مقایسه سه رویکرد مدل‌سازی فازی، استوار و استوار- فازی در بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد

عادل آذر[1*]، احسان دهقان[2]، فرج الله رهنورد[3]

۱- استاد گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۳- دانشیار گروه مدیریت، مؤسسه آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹٤/۷/٦ پذیرش: ۱۳۹٥/٤/۲۲

چکیده

هدف از این تحقیق در درجه اول ارائه مدل بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد (PBB) در مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی می باشد به نحوی که از یکسو تخصیص بودجه به برنامه‌ها براساس اهمیت هر برنامه و از سوی دیگر براساس سرانه دانشجویی مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری صورت گیرد. مدل برنامه‌ریزی آرمانی PBB با در نظر گرفتن معیارهای گوناگون در مؤسسه طراحی می‌گردد. نکته مهم در طراحی مدل استفاده از ضریب کارایی محاسبه شده براساس رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) جهت تعیین ضریب اهمیت هر گروه آموزشی و به منظور تخصیص بودجه به آن می‌باشد. همچنین وزن آرمان‌ها و میزان اهمیت هر برنامه براساس مقایسات زوجی توسط خبرگان تعیین می‌شود. پس از طراحی مدل PBB برای مؤسسه و با توجه به عدم اطمینان موجود در پارامترهای مسأله با بهره‌گیری از منطق فازی و استواری، سناریوهایی برگرفته از مدل اسمی ارائه می-گردد که عبارتند از مدل فازی، مدل استوارو مدل استوار فازی .در پایان به مقایسه نتایج حاصل از حل این مدل‌ها پرداخته و نقاط ضعف و قوت هریک از آنها بررسی میگردد. همچنین به منظور تحلیل دقیق‌تر قابلیت و کارایی مدلهای پیشنهادی از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود. نتایج حل مدل‌ها و شبیه‌سازی اطلاعاتی مفید را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد تا با برقراری توازن بین سطح ریسک تصمیم (احتمال نقض محدودیت‌ها) و سطح محافظه کاری، تصمیمی معقولانه اتخاذ نمایند.

کلیدواژگان: بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد، مدل فازی، مدل‌سازی استواری، مدل‌سازی استوار فازی، برنامه‌ریزی آرمانی، شبیه‌سازی مونت کارلو

* نویسندۀ مسؤول مقاله: E-mail: Azara@modares.ac.ir

۱- مقدمه

فرایند بودجه‌بندی دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی ایران در دوران فعالیت یکصد ساله این مؤسسات تحولات بسیاری را پشت سر گذاشته است. امروزه بودجه دانشگاه‌ها مانند سایر دستگاه‌های اجرایی که از اعتبارات دولت برای انجام دادن فعالیت‌ها و ارائه خدمات خود استفاده می‌کنند نیز براساس محاسبه قیمت تمام شده یا همان هزینه عملیاتی تعیین خواهد شد. محصول دانشگاه خدمات آموزشی و پژوهشی است که به مشتریان خود که دانشجویان، صنایع و سایر دستگاه‌ها و سازمان‌های دولتی و غیردولتی هستند، ارائه می‌دهد؛ بنابراین شناسایی اجزای هزینه برای ارائه خدمات یاد شده و هزینه‌یابی هر یک از آن‌ها اساس و پایه تعیین بودجه دانشگاه‌ها خواهد بود [۱].

به لحاظ اقتصادی فلسفه وجودی بودجه ناشی از وجود نوعی تناقض کلی است که در هر جامعه‌ای وجود دارد و به طور کامل علم اقتصاد را پدید آورده است. با توجه به این‌که منابع اولیه و امکانات مادی موجود در طبیعت و محدوده جغرافیایی هر جامعه‌ایی محدود و فناوری موجود در جامعه تعیین‌کننده مقدار بهره‌برداری مردم از این منابع است، همیشه در کوتاه‌مدت مقادیر منابع اولیه ثابت است، در حالی که رشد جمعیت دائمی است و فشار بر این منابع را تشدید می‌کند و این امر بر لزوم تخصیص صحیح منابع تأکید می‌کند. استفاده نکردن از تئوری‌های کمی و ریاضی در بودجه عمومی دولت که در آن برای اجرای برنامه سالیانه منابع مالی لازم پیش‌بینی و اعتبارات هزینه‌ای و تملک دارایی‌های سرمایه‌ای (عمرانی) دستگاه‌های اجرایی تعیین می‌شود، سبب سردرگمی و عدم تخصیص بهینه به منابع در دسترس می‌شود. بدیهی است چنان‌چه فعالیت‌ها و محیط تصمیم‌گیری از پیچیدگی برخوردار نباشند، استفاده از مدل‌های ریاضی چندان اهمیت ندارد، اما اهمیت رویکردهای ریاضی زمانی روشن می‌شود که تعداد متغیرهای تصمیم و فعالیت‌ها و اهداف به گونه‌ای سرسام‌آور افزایش می‌یاب[۲] . تحقیق در عملیات یا علم مدیریت یک رویکرد علمی و ریاضی برای حل این مسائل است. کاربرد موفقیت‌آمیز برنامه‌ریزی خطی در تحقیق در عملیات بیشترین تأثیر را در به دست آوردن پاسخ‌های بهینه مسائل تخصیص منابع داشته است. برنامه‌ریزی خطی یک روش ریاضی برای مشخص کردن تخصیص بهینه منابع است که با توجه به محدودیت‌های منابع و سود انجام می‌گیرد [۳].

اهمیت تخصیص بهینه منابع در دانشگاه‌ها را می‌توان از منظر قانون برنامه چهارم توسعه نیز بررسی کرد. در این قانون دانشگاه‌ها نه تنها در راستای اجرای سیاست‌های دولت وظیفه دارند نظام بودجه‌ریزی خود را از بودجه‌ریزی برنامه‌ای به بودجه‌ریزی عملیاتی تغییر دهند، بلکه در اجرای بند الف ماده ٤۹ این قانون مؤسسات آموزش عالی ملزم به تهیه بودجه عملیاتی به منظور دست‌یابی به بهاء تمام شده فعالیت‌های آموزشی و پژوهشی و تعیین سرانه دانشجو در رشته‌های مختلف جهت تأمین منابع مالی از سهم درآمد عمومی از بودجه عمومی دولت هستند [٤].

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تاکنون مدل‌های ریاضی گوناگونی برای بودجه‌ریزی طراحی‌شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های زیر اشاره کرد. مدلی برای سیستم بودجه طرح و برنامه [٥]، مدلی برای بودجه‌ریزی بر مبنای صفر[٦]، مدلی برای تخصیص منابع دانشگاهی به روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی تعاملی [۱]، مدلی برای اقتصاد نیجریه [۷]، مدلی برای بخش عمومی [۸] مدلی برای تخصیص بودجه در سازمان‌های دولتی با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی و استنتاج فازی [۹]، مدل برنامه‌ریزی خطی با رویکرد استوار [۱۰]، مدلی برای مدل ریاضی بودجه‌ریزی در بخش عمومی با رویکرد استوار [۱۱]، مدیریت بهینه سفارش‌های زنجیره تأمین با استفاده از رویکرد هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت، بهینه‌سازی استوار و شبیه‌سازی دینامیکی [۱۲]، بهینه‌سازی استوار سبد مالی با استفاده از رویکرد ارزش در معرض خطر شرطی موزون [۱۳]، تخصیص بهینه بودجه‌های ارتباط با مشتری با رویکرد بهینه‌سازی استوار با هدف بیشینه‌سازی حقوق صاحبان سهام از ارزش مشتری [۱٤]، به کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها و بهینه‌سازی استوار در مسأله انتخاب سبد سرمایه [۱٥] و کاربرد رویکرد بهینه‌سازی استوار در تشکیل پرتفوی سهام مبتنی بر شاخص با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترها [۱٦]. در پژوهشی که توسط اشتیاقی و همکاران صورت گرفت تلاش می‌شود تا با در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در برآورد برخی پارامترها به ارائه مدل‌های استوار تخصیص بودجه‌های ارتباط با مشتری به فعالیت‌های جذب و نگهداری مشتری بپردازد تا حقوق صاحبان سهام از ارزش مشتری را بیشینه نماید. در این پژوهش از روش سناریو محور مولوی [۱۷] برای پاسخ‌گویی به نداشتن

اطمینان استفاده شده است.

بر این اساس هدف از انجام این پژوهش ارائه مدل بودجه‌ریزی عملیاتی است که با تلفیق دو رویکرد فازی و استواری مدل بودجه‌ریزی طراحی شود تا عدم قطعیت فازی و عدم قطعیت تصادفی را به طور توأم مد نظر قرار دهد. همچنین به مقایسه سه رویکرد مدل‌سازی فازی، استواری و استوار فازی پرداخته، نتایج هر ۳ مدل با یکدیگر مقایسه و مشخص می‌شوند که کدام یک از مدل‌ها از نظر انعطاف‌پذیری و میزان ریسک تصمیم‌گیرنده پاسخ بهتری خواهند داشت.

۲-۱- عدم قطعیت

برخی از دلایل عدم قطعیت را می‌توان به این صورت نام برد: ۱- برخی از داده‌های مسأله هنگام حل آن موجود نیست (مانند تقاضای آتی یک کالا) و باید پیش‌بینی شوند. در این‌جا خطای پیش‌بینی[۲] داریم. ۲- برخی از داده‌ها (از قبیل پارامترهای مربوط به تجهیزات و فرآیندها، مواد و...) را نمی‌توان به طور دقیق اندازه گرفت و آن‌ها را حول یک مقدار اسمی گرد می‌کنند. در این‌جا خطای اندازه‌گیری[۳] وجود دارد. ۳- در بعضی موارد متغیرهای تصمیم را نمی‌توانیم همان‌گونه که محاسبه شده‌اند پیاده‌سازی کنیم. این نوع خطای پیاده‌سازی[۴] معادل یک سری عدم قطعیت مصنوعی است [۱۱].

رویکردهای زیادی برای بهینه‌سازی در شرایط غیرقطعی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان سه رویکرد اصلی را متمایز کرد: برنامه‌ریزی احتمالی، برنامه‌ریزی فازی و برنامه‌ریزی پویای احتمالی. در روش‌های کلاسیک برای در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها از رویکرد تحلیل حساسیت نیز بهره می‌گیرند، اما تحلیل حساسیت تنها ابزاری برای تحلیل خوب بودن پاسخ است و نمی‌توان از آن برای تولید پاسخ‌های استوار استفاده کرد [۱۸].

۲-۲- رویکرد استواری

در رویکرد بهینه‌سازی استوار به بهینه‌سازی در هنگام رخ دادن بدترین موارد پرداخته می‌شود. در این رویکرد درپی پاسخ‌های نزدیک به بهینه‌ای هستیم که با احتمال بالایی موجه

باشند؛ به عبارت دیگر با کمی صرف نظر کردن از تابع هدف، موجه بودن پاسخ به دست آمده را تضمین می‌کنیم. البته در مورد عدم قطعیت در ضرایب تابع هدف با کمی صرف نظر کردن از مقدار تابع هدف بهینه به دنبال پاسخی هستیم که با احتمال بالایی پاسخ‌های واقعی بهتر از آن پاسخ باشند [۱۱، ص ۵۳]. روی در مقاله‌ای با عنوان استواری در تحقیق در عملیات و کمک تصمیم سه معیار را برای سنجش استواری مطرح می‌کند که بیشتر مرتبط با واژه‌های Maxmin و Minmax است [۱۹]. ۱- مدل‌های برنامه‌ریزی استوار با داده‌های بازه‌ای، ۲- مدل استوار سناریویی استوار مالوی و همکاران، ۳- مدل برنامه‌ریزی خطی استوار فازی (FRLP[5]) [۲، ص ٥٦].

با توجه به هدف تحقیق از مدل‌های برنامه‌ریزی استوار بازه‌ای استفاده خواهد شد. مدل اول ارائه شده در این رویکرد به مدل استوار سویستر [۲۰] بازمی‌گردد. در این دسته مدل‌ها سه مدل مبنا و اصلی (مدل استوار سویستر، مدل استوار بن تال و نمیروفسکی [۲۱؛ ۲۲] و مدل استوار برتسیمس و سیم [۲۳؛ ۲٤] وجود دارد. مدل سویستر یک مدل بهینه‌سازی خطی است که بهترین پاسخ موجه برای داده‌های ورودی را به ما می‌دهد. این رویکرد دارای پاسخ‌های با محافظه کاری بالا به دست می‌آورد، یعنی برای اطمینان از پایدار بودن پاسخ مقدار زیادی از بهینگی مسأله دور می‌شویم. با لحاظ این‌که روش سویستر بالاترین میزان محافظه‌کاری (سطح حفاظت) را در نظر می‌گیرد، به عبارتی بدبینانه عمل می‌کند. بن تال و نمیروسکی با فرض این‌که داده‌ها در مجموعه‌های بیضوی دارای عدم قطعیت هستند، الگوریتم کارایی برای حل مسائل بهینه‌سازی محدب ارائه کردند که مدل استوار به دست آمده از نوع درجه دو مخروطی است [۲۲؛ ۲۵، ص ۷۱]. برتسیماس و سیم در سال ۲۰۰٤ رویکرد متفاوتی را برای کنترل سطح محافظه‌کاری ارائه کردند که منجر به یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌گردد و قابل استفاده در مدل‌های بهینه‌سازی گسسته نیز است [۲٤].

چندی بعد ربیعه و آذر به طراحی مدل ریاضی استوار زنجیره تأمین پرداخته و در این مدل رویکرد ابداعی بهینه‌سازی استوار- فازی در برنامه‌ریزی تأمین قطعات دو محصول شرکت خودروساز و ارزیابی تأمین‌کنندگان را به منظور کاهش ریسک و رفع ابهام موجود در تصمیم‌گیری ارائه کردند. مدل وی در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه طراحی شده است.

با توجه به آگاهی نداشتن از شکل توزیع برخی پارامترها، این نوع پارامترها به صورت متغیری تصادفی لحاظ شده‌اند که در بازه‌ای متقارن نوسان می‌کند. در این مدل محقق با اشاره به این‌که در مدل‌های بهینه‌سازی استوار مثل برتسیمس و سیم عدد وسط این بازه‌ها به عنوان مقدار اسمی نام‌گذاری شده است؛ بیان نموده که در مواردی از مسائل واقعی برای تصمیم‌گیرنده تعیین دقیق طول بازه‌ای که این عدد اسمی در آن نوسان می‌کند، آسان نیست و تعیین طول بازه با ابهاماتی مواجه است. به عبارتی اگر تصمیم‌گیرنده طول بازه را بالا لحاظ کند، سطح محافظه‌کاری را افزایش و هزینه بالاتری متحمل می‌شود. برعکس اگر طول بازه را پایین لحاظ کند ریسک تصمیم‌گیری را بالا برده است. علاوه‌بر بحث توازن بین ریسک و هزینه در مواقعی به طور واقعی تصمیم‌گیرنده طول بازه را با ابهام بیان می‌کند. به منظور رفع این مشکل رویکرد ابداعی ارائه گردید که تصمیم‌گیرنده قادر است طول بازه‌ها را به صورت عددی فازی بیان کنند و ریسک متعادلی داشته باشد [۲، صص ۷۱-۷۲؛ ۲۵].

۳- روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش در ابتدا از روش‌های بهینه‌سازی خطی در حالت قطعیت استفاده شده است، سپس با بهره‌گیری از مدل‌های موجود در ادبیات تحقیق به طراحی مدل بودجه‌ریزی عملیاتی در مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی پرداخته شد. با بهره‌گیری از مدل استوار برتسیمس [۶] و سیم[۷] همتای استوار مدل بودجه‌ریزی عملیاتی در مؤسسه طراحی گردید. در نهایت با بهره‌گیری از مدل استوار فازی ربیعه همتای استوار- فازی مدل بودجه‌ریزی عملیاتی در مؤسسه طراحی گردید. با توجه به تعریف مسأله و مشخصات بیان شده برای مطالعه موردی ابعاد و حجم مدل در قالب دو دسته اندیس مشخص می‌گردد. دسته اول مربوط به برنامه و ماده و دسته دوم مربوط به رشته، گروه و مقطع است. جدول ۱ تا ٤ بترتیب بیانگر اندیس‌ها ، نماد های کاربردی ، پارامترها و متغیرها می باشد.

جدول۱- اندیس‌هاوتعاریف

اندیس	T	P	a	K	G	M	G	S
تعریف	دوره زمانی	برنامه	ماده	رشته	گروه	مقطع	آرمان (تابع هدف)	سطح حفاظت

- **نمادهای کاربردی در مدل شامل موارد ذیل می‌گردد:**

جدول۲- نمادهای کاربردی

نماد	تعریف
‾	مقدار اسمی پارامتر تصادفی
~	نماد فازی بودن پارامتر
^	نماد نیم طول بازه نوسان پارامتر تصادفی

جدول۳- متغیرها

نماد متغیرهای اصلی	تعریف
$X_{t..}$	بودجه مؤسسه در سال t-ام
$X_{tg.}$	بودجه گروه g-ام در سال t-ام
X_{tgk}	بودجه رشته k-ام از گروه g-ام در سال t-ام
X_{tgkm}	بودجه مقطع m-ام در رشته k-ام از گروه g-ام در سال -ام
$y_{t..}$	بودجه اختصاص یافته به سال t-ام
$y_{tp.}$	بودجه اختصاص یافته به برنامه p-ام در سال t-ام
y_{tpa}	بودجه اختصاص یافته به ماده a-ام در برنامه p-ام در سال t-ام
d_r^+	متغیر انحراف از آرمان (انحراف مثبت)
d_r^-	متغیر انحراف از آرمان (انحراف منفی)

جدول ۴- پارامترها و آرمان‌ها

G_1 : میزان مطلوبیت کل حاصل از تخصیص بودجه به برنامه‌ها	G_2 : نسبت مطلوب بودجه پژوهشی به کل
G_3 : میزان مطلوبیت کل حاصل از تخصیص بودجه به گروه‌های آموزشی	G_4 : نسبت مطلوب بودجه پشتیبانی به کل
$\mathrm{U_i}$: میزان مطلوبیت هر آرمان در تابع هدف	$\mathrm{W_{tp.}}$: مطلوبیت هر ریال بودجه اختصاصی به برنامه p در سال t
$\mathrm{E}_{\mathrm{tg}k.}$: کارایی رشته k گروه g در سال t	λ_{tpa}: کسری از $\mathrm{Y_{tpa}}$ خواهد بود که مجموع حاصل‌ضرب آن‌ها در β برنامه و $\propto$ ماده هزینه در سال t، بودجه اختصاص داده شده به گروه g مربوط به سال t را تشکیل می‌دهد.
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{t...}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به کل مؤسسه در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{x}}_{\mathbf{t...}}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به کل گروه‌ها در سال **t**
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{tg..}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به گروه g در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{x}}_{\mathbf{t}g.}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به گروه **g** در سال **t**
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{x}}_{\mathrm{tgk.}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به رشته k از گروه g در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{x}}_{\mathbf{tgk.}}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به رشته **k** از گروه **g** در سال **t**
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{t..}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به کل برنامه‌ها در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{y}}_{\mathbf{t..}}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به کل برنامه‌ها در سال **t**
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{tp.}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به برنامه p در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{y}}_{\mathbf{tp.}}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به برنامه **p** در سال **t**
$\overline{\mathrm{U}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{tpa}}$: حد بالا بودجه قابل تخصیص به ردیف a در برنامه p در سال t	$\bar{\mathbf{L}}^{\mathbf{y}}_{\mathbf{tpa}}$: حد پایین بودجه قابل تخصیص به ردیف **a** در برنامه **p** در سال **t**
$\widehat{\mathrm{U}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{t..}}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه کل برنامه‌ها در سال t	$\widehat{\mathrm{L}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{t..}}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد پایین بودجه کل برنامه‌ها در سال t
$\widehat{\mathrm{U}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{tp.}}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه قابل تخصیص برنامه p در سال t	$\widehat{\mathrm{L}}^{\mathrm{y}}_{\mathrm{tp.}}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد پایین بودجه قابل تخصیص برنامه p در سال t

ادامه **جدول ۴**

$\widehat{U}^{y}_{tpa}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه ماده a برنامه p در سال t	$\widehat{L}^{y}_{tpa}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد پایین بودجه ماده a برنامه p در سال t
$\widehat{U}^{x}_{t..}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به کل مؤسسه در سال t	$\widehat{L}^{x}_{t..}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به کل مؤسسه در سال t
$\widehat{U}^{x}_{tg.}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به گروه g در سال t	$\widehat{L}^{x}_{tg.}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به گروه g در سال t
$\widehat{U}^{x}_{tgk.}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به رشته k از گروه g در سال t	$\widehat{L}^{x}_{tgk.}$: طول بازه عدم قطعیت برای حد بالا بودجه به رشته k از گروه g در سال t
$\Gamma_{t..}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه مجموع برنامه‌ها	$\acute{\Gamma}_{t..}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه مجموع برنامه‌ها
$\Gamma_{tp.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه هر برنامه p در سال t	$\acute{\Gamma}_{tp.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه برنامه p در سال t
Γ_{tpa} : ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه هر ماده هزینه a در برنامه p در سال t	$\acute{\Gamma}_{tpa}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه ماده هزینه a در برنامه p در سال t
$\Gamma^{x}{}_{t..}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه کل مؤسسه در سال t	$\acute{\Gamma}^{x}{}_{t..}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه کل مؤسسه در سال t
$\Gamma^{x}{}_{tg.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه در گروه g در سال t	$\acute{\Gamma}^{x}{}_{tg.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه در گروه g در سال t
$\Gamma^{x}{}_{tgk.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد بالای بودجه به رشته k از گروه g در سال t	$\acute{\Gamma}^{x}{}_{tgk.}$: ضریب سطح حفاظت پارامتر حد پایین بودجه به رشته k از گروه g در سال t
$d^{u}_{t..}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد بالای بودجه برنامه‌ها در سال t	$\boldsymbol{d}^{l}_{t..}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد پایین بودجه برنامه‌ها در سال **t**
$d^{u}_{tp.}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد بالای بودجه برنامه p در سال t	$\boldsymbol{d}^{l}_{tp.}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد پایین بودجه برنامه **p** در سال **t**

ادامه **جدول ۴**

d_{tpa}^{u} : دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد بالای بودجه ردیف a در برنامه p در سال t	d_{tpa}^{l}: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد پایین بودجه ردیف **a** در برنامه **p** در سال **t**
$P_{tg..}^{u}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد بالای مجموعه بودجه گروه g در سال t	$P_{tg..}^{l}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد پایین مجموعه بودجه گروه **g** در سال **t**
$P_{tgk.}^{u}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حدبالای مجموعه بودجه رشته k ازگروه g در سال t	$P_{tgk.}^{l}$: دامنه تغییرات فازی برای نیم طول بازه نوسان حد پایین مجموعه بودجه رشته **k** ازگروه **g** در سال **t**

۳-۱- مدل‌سازی توابع هدف

در این تحقیق با توجه به مدل مفهومی و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان شرکت ٤ تابع هدف یا آرمان اصلی شناسایی شد. استقلال هر یک از این آرمان‌ها مورد تأیید کارشناسان و صاحبان نظر قرار گرفته است. در ادامه مدل‌سازی توابع هدف از نظر خواهد گذشت.

- آرمان حداکثر کردن مطلوبیت حاصل از تخصیص بودجه به برنامه‌ها

در این مدل سعی شده است تخصیص بهینه منابع مالی به برنامه‌ها براساس ضریب اهمیت هر برنامه باشد به نحوی که هر چه اهمیت برنامه‌ای بیشتر باشد ضریب بالاتری را برای تخصیص بودجه داشته باشد. آرمان تخصیص بهینه بودجه به برنامه‌ها بصورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد.

$$[G_1]\ \text{Maximize}\left(\sum_{t=1}^{m}\sum_{p=1}^{n} W_{tp.}\, Y_{tp.}\right) \qquad (۱)$$

- آرمان نسبت مطلوب بودجه پژوهشی به بودجه کل برنامه‌ها

نسبت بودجه آموزشی و پژوهشی به کل بودجه سالانه در مراکز دانشگاهی یکی از آرمان‌هایی است که دارای استاندارد مشخص در تخصیص بودجه است. سطح مطلوب مورد نظر (مقدار ثابت آرمان) بسته به نوع خود ممکن است از نوع حداکثرسازی یا حداقل سازی باشد. به این ترتیب آرمان دوم این تحقیق نسبت مطلوب بودجه پژوهشی به بودجه کل برنامه‌ها بوده و به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$[G_2]\ \text{Maximize}\ \ Y_{t2a} / \sum_{a=1}^{m} Y_{tpa} \qquad t = 1, 2, \dots, T \qquad (۲)$$

- آرمان حداکثر کردن مطلوبیت حاصل از تخصیص بودجه به هر مقطع از هر گروه

این آرمان به تعیین سهم هر رشته و گروه از بودجه اختصاصی به کل مؤسسه می‌پردازد، پس لازم است تا مطلوبیت حاصل از این تخصیص نیز بیشینه گردد. همانطور که رابطه (۳) نشان میدهد، در این آرمان از ضریب کارایی به عنوان وزن هر گروه آموزشی در تابع هدف استفاده شده است. به نحوی که هر گروه آموزشی که کارایی بالاتری برخوردار باشد، سهم بیشتری از بودجه کل خواهد داشت.

$$[G_3]\ \text{Maximize} \sum_{t=1}^{T}\sum_{g=1}^{G}\sum_{k=1}^{K} E_{tgk.}\, X_{tgk.} \qquad (۳)$$

- آرمان نسبت مطلوب بودجه پشتیبانی به بودجه کل برنامه‌ها

سهم عمده‌ای از بودجه دانشگاه به برنامه پشتیبانی، رفاهی و خدماتی اختصاص می‌یابد؛ بنابراین آرمان چهارم مربوط به حداکثر سهم بودجه برنامه پشتیبانی از بودجه کل است که در رابطه (٤) تعریف شده است.

$$[G_4]\ min \sum_{\substack{a=1\\p=3}}^{m} Y_{tpa} \Big/ \sum_{t=1}^{m}\sum_{p=1}^{n}\sum_{a=1}^{d} Y_{tpa} \qquad (٤)$$

۳-۲ محدودیت‌های سیستم جهت تعادل

محدودیت تعریف شده در رابطه (٥) بیانگر برابری مجموع بودجه تخصیص به هر گروه با بودجه کل تخصیصی به مؤسسه است.

$$X_{t\dots} = \sum_{g=1}^{G} X_{tg..} \qquad t = 1, 2, \dots, T \qquad (٥)$$

محدودیت تعریف شده در رابطه (٦) بیانگر مجموع بودجه تخصیصی به رشته های هر

گروه است که برابر با بودجه تخصیصی به گروه‌های مؤسسه است.

$$X_{tg..} = \sum_{k=1}^{k} X_{tgk.} \qquad t = 1, 2, \dots, T \ , \qquad g = 1, 2, \dots, G \qquad (٦)$$

محدودیت تعریف شده در رابطه (۷) بیانگر برابری مجموع بودجه تخصیصی به مقاطع تحصیلی هر رشته گروه آموزشی با بودجه تخصیصی به آن رشته گروه آموزشی است.

$$X_{tgk.} = \sum_{g=1}^{G} X_{tgkm} \qquad t = 1, 2, \dots, T \ , \qquad g = 1, 2, \dots, G \qquad (۷)$$

محدودیت تعریف شده در رابطه (۸) بیانگر برابری مجموع بودجه تخصیص به برنامه‌های مؤسسه با بودجه کل مؤسسه است. رابطه (۹) نیز بیانگر محدودیت برابری مجموع بودجه تخصیص به ردیف‌های هزینه هر برنامه با بودجه تخصیصی به آن برنامه است.

$$Y_{t..} = \sum_{p=1}^{\gamma} Y_{tp.} \qquad t = 1, 2, \dots, T ; \quad p = 1, 2, \dots, P ; \qquad (۸)$$

$$Y_{tp.} = \sum_{a=1}^{\alpha} Y_{tpa} \qquad t = 1, 2, \dots, T ; \quad p = 1, 2, \dots, P ; \quad a = 1, 2, \dots, A \qquad (۹)$$

محدودیت (۱۰) بیانگر تعادل بین ساختار درونی بودجه با بودجه قابل اختصاص به هر مقطع از گروه‌های مؤسسه است.

$$X_{tgkm} = \sum_{t=1}^{\alpha} \sum_{p=1}^{\gamma} \sum_{a=1}^{\beta} \lambda_{tpa} Y_{tpa} \qquad t = 1, 2, \dots, T ; \quad g = 1, 2, \dots, G \quad k = 1, 2, \dots, K \qquad (۱۰)$$

λ_{tpa} کسری از Y_{tpa} خواهد بود که مجموع حاصل‌ضرب آن‌ها در β برنامه و $\propto$ ماده هزینه در سال t، بودجه اختصاص داده شده به گروه g در سال t را تشکیل می‌دهد.

۳-۳ محدودیت‌های کراندار

هر متغیر تصمیم در مدل یک حد پایین و حد بالا خواهد داشت، چرا که اصولا حذف یک برنامه و یا حذف بودجه یک گروه آموزشی امری منطقی به حساب نمی‌آید. این محدودیت‌ها به شرح زیر است.

الف- محدودیت کراندار مؤسسه (مجموع گروه‌ها)، رشته و گروه: حدود بالا و پایین بودجه مؤسسه، رشته و گروه به ترتیب محدودیت‌های مربوط به روابط (۱۳-۱۱) است. این محدودیت‌ها موجب می‌شود بودجه هیچ گروه و رشته‌ای به طور کامل حذف نشود و براساس استانداردهای موجود دارای یک حداقل باشد.

$$L_{t...}^{(X)} \leq X_{t...} \leq U_{t...}^{(X)} \quad t = 1, 2, \dots, T \tag{۱۱}$$

$$L_{tg..}^{(X)} \leq X_{tg..} \leq U_{tg..}^{(X)} \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad g = 1, 2, \dots, G \tag{۱۲}$$

$$L_{tgk.}^{(X)} \leq X_{tgk.} \leq U_{tgk.}^{(X)} \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad g = 1, 2, \dots, G \quad k = 1, 2, \dots, K \tag{۱۳}$$

ب) حدود بالا و پایین بودجه مؤسسه (مجموع برنامه‌ها)، برنامه و ردیف‌های هر برنامه به ترتیب محدودیت‌ها (١٦-١٤) است. این محدودیت‌ها نیز سبب می‌شود تا هر برنامه از حداقل بودجه مورد نیاز برخوردار شود.

$$L_{t..}^{(y)} \leq Y_{t..} \leq U_{t..}^{(y)} \quad t = 1, 2, \dots, T \tag{١٤}$$

$$L_{tp.}^{(y)} \leq Y_{tp.} \leq U_{tp.}^{(y)} \quad t = 1, 2, \dots, T, p = 1, 2, \dots, P \tag{١٥}$$

$$L_{tpa}^{(y)} \leq Y_{tpa} \leq U_{tpa}^{(y)} \quad t = 1, 2, \dots, T, p = 1, 2, \dots, P, a = 1, 2, \dots, A \tag{١٦}$$

۳-۴ محدودیت‌های استاندارد

محدودیت (١٦و ١٧) بیانگر اهمیت و اولویت هر برنامه نسبت به سایر برنامه‌ها و همچنین اهمیت هر آرمان در مقایسه با سایر آرمان‌هاست. برای مثال از آن‌جا که متغیر .Ytp بیانگر بودجه ریالی اختصاص داده شده به برنامه p در سال t است؛ بنابراین .Wtp بیانگر مطلوبیت حاصل از هر ریال بودجه اختصاص داده شده به برنامه p در سال t است.

$$\sum_{i=1}^{m} U_i = 1 \tag{١٦}$$

$$\sum_{p=1}^{P} W_{tp.} = 1 \tag{١٧}$$

۴-۱- صورت کلی مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی

در مدل فازی PBB در مؤسسه، پارامترهای حدود بالا و پایین بودجه برنامه‌ها، ردیف‌ها و همچنین بودجه رشته‌ها و گروه‌ها به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. برای این منظور از پارامتر d به عنوان انحراف مجاز بودجه برنامه‌ها و ردیف‌های موجود در هر برنامه و از p به عنوان انحراف مجاز بودجه رشته‌ها و گروه‌ها استفاده شد. برای توضیحات بیشتر در این مورد به [۲٤] مراجعه شود. با توجه به مدل فوق و با در نظر گرفتن تابع هدف قطعی برای مسأله مورد بررسی، صورت‌بندی مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی این پژوهش به شرح روابط (۲٤-۱۹) خواهد بود.

$$max\,\mathrm{Z} = \lambda \tag{۱۹}$$

$$\mathrm{U_1 d_1^-} + \mathrm{U_2 d_2^-} + \mathrm{U_3 d_3^-} + \mathrm{U_4 d_4^+} + \mathrm{U_5 d_5^+} + \mathrm{U_5 d_5^-} + \lambda(\mathrm{Z^1} - \mathrm{Z^o}) \le \mathrm{Z^1} \tag{۲۰}$$

$$\left(\sum_{\mathrm{t=1}}^{\mathrm{T}} \sum_{\mathrm{p=1}}^{\mathrm{P}} \mathrm{W_{tp.}\, Y_{tp.}}\right) + \mathrm{d_1^-} \ge G_1 \tag{۲۱}$$

$$\mathrm{Y_{t2.}} - G_2 \sum_{p=1}^{\mathrm{P}} \mathrm{Y_{tp.}} + \mathrm{d_2^-} \ge 0 \qquad \mathrm{t} = 1, 2, \dots, \mathrm{T} \tag{۲۲}$$

$$\sum_{\mathrm{t=1}}^{\mathrm{T}} \sum_{\mathrm{g=1}}^{\mathrm{G}} \sum_{\mathrm{k=1}}^{\mathrm{K}} \mathrm{E}_{\mathrm{tg}k}\, \mathrm{X_{tgk.}} + \mathrm{d_3^-} \ge G_3 \tag{۲۳}$$

$$\mathrm{Y_{t3.}} - G_4 \sum_{\mathrm{p=1}}^{\mathrm{P}} \mathrm{Y_{tp.}} - \mathrm{d_4^+} \le 0 \qquad \mathrm{t} = 1, 2, \dots, \mathrm{T} \tag{۲٤}$$

به اضافه محدودیت‌های تعادلی، کراندار و استاندارد (روابط ۱۷-۵) که در بخش ۳ اشاره شد.

۴-۲- مدل همتای استوار بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد در مؤسسه

با بهره‌گیری از مطالعات انجام شده در زمینه مقابله با این نوع از عدم قطعیت‌ها و الگو قرار دادن مدل برتسیمس و سیم، مدل برنامه‌ریزی آرمانی PBB در مؤسسه که در بخش قبل از نظر گذشت، به همتای استوار مدل برنامه‌ریزی آرمانی تبدیل خواهد شد. در فرم عمومی مدل

ارائه شده هر متغیر دارای حدود بالا و پایین نامطمئن خواهد بود؛ بنابراین به ازای هر متغیر دو پارامتر نامطمئن تعریف شده است، همچنین به منظور تعیین تعداد متغیرهای مدل استوار باید توجه نکرد که به ازای هر پارامتر نامطمئن (مثل $Y_{t..}$) دو متغیر استواری (به طور مثال $Z_{t..}$ و $q_{t..}$) به مدل اضافه خواهد شد. با توجه به این‌که تمامی حدود بالا و پایین بودجه به صورت نامطمئن در نظر گرفته شده‌اند به ازای هر متغیر یک حد بالا و یک حد پایین خواهیم داشت و به ازای هر کدام سه متغیر استواری به مدل اضافه خواهد شد. روابط (٦٥–۲۵) مدل همتای استوار را نشان میدهد.

$$min\, Z = U_1 d_1^- + U_2 d_2^- + U_3 d_3^- + U_4 d_4^+ + U_5 d_5^+ + U_5 d_5^- \qquad (۲۵)$$

$$\left(\sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{n} W_{tp.}\, Y_{tp.}\right) + d_1^- \geq G_1 \qquad (۲٦)$$

$$Y_{t2.} - G_2 \sum_{p=1}^{P} Y_{tp.} + d_2^- \geq 0 \qquad t = 1, 2, \dots, T \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{g=1}^{G}\sum_{k=1}^{K} E_{tgk.}\, X_{tgk.} + d_3^- \geq G_3 \qquad (۲۸)$$

$$Y_{t3.} - G_4 \sum_{p=1}^{P} Y_{tp.} - d_4^+ \leq 0 \qquad (۲۹)$$

محدودیت‌های تعادلی (روابط ۱۰– ٥) و استاندارد (روابط ۱٦و۱۷) بدون تغییر تکرار می‌شود.

$$Z_{t..} + q_{t..} \geq \widehat{U}_{t..}^{y}\, y_{t..}^{u} \qquad (۳۰)$$

$$Y_{t..} + Z_{t..}\Gamma_{t..} + q_{t..} \leq \overline{U}_{t..}^{y} m_{t..}^{y} \qquad (۳۱)$$

$$Z_{tp.} + q_{tp.} \geq \widehat{U}_{tp.}^{y} y_{tp.}^{u} \qquad (۳۲)$$

$$Y_{tp.} + Z_{tp.}\Gamma_{tp.} + q_{tp.} \leq \overline{U}_{tp.}^{y} m_{tp.}^{y} \qquad (۳۳)$$

$$Z_{tpa} + q_{tpa} \geq \widehat{U}_{tpa}^{y} y_{tpa}^{u} \qquad (۳٤)$$

$$Y_{tpa} + Z_{tpa}\Gamma_{tpa} + q_{tpa} \leq \overline{U}_{tpa}^{y} m_{tpa}^{y} \qquad (۳٥)$$

$$\acute{Z}_{t..} + \acute{q}_{t..} \geq \widehat{L}_{t..}^{y} y_{t..}^{l} \qquad (۳٦)$$

$$n_{t..}^{y} \overline{L}_{t..}^{y} \leq Y_{t..} - \acute{Z}_{t..}\acute{\Gamma}_{t..} - \acute{q}_{t..} \qquad (۳۷)$$

$$\acute{Z}_{tp.} + \acute{q}_{tp.} \geq \widehat{L}_{tp.}^{y} y_{tp.}^{l} \qquad (۳۸)$$

$$n_{tp.}^{y} \overline{L}_{tp.}^{y} \leq Y_{tp.} - \acute{Z}_{tp.}\acute{\Gamma}_{tp.} - \acute{q}_{tp.} \qquad (۳۹)$$

$$\acute{Z}_{tpa} + \acute{q}_{tpa} \geq \widehat{L}_{tpa}^{y} y_{tpa}^{l} \qquad (٤۰)$$

$$n_{tpa}^{y} \overline{L}_{tpa}^{y} \leq Y_{tpa} - \acute{Z}_{tpa}\acute{\Gamma}_{tpa} - \acute{q}_{tpa} \qquad (٤۱)$$

$$Z_{t...}^{x} + r_{t...} \geq \widehat{U}_{t...}^{x} y'^{u}_{t...} \qquad (٤۲)$$

$$X_{t...} + Z_{t...}^{x}\Gamma_{t...}^{x} + r_{t...} \leq \overline{U}_{t...}^{x} m_{t...}^{x} \qquad (٤۳)$$

$$\acute{Z}^{x}_{t...} + \acute{r}_{t...} \geq \hat{L}^{x}_{t...} y'^{l}_{t...} \qquad (٤٤)$$

$$n^{x}_{t...} \bar{L}^{x}_{t.} \leq X_{t...} - \acute{Z}^{x}_{t...} \acute{\Gamma}^{x}_{t...} - \acute{r}_{t...} \qquad (٤٥)$$

$$Z^{x}_{tg..} + r_{tg..} \geq \hat{U}^{x}_{tg..} y'^{u}_{tg..} \qquad (٤٦)$$

$$X_{tg..} + Z^{x}_{tg..} \Gamma^{x}_{tg..} + r_{tg..} \leq \bar{U}^{x}_{tg.} m^{x}_{tg..} \qquad (٤٧)$$

$$-y^{l}_{t..} \leq n^{y}_{t..} \leq y^{l}_{t..} \qquad (٤٨)$$

$$n^{x}_{tg..} \bar{L}^{x}_{tg..} \leq X_{tg..} - \acute{Z}^{x}_{tg..} \acute{\Gamma}^{x}_{tg..} - \acute{r}_{tg..} \qquad (٤٩)$$

$$-y^{l}_{tp.} \leq n^{y}_{tp.} \leq y^{l}_{tp.} \qquad (٥٠)$$

$$\acute{Z}^{x}_{tg..} + \acute{r}_{tg..} \geq \hat{L}^{x}_{tg..} y'^{l}_{tg..} \qquad (٥١)$$

$$-y^{l}_{tpa} \leq n^{y}_{tpa} \leq y^{l}_{tpa} \qquad (٥٢)$$

$$X_{tgk.} + Z^{x}_{tgk.} \Gamma^{x}_{tgk.} + r_{tgk.} \leq \bar{U}^{x}_{tgk.} \quad m^{x}_{tgk.} \qquad (٥٣)$$

$$-y'^{u}_{t...} \leq m^{x}_{t...} \leq y'^{u}_{t...} \qquad (٥٤)$$

$$Z^{x}_{tgk.} + r_{tgk.} \geq \hat{U}^{x}_{tgk.} y'^{u}_{tgk.} \qquad (٥٥)$$

$$-y'^{u}_{tg..} \leq m^{x}_{tg..} \leq y'^{u}_{tg..} \qquad (٥٦)$$

$$n^{x}_{tgk.} \bar{L}^{x}_{tgk.} \leq X_{tgk.} - \acute{Z}^{x}_{tgk.} \acute{\Gamma}^{x}_{tgk.} - \acute{r}_{tgk.} \qquad (٥٧)$$

$$-y'^{u}_{tgk.} \leq m^{x}_{tgk.} \leq y'^{u}_{tgk.} \qquad (٥٨)$$

$$\acute{Z}^{x}_{tgk.} + \acute{r}_{tgk.} \geq \hat{L}^{x}_{tgk.} y'^{l}_{tgk.} \qquad (٥٩)$$

$$-y'^{l}_{t...} \leq n^{x}_{t...} \leq y'^{l}_{t...} \qquad (٦٠)$$

$$-y^{u}_{t...} \leq m^{y}_{t..} \leq y^{u}_{t...} \qquad (٦١)$$

$$-y'^{l}_{tg..} \leq n^{x}_{tg..} \leq y'^{l}_{tg..} \qquad (٦٢)$$

$$y^{u}_{tp.} \leq m^{y}_{tp.} \leq y^{u}_{tp.} \qquad (٦٣)$$

$$-y'^{l}_{tgk.} \leq n^{x}_{tgk.} \leq y'^{l}_{tgk.} \qquad (٦٤)$$

$$-y^{u}_{tpa} \leq m^{y}_{tpa} \leq y^{u}_{tpa} \qquad (٦٥)$$

۴-۳- مدل استوار فازی بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد در مؤسسه

مدل استوار- فازی تنها یک متغیر (λ) بیشتر از مدل استوار دارد. در این پژوهش مدل استوار- فازی بیانگر مدلی است که حدود بالا و پایین در سطوح دارای عدم اطمینان تصادفی و نیم طول بازه‌های آن به صورت فازی در نظر گرفته شده است. روابط (۸٦-٦٦) نشان دهنده مدل استوار فازی می‌باشند.

$$max\, Z = \lambda \qquad (٦٦)$$

Subject to:

$$U_1 d_1^- + U_2 d_2^- + U_3 d_3^- + U_4 d_4^+ + U_5 d_5^+ + U_5 d_5^- + Z_{i..} \Gamma_{i..} + \sum qi + \lambda (Z^1 - Z^0) \leq Z^1 \qquad (٦٧)$$

$$Z_{tpa} + q_{tpa} - \lambda\, d^{u}_{tpa} \geq \hat{U}^{y}_{tpa} - d^{u}_{tpa} \qquad (٦٨)$$

محدودیت‌های تعادلی ، استاندارد (۱۷-۵) و محدودیت‌های شماره (۲۹-۲٦) دقیقاً مانند قبل تکرار می‌شود.

$$Y_{t..} + Z_{t..} \Gamma_{t..} + q_{t..} \leq \bar{U}^{y}_{t..} \qquad (٦٩)$$

$$X_{t...} + Z^{x}_{t...} \Gamma^{x}_{t...} + r_{t...} \leq \bar{U}^{x}_{t...} \qquad (٧٠)$$

$$Z_{t..} + q_{t..} - \lambda\, d^{u}_{t..} \geq \hat{U}^{y}_{t..} - d^{u}_{t..} \qquad (٧١)$$

$$Z^{x}_{t...} + r_{t...} - P^{u}_{t...} \lambda \geq \hat{U}^{x}_{t...} - P^{u}_{t...} \qquad (٧٢)$$

$$Y_{tp.} + Z_{tp.} \Gamma_{tp.} + q_{tp.} \leq \bar{U}^{y}_{tp.} \qquad (٧٣)$$

$$X_{tg..} + Z^{x}_{tg..} \Gamma^{x}_{tg..} + r_{tg..} \leq \bar{U}^{x}_{tg..} \qquad (٧٤)$$

$$\mathrm{Z}_{tp.} + \mathrm{q}_{tp.} - \lambda\, \mathrm{d}^{u}_{tp.} \geq \widehat{\mathrm{U}}^{y}_{tp.} - \mathrm{d}^{u}_{tp.} \qquad (۷۵)$$

$$\mathrm{Z}^{x}_{tg..} + \mathrm{r}_{tg..} - \mathrm{P}^{u}_{tg..}\lambda \geq \widehat{\mathrm{U}}^{x}_{tg..} - \mathrm{P}^{u}_{tg..} \qquad (٧٦)$$

$$\mathrm{Y}_{tpa} + \mathrm{Z}_{tpa}\Gamma_{tpa} + \mathrm{q}_{tpa} \leq \overline{\mathrm{U}}^{y}_{tpa} \qquad (۷۷)$$

$$\mathrm{X}_{tgk.} + \mathrm{Z}^{x}_{tgk.}\Gamma^{x}_{tgk.} + \mathrm{r}_{tgk.} \leq \overline{\mathrm{U}}^{x}_{tgk.} \qquad (۷۸)$$

$$\mathrm{Z}_{tpa} + \mathrm{q}_{tpa} - \lambda\, \mathrm{d}^{u}_{tpa} \geq \widehat{\mathrm{U}}^{y}_{tpa} - \mathrm{d}^{u}_{tpa} \qquad (۷۹)$$

$$\mathrm{Z}^{x}_{tgk.} + \mathrm{r}_{tgk.} - \mathrm{P}^{u}_{tgk.}\lambda \geq \widehat{\mathrm{U}}^{x}_{tgk.} - \mathrm{P}^{u}_{tgk.} \qquad (۸۰)$$

$$\mathrm{Y}_{t..} - d^{l}_{t..}\lambda \geq L^{y}_{t..} - d^{l}_{t..} \qquad (۸۱)$$

$$\mathrm{X}_{t...} - \mathrm{P}^{(l)}_{t...}\lambda \geq \mathrm{L}^{(x)}_{t...} - \mathrm{P}^{(l)}_{t...} \qquad (۸۲)$$

$$\mathrm{Y}_{tp.} - d^{l}_{tp.}\lambda \geq L^{y}_{tp.} - d^{l}_{tp.} \qquad (۸۳)$$

$$\mathrm{X}_{tg..} - \mathrm{P}^{l}_{tg..}\lambda \geq \mathrm{L}^{x}_{tg..} - \mathrm{P}^{l}_{tg..} \qquad (٨٤)$$

$$\mathrm{Y}_{tpa} - d^{l}_{tpa}\lambda \geq L^{y}_{tpa} - d^{l}_{tpa} \qquad (۸۵)$$

$$\mathrm{X}_{tgk.} - \mathrm{P}^{l}_{tgk.}\lambda \geq \mathrm{L}^{x}_{tgk.} - \mathrm{P}^{l}_{tgk.} \qquad (٨٦)$$

۵–حل مدل

با توجه به اندیس‌های بالا می‌توان گفت مؤسسه مورد مطالعه شامل ۳ برنامه (آموزشی، پژوهشی، پشتیبانی و خدماتی- رفاهی)، ۷۹ ماده هزینه (برنامه آموزشی ۱۷ ماده، برنامه پژوهشی ۲۷ ماده و برنامه پشتیبانی و خدماتی- رفاهی ۳۵ ماده را دربرمی‌گیرند. البته تعداد کل مواد هزینه بیش از ۳۰۰ بوده، اما موادی که در طول سال‌های مختلف مبلغی را به خود اختصاص نداده‌اند از مدل حذف گردیدند)، ۸ گروه، ۲۲ رشته (گرایش) و ۲ مقطع است. این مدل دارای ٤ آرمان بوده و سطح محافظه‌کاری نیز ۱۱ در نظر گرفته شده است. آرمان پنجم یعنی نسبت بودجه دانشجویان ارشد به دکتری با توجه به تعداد کم دانشجویان دکتری نادیده گرفته شد.

۵-۱- مقایسه نتایج حل مدل مدل قطعی، مدل فازی در سطح برنامه‌ها

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌گردد بهره‌گیری از مدل فازی سبب می‌شود تا میزان بودجه پیشنهادی برای دو برنامه آموزشی و پژوهشی افزایش یافته و از مقدار بودجه پشتیبانی و خدماتی- رفاهی کاسته شود که این امر کاملاً با اهداف مؤسسه سازگار است. چرا که تمرکز اصلی مؤسسه بر دو برنامه آموزشی و پژوهشی است.

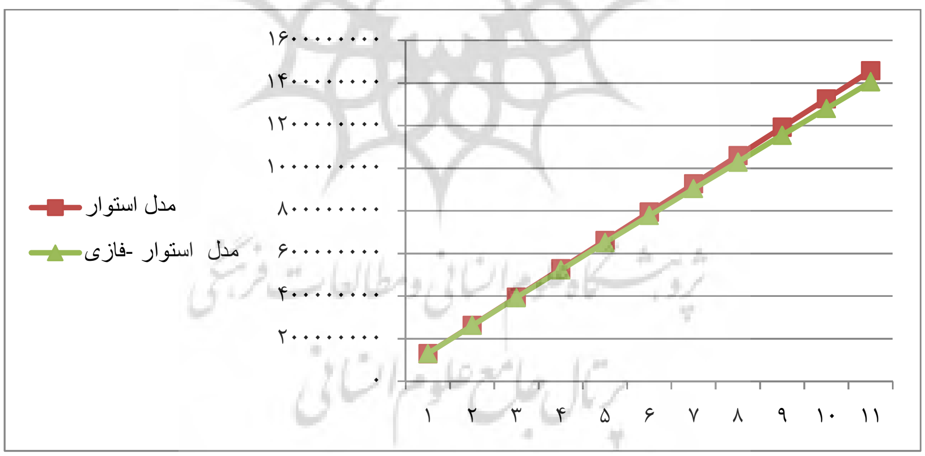
از دیگر مزایای نتایج مدل فازی نسبت به مدل قطعی این است که از یک سو میزان تحقق هر آرمان در مدل فازی بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به مدل قطعی داشته و از سوی دیگر مقدار کل بودجه تخصیصی کاهش یافته است. این بدان معناست که بهره‌گیری از مدل فازی سبب شده تا با ورودی کمتر خروجی بیشتر حاصل شود و این نشان‌دهنده بهبود کارایی در تخصیص بودجه به برنامه‌هاست.

جدول ۴-نتایج حل مدل قطعی، مدل فازی در سطح برنامه‌ها

نوع برنامه	مدل قطعی		مدل فازی	
	بودجه پیشنهادی	نسبت به کل	بودجه پیشنهادی	نسبت به کل
برنامه آموزشی	۲۴۲۵۰۰۳۹.۵۰۰	۰٫۱۱۴	۲.۴۸۵.۶۶۵.۴۸۸	۰٫۱۱۸
برنامه پژوهشی	۹.۴۷۸.۰۴۰.۰۰۰	۰٫۴۴۶	۹.۷۱۴.۹۹۱.۰۰۰	۰٫۴۶۳
برنامه پشتیبانی	۹.۳۲۳.۴۹۵.۲۹۲	۰٫۴۳۹	۸.۷۵۶.۵۸۲.۶۷۵	۰٫۴۱۷
کل مؤسسه	۲۱.۲۲۶.۵۷۴.۷۹۲	۱۰۰٪	۲۰.۹۵۷.۲۳۹.۱۶۳	۱۰۰٪

۵-۲ مقایسه نتایج حل مدل‌های استوار در سطح مقادیر تابع هدف

همان‌طور که در نمودار ۱ ملاحظه می‌شود با افزایش سطح حفاظت مقدار انحرافات و همچنین تابع هدف (مجموع انحرافات) بدتر می‌شود که این امر با منطق ریاضیاتی استوار سازی مدل کاملاً سازگار است، زیرا هر چه تصمیم‌گیرنده بخواهد عدم اطمینان بیشتری را برای مدل در نظر بگیرد، پاسخ‌های محافظه‌کارانه‌تری را دریافت خواهد کرد.



نمودار ۱- مقایسه مقدار انحراف کل (تابع هدف) درمدل‌های استوار و استوار فازی

۵-۳- مقایسه نتایج مدل‌های استواری در سطح برنامه‌ها

براساس جدول ٦ بهره‌گیری از مدل استوار سبب می‌شود تا مقدار بودجه تخصیصی به هر برنامه و گروه‌ها با افزایش سطح حفاظت کاهش یابد که این امر با منطق استوارسازی مدل به خوبی سازگار است. در واقع هرچه عدم اطمینان تصادفی بر پارامترهای حدود بالای بودجه (حداکثر مقداری که تصمیم‌گیرنده‌گان می‌توانند آن را تخصیص دهند) بیشتر شود، مقادیر بودجه به شکل محتاطانه‌تری تخصیص خواهد یافت.

جدول ۵- مقایسه نتایج بودجه پیشنهادی برنامه‌ها و مجموع گروه‌ها به ازای سطوح مختلف حفاظت در مدل‌های استوار و استوار فازی

سطح حفاظت (Γ)	کل مؤسسه (مجموع برنامه‌ها)		بودجه مجموع گروه‌ها	
	مدل استواری	مدل مدل استوار -فازی	مدل استواری	مدل مدل استوار -فازی
۱	۲۱.۲۲٦.۵۷٤.۷۹۲	۲۱.۲۲٦.۵۷٤.۷۹۲	۲۰.۷۷۷.۳۳٤.٦۰۳	۲۰.۳۸۲.۵٦۵.۲٤٦
۲	۲۰.۹۱۵.٦۵۵.۳٦۳	۲۰.۹۱٤.۱٤۹.۲۱۸	۲۰.٤٦۸.۵۳۹.٦٤۰	۲۰.۰۸۱.۱۰٦.٦۰۳
۳	۲۰.٦۰۷.۷۱۹.۳۳۳	۲۰.٦۰۱.۷۲۲.٦٤٤	۲۰.۱۵۹.۷٤٤.٦۷۷	۱۹.۷۸۲.۵۵۸.۲۱۰
۴	۲۰.۳۰۲.۷۰۷.٦۲۳	۲۰.۲۸۹.۲۹۸.۰۷۰	۱۹.۸۵۰.۹٤۹.۷۱٤	۱۹.٤۸٦.۸٦٤.۸۱۸
۵	۲۰.۰۰۰.۰۰۰.٤۳۸	۱۹.۹۷٦.۳٤۳.۹۰۸	۱۹.۵٤۱.۷۰۷.۳٦۹	۱۹.۱۹۳.۵۰۵.۹۸۷
۶	۱۹.۷۰۰.۱٤۰.۰۸٦	۱۹.٦٦۳.۳٤۹.۰۵۵	۱۹.۲۳۲.٤۳۰.۳۷۷	۱۸.۹۰۲.۹۲۵.۹۵۱
۷	۱۹.٤۰۳.۰۸٦.٤۲۰	۱۹.۳۵۰.۳۵٤.۲۰۲	۱۸.۹۲۲.۱۵۲.٤۸٤	۱۸.٦۱۵.۰۸۵.۵۲۳
۸	۱۹.۱۰۸.۸۰۰.۰٤۱	۱۹.۰۳۷.۳۵۹.۳٤۸	۱۸.٦۱۳.۸۷٦.۵۹۲	۱۸.۳۲۹.۹٤٦.۲٤۷
۹	۱۸.۸۱۷.۲٤۲.۲۸٦	۱۸.۷۲٤.۳٦٤.٤۹۵	۱۸.۳۰٤.۵۹۹.٦۹۹	۱۸.۰٤۷.٤۷۰.۳۸۲
۱۰	۱۸.۵۳۸.٤۹۷.۵۵۰	۱۸.٤۱۱.۳٦۹.٦٤۱	۱۷.۹۹۵.۳۲۲.۸۰۷	۱۷.۷٦۷.٦۸۸.۵۹٦
۱۱	۱۸.۲٤۲.٦٦۷.۲٤٦	۱۸.۰۹۸.۳۷٤.۷۸۸	۱۷.٦۸٦.۰٤۵.۹۱٤	۱۷.٤۹۰.٦٤۵.۸۱۵

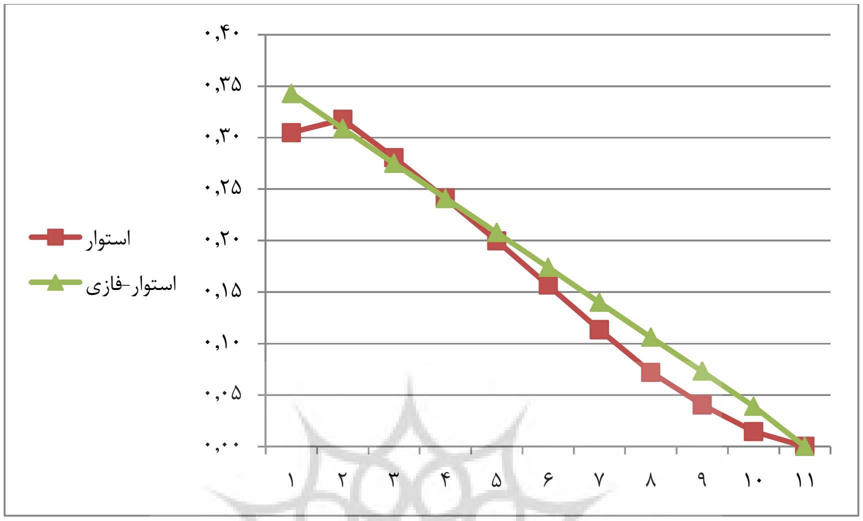
با توجه به نتایج حاصل از جدول ٦ می‌توان چنان استدلال کرد که نتایج مدل استوار فازی به مراتب بهتر از نوع مدل استوار است. بهبود نتایج به ترتیبی که در بالا بیان شد امری منطقی است، چرا که فازی کردن حدود موجب گسترش فضای ممکن برای پاسخ می‌شود (افزایش فضای موجه). در بهبود نتایج مدل استوار فازی نسبت به مدل استوار باید به ماهیت پارامترهای این دو مدل توجه نمود، چراکه در مدل استوار نیم طول بازه به صورت قطعی در نظر گرفته شده‌اند، در حالی که در مدل استوار فازی این نیم طول‌ها به صورت فازی مطرح شده‌اند و این موجب انعطاف‌پذیری آن نسبت به حالتی می‌شود که حدود قطعی در نظر گرفته

شده باشند؛ بنابراین بدیهی است که نتایج مدل استوار فازی بهتر از مدل استوار باشد. نمودارهای ۳ و ٤ نیز به خوبی این تفاوت‌ها را نمایش می‌دهد.

۵-۴- بررسی کیفیت پاسخ‌ها

به منظور بررسی کیفیت پاسخ‌های حاصل از حل مدل‌ها از شبیه‌سازی روش مونت کارلو[8] (MCS) استفاده گردید که کاربرد زیادی در بحث تجزیه و تحلیل عدم قطعیت دارد. در این پژوهش به منظور دستیابی به میزان نقض محدودیت‌ها در هر حالت مقادیر متغیرهای حاصله از هر بار حل مدل ثابت لحاظ شدند و پارامترهای نامطمئن در بازه در نظر گرفته شده به طور تصادفی در قالب تابع توزیع یکنواخت برای ۱۰۰۰۰ بار تولید و شبیه‌سازی شدند؛ بنابراین برای هر بار شبیه‌سازی مشخص می‌گردد، چه تعداد از محدودیت‌ها نقض شده‌اند. ریسک هر سطح حفاظت با مشخص شدن نسبت تعداد کل محدودیت‌های نقض شده به تعداد کل محدودیت‌های دارای پارامتر نامطمئن تعیین می‌گردد. به طور خلاصه به ازای هر بار حل عمل شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. در این بخش به مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌پردازیم.

نمودار ۲ بیانگر ارتباط احتمال نقض محدودیت‌ها (سطح ریسک تصمیم) به ازای سطوح مختلف حفاظت است. بدیهی است احتمال نقض محدودیت‌ها با افزایش سطح محافظه کاری روندی نزولی را طی می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده با وجود مزایای بسیار بالای مدل استوار- فازی نسبت به مدل استوار باید معترف شد که هرچه سطح حفاظت افزایش یابد، ریسک تصمیم در مدل استوار کمتر از دو مدل دیگر خواهد بود (به عبارتی دیگر در سطح حفاظت برابر احتمال نقض مدل استوار کمتر از دو مدل استوار- فازی است). دلیل این امر را می‌توان در فازی بودن نیم طول بازه در مدل‌های استوار- فازی دانست، چرا که اساساً فازی لحاظ کردن حدود بالا و پایین سبب انعطاف‌پذیری افزایشی فضای پاسخ می‌شود (گسترش فضای موجه)، در حالی که منطق تعریف استوارسازی حدود بالا و پایین اصولاً منجر به کاهش فضای پاسخ خواهد شد به نحوی که فضای کمتری را به عنوان فضای موجه مدل تعریف نموده و انتخاب سختگیرانه‌تری را به دنبال خواهد داشت.



نمودار ۲-مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل‌های استوار به ازای سطوح حفاظت مختلف

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با بررسی ادبیات موضوع مدل ریاضی که دربرگیرنده ساختار دوگانه بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد (PBB) در مؤسسه ارائه شد. پس از طراحی مدل برنامه‌ریزی آرمانی بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد در مؤسسه و به منظور مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای مسأله علاوه‌بر مدل قطعی (اسمی)، ۳ مدل دیگر براساس مدل اسمی طراحی شده و در مجموع سه سناریو ارائه گردید که عبارتند از: ۱- مدل بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد فازی در مؤسسه (مدل فازی)، ۲- مدل بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد استوار در مؤسسه (مدل استوار)،۳- مدل بودجه‌ریزی بر مبنای عملکرد استوار فازی در مؤسسه (مدل استوار فازی)، براساس منطق شبیه‌سازی مونت کارلو به منظور نمایش قابلیت‌های مدل‌های استوار هر کدام از مدل‌های استوار به ازای هر سطح حفاظت ۱۰۰۰۰ بار شبیه‌سازی شد که از مقایسه نتایج آن‌ها نکات قابل توجهی پدیدار گردید.

از مقایسه مدل‌های استوار و استوار- فازی چنین نتیجه می‌گیریم که بهره‌گیری از منطق

فازی منجر به پاسخ‌های بهتری خواهد شد. در ادامه مهم‌ترین نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مختلف عبارت از موارد زیر است.

۱- استفاده از الگوی طراحی شده منجر به برقراری توازن و تعادل بین سطوح مختلف مؤسسه (از یک سو برنامه‌ها و ردیف هزینه‌ها و از سوی دیگر رشته‌ها و گروه‌ها) خواهد شد،

۲- اگرچه بهره‌گیری از منطق فازی منجر به ارائه پاسخ‌های بهتر می‌شود، اما در مدل استوار فازی به ازای سطح حفاظت مشابه در مدل استوار، احتمال نقض محدودیت‌ها (سطح ریسک تصمیم) بیشتر است. به عبارتی دیگر با افزایش سطح حفاظت کاهش ریسک تصمیم در مدل استوار به مراتب بیشتر از مدل استوار فازی است،

۳- با توجه به عدم اطمینان موجود در پارامترهای حدود بالا و پایین بودجه در سطوح مختلف مؤسسه بهره‌گیری از مدل‌های استوار سبب می‌شود تا عدم قطعیت موجود در مسأله به نحو مطلوبی قابل مدیریت باشد.

۶-۱- پیشنهادات کاربردی

۱-با توجه به اختلاف زیاد بین سطح حفاظت ۱ و ۱۱ به مسئولین محترم مؤسسه آموزش و پژوهش توصیه می‌گردد که با دقت در انتخاب سطح حفاظت یا ریسک مطلوب و توجه به توازن ریسک و هزینه یکی از حالت‌های پاسخ را انتخاب نمایند.

۲-اگرچه مدل‌های این تحقیق با دقت هرچه تمام و بر مبنای مصاحبه مستمر با کارشناسان بودجه مؤسسه طراحی شده‌اند، اما همواره قابل بهبود خواهند بود. توصیه می‌شود که با دقت هرچه بیشتر در صورت نیاز عملی، محدودیت‌ها واهداف دیگری نیز به مدل اضافه گردد.

۳-به محققان و علاقه‌مندان پیشنهادات می‌شود تا در مطالعات خود به بررسی موارد زیر بپردازند:

الف- استفاده از مدلهای پیش بینی به منظور تعیین حدود بالا و پایین بودجه.

ب- ارائه روش‌هایی کارا و منطقی به منظور تعیین تعداد حالات لحاظ شده سطوح حفاظت.

ج- امکان‌سنجی مدل استوار- فازی برای مدل‌های دیگر استوارسازی غیر از برتسیمس و سیم.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Prediction Errors
2. Measurement Errors
3. Implementation Errors
4. Fuzzy Robust Linear Programming
5. Bertsimas
6. Sims
7. Mont Carlo Simulation

۸- منابع

[1] Y. Kiyoshi. (2010). “Performance-oriented budgeting in public universities: The Case of a National University in Japan”, *The Journal of Finance and Management in Colleges and Universities*, (7), 41-60.

[2] Azar, A. R., Yazdi, M. M., & Fetanatfard, M. (2011). HM,“A robust-fuzzy multi-objective sourcing mathematical model: an approach to managing the risk of Irankhodro SCM”. *Journal Modares Managment Researches In Iran*, 51-76.

[3] Kholusi, S. (2010). *Design of Mathematical Model of Finance Allocation to IMIDRO Projects* (Doctoral dissertation, MS Thesis, Tarbiat Modares University).

[4] Azar, A., Amirkhani, T. (2011). Public Budgeting: Budgetary Institutions and Local Budget, Tehran, *SAMT publication*.

[5] Charnes, A., & Cooper, W. W. (1971). Studies in Mathematical and Managerial Economics, SL.

[6] Shim, J. P., & Lee, M. S. (1984). Zero-base budgeting: Dealing with conflicting objective. *Long Range Planning*, *17*(5), 103-110.

[7] Habeeb, Y. A. (1991). Adapting multi-criteria planning to the Nigerian economy. *Journal of the Operational Research Society*, *42*(10), 885-888.

[8] Greenberg, R. R., & Nunamaker, T. R. (1994). Integrating the analytic hierarchy process (AHP) into the multiobjective budgeting models of public sector organizations. *Socio-Economic Planning Sciences*, *28*(3), 197-206.

[9] Azar, A., Seyed Esfahani , M. (1996). Deterministic mathematical approach in budgeting, *Journal of Management Knowledge*, *31 and 32*, 10-19.

[10] Kwak, N. K., & Lee, C. (1998). A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning. *European Journal of Operational Research*, *110*(2), 234-242.

[11] Azar, A., Najafi, E., Najafi, S. (2011). Robust mathematical modeling: A new approach in Iran's public budgeting, *Journal of Management Researches in Iran in Iran, 15(2)*, 1-19.

[12] Jafarnejad, A. Safari,H. Azar , A. Ebrahimi,A. (2015). Management Of Supply Chain Using Activity-Based Costing Approach, Robust Optimization And Dynamic Simulation, *Journal Of Operational Research In Its Application (Applied Mathematics) , 12(2),* 19-36.

[13] GhahtaranI, A. NajafI,A. (2014). Robust optimization of the portfolio selection problem using weighted conditional value at-risk approach, *Sharift Journal Of Industrial Engineering And Management, 30(1*), 3-10.

[14] Albadvi, A., & Koosha, H. (2011). A robust optimization approach to allocation of marketing budgets. *Management Decision*, *49*(4), 601-621.

[15] Peykani , P., Roughanian, I. (2015). Using data envelopment analysis and robust optimization in the selection of portfolio, *Journal Of Operational Research In Its Application (Applied Mathematics)* , *12(1),* 61-78.

[16] Fallahpour,S. Tondnevis,F. (2014). Application of an optimization model for constructing an index tracker portfolio and considering the uncertainty of model parameters by using of robust optimization approach, *Journal of financial Research, 17(2)*, 325-340.

[17] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust optimization of large-scale systems. *Operations research*, *43*(2), 264-281.

[18] Feizollahi, M. J., & Feyzollahi, H. (2015). Robust quadratic assignment problem with budgeted uncertain flows. *Operations Research Perspectives*, *2*, 114-123.

[19] Roy, B. (2010). Robustness in operational research and decision aiding: A multi-faceted issue. *European Journal of Operational Research*, *200*(3), 629-638.

[20] Soyster, A. L. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming. *Operations research*, *21*(5), 1154-1157.

[21] Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (1999). Robust solutions of uncertain linear programs. *Operations research letters*, *25*(1), 1-13.

[22] Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (2000). Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data. *Mathematical programming*, *88*(3), 411-424.

[23] Bertsimas, D., & Sim, M. (2003). Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical programming*, *98*(1-3), 49-71.

[24] Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations research*, *52*(1), 35-53.

[25] Azar, A., Amini,M., Ahmadi, P. (2014). Robust Fuzzy Performance-based Budgeting Model: An Approach to Managing the Budget Allocation Risk, *Journal of Management Researches in Iran, 17(4)*, 65-95.