس از محاسبه میزان مسافت پیاده‌روی بر اساس توزیع مسافران در یک پرواز توسط الگوریتم گرگ خاکستری، این لیست به سیستم فازی ارسال می‌شود تا با در نظر گرفتن متغیرهای دیگر لیست تخصیص گیت به روز رسانی شود. حال به مقایسه تعداد پروازهای تخصیص داده شده به هر گیت در سه حالت تخصیص گیت واقعی، تخصیص گیت مبتنی بر سیستم ترکیبی الگوریتم گرگ خاکستری و سیستم فازی و تخصیص گیت مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری می‌پردازیم که در شکل۵ تخصیص گیت برای ۲۰۰ پرواز در یک روز و در هر سه حالت نشان داده شده است. در شکل ۵ محور افقی نماینده شماره گیت و محور عمودی نماینده تعداد پروزاهای تخصیص یافته به یک گیت می‌باشد. نمودار میله‌ای سبز رنگ نشان دهنده تخصیص گیت بر اساس واقعیت فرودگاه بوستون، نمودار میله‌ای قرمز رنگ نشان

دهنده تخصیص گیت بر اساس الگوریتم گرگ خاکستری به تنهایی و فقط بر مبنای محاسبه معیار فاصله تا نزدیکترین گیت برای مسافران عبوری و نمودار میله‌ای آبی رنگ نشان دهنده تخصیص گیت مبتنی بر مدل پیشنهادی می‌باشد.



شکل ۵. مقایسه تخصیص گیت مدل پیشنهادی با واقعیت

طبق نمودار میله‌ای قرمز رنگ در شکل ۵ دیده می‌شود که تمامی گیت‌ها به جز گیت شماره ۱۰ دارای چندین پرواز هستند و این بدان معناست که الگوریتم گرگ خاکستری از تمام امکانات موجود در فرودگاه بدون در نظر گرفتن هزینه‌های آنها استفاده می‌کند تا فقط مسافران را راضی نگه دارد. در حالیکه در تخصیص واقعی گیت فرودگاه بوستون، ٤ گیت خالی و در تخصیص گیت به روش مدل پیشنهادی فقط نصف گیت‌ها پر شدند و به سایر گیت‌ها پروازی تعلق نگرفته است. این بدان معناست که ظرفیت فرودگاه و تعداد گیت‌های موجود خیلی بیشتر از نیاز پروازها بوده و دیگر نیازی به باز شدن آن گیت نمی‌باشد، بنابراین می‌توان با بسته نگه داشتن تعداد بیشتری گیت در هزینه‌های فرودگاه صرفه جویی کرد. همچنین با وجود چندی گیت خالی در صورت بروز مشکل و تاخیر در پروازها، می‌توان به جای معلق نگه داشتنپرواز در آسمان و یا روی زمین، به آنها گیتی جهت فرود یا صعود تخصیص داد و دیگر نیازی به انتظار جهت خالی شدن یک گیت نمی‌باشد. بنابراین می‌توان با کاهش مصرف سوخت این هواپیماها نیز بار دیگر از هزینه‌های فرودگاه کاست. علاوه بر این با کاهش مصرف سوخت به کاهش آلودگی هوا کمک شده است. با توجه به وجود گیت‌های خالی می‌توان تعداد پروازهای فرودگاه را نیز بدون تغییر در زیر ساخت فرودگاه افزایش داد که این مسئله به نوعی باعث افزایش سوددهی آن فرودگاه و شرکت‌های هوایی مرتبط با آن فرودگاه می‌شود. بعلاوه، وسایل حمل و نقل مسافر نیز در مسیرهای مشخصی تردد می‌کنند و دیگر نیازی به جابجایی‌های فروان بین گیت‌ها نمی‌باشد که در این حالت نیز به نحوی در مصرف سوخت و هزینه‌های سازمان صرفه جویی گشته است. یکی از معایب مدل پیشنهادی در تخصیص گیت این است که باعث ازدحام در گیت‌ها می‌شود، چنانچه این مسئله برای اپراتور فرودگاه مهم باشد باید در مدل پیشنهادی این مسئله را نیز در نظر گرفت.

٤-٥ تحلیل تخصیص گیت از دیدگاه عدم برخورد دو هواپیما

همانطور که بیان شد این برنامه قادر است تاخیر پرواز را با دقت بالایی پیش‌بینی کند[Yazdi et al., 2020] که پس از پیش‌بینی تاخیر، لیست تخصیص گیت به روش ترکیبی گرگ خاکستری و فازی با استفاده از داده‌های پیش‌بینی تاخیر به روز رسانی می‌شود. چون این روش سعی می‌کند از حداقل گیت‌ها استفاده نماید بنابراین در هر روز چندین گیت خالی در اختیار دارد که با یک تخصیص مناسب مانع رسیدن همزمان دو پرواز به یک گیت می‌شود بنابراین از برخورد دو هواپیما با یکدیگر نیز جلوگیری می‌شود و در نهایت منجر به بهبود مدیریت کنترل ترافیک هوایی می‌گردد. در مدل پیشنهادی از ۱۸۰ قانون استفاده شده که نسبت به تعداد قوانین مدل [Idika & Baridam, 2018] بیشتر است بنابراین می‌توان گفت مدل پیشنهادی با احتمال بیشتری از برخورد دو هواپیما نسبت به مدل‌های جلوگیری Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017]] می‌کند. همچنین در مدل پیشنهادی چنانچه پروازی دچار مشکل شود و نیاز به فرود اضطراری داشته باشد، با داشتن چندین گیت خالی به راحتی می‌توان به آن کمک کرد. بنابراین در صورت وجود تاخیر، لیست تخصیص گیت با سه هدف کاهش میزان مسافت پیاده‌روی مسافران، جلوگیری از برخورد دو هواپیما و کاهش هزینه‌های سازمان، بهبود بخشیده شده است.

همچنین مدل‌های [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017] که بر پایه پیش‌بینی قوانین ایمنی می‌باشند و به ترتیب با تعریف ۱۱ و ٤٥ قانون اجازه فرود یا صعود یک پرواز را صادر می‌کنند که این مدل‌ها [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017] در صورت بروز تاخیر برای پروازی، نمی‌توانند گیت خالی را پیدا کنند و مدیریت گیت‌ها را به درستی انجام نمی‌دهند.

۵. نتیجه‌گیری

از آنجاییکه تاخیر پروازها امری اجتناب ناپذیر است و رابطه مستقیمی با تخصیص گیت دارد بدان معنا که تخصیص دیرهنگام گیت باعث تاخیرات پروازی شده و تاخیرات پروازی نیز باعث تغییر تخصیص گیت می‌شوند، در این تحقیق سیستم ترکیبی تخصیص گیت مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری و فازی طراحی گردید تا در صورت بروز تاخیر، لیست تخصیص گیت را با در نظر گرفتن سه هدف کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران، عدم استفاده همزمان از یک گیت توسط دو هواپیما و کاهش هزینه‌های سازمان و با استفاده از داده‌های پیش‌بینی تاخیر [Yazdi et al., 2020] به روز رسانی کند. ابتدا با استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری، کمترین میزان مسافت پیاده‌روی مسافران بر اساس توزیع مسافران یک پرواز محاسبه می‌شود. سپس فاصله تا نزدیکترین گیت، تعداد مسافران، برد و وزن پرواز به عنوان متغیر وارد بخش فازی شده و تخصیص مجدد گیت صورت می‌گیرد. جهت بررسی تاثیر الگوریتم گرگ خاکستری در کاهش مسافت طی شده توسط مسافران، این الگوریتم با حالت واقعی مقایسه شد و نتایج نشان دادند که الگوریتم گرگ خاکستری توانسته است به طور میانگین مسافت طی شده توسط مسافر را ١٦,١ متر کاهش دهد. همچنین در مدل پیشنهادی، متوسط مسافت پیاده‌روی مسافران نسبت به حالت واقعی ٦,٧٥ متر کاهش یافته است. چنانچه الگوریتم گرگ خاکستری و معیار فاصله از سیستم فازی حذف شود و سیستم فازی فقط بر اساس ظرفیت مسافر، وزن هواپیما و برد آن تصمیم‌گیری کند، نه تنها مسافت پیاده‌روی مسافران کاهش نمی‌یابد بلکه در برخی بخش‌ها دچار افزایش نیز می‌شود. بنابراین با توجه به هدف کاهش مسافت پیاده‌روی مسافران، الگوریتم گرگ خاکستری تاثیر مثبتی در به روز رسانی لیست تخصیص گیت داشته است. همچنین این برنامه قابلیت‌های زیادی را در اختیار اپراتورهای فرودگاه و شرکت‌های هواپیمایی قرار می‌دهد که برای نمونه می‌توان گفت که در صورت بروز تاخیر، سیستم طوری طراحی شده که با داشتن تعداد زیادی گیت خالی مانع رسیدن دو پرواز به صورت همزمان به یک گیت می‌شود و با تعریف قوانین بیشتر در مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های [Idika & Baridam, 2018; Siahaan, 2017] با احتمال بیشتری از سوانح هوایی جلوگیری می‌کند و یا اگر هواپیمایی دچار سانحه شود و نیاز به فرود اضطراری داشته باشد، می‌توان به راحتی به آن کمک کرد. در مدل پیشنهادی علاوه بر در نظر گرفتن رضایت مسافران، با استفاده از تعداد گیت کمتر میزان سود شرکت‌های هواپیمایی نیز افزایش می‌یابد به طوریکه می‌توان بدون تغییر ساختار فیزیکی فرودگاه، تعداد پروازها را افزایش داد و از منابع به صورت بهینه‌تری استفاده کرد.

٦. کارهای آینده

از آنجاییکه در مدل پیشنهادی به میزان ازدحام در گیت‌ها توجهی نشده است می‌توان مدلی طراحی کرد که این فاکتور را نیز در نظر بگیرد. همچنین در مدل پیشنهادی متغیرهای موثر در تخصیص گیت به صورت دستی و با نظر فرد خبره استخراج شده است که جهت رفع این مشکل، می‌توان با استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری عمیق، مهمترین ویژگی‌های تاثیرگذار بر تخصیص گیت را به طور خودکار استخراج نمود و با استفاده از آن سیستم تخصیص گیت را با اهداف مختلف دیگر طراحی کرد. و در نهایت می‌توان عملکرد مدل پیشنهادی را روی دیتاست‌های فرودگاه‌های مختلف دیگر نیز بررسی کرد.

۷. منابع

– Awad, M., & Khanna, R. (2015). Support vector regression efficient learning machines (pp. 67-80): Springer.

– Azar, A. T. (2010). Fuzzy systems: BoD– Books on Demand.

– Bagamanova, M., & Mota, M. M. (2020). A multi-objective optimization with a delay-aware component for airport stand allocation. Journal of Air Transport Management, 83, 101757.

– Bouras, A., Ghaleb, M. A., Suryahatmaja, U. S., & Salem, A. M. (2014). The airport gate assignment problem: a survey. The scientific world journal, 2014.

– Chen, J., Ravizza, S., Atkin, J. A., & Stewart, P. (2011). On the utilisation of fuzzy rule-based systems for taxi time estimations at airports. Paper presented at the 11th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems.

– Cheng, C.-H., Ho, S. C., & Kwan, C.-L. (2012). The use of meta-heuristics for airport gate assignment. Expert systems with applications, 39(16), 12430-12437.

– Choi, S. (2019). A multi-level predictive methodology for terminal area air traffic flow. Georgia Institute of Technology.

– Daş, G. S., Gzara, F., & Stützle, T. (2020). A review on airport gate assignment problems: Single versus multi objective approaches. Omega, 92, 102146.

– Dell'Orco, M., Marinelli, M., & Altieri, M. G. (2017). Solving the gate assignment problem through the fuzzy bee colony optimization. Transportation research part C: Emerging technologies, 80, 424-438.

– Deng, W., Zhao, H., Zou, L., Li, G., Yang, X., & Wu, D. (2017). A novel collaborative optimization algorithm in solving complex optimization problems. Soft Computing, 21(15), 4387-4398.

– Dorndorf, U., Jaehn, F., & Pesch, E. (2008). Modelling robust flight-gate scheduling as a clique partitioning problem. Transportation Science, 42(3), 292-301.

– Idika, N., & Baridam, B. B. (2018). An intelligent air traffic control system using fuzzy logic model. Int. J. Appl. Inf. Syst.

– Kim, Y. J. (2017). A deep learning and parallel simulation methodology for air traffic management. Georgia Institute of Technology.

– Li, C. (2009). Airport gate assignment A hybrid model and implementation. arXiv preprint arXiv:0903.2528.

– Liu, Q., Cai, W., Shen, J., Fu, Z., Liu, X., & Linge, N. (2016). A speculative approach to spatial-temporal efficiency with multi-objective optimization in a heterogeneous cloud environment. Security and Communication Networks, 9(17), 4002-4012.

– Marinelli, M., Palmisano, G., Dell'Orco, M., & Ottomanelli, M. (2016). Optimizing Airport Gate Assignments Through a Hybrid Metaheuristic Approach Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics (pp. 389-404): Springer.

– Mokhtarimousavi, S., Talebi, D., & Asgari, H. (2018). A non-dominated sorting genetic algorithm approach for optimization of multi-objective airport gate assignment problem. Transportation Research Record, 2672(23), 59-70.

– Narciso, M. E., & Piera, M. A. (2015). Robust gate assignment procedures from an airport management perspective. Omega, 50, 82-95.

– Ornek, M. A., Ozturk, C., & Sugut, I. (2020). Integer and constraint programming model formulations for flight-gate assignment problem. Operational Research, 1-29.

– Pintea, C.-M., Pop, P. C., Chira, C., & Dumitrescu, D. (2008). A hybrid ant-based system for gate assignment problem. Paper presented at the International Workshop on Hybrid Artificial Intelligence Systems.

– Rebollo, J. J., & Balakrishnan, H. (2014). Characterization and prediction of air traffic delays. Transportation research part C: Emerging technologies, 44, 231-241.

– Şeker, M., & Noyan, N. (2012). Stochastic optimization models for the airport gate assignment problem. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(2), 438-459.

– Siahaan, A. P. U. (2017). Take Off and Landing Prediction Using Fuzzy Logic.

– Tian, Q., & Chen, S. (2017). Cross-heterogeneous-database age estimation through correlation representation learning. Neurocomputing, 238, 286-295.

– Tindell, K. W., Burns, A., & Wellings, A. J. (1992). Allocating hard real-time tasks: an NP-hard problem made easy. Real-Time Systems, 4(2), 145-1.65.

– Xia, Z., Wang, X., Sun, X., Liu, Q., & Xiong, N. (2016). Steganalysis of LSB matching using differences between nonadjacent pixels. Multimedia Tools and Applications, 75(4), 1947-1962.

– Xu, J., & Bailey, G. (2001). The airport gate assignment problem: mathematical model and a tabu search algorithm. Paper presented at the Proceedings of the 34th annual Hawaii international conference on system sciences.

– Yan, P., Jiao, M.-h., & Yuan, Y. (2019). An Improved PSO Approach to Solve the Flight Gate Assignment Problem. Paper presented at the 2019 Chinese Control and Decision Conference (CCDC).

– Yazdi, M. F., Kamel, S. R., Chabok, S. J. M., & Kheirabadi, M. (2020). Flight delay prediction based on deep learning and Levenberg-Marquart algorithm. Journal of Big Data, 7(1), 1-28.

– Yu, C., Zhang, D., & Lau, H. Y. (2016). MIP-based heuristics for solving robust gate assignment problems. Computers & Industrial Engineering, 93, 171-191.

– Yuan, C., Xia, Z., & Sun, X. (2017). Coverless image steganography based on SIFT and BOF. Journal of Internet Technology, 18(2), 435-442.

– Zhang, D., & Klabjan, D. (2017). Optimization for gate re-assignment. Transportation Research Part B: Methodological, 95, 260-284.

– Zhang, Y., Sun, X., & Wang, B. (2016). Efficient algorithm for k-barrier coverage based on integer linear programming. China Communications, 13(7), 16-23.

مریم فرشچیان یزدی، درجه کارشناسی از مهندسی کامپیوتر- نرم افزار را در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه آزاد واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد را در همان رشته در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات خراسان رضوی اخذ نمود. در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر در دانشگاه آزاد واحد نیشابور است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدل‌سازی، داده کاوی و یادگیری عمیق است و در حال حاضر کارمند دانشگاه آزاد واحد مشهد می‌باشد.

سید رضا کامل طباخ فریضنی، درجه کارشناسی از مهندسی کامپیوتر-نرم افزار را در سال ۱۳۷۸ از دانشگاه آزاد واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد را در رشته مهندسی نرم افزار کامپیوتر در سال ۱۳۸۰ از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب اخذ نمود. در سال ۱۳۹۱ موفق به کسب درجه دکتری مهندسی شبکه و ارتباطات از دانشگاه UPS مالزی گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان اینترنت اشیا، شبکه‌های کامپیوتری، کاربرد الگوریتم‌های زیستی در شبکه، مدیریت امنیت و ریسک در شبکه‌ها و واقعیت توسعه یافته بوده و در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد واحد مشهد است.

سید جواد سید مهدوی چابک، درجه کارشناسی از مهندسی برق-الکترونیک را در سال ۱۳۸۱ از دانشگاه شریف و درجه کارشناسی ارشد را در همان رشته در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه علم و صنعت اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه علم و صنعت گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان یادگیری عمیق، داده کاوی، سیستم‌های توصیه‌گر و طراحی سیستم‌های مطمئن بوده و در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه آزاد واحد مشهد است.

مریم خیرآبادی، درجه کارشناسی از مهندسی کامپیوتر-نرم افزار را در سال ۱۳۸۲ از دانشگاه آزاد واحد مشهد و درجه کارشناسی ارشد را در رشته Business Information System (سیستم اطلاعات تجاری) در سال ۲۰۰۵ از دانشگاه Royal Holloway لندن اخذ نمود. در سال ۲۰۱۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نرم افزار از دانشگاه Kingstone لندن گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مهندسی نرم افزار، رایانش ابری، تجارت الکترونیک و آموزش مجازی بوده و در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد واحد نیشابور است.