

تحلیل ریسک مدیریت درآمد خطوط هوایی در شرایط امکان و عدم امکان

رزرو گروهی

حمید میرزاحسین^{*}، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(د)، قزوین، ایران

شهریار افندی‌زاده، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

نادر احمدی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mirzahosseini@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱ - پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۵

صفحه ۹۷-۱۱۶

چکیده

بلیت هواپیما را می‌توان یک کالای دارای تاریخ انقضا به حساب آورد که مدیریت درآمد حاصل از فروش آن بسیار حائز اهمیت است. با توجه به ماهیت فروش بلیت که بر حسب وجود تقاضا در زمان مشخص، قیمت آن در نوسان است، استفاده از مدل‌های دینامیک مدیریت درآمد جهت فروش آن ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های دینامیک مدیریت درآمد با توجه به پیش‌بینی تقاضا و به منظور حداکثر کردن درآمد ناشی از فروش بلیت، سیاست فروش بهینه را ارائه می‌دهند؛ اما، با توجه به عدم قطعیت پیش‌بینی تقاضا، همواره استفاده از روش‌های مدیریت درآمد دارای ریسک است. در پژوهش پیش رو یک مدل مدیریت درآمد دینامیک پیشنهاد شده است که با در نظر گرفتن سطوح ریسک مختلف این امکان را در اختیار فرد تصمیم‌گیر قرار می‌دهد که سطح ریسک مورد قبول خود را انتخاب نماید. این مدل با در نظر گرفتن رزرو گروهی و بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای، مقادیر نسبت بازده به ریسک را که تحت عنوان نسبت شارپ^۱ شناخته می‌شود برای هر سطح از ریسک محاسبه و سطح ریسک بهینه را پیشنهاد می‌نماید. علاوه بر این، مسئله یک‌بار نیز با فرض مجاز نبودن رزرو گروهی حل شده است تا میزان تأثیر فرض مجاز بودن و یا غیر مجاز بودن رزرو گروهی بر درآمد مورد انتظار و سطح ریسک بهینه را نشان دهد. در این راستا، جداول سیاست فروش برای سطوح ریسک خنثی و ریسک بهینه پیشنهادی ارائه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بلیت هواپیما، رزرو گروهی، مدیریت درآمد، مدل دینامیک، ریسک

۱-مقدمه

ظرفیت هواپیما بر مبنای تقاضاهای مختلف پیش‌بینی شده تقسیم می‌شود (Littlewood, 1972). از این رو هرچه دقت پیش‌بینی تقاضا کمتر باشد، کارایی و عملکرد سیاست کنترل صندلی تعیین شده کمتر خواهد بود؛ به همین دلیل در روش‌های استاتیک پیش‌بینی تقاضا به عنوان اساس فرآیند کنترل صندلی و فروش بلیت بسیار تأکید می‌شود (Chiang et al, 2007). روش‌های استاتیک چند کلاس و روش‌های ابتکاری EMSR-a و EMSR-b اگرچه این امکان را فراهم می‌نمایند که مسئله با بیش از دو کلاس کرایه مورد تحلیل

هدف از مدیریت درآمد حداکثر کردن امید ریاضی درآمد مورد انتظار با فروش بهینه بلیت‌های پرواز است. تاکنون روش‌های مختلفی برای مدیریت درآمد توسعه داده شده است و دسته‌بندی‌های مختلفی برای آن ارائه شده است. یکی از مهمترین این دسته‌بندی‌ها، تقسیم روش‌های مدیریت درآمد کمیت مبنای دو دسته مدل‌های استاتیک و دینامیک است (VanRyzin & McGill, 1999). در روش‌های استاتیک پیش‌بینی تقاضا اهمیت بسیار زیادی دارد. زیرا در این روش تقاضای پیش‌بینی شده قطعی فرض می‌شود و بر اساس آن

قرار گیرد و سرعت محاسبات لازم برای تعیین سیاست کنترل فروش را افزایش می‌دهند، اما سیاست کنترل فروش را بر اساس پیش‌بینی تقاضا و پیش از آغاز فروش تعیین می‌نمایند. بدیهی است که خطای موجود در پیش‌بینی تقاضا تأثیر مستقیم بر سیاست فروش گذاشته و پس از آغاز فروش بلیت قابل اصلاح نخواهد بود. اما روش‌های دینامیک برخلاف روش‌های استاتیک، سیاست کنترل رزرو را در طول زمان بررسی کرده و در مورد پذیرش سهم مشخصی از تقاضا در لحظه ورود و بر اساس وضعیت رزرواسیون تصمیم‌گیری می‌نمایند.

پیش‌بینی تقاضا با میزان دقت بالا، امری دشوار و گاه پرهزینه است. به عبارت دیگر از آنجاکه میزان تقاضا ارتباط مستقیم با رفتار مسافران و تصمیمات آن‌ها دارد و پیش‌بینی این رفتارها علاوه بر اینکه هزینه زیاد و ریسک بالایی که دارد به طور دقیق نیز قابل حصول نیست (Talluri et al, 2009). از این جهت استفاده از روش‌های دینامیک به عنوان جایگزین روش‌های استاتیک مورد اقبال قرار گرفته است. در روش‌های دینامیک معمولاً از تقاضاهای تصادفی و به صورت مارکوفی استفاده می‌شود. در این روش‌ها تصمیم برای پذیرش یا رد یک تقاضا بر اساس شرایط موجود در لحظه ورود تقاضا گرفته می‌شود. شرایط موجود در لحظه ورود تقاضا معمولاً تعداد صندلی‌های فروخته نشده و زمان باقی‌مانده تا پرواز هستند که در برخی موارد در بازارهای رقابتی قیمت بلیت شرکت هواپیمایی رقیب و یا سایر شرایط موجود در هواپیمایی رقیب مانند زمان‌بندی پرواز و میزان فروش شرکت رقیب و ... نیز از عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری و تعیین سیاست کنترل فروش صندلی است (VanRyzin&Talluri, 2004, Chapius, 2008).

بنابراین، پیش‌بینی تقاضا از اهمیت ویژه‌ای در نتیجه فرآیند مدیریت درآمد برخوردار است. این اهمیت از آن جهت است که نتایج حاصل از پیش‌بینی تقاضا به عنوان ورودی سایر مراحل و اجزای ساخت مدل‌های مدیریت درآمد استفاده می‌شود. لذا میزان صحت و دقت پیش‌بینی تقاضا در کیفیت و موفقیت نتایج حاصل از اجرای روش‌های مدیریت درآمد، بسیار تعیین‌کننده است.

از آنجا که پیش‌بینی یک پدیده به دنبال پیش‌گویی یک اتفاق در آینده است، همواره سطوحی از عدم قطعیت را به

همراه خواهد داشت. به عبارت دیگر، هیچ روش پیش‌بینی وجود ندارد که بتواند مدعی پیش‌بینی دقیق و بدون کم و کاست تقاضای آینده شود. از طرف دیگر در نظر گرفتن همه عوامل مؤثر بر تقاضا از جمله عوامل اقتصادی مثل نوسانات بازار، عوامل سیاسی، عوامل فرهنگی اجتماعی، عملکرد شرکت‌های رقیب و بسیاری از عوامل مؤثر دیگر بسیار دشوار و در برخی موارد هزینه‌بر و زمان‌بر است. علاوه بر آن، برخی از عوامل تأثیرگذار نیز کاملاً غیرمترقبه بوده و اساساً قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی نیستند. از این رو امحا یا کاهش عدم قطعیت ناشی از این عوامل غیرممکن یا بسیار دشوار است. بنابراین، چگونگی تعامل با عدم قطعیت موجود در روش‌های مدیریت درآمد همواره یکی از چالش‌های استفاده‌کنندگان این مدل‌ها بوده که در پانزده سال گذشته بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

در زمینه ساختار دینامیک مدیریت درآمد تحقیقات متعددی در ده‌های اخیر صورت گرفته است، اما مطالعات مربوط به اثر سنجی میزان ریسک کمتر در آن‌ها دیده شده است. پژوهش گرچاک، پارلار و یی^۳ در سال ۱۹۸۵ حاوی اولین ساختار دینامیک برای این نوع از مسائل بود. اما با توجه به اینکه این پژوهش به حل مسئله تخفیف دهی بهینه قیمت نان شیرینی فروخته نشده می‌پردازد که یک مسئله کلاسیک و کلی در زمینه مدیریت درآمد است، در مطالعات آتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. (Gerchak&parlar&Yee, 1985).

فنگ و ژیانو^۴ در سال ۱۹۹۹ یک ضریب ریسک را در تحلیل درآمد برای مسائل قیمت‌گذاری معرفی کردند که در آن دو قیمت از پیش تعیین شده وجود داشت و فقط امکان یک تغییر قیمت مجاز بود. یک جریمه به تابع هدف اضافه شده بود تا تغییرات فروش حاصل از تغییرات قیمت را نشان دهد (Feng&Xiao, 1999). در ادامه، لن کستر^۵ در سال ۲۰۰۳ نشان داد که مدل‌های مدیریت درآمد ریسک خنثی در برابر نواقص پیش‌بینی تقاضا بسیار آسیب‌پذیرند (Lancaster, 2003). بارز^۶ در سال ۲۰۰۶ یک معادله بهینه برای کنترل صندلی موجود با تقاضای استاتیک نوشت. در آن مطالعه او یک سطح ریسک‌گریزی ثابت را در نظر گرفت و

تأثیر تغییرات سطوح ریسک گریزی را در رابطه با کنترل صندلی موجود شبیه سازی نمود (Barz,2006). بارز و والدمن^۷ در سال ۲۰۰۷ هر دو مدل کنترل صندلی استاتیک و دینامیک ریسک خشی را گسترش داده و آن را به صورت تابع نمایشی سود در نظر گرفتند و نتایج ساختار به دست آمده را مشابه مدل‌های ریسک خشی ارائه کردند (Barz&Waldmann,2007). کونینگ و میسنر^۸ در سال ۲۰۰۹ از مدل تصمیم‌گیری مارکوفی در مدل کنترل ظرفیت دینامیک استفاده کردند و سیاست‌های بهینه برای اهداف درآمدی را محاسبه نمودند (Koenig&Meissner,2009). کونینگ و میسنر در سال ۲۰۱۰ یک روش محاسباتی برای یافتن سیاست بهینه با استفاده از مفهوم ارزش- در- ریسک^۹ ارائه نمودند. آن‌ها از یک مدل کنترل ظرفیت دینامیک مدیریت درآمد کمیت مینا استفاده کردند (Koenig&meissner,2010). هوانگ و چانگ^{۱۰} در سال ۲۰۰۹ استفاده کردن از ضریبی برای آزاد کردن شرایط بهینگی را پیشنهاد نمودند. آن‌ها از آزمایش‌های شبیه‌سازی کامپیوتری در تحقیق خود استفاده و نتایج را تفسیر کردند. در آن تحقیق از نسبت شارپ برای طبقه بندی کردن نتایج استفاده شده است (Huang&Chang,2011). گونش و هاسلر^{۱۱} در سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش ابداعی خود به نام ارزش- در- ریسک مشروط توانستند نتایج بهتری نسبت به روش‌های پیشین معرفی شده در این راستا، به دست آورند (Gonsch&Hassler,2014).

فرض مجاز نبودن رزرو گروهی بیان می‌کند که هر تقاضا حداکثر یک صندلی رزرو می‌کند. در صورت آزاد شدن این فرض، تقاضا می‌تواند به شکل گروهی باشد. رزرو گروهی صندلی‌های هواپیما، انعطاف‌پذیری در تخصیص بهینه صندلی به تقاضای کلاس‌های کرایه مختلف را کم می‌کند. از این رو می‌تواند باعث بیشتر شدن ریسک و همچنین کاهش درآمد مورد انتظار شود.

با توجه به مطالعات بررسی شده، فرضیات ساده کننده نسبتاً زیادی در روش‌ها و مدل‌های مختلف مدیریت درآمد در نظر گرفته می‌شود. فرضیات، روش‌ها و مدل‌های مختلف مدیریت درآمد دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر هستند. بسیاری

از این فرضیات با آنچه در دنیای واقعی با آن روبرو هستیم، متفاوت می‌باشند. برای مثال، فرضیات متعددی برای چگونگی ورود و پذیرش تقاضا در روش‌های استاتیک در نظر گرفته می‌شود که به طور واضح متفاوت با چیزی است که در واقعیت رخ می‌دهد. اگر چه هر یک از این فرض‌ها توجیه منطقی و مناسبی دارند، اما بدون شک آزاد سازی این فرضیات به دقیق‌تر شدن مدل‌ها کمک زیادی خواهد کرد. در روش‌های دینامیک برخی از فرضیات اساسی روش‌های استاتیک آزاد شده است؛ البته روش‌های دینامیک نیاز به جزئیات و اطلاعات بیشتری از چگونگی ورود تقاضا نسبت به مدل‌های استاتیک دارند. با این وجود آزاد سازی هر یک از فرضیات در مدل‌های مدیریت درآمد همواره مورد توجه محققان بوده است.

در این راستا، در تحقیقاتی که در کشور ایران انجام شده است، معمولاً تلاش برای انجام مطالعات موردی و مقایسه نتایج به دست آمده از فروش بر اساس مدیریت درآمد و فروش به شیوه سنتی مشاهده می‌شود. پژوهش پور سید آقایی و همکاران در سال ۱۳۸۸ که نتایج فروش بلیت یک مسیر قطار بر اساس دو روش استاتیک چند کلاسه و روش EMSR-b را مورد بررسی قرار داده است از این دسته از تحقیقات به حساب می‌آید (پورسیدآقایی و خدمت‌لو و آزرمی، ۱۳۸۸). با توجه به مطالب بیان شده در این بخش، می‌توان بیان کرد که کنترل ریسک در استفاده از روش‌های مدیریت درآمد به عنوان یک راه حل مؤثر برای مواجهه با عدم قطعیت موجود در روش‌های مدیریت درآمد مورد نظر است. اهمیت این امر از آن جهت است که در نظر گرفتن روش‌هایی برای ریسک‌گریزی در مدل‌های مدیریت درآمد باعث می‌شود که مدیران و تصمیم‌گیران بتوانند با اعتماد بیشتری نسبت به مدل‌های مدیریت درآمد، از آن‌ها استفاده نمایند. با توجه به این که مطالعات در این زمینه از قدمت نسبتاً کمی برخوردار است، تلاش در جهت تکامل این تحقیقات مفید به نظر می‌رسد. از این رو در تحقیق حاضر

تلاش شده است با استفاده از مدل‌های ارائه شده در مطالعات گذشته به شکل نوآورانه و ترکیب و توسعه این مدل‌ها در جهت بهبود کارایی و کاربردی‌تر شدن روش‌های مدیریت درآمد گام برداشته شود.

۳- روش تحقیق

در این پژوهش در ابتدا امکان رزرو گروهی مجاز فرض شده است و تلاش شده است تا تأثیر آزاد شدن این فرض بر درآمد و ریسک فروش بلیت بررسی شود. برای این منظور از پژوهش لی و هرش^{۱۲} در سال ۱۹۹۳ که به عنوان مبنایی در این‌گونه از مدل‌سازی‌ها مورد توجه محققین بوده است استفاده شده است. آن‌ها یک مدل برنامه ریزی دینامیک با زمان گسسته را در نظر گرفتند که در آن تقاضا به صورت یک فرآیند پواسون غیر همگن مدل شده است. لی و هرش مدل خود را برای آزاد کردن فرض مجاز نبودن رزرو گروهی بسط دادند. از آنجاکه این مطالعه به عنوان پایه سایر مدل‌ها مطرح است، در ادامه مدل و شرایط پیاده سازی آن شرح داده شده است. مدل برنامه ریزی دینامیک با زمان گسسته، مدلی است که در حل مسئله، زمان را به صورت گسسته در نظر می‌گیرد به این معنی که زمان کل فروش بلیت به صورت بازه‌های زمانی کوچک‌تر در نظر گرفته می‌شود و ورود تقاضا برای هر کلاس کرایه و تصمیم‌گیری در مورد فروش یا حفظ صندلی در هر بازه زمانی تعیین می‌گردد که نهایتاً تصمیم‌های اتخاذ شده منجر به تعیین سیاست کنترل فروش می‌شوند. زمان فروش بلیت از آغاز بلیت فروشی تا زمان پرواز در نظر گرفته می‌شود که به دوره‌های زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شود.

وقتی یک تقاضا برای خرید بلیت وارد می‌شود، یک تصمیم در مورد پذیرش یا رد درخواست وارده باید گرفته شود. این تقاضا ممکن است برای یک صندلی یا بیشتر باشد. ارزش پذیرفتن یک تقاضا در یک کلاس کرایه برابر F_i است. در این پژوهش کلاس‌های قیمت به صورت $F_1 > F_2 > \dots > F_k$ نام‌گذاری شده است که در آن k تعداد کلاس‌های قیمت است. فرض می‌شود که تقاضا برای

کلاس‌های قیمت مختلف از هم مستقل هستند و تقاضایی که رد شود یک تقاضای از دست رفته تلقی می‌شود. اگر مدت زمان رزرو را به N دوره زمانی رزرو تقسیم شود، p_i^n احتمال ورود تقاضا برای کلاس کرایه i ام در دوره زمانی m خواهد بود که $i=1,2,\dots,k$ دوره زمانی $n=1$ آخرین دوره زمانی قبل از پرواز بوده و $n=N$ اولین دوره زمانی است.

در زمان حرکت پرواز ($n=0$) و درآمد مورد انتظار به طور طبیعی برابر صفر است.

(Lee&Hersh, 1993, Belobaba, 1987).

۳-۱- رزرو کلاس‌های کرایه در شرایط امکان رزرو

گروهی

در این قسمت شرایطی بررسی می‌شود که در آن هر تقاضا ممکن است برای بیشتر از یک صندلی درخواست کند. G_{im}^n احتمال این‌که یک تقاضا در دوره زمانی n برای m صندلی از کلاس کرایه i درخواست داشته باشد را نشان می‌دهد که $M_i, m=1,2,\dots, M_i$ حداکثر تعداد صندلی مجاز برای رزرو توسط یک تقاضا است. در این شرایط، فرض خواهد شد که تقاضا برای m صندلی یکجا پذیرفته یا رد شود.

با فرض مجاز بودن رزرو گروهی، درخواست برای چند صندلی در گران‌ترین کلاس کرایه همواره پذیرفته نمی‌شود حتی اگر صندلی خالی به تعداد کافی موجود باشد. برای مثال اگر احتمال ورود تقاضا برای رزرو گروهی با مقادیر بزرگ m در دوره‌های زمانی پایانی رزرو زیاد باشد، ممکن است تقاضا برای رزرو m های کوچک‌تر که در دوره‌های زمانی قبل از آن وارد می‌شوند، رد شود.

حتی اگر آن تقاضا برای کلاس کرایه بالاتر باشد. اگر یک تقاضا برای m صندلی برای کلاس کرایه i در دوره زمانی n با S صندلی خالی پذیرفته شود، درآمد مورد انتظار بهینه کل از $mF_i + f_{S-m}^{n-1}$ به دست می‌آید در حالی که اگر تقاضا رد شود درآمد مورد انتظار بهینه کل برابر f_S^{n-1} خواهد بود. در نتیجه تقاضا برای m صندلی برای کلاس

کرایه i در دوره زمانی n با s ظرفیت صندلی خالی در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۱) برقرار باشد.

$$mF_i + f_{s-m}^{n-1} \geq f_s^{n-1} \quad (1)$$

تابع f_s^n برای فرض مجاز بودن رزرو گروهی به صورت (۲) خواهد بود:

$$f_s^n = \begin{cases} p_0^n f_s^{n-1} + \sum_{i=1}^k p_i^n \sum_{m=1}^{M_i} G_{im}^n \max(mF_i + f_{s-m}^{n-1}, f_s^{n-1}) & s > 0, n > 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

در حالی که در رابطه (۲) مقدار p_0^n از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$p_0^n = 1 - \sum_{i=1}^k p_i^n \quad (3)$$

تابع $\delta_m(n, s)$ بیانگر ارزش حاشیه‌ای یک صندلی برای کاهش m صندلی هم‌زمان از ظرفیت s در دوره زمانی n است و به صورت (۴) نوشته می‌شود:

$$\delta_m(n, s) = \frac{1}{m} (f_s^n - f_{s-m}^n), s = 1, 2, \dots \quad (4)$$

تقاضا برای m صندلی در دوره زمانی n در صورتی پذیرفته می‌شود که مقدار ارزش حاشیه‌ای از قیمت کلاس کرایه مورد تقاضا کوچک‌تر باشد. ($\delta_m(n, s) \leq F_i$)

هزینه فرصت نگه داشتن s صندلی از دوره زمانی n تا دوره زمانی $n-1$ را می‌توان بر حسب ارزش حاشیه‌ای به صورت (۵) بیان کرد:

$$f_s^n - f_s^{n-1} = \sum_{i=1}^k p_i^n \sum_{m=1}^{M_i} G_{im}^n \max(mF_i - m\delta_m(n-1, s), 0) \quad (5)$$

به مرحله اول یعنی پیش‌بینی تقاضا وابسته است و میزان دقت در پیش‌بینی تقاضا همواره یکی از چالش‌های اصلی بوده است. در صورتی که پیش‌بینی تقاضا از دقت و صحت کافی برخوردار نباشد، نتایج استفاده از آن‌ها بسیار زیان‌بار خواهد بود و نتیجه عکس خواهد داد (Bartke et al, 2012). در پیش‌بینی تقاضا مواردی مانند سطح تقاضا، ترکیب کلاس مسافران و توزیع تقاضا در زمان رزرو می‌تواند دچار خطا شود. تغییرات فصلی تقاضا، تغییرات عوامل بیرونی از قبیل عوامل اقتصادی، اجتماعی و ... و بسیاری از عوامل دیگر می‌توانند باعث به وجود آمدن خطا در پیش‌بینی تقاضا شوند. از این‌رو بررسی راهی برای اجتناب از ریسک در استفاده از مدل‌های مدیریت درآمد ضروری به نظر می‌رسد (Koenig&meissner, 2010). برای کاهش دادن و کنترل کردن ریسک باید تغییراتی در مدل به وجود آورد. به این منظور، برای تعیین سیاست کنترل بهینه تغییراتی در تصمیم‌گیری‌های پذیرش یا رد لازم است. برای پوشش این مبحث، یک ضریب r در رابطه (۱) وارد می‌شود. اکنون

رفتار مدل زمانی که رزرو گروهی مجاز باشد پیچیده‌تر است. دلیل پیچیدگی به خاطر طبیعت ترکیبی مدل در حالی که ظرفیت خالی باقیمانده نسبت به اندازه تقاضا کوچک‌تر شود است. در حالت کلی برای مقادیر ثابت m و n تابع $\delta_m(n, s)$ الزاماً غیر افزایشی نیست. این نکته نشان دهنده آن است که ممکن است حد کنترلی یکتایی برای m و n ثابت وجود نداشته باشد. اما همان‌طور که در مطالعات لی و هرش و همچنین هوانگ و چانگ آمده است، ثابت می‌شود که $\delta_m(n, s)$ هنوز در n برای s و m ثابت، غیر کاهشی است. پس یک دستگاه دوره زمانی حدی برای کنترل هر کلاس کرایه و هر اندازه تقاضا قابل استفاده است (Huang&Chang, 2011, Lee&Hersh, 1993).

۳-۲- بررسی کنترل ریسک

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هدف مدل‌های مدیریت درآمد تعیین سیاست کنترل بهینه به منظور رسیدن به درآمد حداکثر در هر پرواز است. سیاست کنترل بهینه تا حد زیادی

تقاضای وارد شده در صورتی پذیرفته خواهد شد که رابطه (۶) برقرار باشد:

(۶)

$$F_i \geq r \cdot \delta_s^{n-1}$$

ضریب r را ضریب سازگاری^{۱۳} نامیده می‌شود. تعیین مقدار این روش بر عهده کاربر یا فرد تصمیم گیر است. برای یک تصمیم گیر ریسک گریز دریافت تقاضای فعلی با نرخ کم ولی مقدار زیاد بهتر از منتظر شدن برای تقاضای نامطمئن با نرخ بالاتر در آینده است. اگر $r=1$ باشد هیچ تغییری در سیاست کنترلی ایجاد نمی‌شود. اگر $r < 1$ باشد، باعث تخفیف ارزش حاشیه‌ای صندلی شده و آنگاه در پذیرش تقاضا برای کلاس‌های کرایه پایین‌تر سخت‌گیری کمتری می‌شود و اجازه داده می‌شود که در ازای کاهش درآمد، ضریب سرنشین^{۱۴} افزایش یابد و به این ترتیب ریسک کاهش خواهد یافت. چنانچه $r > 1$ باشد، باعث مبالغه در ارزش حاشیه‌ای^{۱۵} هر صندلی شده و برای پذیرش کلاس‌های کرایه ارزان‌تر سخت‌گیری بیشتری وجود خواهد داشت و امکان دارد که ضریب سرنشین کاهش یافته و حتی باعث کاهش درآمد شود. چگونگی رابطه مقدار r و درآمد بهینه و میزان ریسک در قسمت‌های پیش رو بررسی خواهد شد (Huang&Chang,2011).

۴- تحلیل عددی

در این بخش مدل پیشنهادی این مطالعه مورد حل عددی قرار گرفته است و برای بررسی صحت و راستی آزمایشی نتایج آن از شبکه مسئله لی و هرش که صورت بندی جامعی از مسئله پیش رو داشته‌اند و مطالعات آنان به عنوان مبنای مدل‌های مدیریت درآمد در این حوزه شناخته می‌شود، استفاده شده است. همان‌طور که در بخش دوم ذکر آن رفت، شبکه پیشنهادی مسئله ذکر شده به صورت گسترده‌ای در سایر مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است و پژوهشگران با استفاده از این شبکه نمونه، نوآوری‌های پژوهش‌های خود را مورد بررسی و مقایسه قرار داده‌اند. از جمله این پژوهشگران بارز در سال ۲۰۰۶، بارز و والدمن در سال ۲۰۰۷، هوانگ و چانگ در سال ۲۰۰۹، کونینگ و میسینر در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ و گونش و هاسلر در سال ۲۰۱۴ می‌باشند که در مرور ادبیات پژوهش حاضر به آن‌ها اشاره شده است. خروجی و نتایج این تحلیل، شامل ماتریس سیاست کنترل بهینه فروش بلیت، نمودارهای مربوط به ارزش حاشیه‌ای، درآمد بهینه مورد انتظار و نتایج مربوط به تغییر مقدار ضریب سازگاری است که در ادامه به آن پرداخته شده است. جدول قیمت بلیت‌ها به تفکیک هر کلاس کرایه در جدول (۱) ارائه شده است. باید توجه شود که همان‌طور که قبلاً اشاره شد رابطه $F_1 > F_2 > \dots > F_k$ باید برقرار باشد که در این مثال $k=4$ است. همچنین تقاضا برای هر کلاس کرایه مستقل فرض شده و احتمال ورود تقاضا در هر دوره زمانی به تفکیک در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. قیمت بلیت برای کلاس‌های کرایه (Lee&Hersh,199)

کلاس	۱	۲	۳	۴
کرایه	\$۲۰۰	\$۱۵۰	\$۱۲۰	\$۸۰

جدول ۲. احتمالات ورود تقاضا به تفکیک دوره زمانی (Lee&Hersh,199)

تقاضای احتمالی	دوره‌های زمانی				
	۱:۴	۵:۱۱	۱۲:۱۸	۱۹:۲۵	۲۶:۳۰
p_1^n	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۸
p_2^n	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۸
p_3^n	۰	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۴
p_4^n	۰	۰/۱۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۴

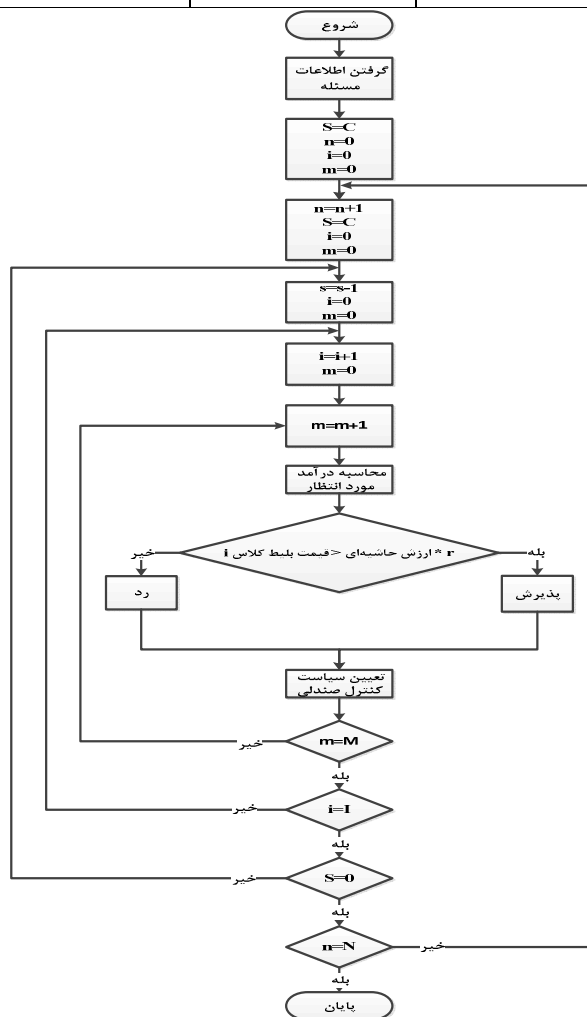
تعداد صندلی مجاز برای رزرو در هر تقاضا دو صندلی باشد. احتمال اینکه هر تقاضا برای هر کلاس کرایه چه تعداد صندلی درخواست نماید در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین در این مثال ظرفیت هواپیما برابر ۱۰ صندلی در نظر گرفته شده است.

(Huang&Chang,2011, Lee&Hersh,1993).

همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است، تعداد دوره‌های زمانی تصمیم رزرو برابر ۳۰ دوره و تعداد فواصل داده برابر ۵ فاصله در نظر گرفته شده است که فاصله اول شامل ۴ دوره زمانی امکان تصمیم‌گیری، فاصله دوم، سوم و چهارم هرکدام شامل ۷ دوره تصمیم و فاصله پنجم شامل ۵ دوره تصمیم است. در این مثال فرض شده است که حداکثر

جدول ۳. احتمال ورود تقاضا برای درخواست با اندازه‌های مختلف (Lee&Hersh,199)

اندازه تقاضا	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵
۲	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۵



شکل ۱. الگوریتم محاسبه درآمد مورد انتظار و تعیین سیاست کنترل

رابطه (۲) درآمد مورد انتظار برای هر حالت را محاسبه کرده و سیاست کنترل فروش را تعیین می‌نماید.

حداکثر درآمد مورد انتظار محاسبه شده بهینه برابر ۱۵۸۶ دلار به دست آمده است. جداول مربوط به سیاست کنترل بهینه در غالب دو جدول برای حالت‌های رزرو تک صندلی ($m=1$) و رزرو دو صندلی هم‌زمان ($m=2$) در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است. مطابق جداول سیاست فروش بر اساس زمان باقیمانده تا پرواز و ظرفیت باقیمانده، مجاز بودن فروش بلیت در کلاس‌های مختلف کرایه تعیین شده است. در این جداول رنگ‌های هر خانه از جدول نشان دهنده کلاس کرایه‌ای هستند که فروش بلیت در آن کلاس یا کلاس‌های بالاتر مجاز است.

در مرحله اول از الگوریتم ارائه شده، اطلاعات و داده‌های صورت مسئله به برنامه داده می‌شود. اطلاعات مسئله شامل تعداد دوره‌های زمانی N ، ظرفیت هواپیما C ، احتمالات تقاضا p_i^n که در جدول (۲) آمده است، حداکثر تعداد رزرو در یک تقاضا M ، مقادیر G_{im}^n که در جدول (۳) ارائه شده است، تعداد کلاس‌های کرایه و قیمت‌های کلاس‌های کرایه که در جدول (۱) نمایش داده شده است و مقدار ضریب سازگاری که در حالت ریسک خنثی $r=1$ است. در مرحله دوم برای تمامی حالات و مقادیر مختلف n, m, s و i مقدار ارزش حاشیه‌ای را با قیمت بلیت طبق رابطه (۶) مقایسه می‌نماید. در مرحله سوم بر اساس

جدول ۴. جدول سیاست کنترل بهینه برای $m=1$

n																														ظرفیت		
30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	باقیمانده		
																															s=10	
																																s=9
																																s=8
																																s=7
																																s=6
																																s=5
																																s=4
																																s=3
																																s=2
																																s=1

جدول ۵. جدول سیاست کنترل بهینه برای $m=2$

n																														ظرفیت			
30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	باقیمانده			
																																s=10	
																																	s=9
																																	s=8
																																	s=7
																																	s=6
																																	s=5
																																	s=4
																																	s=3
																																	s=2
																																	s=1

کلاس کرایه ۴	کلاس کرایه ۳	کلاس کرایه ۲	کلاس کرایه ۱
--------------	--------------	--------------	--------------

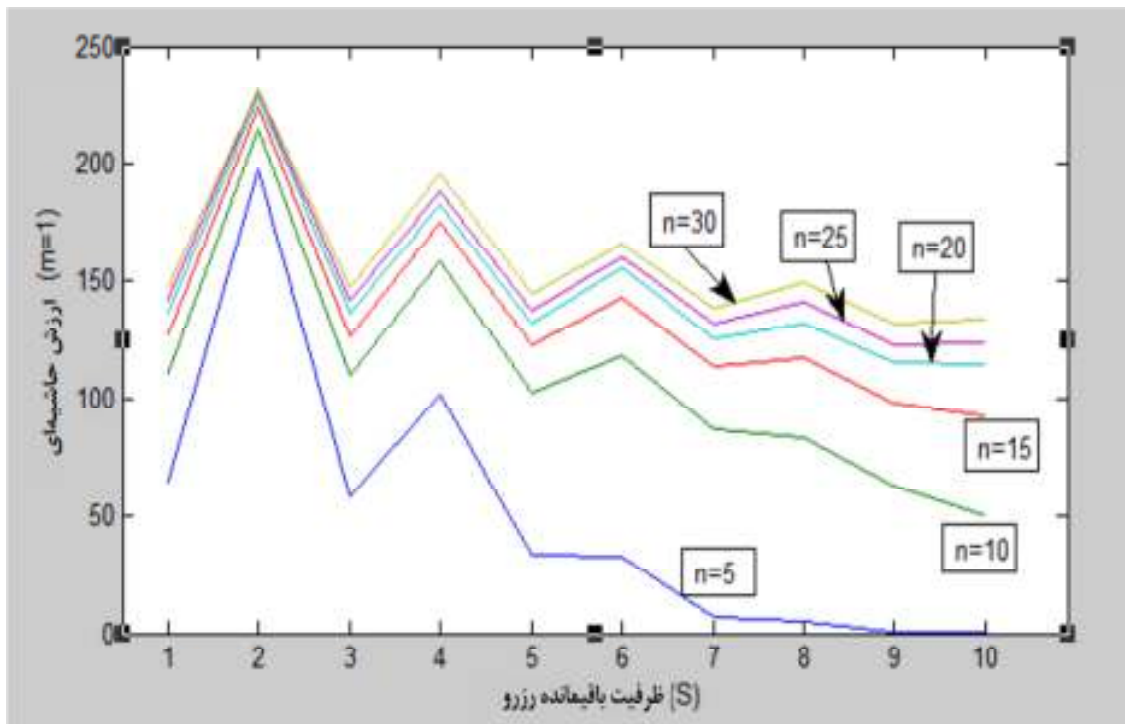
۴-۱- ارایه نتایج برای حالت ریسک خنثی

در ادامه نتایج حاصل از حل مسئله در حالت ریسک خنثی^{۱۶} ($r=1$) که در این پژوهش بررسی شده است، ارایه می‌گردد. این نتایج مربوط به حل بهینه بدون ریسک گریزی^{۱۷} خواهد بود. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است روند برنامه محاسبه درآمد مورد انتظار و تعیین سیاست کنترل بهینه به شکل یک الگوریتم تکراری حل است. هر خانه از جداول (۴) و (۵) نشان دهنده یک وضعیت از نظر تعداد صندلی‌های باقیمانده و زمان باقی‌مانده تا پرواز است. رنگ هر خانه از جدول مطابق راهنمایی که در پائین جداول آمده است، یک کلاس کرایه را نشان می‌دهد که پذیرفتن تقاضا برای آن کلاس و کلاس‌های گران‌تر از آن مجاز است. به طور کلی اگر تعداد صندلی‌های باقی‌مانده کم

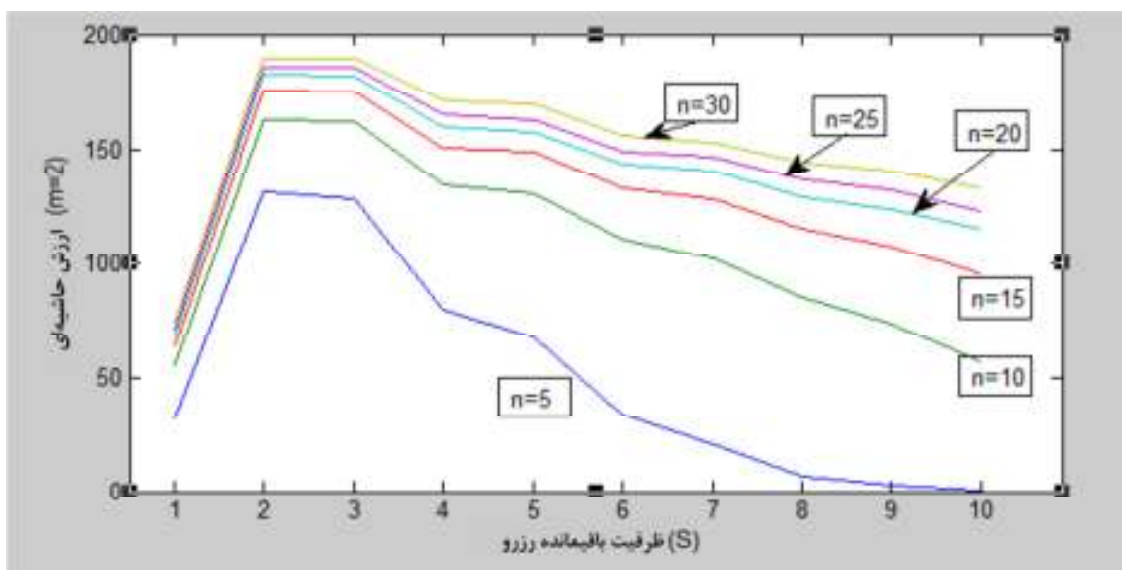
باشد یا زمان زیادی تا پرواز باقی مانده باشد، خط هوایی باید صندلی‌ها را برای تقاضای گران‌تر نگه دارد که این موضوع

عملاً نحوه قرار گیری رنگ‌های تیره در گوشه‌ی سمت چپ پایین جدول را توضیح می‌دهد. از طرف دیگر اگر تعداد صندلی‌های باقی‌مانده زیاد باشد و یا زمان کمی تا پرواز باقی مانده باشد خط هوایی باید سعی کند بیشترین فروش را داشته باشد و از کم شدن ضریب سرنشین جلوگیری نماید که این موضوع مطابق گوشه‌ی بالای سمت راست جدول است.

شکل (۲) منحنی مقادیر ارزش حاشیه‌ای برای تقاضای یک صندلی ($\delta_1(n, s)$) برای مقادیر ثابت $n=5, n=10, n=15, n=20, n=25, n=30$ ارائه می‌دهد.



شکل ۲. ارزش حاشیه‌ای برای رزرو گروهی $m=2$ با n ثابت

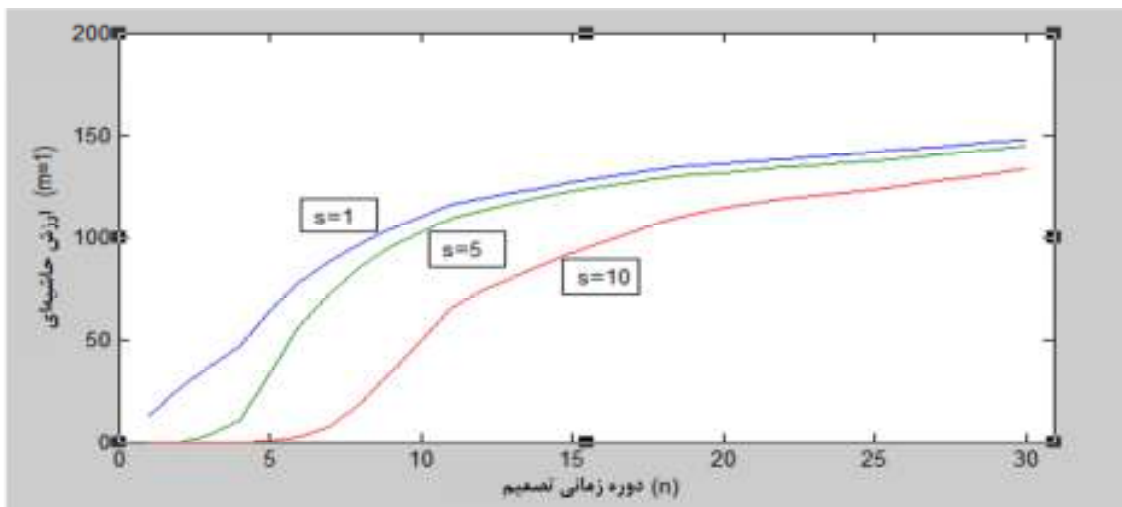


شکل ۳. ارزش حاشیه‌ای برای رزرو گروهی $m=2$ با n ثابت

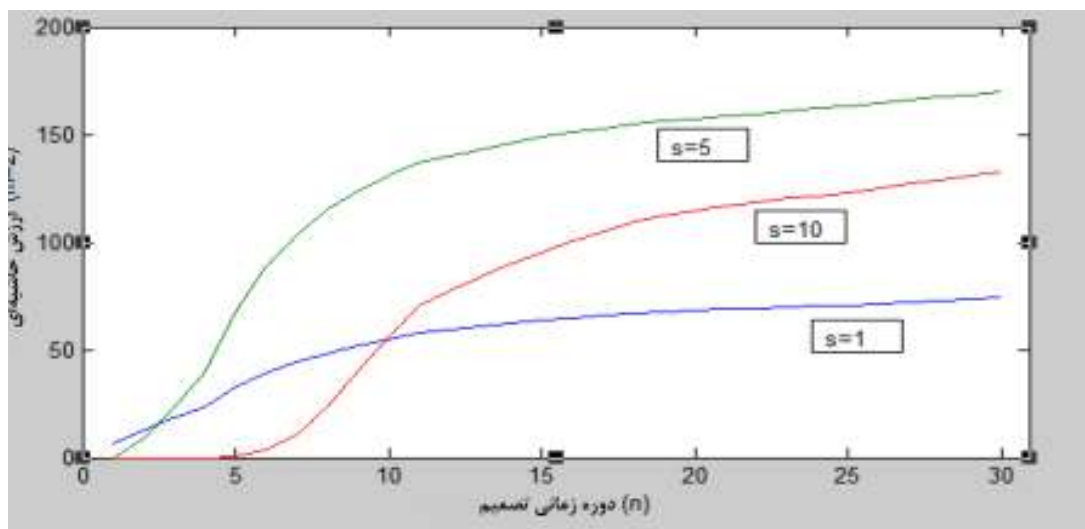
تک صندلی مقدار بیشتری دارد زیرا اگر یکی از دو صندلی باقی‌مانده بفروش برسد، احتمال خالی ماندن صندلی دیگر بیشتر خواهد شد که باعث کاهش درآمد می‌شود که این موضوع در مطالعات ریزین و تالور نیز مورد توجه قرار گرفته است (VanRyzin&Talluri,2004).

شکل (۴) ارزش حاشیه‌ای برای رزرو یک صندلی و شکل (۵) ارزش حاشیه‌ای برای رزرو دو صندلی برای مقادیر ثابت نگه داشته شده $s=1$ ، $s=5$ و $s=10$ را نشان می‌دهد.

شکل (۳) منحنی مقادیر ارزش حاشیه‌ای برای تقاضای دو صندلی ($\delta_2(n, s)$) برای مقادیر ثابت $n=5$ ، $n=10$ ، $n=15$ ، $n=20$ ، $n=25$ و $n=30$ ارائه می‌دهد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، تابع $\delta_m(n, s)$ برای مقادیر ثابت m و n الزاماً غیر افزایشی نیست. در شکل‌های (۲) و (۳) این مطلب کاملاً مشهود است. یکنوا نبودن این شکل‌ها باعث می‌شود که استفاده از آنها به عنوان معیاری برای کنترل رزرو ممکن نباشد این موضوع در نقطه‌ای که ظرفیت باقی‌مانده برابر دو صندلی است، به طور طبیعی ارزش حاشیه‌ای برای تقاضاهای



شکل ۴. ارزش حاشیه‌ای برای رزرو گروهی $m=1$ با s ثابت



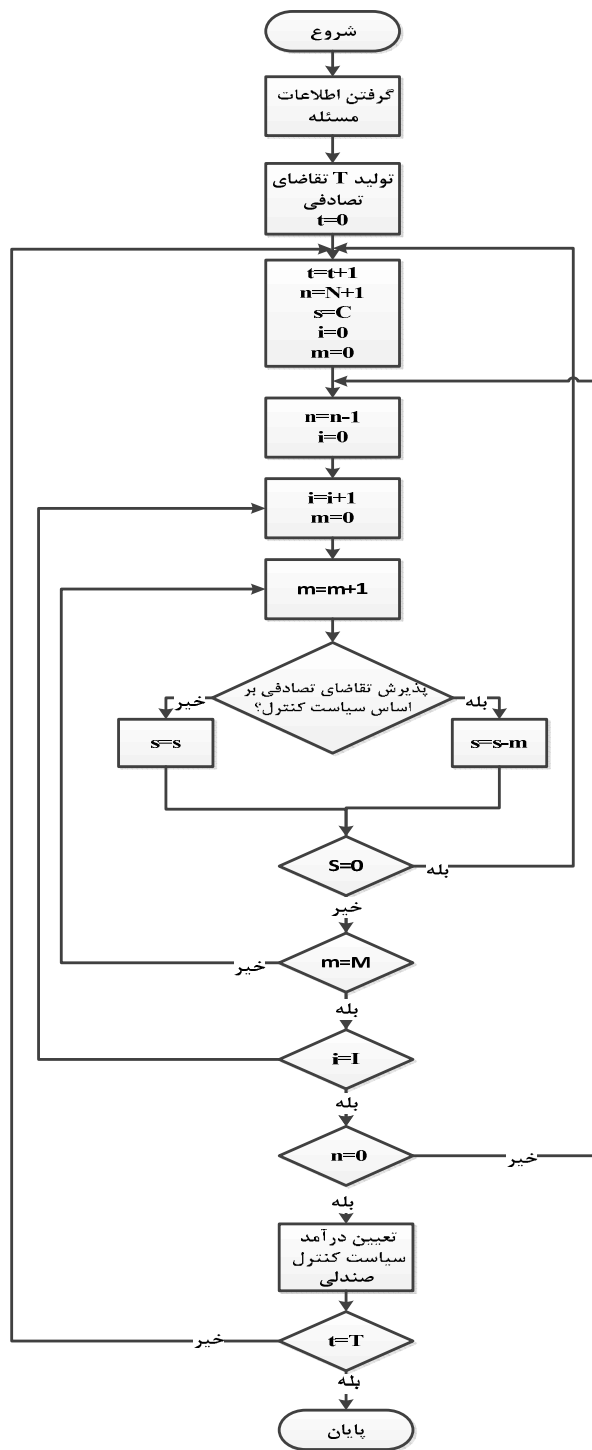
شکل ۵. ارزش حاشیه‌ای برای رزرو گروهی $m=2$ با s ثابت

کافی آزمایش انجام شود و نتایج حاصل از آزمایش‌ها برای تحلیل تأثیر مقدار ضریب سازگاری استفاده گردد. آزمایش شبیه سازی باید با شرایط مسئله مطابقت داشته باشد. احتمال ورود تقاضا در آزمایش‌ها باید با احتمالات تقاضا در صورت مسئله یکسان باشد. همچنین باید عملکرد شبیه ساز در پذیرش یا رد تقاضای وارد شده طبق مدل تعریف شود زیرا در غیر این صورت نمی‌توان نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها را برای تحلیل و نتیجه‌گیری مناسب دانست. شکل (۶) الگوریتم مربوط به روند طراحی آزمایش‌های شبیه سازی را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در مطالعات بررسی شده (Huang&Chang,2011) تعداد $T=20000$ تکرار آزمایش در نظر گرفته شده است؛ برای تحلیل مناسب، نتایج حاصل از ۲۰۰۰۰ آزمایش انجام شده بر روی مدل پیشنهادی این پژوهش، توسط کد نوشته شده در نرم افزار متلب پیاده سازی شده و در جدول (۶) ارائه گردیده است. در مرحله اول اطلاعات و داده‌های مسئله توسط برنامه دریافت می‌شود. همه اطلاعاتی که برای محاسبه درآمد مورد انتظار دریافت شد، در اینجا نیز مورد نیاز خواهد بود. علاوه بر آن مقدار T که تعداد آزمایش‌های شبیه سازی است نیز به برنامه داده می‌شود.

همان‌طور که در بخش ۳-۱ بیان شد، $\delta_m(n, s)$ هنوز در n برای s و m ثابت، غیر کاهشی است. در نمودارهای اخیر این مسئله به خوبی مشهود است. طبق مطالعات لیبی و هرش، وجود یکنوایی می‌تواند به عنوان معیاری برای کنترل رزرو استفاده شود (Lee&Hersh,1993). همچنین، ارزش حاشیه‌ای آخرین صندلی باقی‌مانده به صورت قابل توجهی کمتر است زیرا بخشی از تقاضا برای خرید دو بلیت درخواست می‌دهند که با توجه به این‌که فقط یک صندلی باقی‌مانده است، باید رد شوند. در این صورت احتمال فروخته شدن آن صندلی کمتر بوده و در نتیجه ارزش حاشیه‌ای آن نیز کمتر خواهد بود. نتایج به دست آمده در حالت ریسک خنثی قابل مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در این حوزه است که این فرض را در نظر نگرفته‌اند. در این پژوهش جهت کوتاه سازی تنها نتایج تحلیل ناشی از آزاد سازی این فرض ارائه شده است.

۴-۲-ارایه نتایج برای مقادیر مختلف ضریب سازگاری

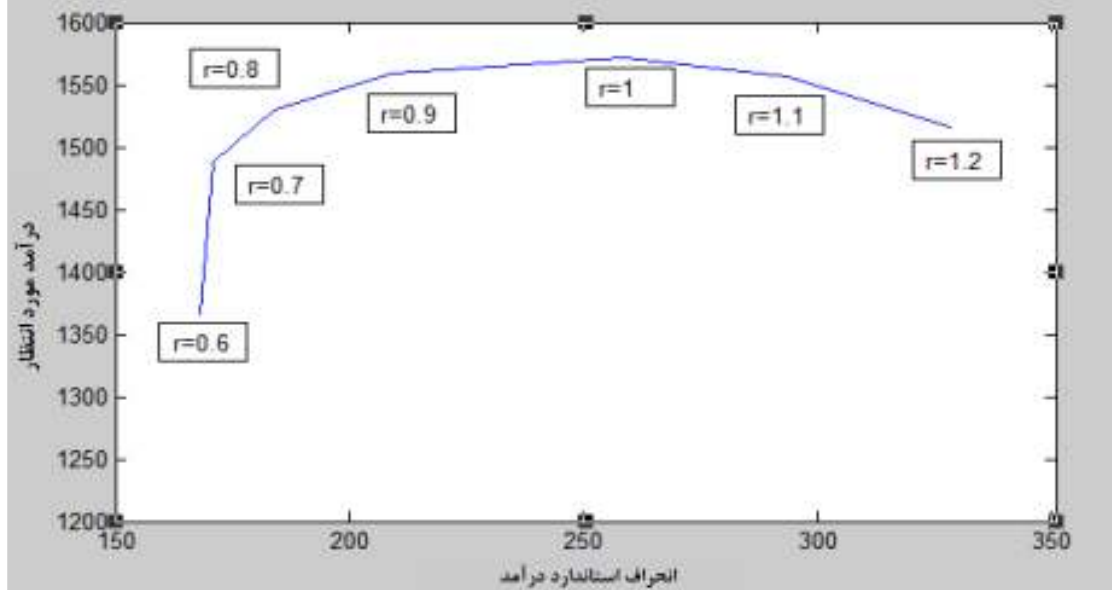
برای بررسی تأثیر مقدار ضریب سازگاری بر درآمد بهینه باید یک آزمایش شبیه سازی طراحی شود و به تعداد



شکل ۶. الگوریتم آزمایش‌های شبیه‌سازی

جدول ۶. نتایج آزمایش شبیه سازی

سیاست بهینه	R=۱/۲	R=۱/۱	R=۰/۹	R=۰/۸	R=۰/۷	R=۰/۶	FCFS
مقدار تئوری به دست آمده از مدل مسئله دینامیک	۱۵۸۶	۱۵۴۱/۴	۱۵۷۵/۶	۱۵۶۵/۴	۱۵۳۳	۱۴۹۱/۱	۱۲۹۱/۳
نسبت درآمد شبیه سازی به درآمد بهینه	.....	۹۷/۲	۹۹/۳	۹۸/۷	۹۶/۷	۹۴	۸۱/۴
مقدار متوسط درآمد به دست آمده از شبیه سازی	۱۵۷۱/۱	۱۵۱۶/۳	۱۵۵۵/۷	۱۵۵۸/۴	۱۵۳۰/۵	۱۴۸۸/۷	۱۳۶۵
انحراف استاندارد به دست آمده از شبیه سازی	۲۵۸/۵	۳۲۸/۳	۲۹۳/۵	۲۰۹/۲	۱۸۴/۱	۱۷۰/۸	۱۶۸/۱
انحراف استاندارد نسبت به سیاست بهینه	.....	۱۲۷	۱۱۳/۵	۸۰/۹	۷۱/۲	۶۶/۱	۶۵



شکل ۷. درآمد مورد انتظار و انحراف استاندارد برای سیاست‌های مختلف

به اتمام برسد و یا دوره‌های زمانی پایان یابند، آزمایش تمام می‌شود. در مرحله چهارم، درآمد به دست آمده از فروش برای هر آزمایش شبیه سازی مشخص می‌شود. همچنین مواردی مانند ضریب سرنشین، بلیت‌های فروخته شده به تفکیک کلاس کرایه و انحراف استاندارد درآمدهای آزمایش‌ها قابل محاسبه و ثبت هستند.

برای همی سیاست‌ها مقدار میانگین درآمد در شبیه‌سازی به مقدار مورد انتظار تئوریک در مدل دینامیک بسیار نزدیک است و انحراف استاندارد از آزمایش شبیه‌سازی

در مرحله دوم تقاضای تصادفی تولید می‌شود. این تقاضای تصادفی بر اساس مقادیر احتمالات ورود تقاضا که در جدول (۲) داده شده است، تولید می‌گردد. در این صورت احتمالات ورود تقاضا در تقاضای تصادفی تولید شده دقیقاً معادل مقادیر جدول (۲) است.

در مرحله سوم برای هر آزمایش، از دوره زمانی آغازین تقاضاهای تصادفی وارد شده و بر اساس سیاست کنترلی که قبلاً تعیین شده و به صورت جداول سیاست کنترل ارائه شده‌اند، پذیرفته و یا رد می‌شوند. در این مرحله اگر ظرفیت

(۷)

$$SR_{\gamma} = \frac{(V_{\gamma} - V_b)}{(\sigma_d^e)}$$

SR_{γ} : نسبت شارپ برای سیاست γ

V_{γ} : درآمد مورد انتظار از سیاست γ

V_b : درآمد مورد انتظار از سیاست مبنا

σ_d^e : انحراف استاندارد پیش‌بینی شده $(V_{\gamma} - V_b)$

سیاست FCFS^{۱۸} به عنوان معیار در نظر گرفته شده است؛ و همچنین مقدار نسبت شارپ برای سیاست‌های مختلف در جدول (۷) لیست شده است که سیاست متغیر $\Gamma=0/8$ طبق این محدودیت مطلوب‌ترین گزینه به نظر می‌رسد. برای این مثال به نظر می‌رسد که قرار دادن $\Gamma=0/8$ اقدامی منطقی باشد. البته سطح ریسک $\Gamma=0/9$ نیز قابل قبول است و با توجه به اینکه درآمد بیشتری به دست می‌دهد می‌تواند گزینه مناسبی برای فرد تصمیم‌گیرنده باشد. جدول سیاست کنترل بهینه برای مقادیر مختلف Γ را می‌توان از برنامه نوشته شده استخراج کرد. جدول (۸) و (۹) نشان‌دهنده سیاست کنترل بهینه فروش صندلی برای ضریب سازگاری $\Gamma=0/8$ است. همان‌طور که از مقایسه جداول سیاست فروش برای $\Gamma=0/8$ با جداول سیاست فروش ریسک خنثی مشخص است؛ با در نظر گرفتن سطح ریسک پایین‌تر فروش بلیت در کلاس‌های ارزان قیمت‌تر با سخت‌گیری کمتری مجاز شده است. به طوری که برای تقاضاهایی که ۲ صندلی برای رزرو درخواست می‌کنند، همواره فروش کلاس کرایه ۲ و ۱ مجاز است مگر در حالتی که ظرفیت باقیمانده برابر یک باشد.

می‌تواند یک تخمین خوب از تغییرات درآمد برای سیاست‌های مدیریت درآمد مختلف باشد. برای حالت $\Gamma < 1$ یک مقدار کوچک‌تر (یک سطح سازگاری بالاتر از شرایط بهینه) از مقدار میانگین درآمدها به دست می‌آید. همان‌طور که Γ های پائین رزرو تقاضاهای موجود با کرایه کم را به

جای انتظار برای تقاضاهای با کرایه بالای نامطمئن آینده می‌پذیرند، انحراف استاندارد آن‌ها کاهش یافته است. برای حالت $\Gamma > 1$ همان‌طور که از شرایط بهینه منحرف شده، درآمد میانگین طبق انتظار کاهش یافته است و همچنین انحراف استاندارد با افزایش Γ بزرگ‌تر شده است.

نتایج این شبیه‌سازی پیشنهاد می‌دهد که تخمین بیش از اندازه درآمدهای حاشیه‌ای صندلی (که به طور مؤثر با ضریب سازگاری بزرگ‌تر از یک مشاهده شده) نه تنها درآمد مورد انتظار را کاهش می‌دهد بلکه ریسک را نیز افزایش داده است. شکل (۷) رابطه بین درآمد میانگین و انحراف استاندارد سیاست‌های مختلف را نشان می‌دهد.

به طور خاص دیده می‌شود که درآمد مورد انتظار به سطح سازگاری زمانی که شرایط بهینگی آزاد شود حساس نیست (یعنی زمانی که Γ از یک کوچک‌تر است). برای این مسئله خاص Γ بین $0/9$ تا $0/8$ می‌تواند یک تصمیم منطقی برای یک تصمیم‌گیر ریسک‌گریز باشد به طوری که کاهش درآمد مورد انتظار محدود شده و تغییرات درآمد کاهش می‌یابد. حتی مهم‌تر از آن، این سیاست ($\Gamma=0/8$) مطمئن‌تر است چرا که از ناحیه $\Gamma > 1$ دور بوده و بنابراین دقت برای پارامترهای تخمینی مدل دینامیک بیشتر خواهد بود.

یکی از راه‌های ارزیابی گزینه‌ها با اهداف دوگانه اجرا کردن فرآیند تعدیل ریسک طبق نسبت شارپ است که از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Lancaster, 2003).

جدول ۷. نسبت شارپ برای سیاست‌های مختلف

	$\Gamma=1/2$	$\Gamma=1/1$	$\Gamma=1/0$	$\Gamma=0/9$	$\Gamma=0/8$	$\Gamma=0/7$	$\Gamma=0/6$
نسبت شارپ	0/70	0/93	1/13	1/33	1/35	1/18	0/67

جدول ۸. جدول سیاست کنترل بهینه برای $m=1$ و $r=0.8$

n																														ظرفیت
30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	باقیمانده
																														s=10
																														s=9
																														s=8
																														s=7
																														s=6
																														s=5
																														s=4
																														s=3
																														s=2
																														s=1

جدول ۹. جدول سیاست کنترل بهینه برای $m=2$ و $r=0.8$

n																														ظرفیت
30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	باقیمانده
																														s=10
																														s=9
																														s=8
																														s=7
																														s=6
																														s=5
																														s=4
																														s=3
																														s=2
																														s=1

کلاس کرایه ۴	کلاس کرایه ۳	کلاس کرایه ۲	کلاس کرایه ۱
--------------	--------------	--------------	--------------

جدول ۱۰. ضریب سرنشین برای سطوح ریسک مختلف

$r=0.6$	$r=0.7$	$r=0.8$	$r=0.9$	$r=1.0$	$r=1.1$	$r=1.2$	سطح ریسک
۹۹/۱	۹۷/۸۳	۹۷/۱۷	۹۵/۹۲	۹۳/۱۹	۹۰/۳۹	۸۷/۳۲	درصد ضریب سرنشین

همچنین متوسط مقادیر ضریب سرنشین آزمایش‌های شبیه سازی برای هر ضریب سازگاری در جدول (۱۰) ارائه شده است. نتایج ارائه شده در جدول (۱۰) نشان می‌دهد که با کاهش سطح ریسک و آزاد کردن شرایط بهینگی، ضریب سرنشین افزایش می‌یابد.

۵- بررسی تأثیر حداکثر رزرو مجاز در هر تقاضا بر درآمد و ریسک

مقادیر احتمالات تقاضا در طول زمان که در جدول (۲) ارایه شده بود؛ باعث افزایش تعداد کل صندلی‌های مورد تقاضا شده و به طور طبیعی درآمد حاصل از آن را افزایش خواهد داد. به این ترتیب برای مقایسه صحیح بین درآمدهای حاصل از دو حالت مورد اشاره، باید تعداد کل صندلی‌های مورد تقاضا با هم برابر باشند. به این منظور با طی کردن مسیر خلاف تولید تقاضای تصادفی با فرآیند پواسون، مقادیر عددی تقاضا برای هر دوره زمانی و هر کلاس به دست آورده شد و مقادیر با توجه به ضرایب جدول (۳) اصلاح گردید. دوباره با استفاده از مقادیر اصلاح شده و مطابق فرآیند پواسون احتمالات ورود تقاضا برای کلاس‌های مختلف در دوره‌های زمانی مختلف محاسبه شد که در جدول (۱۱) قابل مشاهده است.

در این قسمت به منظور بررسی تأثیر حداکثر رزرو مجاز در هر سطح از تقاضا بر میزان درآمد، مسئله برای $M_i=1$ مجدداً حل خواهد شد. به بیان دیگر در این قسمت فرض می‌شود که در هر تقاضا فقط یک صندلی درخواست می‌شود. در قسمت‌های قبلی که حداکثر رزرو مجاز برای هر تقاضا برابر دو صندلی بود، از مقادیر جدول (۳) که احتمالات ورود تقاضا با اندازه‌های مختلف را بیان می‌نمود، استفاده شد. در شبکه مسئله لی و هرش از مقادیر ارائه شده در جدول (۲) به عنوان احتمال ورود تقاضا برای کلاس‌های مختلف در دوره‌های زمانی مختلف، هم برای فرض رزرو یک صندلی در هر تقاضا و هم برای فرض مجاز بودن رزرو دو صندلی در هر تقاضا، استفاده شده است. همان‌گونه که مشخص است، ضرب کردن مقادیر موجود در جدول (۳) در

جدول ۱۱. احتمالات ورود تقاضا به تفکیک دوره زمانی

تقاضای احتمالی	دوره‌های زمانی				
	۱:۵	۶:۱۷	۱۸:۲۵	۲۶:۳۳	۳۴:۳۹
p_1^n	۰.۱۸۳	۰.۱۳۵	۰.۱۴	۰.۰۸۷	۰.۱
p_2^n	۰.۱۸۳	۰.۱۳۵	۰.۱۴	۰.۰۸۷	۰.۱
p_3^n	۰	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۵۷
p_4^n	۰	۰.۱۳	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۵۷

جدول ۱۲. جدول سیاست کنترل بهینه برای حالت ریسک ختنی و فرض رزرو یک صندلی در هر تقاضا

s																				ظرفیت
۱۸	۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	۱	ظرفیت
																				s=10
																				s=9
																				s=8
																				s=7
																				s=6
																				s=5
																				s=4
																				s=3
																				s=2
																				s=1

کلاس ۱ کرایه	کلاس ۲ کرایه	کلاس ۳ کرایه	کلاس ۴ کرایه

مابقی فرضیات و مقادیر موجود در صورت مسئله بدون تغییر در این حالت نیز استفاده می‌شوند.

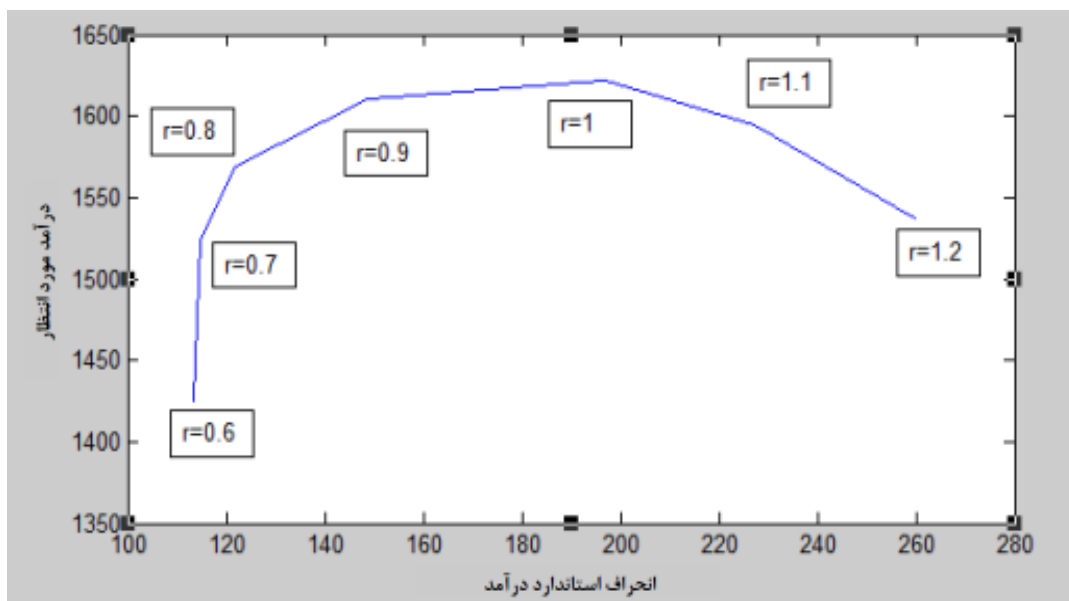
۱-۵- ارائه نتایج برای حالت ریسک خنثی

در ابتدا نتایج مربوط به حل مسئله در حالت ریسک خنثی ($\alpha=1$) ارائه می‌شود. در این شرایط، حداکثر درآمد مورد انتظار بهینه برابر $1634/4$ دلار به دست آمده است. برای این مسئله سیاست کنترل بهینه در جدول (۱۲) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۱۲) مشاهده می‌شود، ترتیب مشخصی در سیاست فروش وجود دارد؛ به گونه‌ای که هیچ یک از خانه‌ها از خانه پایین و سمت چپ خود تیره‌تر نیستند. این ترتیب به این دلیل است که با فرض یک صندلی برای هر تقاضا، نمودارهای ارزش حاشیه‌ای بر حسب دوره‌های زمانی تثبیت شده نیز یکنوا خواهند بود.

در این شرایط نیز آزمایش‌های شبیه سازی کامپیوتری برای فرض مجاز نبودن رزرو گروهی انجام شد. جدول (۱۳) نتایج مربوط به آزمایش شبیه سازی با فرض مجاز یک صندلی برای هر تقاضا را نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در جدول (۱۳) به لحاظ تفسیر مشابه جدول (۶) است. در این‌جا نیز درآمد به دست آمده از آزمایش‌های شبیه سازی کامپیوتری به درآمدهای مورد انتظار تئوری بسیار نزدیک است. شکل (۸) رابطه بین درآمد میانگین و انحراف استاندارد سیاست‌های مختلف را برای فرض مجاز نبودن رزرو گروهی نشان می‌دهد.

جدول ۱۳. نتایج آزمایش شبیه سازی با فرض مجاز نبودن رزرو گروهی

FCFS	R=۰/۶	R=۰/۷	R=۰/۸	R=۰/۹	R=۱/۱	R=۱/۲	سیاست بهینه	
۱۳۱۴/۲	۱۴۱۴/۲	۱۵۲۷/۸	۱۵۷۰/۸	۱۶۱۱/۴	۱۶۲۲/۶	۱۵۸۱	۱۶۳۴/۴	مقدار تئوری به دست آمده از مدل مسئله دینامیک
۸۰/۴	۸۶/۵	۹۳/۴	۹۶/۱	۹۸/۶	۹۹/۲	۹۶/۷	.....	نسبت درآمد شبیه سازی به درآمد بهینه
۱۳۲۰/۲	۱۴۱۸/۷	۱۵۲۳	۱۵۶۶/۳	۱۶۰۴/۱	۱۵۹۹/۹	۱۵۵۲	۱۶۱۷/۹	مقدار متوسط درآمد به دست آمده از شبیه سازی
۱۲۸/۸	۱۱۳/۳	۱۱۴/۸	۱۲۲	۱۴۸/۶	۲۲۷/۲	۲۵۹/۷	۱۹۶/۸	انحراف استاندارد به دست آمده از شبیه سازی
۶۵/۴	۵۷/۵	۵۸/۳	۶۲	۷۵/۵	۱۱۵/۴	۱۳۱/۹	.....	انحراف استاندارد نسبت به سیاست بهینه



شکل ۸. درآمد مورد انتظار و انحراف استاندارد برای سیاست‌های مختلف برای فرض مجاز نبودن رزرو گروهی

جدول ۱۴. نسبت شارپ برای سیاست‌های مختلف برای فرض مجاز نبودن رزرو گروهی

	$r=1/2$	$r=1/1$	$r=1/0$	$r=0/9$	$r=0/8$	$r=0/7$	$r=0/6$
نسبت شارپ	۰/۹۴	۱/۳	۱/۶	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۷	۱/۲۱

جدول ۱۵. ضریب سرنشین برای سطوح ریسک مختلف برای فرض مجاز نبودن رزرو گروهی

$r=0/6$	$r=0/7$	$r=0/8$	$r=0/9$	$r=1/0$	$r=1/1$	$r=1/2$	سطح ریسک
۹۹/۸۶	۹۹/۳۵	۹۹	۹۸/۲	۹۵/۹	۹۳/۶۷	۹۰/۵۳	درصد ضریب سرنشین

به خوبی مشخص است که با فرض مجاز نبودن رزرو گروهی مقداری از ریسک کمتر شده است. این نتیجه طبیعی به نظر می‌رسد زیرا بسیاری از تقاضاهایی که به دلایل محدودیت ظرفیت یا شرایط ارزش حاشیه‌ای در حالت قبل رد می‌شدند، در این حالت بدون هیچ مشکلی پذیرفته می‌شوند و در نتیجه ریسک کاهش می‌یابد. همچنین میزان درآمد مورد انتظار در این حالت ۳٪ بیشتر به دست آمده است. از طرف دیگر افزایش قابل توجه ضریب سرنشین در این حالت مشاهده می‌شود که بر موارد ذکر شده صحت می‌گذارد.

بر اساس شکل (۸) به طور تقریبی می‌توان گفت که یک تنظیم ریسک منطقی برای این مسئله می‌تواند بین $r=0/8$ و $r=0/9$ باشد. در این قسمت نیز از نسبت شارپ برای تعیین سطح ریسک بهینه استفاده می‌شود. جدول (۱۴) مقادیر نرخ شارپ برای سطوح مختلف ریسک را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۱۴) مشخص است، سطح ریسک بهینه بین $r=0/8$ و $r=0/9$ است. به این دلیل که درآمد حاصل از سطح ریسک $r=0/9$ بیشتر است، انتخاب این سطح می‌تواند مناسب‌تر به نظر برسد. جدول (۱۵) مقادیر متوسط ضریب سرنشین به دست آمده از آزمایش‌های شبیه‌سازی کامپیوتری برای هر یک از سطوح ریسک را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه گیری

بر اساس مطالعه انجام شده که در آن انتخاب سطوح ریسک مختلف برای تصمیم گیر ارائه شده است، می توان نتایج در پی آمده را ارائه داد:

۱- همان طور که نتایج مدل نشان می دهند، استفاده از یک سطح ریسک مناسب $\Gamma=0/8$ با کاهش مقدار اندک $0/2/6$ ٪ از درآمد، انحراف استاندارد را $28/8$ ٪ کاهش داده و متناسب با آن ریسک کاهش یافته است.

۲- همان طور که در نتایج مشاهده شد، اگر سطح ریسک بیش از اندازه کاهش یابد، در میزان درآمد تأثیرات منفی خواهد داشت؛ به طوری که اگر $\Gamma=0/6$ در نظر گرفته شود، میزان درآمد بیش از 13 ٪ کاهش خواهد داشت.

۳- انتخاب سطوح ریسک بزرگتر از یک که سطح ریسکی بالاتر از سطح ریسک خنثی را اعمال می کنند، نه تنها باعث افزایش ریسک می شوند، بلکه باعث کاهش درآمد نیز خواهند شد. به عنوان نمونه همان طور که در مدل ارائه شد، اگر $\Gamma=1/2$ در نظر گرفته شود، نه تنها موجب $3/4$ ٪ کاهش درآمد می شود، بلکه انحراف استاندارد نیز 27 ٪ افزایش می یابد.

۴- انتخاب سطوح ریسک پایین تر باعث می شود که برای تصمیم گیری پذیرش یا رد با تخفیف در شرایط پذیرش، تقاضاهای ارزان قیمت بیشتری پذیرفته شود. در نتیجه ضریب سرنشین بیشتر شده و ریسک خالی ماندن صندلی های هواپیما کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد که برای $\Gamma=0/6$ ضریب سرنشین $5/8$ ٪ افزایش و برای $1/2$ $\Gamma=$ ضریب سرنشین $5/9$ ٪ کاهش می یابد.

۵- با توجه به این که در واقعیت فرض مجاز نبودن رزرو گروهی صحت ندارد و بسیاری از تقاضاهای ورودی به صورت گروهی هستند، به نظر می رسد که فرض مجاز نبودن رزرو گروهی که در سایر مطالعات در نظر گرفته شده بود باعث فریب دادن کاربران مدل در جهت خلاف اطمینان می شود. به بیان دیگر درآمد بیشتری نسبت به آنچه باید به دست آید پیش بینی کرده و سطح ریسک بهینه را نیز با خوش بینی تعیین می کند.

۷- پی نوشت ها

1. Sharp Ratio
2. Revenue Management (RM)
3. Gerchak & Parlar & Yee
4. Feng & Xiao
5. Lancaster
6. Barz
7. Barz & Waldmann
8. Koenig & Meissner
9. Value-at-Risk
10. Huang & Chang
11. Gonsch & Hassler
12. Lee & Hersh
13. Compromise Factor
14. Load Factor
15. Marginal Value
16. Risk Neutral
17. Risk Aversion
18. First Come First Serve (FCFS)

۸- مراجع

-پور سیدآقایی، م.، و خدمت لو، س.، و آزرمی، س.، (۱۳۸۸)، "طراحی مدل مدیریت درآمد در شرکت های حمل و نقل عمومی: مورد کاوی قطار غزال تهران-مشهد" نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۳، شماره ۱، آذر، ص. ۱ تا ۱۱.

- Bartke, P., C. Cleophas, and B. Zimmermann, (2012), "Complexity in airline revenue management". Journal of Revenue & Pricing Management, 12(1): pp. 36-45.

- Barz, C. and K.-H. Waldmann, (2007), "Risk-sensitive capacity control in revenue management". Mathematical Methods of Operations Research, 65(3): pp. 565-579.

- Barz, C., (2006), "How does risk aversion affect optimal revenue management policies? A simulation study". Informationssysteme in Transport und Verkehr, 4: pp. 161-172.

- Belobaba, P., (1987), "Air travel demand and airline seat inventory management", Cambridge, MA: Flight Transportation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.

- Koenig, M. and J. Meissner, (2010), "Value-at-risk optimal policies for revenue management problems".
- Lancaster, J., (2003), "The financial risk of airline revenue management. "Journal of Revenue and Pricing Management", 2(2): pp. 158-165.
- Lee, T.C. and M. Hersh, (1993), "A model for dynamic airline seat inventory control with multiple seat bookings". Transportation Science, 27(3): pp. 252-265.
- Littlewood, K., (1972), "Forecasting and control of passenger bookings", Journal of Revenue and Pricing Management, 4(2): pp. 111-123.
- Ryzin, G.J.V. McGill, J.I, (1999), "Revenue Management: Research Overview and Prospects". Transportation Science, 33,2: pp. 233-256.
- Ryzin, G.J.V. Talluri, K.T., (2004), "the theory and practice of revenue management", Kluwer Academic Publishers. pp. 746.
- Talluri, K.T., Ryzin, G.J.V. Karaesmen, I.Z. Vulcano, G.J. (2009), "Revenue management: Models and methods". In Simulation Conference (WSC), Proceedings of the Winter.
- Chapuis, J.M., (2008), "Basics of Dynamic Programming for Revenue Management". Revenue & Yield Management e-Journal.
- Chiang, W.-C., J.C.H. Chen, and X. Xu, (2007), "An overview of research on revenue management: current issues and future research". International Journal of Revenue Management, 1(1): pp. 97-128.
- Feng, Y. and B. Xiao, (1999), "Maximizing revenues of perishable assets with a risk factor". Operations Research, 47(2): pp. 337-341.
- Gerchak, Y. and Parlar, M. and Yee, T., (1985), "Optimal Rationing Policies and Production Quantities for Products with Several Demand Classes". Canadian Journal of Administrative Sciences/Revue canadienne des Sciences de l'Administration, 2(1) : pp. 161-176 .
- Gonsch, J. and Hassler, M, (2014), "- Optimizing the conditional value-at-risk in revenue management". Review of Managerial Science 8.4: pp. 495-521.
- Huang, K. and K.-C. Chang, (2011), "A model for airline seat control considering revenue uncertainty and risk". Journal of Revenue & Pricing Management, 10(2): pp. 161-171.
- Koenig, M. and J. Meissner, (2009), "Risk minimizing strategies for revenue management problems with target values".

