طراحی یک مدل ریاضی چند هدفه با در نظرگرفتن ریسک برای مساله انتخاب پروژه در مدیریت کلاس جهانی

حسن فارسیجانی[۱]، اکرم علی کاظمی*[۲]

۱- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی- دانشکده مدیریت - دانشگاه شهید بهشتی – تهران - ایران
h-farsi@sbu.ac.ir–

۲- کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی- دانشکده مدیریت - دانشگاه آزاد اسلامی علوم تحقیقات – تهران - ایران
monadi.kazemi@gmail.com –

چکیده :

در انتخاب پروژه و یا در حقیقت شرکت در مناقصه‌ها، اطلاع از ریسک‌های موجود در هر پروژه و میزان تاثیرگذاری آن در مدیریت کلاس جهانی، مسئله‌ای مهم و قابل توجه است. به همین منظور در پژوهش حاضر، مدلی ریاضی چندهدفه استوار به منظور کمینه‌سازی ریسک-های موجود در انتخاب پروژه، بیشینه‌سازی نرخ بازگشت سرمایه، بیشینه‌سازی سود حاصل از انجام پروژه و عوامل موثر در ایجاد پایداری شامل: بیشینه‌سازی میزان اعتبار شرکت از طریق انجام پروژه‌های بزرگ و مناسب، بیشینه‌سازی استخدام نیروهای بومی به منظور کاهش نرخ بیکاری و در نهایت کمینه‌سازی میزان مواد و مصالحی که برای انجام پروژه تهیه شده اما مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، ارائه شده است. در این تحقیق به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل متناسب با مدیریت کلاس جهانی ارائه شده، مثالی متناسب با مسائل دنیای واقعی طراحی و بررسی می‌شود. طبق مرور ادبیات صورت گرفته در تحقیقات پیشین، یکی از ابزارهای کارآمد در انتخاب پروژه (تحقیقات صورت گرفته در زمینه انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری) طراحی مدل‌های ریاضی و استفاده از نتایج آن‌ها است؛ چرا که بسیاری از عوامل را می-توان در قالب داده‌های عددی گزارش کرده و به عنوان پارامترهای مدل مورد استفاده قرار داد. از آنجا که پارامترهای مسئله انتخاب سبد سهام، از قبیل قیمت سهم، بازده و... هر سهم را به‌دلیل نوسان‌های بازار و قیمت‌ها نمی‌توان ثابت در نظر گرفت، باید از روشی بهره برد که عدم‌قطعیت در داده‌ها و پارامترهای مسئله را لحاظ کند. به همین منظور بهینه‌سازی استوار راه‌حلی عملی برای مسائلی به‌شمار می‌رود که در آنها مقدار و توزیع پارامترها نامعلوم است.

کلید واژه:ریسک، بهینه سازی انتخاب پروژه، مدل چند هدفه، بهینه سازی استوار، مدیریت کلاس جهانی

مقدمه :

هر سازمانی برای اجرای سیاست‌ها و اهداف خود و برای ادامه رشد و بقاء و به اجرا در آوردن برنامه‌ها، خود را ملزم به برنامه‌ریزی و کنترل آن در راستای ماموریت و استراتژی بلند مدت سازمان می‌داند؛ که گاها این برنامه‌ها در مقام اجراء، به صورت پروژه‌هایی نمایان خواهند بود. به عبارتی می‌توان به این نکته اشاره کرد که تقریبا همه سازمان‌ها به نوعی با پروژه، به دنبال آن انتخاب پروژه روبرو می‌باشند. حال این سازمان ممکن است یک نهاد دولتی باشد که به دنبال برنامه‌ریزی پروژه‌های ملی است یا یک شرکت تولیدی که پروژه‌ها و طرح‌های تولیدی خود را برنامه‌ریزی می‌کند. پس به این ترتیب می‌توان به اهمیت پروژه‌ها در سازمان و بالتبع آن انتخاب پروژه‌ها پی برد.

با افزایش رقابت و محدودیت منابع سازمان‌ها انتخاب پروژه مناسب که بتواند سود و مطلوبیت را افزایش و با منابع سازمان هماهنگی داشته باشد، به امری ضروری مبدل گشته است و انتخاب نامناسب پروژه منجر به تاثیرات منفی بر سازمان می‌شود. یکی از تکنیک‌های جدید در

زمینه مدیریت پروژه، انتخاب سبد پروژه می‌باشد. انتخاب مناسب سبد پروژه موجب می‌گردد تا منابع محدود سازمان در راستای اهداف استراتژیک مصرف ریسک به حداقل برسد (باهاتاچاریا و همکاران[1]، ۲۰۱۱).

به طور کلی انتخاب سبد پروژه، به علت وجود عدم‌اطمینان در پروژه‌ها، تغییرات مستمر بازار، فناوری، وابستگی و محدودیت منابع، فرآیندی پیچیده محسوب می‌شود. در این پایان‌نامه ابتدا به معرفی انواع روش‌های انتخاب سبد پروژه با توجه به محدودیت‌های، معیارهای چندگانه و عدم‌اطمینان موجود در پروژه پرداخته می‌شود و در ادامه نیز یک مدل ریاضی چندهدفه احتمالی مبتنی بر برنامه‌ریزی استوار جهت انتخاب پروژه ارائه می‌گردد.

مرور ادبیات تحقیق:

در شرایط محدودیت بودجه اولین و مهمترین چالش مدیران پروژه در بخش تصمیم گیری این است که چه پروژه‌ای در چه شرایطی انتحاب شود. این دو ومقیاس در تصمیم گیری مدیران بسیار حیاتی میباشد. در بخش اول چندین تکنیک معتبر وجود دارد که بتواند پروژه اصلح را انتخاب کند. به طور مثال میتوان پروژه ای را که دارای کمترین هزینه است انتخاب کرد. البته این امر با در نظرگرفتن عوامل پنهانی مانند ارزش پروژه، شانس موفقیت، که از جنبه های ذاتی پروژه هستند امکان پذیر است. به همین دلیل موضوع انتخاب پروژه یک مساله چند هدفه میباشد.دومین عاملی که در انتخاب یک پروژه تاثیر گذار میباشد هزینه های قابل پیش بینی پروژه می‌باشد شامل منابع انسانی و تامین کنندگان منابع خام که تخمین این هزینه ها در سطح برنامه ریزی بسیار سخت می‌باشد. به همین دلیل است مدیران پروژه باید تصمیم‌گیری را بدون داشتن اطلاعات کامل و داده کامل از یک پروژه اتخاذ کنند. این شرایط احتمالی انتخاب پروژه باعث میشود. از روش برنامه ریزی تصادفی و استوار بهره ببریم. .[1] مساله انتخاب پروژه میتواند به مانند یک مساله‌ی کوله پشتی در نظرگرفته شود طوریکه فردی که کوله پشتی را حمل میکند قصد دارد با یک سری داده قطعی با محدودیت حجم قصد دارد از حداکثر ظرفیت کوله پشتی استفاده کند.[2,3]. زمانی که داده های یک پروژه مانند درامد-هزینه به صورت تصادفی باشند مساله انتخاب پروژه به یک مساله سبد سهام تبدیل می‌شود. که [4] یکی افراد شناخته شده در این زمینه میباشد.[5] از روش برنامه‌ریزی یکپارچه و روش دلفی برای برای مساله انتخاب پروژه استفاده کرد. [6] از روش برنامه ریزی آرمانی در سیستم سلامت برای انتخاب پروژه استفاده کرد. [7] از علم احتمالات و برنامه‌ریزی احتمالی برای مساله انتخاب پروژه استفاده کرد. داشتن اطلاعات ناقص در مورد مقدار دقیق پارامترها و تعیین آن ها در شرایط عدم قطعیت یک مساله‌ی مهم در برنامه‌ریزی تصادفی است.به همین دلیل قصد داریم به صورت خلاصه روش برنامه‌ریزی استوار را شرح دهیم و خلاصه ای از کارهای انجام شده را عنوان کنیم

بحث استواري عمدتاً در مقابل واژه هايي چون عدم قطعيت يا عدم اطمينان، عدم دقت، تغييرپذيري مستمر و ...همراه است و به عبارتی، استواري و مدل هاي مربوطه به منظور مقابله با عدم اطمينان و واژه هاي مشابه مورد استفاده قرار می‌گيرند. اگرچه روش هاي ديگري چون برنامه ريزي احتمالی و تحليل حساسيت در مقابله با عدم اطمينان وجود دارد.

به لحاظ تاريخی، بهينه سازي در شرايط غيرقطعی در اواخر دهه ۱۹۵۰ شروع شد و هم در زمينه تئوري و هم در زمينه الگوريتم به سرعت پيشرفت کرد. رويکردهاي زيادي

[1] Bhattacharyya at el

براي بهينه سازي در شرايط غيرقطعي[2] مورد استفاده قرار گرفته است كه از آن جمله، كمينه كردن اميد رياضي، كمينه كردن انحراف از آرمان ها، كمينه كردن بيشترين هزينه ها را مي‌توان نام برد. در اين ميان مي‌توان سه رويكرد اصلي را متمايز كرد: برنامه ريزي احتمالي و برنامه ريزي فازي[3] و برنامه ريزي پوياي احتمالي[4].
در اواسط دهه ۱۹۵۰ دانتزيگ برنامه ريزي احتمالي را به عنوان يک رويكرد براي مدل كردن عدم قطعيت داده ها معرفي كرد. سه مشكل اصلي براي اين رويكرد وجود دارد:
الف) شناخت توزيع دقيق داده ها و در نتيجه عددي كردن سناريوهايي كه از اين توزيع ها عدد مي‌گيرند، در عمل دشوار است.
ب) محدوديت‌هاي شانس، ويژگي محدب بودن مساله اصلي را از بين مي‌برد و بر پيچيدگي آن به مقدار زيادي مي افزايد.
ج) ابعاد مدل بهينه سازي بدست آمده به صورت نجومي با زياد شدن تعداد سناريوها افزايش مي‌يابد، كه چالش‌هاي محاسباتي عمده اي را موجب مي‌گردد.
مالوي و همكاران [8] بر اين اعتقاد هستند كه دانشمندان علم مديريت به منظور سازش و انطباق بين داده هاي دنياي واقعي و قلمرو برنامه ريزي رياضي از تكنيک تحليل حساسيت استفاده نموده اند. هدف از اين نوع بررسي‌هاي پس از حل[5] پي بردن و كشف اثر نگراني در قبال خروجي‌هاي مدل مي باشد. چنين بررسي‌هاي پس از حل از نوع واكنشي[6] هستند يا اصطلاحاً خاصيت واكنش پذيري دارند. اين نوع بررسي و مطالعه تنها اثر عدم اطمينان هاي داده ها را روي توصيه هاي مدل (خروجي هاي پيشنهادي مدل) مورد بررسي قرار مي‌دهند. مالوي و همكاران [8] معتقدند كه روش پيشگيرانه[7] مورد نيازمي باشد. بنابراين بايد مدل هايي طراحي و مدل سازي شوند كه در مقايسه با مدل هاي برنامه ريزي رياضي كلاسيک نسبت به داده هاي مدل كمتر حساس باشند. يكي از اين مدل ها، برنامه ريزي خطي احتمالي[8] است. اما به طور كلي مواجهه با اين نوع داده ها از طريق تحليل حساسيت يا فرمول‌بندي برنامه ريزي احتمالي[9] با مشكلاتي مواجه مي باشدمالوي و همكاران [8]
رويكرد ديگري كه در سال هاي اخير براي مقابله عدم قطعيت داده ها بسط داده شده است، بهينه سازي استوار مي‌باشد كه در آن به بهينه‌سازي در هنگام رخ دادن بدترين موارد پرداخته ميشود كه ممكن است منجر به يک تابع هدف كمينه كردن بيشينه ها[10] شود. در اين رويكرد به دنبال جواب‌هاي نزديک به بهينه اي هستيم كه با احتمال بالايي موجه باشند. به عبارت ديگر با كمي صرف نظر كردن از(بهينگي) تابع هدف، موجه بودن جواب بدست آمده را تضمين مي‌كنيم. البته در مورد عدم‌قطعيت در ضرايب تابع هدف، با كمي صرف نظر كردن از مقدار تابع هدف بهينه، به دنبال جوابي هستيم كه با احتمال بالايي جواب‌هاي واقعي بهتر از آن جواب باشند.دب و همكاران[9]).
به طور كلي در برنامه ريزي رياضي قطعي، فرض مي شود داده هاي ورودي بطور مشخص و معادل با مقادير اسمي است. اين نگرش تأثير عدم اطمينان را روي كيفيت و موجه‌بودن مدل مدنظر قرار نمي دهد. در حقيقت داده هايي كه مقادير متفاوتي را از مقادير اسمي‌شان اختيار مي‌كنند، ممكن است منجر به اين مسأله شوند كه تعدادي از محدوديت-ها نقض گردند و جواب بهينه ممكن است مدت طولاني بهينه نمانده يا حتي موجه‌بودن آن از بين برود. اين بحث خواسته اي طبيعي را به ذهن متبادر مي‌سازد كه روش‌هاي حلي

---

[2] uncertainity
3 - Fuzzy Programming
4 - Stochastic Dynamic Programming
5 - Post-optimality studies
6 - Reactive
7 - proactive
[8] - probabilistic linear programming
9 -Stochastic
10 -min-max

طراحی و ارائه شوند که در مقابل عدم اطمینان داده ها ایمنی ایجاد کنند، این روش‌ها "حل استوار" نامیده می‌شوند.
برتسیمس و سیم، [12, 11, 10])
اولین گام و تحقیق در این راستا از سویستر[11] ارائه گردید که یک مدل برنامه ریزي خطی را برای تولید جوابی که براي همه داده هاي متعلق به یک مجموعه محدب موجه است، ارائه کرد. مدل مذکور جواب‌هایی ارائه می‌کند که در قبال بهینگی مسأله اسمی به منظور اطمینان از استواري، به شدت محافظه کارانه عمل می کند. بدین معنی که در این رویکرد براي اطمینان از استوار بودن جواب، به مقدار زیادي از بهینگی مساله اسمی دور می‌شود. در این مدل، هر داده ورودي می‌تواند هر مقداري از یک بازه[12] را بگیرد (بن تال و نمیروفسکی [13] و برتسیمس و سیم، [12, 11, 10])
در ادامه این تحقیقات برتسیمس و سیم [12, 11, 10] رویکرد متفاوتی را براي کنترل سطح محافظه‌کاري معرفی کرده اند. این رویکرد از این مزیت برخوردار است که منجر به یک مدل بهینه‌سازي خطی می‌شود و قابل کاربرد بر روي مدل هاي بهینه‌سازي گسسته نیز می-باشد و سطح محافظه کاري آن قابل تنظیم است.
علاوه بر تحقیقات مذکور که مبتنی بر نوسان پارامترها در یک بازه است، تحقیقات دیگري نیز در حوزه مدل سازي ریاضی انجام شده است. از جمله این تحقیقات می توان به تحقیق مالوي و همکاران [8]که مبتنی بر مفهوم سناریو است، اشاره کرد که در زیر آن را بطور کامل توضیح می‌دهیم. از تحقیقات دیگر در حوزه استواري به برنامه ریزي استوار فازي می توان اشاره کرد که در آن فرض می شود که همه یا برخی از محدودیت هایا داده هاي ورودي اعداد فازي هستند.
دسته دوم مدل‌های چند هدفه می باشند. اغلب مدل‌های موجودی مفهوم هزینه‌های مختلف و همچنین خدمات را در یک هدف جای داده‌اند و برای حل آن‌ها از روش-های سنتی استفاده می‌شود در حالی‌که از ویژگی‌های بارز تجارت امروزی، تنوع خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان است. در مسایل چند هدفه تصمیم گیرنده به دنبال حداکثر یا حداقل نمودن دو یا چند هدف به طور همزمان می‌باشد. این دسته از مدل‌ها در زمینه‌های زیادی به‌کار رفته اما تاکنون تعداد اندکی از مسایل چند هدفه به بهینه‌سازی کنترل موجودی پرداخته‌اند.
[14] به انتخاب سبد پرتفوی با استفاده از بهینه‌سازی استوار پرداخته است. از آنجا که پارامترهای مسئلهٔ انتخاب سبد سهام، یعنی قیمت سهم، سود تقسیمی، بازده و... هر سهم را به‌دلیل نوسان‌های بازار و قیمت‌ها نمی‌توان ثابت در نظر گرفت، باید از روشی بهره برد که عدم قطعیت داده ها لحاظ شود. بهینه سازی استوار راه‌حلی عملی برای مسائلی به شمار می‌رود که در آنها مقدار و توزیع پارامترها نامعلوم است. روش‌های گوناگونی برای حل مسائل با بهره‌مندی از بهینه سازی استوار تعریف شده است. تعریف مجموعهٔ عدم قطعیت بازده دارایی‌ها از طریق مجموعهٔ عدم قطعیت چندوجهی و قابلیت تنظیم تعداد و وزن دارایی‌های سبد، استواری جواب بهینه و سطح حفاظت را می‌توان از مزیت‌های روشی دانست که در این مقاله به‌کار رفته است. داده‌های پیاده‌شده برای مثال کاربردی این مقاله، بازده‌های ماهانهٔ ۳۰ سهم است که به طور تصادفی از بین ۷۸ سهم برگزیدهٔ بورس اوراق بهادار تهران، از فروردین ۸۵ تا اسفند ۹۰ انتخاب شده است.پرز و گومز[13] (۲۰۱۴)[15] به معرفی راهکاری جهت کمک به تصمیم‌گیرندگان برای انتخاب سبد سود پروژه پرداختند. همچنین در تحقیق آن ها یک مدل ریاضی غیرخطی باینری چندهدفه، که تمام عوامل مهم مرتبط با انتخاب و برنامه‌ریزی سبد پروژه را در نظر می‌گیرد،

11 - Soyster
12 - Interval
13 *Perez & Gomez*

ارائه شده است. هوانگ و ژائو[14] (۲۰۱۴)[16] به بررسی مسئله انتخاب و زمانبندی پروژه های تحقیق و توسعه پرداختند؛ به گونه‌ایی که هیچ داده‌ی تاریخی در مورد مقادیر پارامتر پروژه در اختیار نمی‌باشد. درآمد خالص و هزینه سرمایه گذاری در مسئله توسط کارشناسان ارائه شده و به عنوان متغیرهای نامعین تلقی می‌شوند. توفیقیان و نادری[15] (۲۰۱۵)[17] یک مدل ریاضی جدید در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی یکپارچه دو هدفه برای مسائل انتخاب و زمانبندی پروژه به منظور بهینه‌سازی سود کل مورد انتظار با استفاده از منابع تغییرپذیر معرفی نمودند. جعفرزاده و همکاران[16] (۲۰۱۵)[18] به بررسی موضوع انتخاب بهینه سبد پروژه‌ها از طریق استراتژی سرمایه‌گذاری مجدد در افق زمانی انعطاف‌پذیر پرداختند. پروژه ها دارای زمان های مختلف و نرخ بازگشت بالقوه متفاوت می‌باشند. داشتن اطلاعات ناقص در مورد مقدار دقیق پارامترها و تعیین آن‌ها در شرایط عدم‌قطعیت یک مسئله مهم در برنامه‌ریزی‌تصادفی است. به همین دلیل نیاز به کارگیری مفهوم برنامه‌ریزی استوار در پژوهش‌ها احساس شد. حسن‌زاده و همکاران[17] (۲۰۱۴)[19] یک مدل برنامه‌ریزی باینری چندهدفه عدد صحیح را برای انتخاب سبد پروژه تحقیق و توسعه با اهداف رقابتی توسعه دادند؛ به طوری که ضرائب مسئله در توابع هدف و محدودیت‌ها نامعین می‌باشند. به همین دلیل آن ها یک رویکرد بهینه‌سازی استوار در برخورد با نامعینی، در حالی که یک روش تعاملی جهت برقراری برهم‌کنش ها بین اهداف چندگانه به کار گرفته شده است، ارائه دادند. فلاح‌پور و تندنویس[18] (۲۰۱۴)[20] مدل برنامه‌ریزی صفر و یک را به منظور تحلیل مسئله رد یابی شاخص بررسی می‌کنند. در این مدل تعداد دارایی های مورد نظر برای تشکیل پرتفوی را مدیر سرمایه‌گذاری تعریف می‌کند. به منظور درنظرگرفتن عدم‌قطعیت ضریب همبستگی بین دارایی ها به عنوان ورودی مدل، که دربرگیرندهٔ خطای پیش‌بینی است، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. نتایج آزمون خارج از نمونه بر اساس شاخص پنجاه شرکت فعال‌تر بورس اوراق بهادار تهران در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که در نظر گرفتن این عدم‌قطعیت با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار عملکرد مدل را بر مبنای معیار های نسبت اطلاعاتی و خطای رد یابی بهبود می‌بخشد. ماوروتاس و همکاران[19] (۲۰۱۵)[21] به ارائه یک رویکرد یکپارچه جهت تجزیه و تحلیل استواری مسائل بهینه‌سازی ترکیبی چندهدفه با کاربرد انتخاب پروژه پرداختند. آن ها به صورت دقیق‌تر مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه عدد صحیح را که اطلاعات ناقص از پارامتر های آن در دسترس می‌باشد مورد بررسی قرار دادند؛ به گونه‌ایی که از روش اپسیلون محدودیت جهت تولید مجموعه پارتوی دقیق به کار گرفتند. در ادامه نیز ماوروتاس و همکاران[20] (۲۰۱۵)[22] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت بررسی استواری راه‌حل های بهینه پارتو تولید شده در هر تکرار با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو پرداختند.

---

14 *Huang & Zhao*
15 *Tofighian & Naderi*
16 *Jafarzadeh et al*
17 *Hassanzadeh et al*
18 *Fallahpour & Tondnevis*
19 *Mavrotas at el*
20 *Mavrotas at el*

جدول (۱) : برخی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه انتخاب پروژه براساس مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی

نویسنده (نویسندگان)	مدل ریاضی		محیط مسئله				نوع تابع هدف		اهداف	روش حل
	خطی	غیرخطی	قطعی	فازی	احتمالی	استوار	تک‌هدفه	چندهدفه		
لیسیو و همکاران[21]، ۲۰۰۷	■				■	■	■		هزینه	الگوریتم Trailroad
هوو و همکاران[22]، ۲۰۰۸	■		■					■	سرمایه، سود	متدولوژی شش سیگما
باهاتاچاریا و همکاران[23]، ۲۰۱۱		■		■				■	سرمایه، ریسک	الگوریتم ژنتیک
ربانی و همکاران[24]، ۲۰۱۲	■		■					■	سرمایه، سود، ریسک، زمان	برنامه‌ریزی آرمانی
خلیلی‌دامغانی وهمکاران[25]، ۲۰۱۳	■			■				■	هزینه، سود	برنامه‌ریزی آرمانی فازی
توانا و همکاران[26]، ۲۰۱۳	■			■				■	هزینه، زمان، سود	الگوریتم ژنتیک
حسن‌زاده و همکاران[27]، ۲۰۱۴		■				■		■	هزینه، ریسک	روش چبیشف
پرز و گومز[28]، ۲۰۱۴		■		■				■	سود، ریسک	برنامه‌ریزی فازی
جعفرزاده و همکاران[29]، ۲۰۱۵	■		■				■		سود	استراتژی سرمایه‌گذاری مجدد

21 Liesiö at el
22 Hu at el
23 Bhattacharyya at el
24 Rabbani at el
25 Khalili-Damghania at el
26 Tavana a el
27 Hassanzadeh at el
28 *Perez & Gomez*
29 *Jafarzadeh at el*

همچنین تعاریف مربوط به پورتفولیوی پروژه، مدیریت پورتفولیو و روش‌های انتخاب پورتفولیو نیز معرفی شد. از آنجا که شیوه‌ی برخورد با اینگونه مسائل دارای تنوع می‌باشد سعی گردید که به شکلی مختصر کلیه‌ی این روش‌ها بررسی شود. این تنوع شامل نوع مدل‌سازی که بصورت قطعی، غیرقطعی، تئوری‌بازی‌ها و ... می‌باشد را در بر می‌گیرد. از آنجا که جنبه نوآوری این پژوهش به کارگیر آنالیز استواری است لذا برخی از مهمترین تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نیز شرح داده شد.

بیان مسئله

در این بخش پس از مطالعه و جمع‌آوری فاکتورهای مهم مدنظر کارشناسان و خبرگان این زمینه، به منظور انتخاب پروژه مناسب با توجه به معیارهای تعیین شده شامل ریسک‌های موجود در انتخاب پروژه (عوامل بروز تاخیر در اجرای پروژه‌ها)، سود حاصل از اجرای پروژه و عوامل اجتماعی مدنظر در اجرای هر پروژه، مدلی چندهدفه پایدار طراحی شده است. یکی از پارامترهای ورودی کلیدی مدل، وزن و یا ضریب اهمیت عوامل تأخیر شناسایی شده در انجام پروژه‌ها هستند. طبق نظر کارشناسان عوامل تأخیر به بخش‌های کلی مانند: عوامل مربوط به کارفرمایان، عوامل مربوط به مواد و مصالح و غیره تقسیم شده و سپس به منظور شناخت بیشتر و دقیق‌تر، هر بخش شامل زیر بخش‌های خاص خود است که باعث بروز تأخیر در اجرای پروژه‌ها گردیده‌اند. بنابراین شاخص اهمیت هر بخش به عنوان ضریب ریسک عوامل مربوطه بوده و شاخص اهمیت هر زیر بخش به عنوان ضریب ریسک اجرا در نظر گرفته شده است. هدف از انجام این کار تفکیک تأثیر عوامل تأخیر با توجه به میزان تأثیرگذاری در مسئله است. در واقع ممکن است شاخص اهمیت دو عامل از دو بخش متفاوت، یکسان باشند، اما در حقیقت تأثیری متفاوت در اجرای پروژه به لحاظ بروز تأخیر دارند. همچنین استفاده از این روش، کمک می‌کند که عوامل شناسایی شده علاوه بر شاخص اهمیت خود (ریسک اجرا)، به کمک شاخص اهمیت بخش مربوطه خود، وزن‌دار شده و از عوامل مربوط به سایر بخش‌ها متفاوت باشند. اما یکی از مشکلات موجود در حل مسائل دنیای واقعی، دردسترس نبودن مقادیر دقیق پارامترهای مسئله است. در حقیقت با توجه به حجم بالای اطلاعات و یا در مواردی عدم وجود مقدار اطاعات کافی، نمی‌توان مقدار دقیق پارامترها را مشخص نمود. بنابراین بایستی این دسته از پارامترها را تحت شرایط عدم قطعیت درنظر گرفت. به منظور برخورد با این عدم قطعیت، رویکردهای مختلفی ارائه شده است. یکی از کاراترین این روش‌ها، استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استوار است. در این تحقیق نیز برخی از پارامترهای مسئله تحت شرایط عدم قطعیت درنظر گرفته شده است. در ادامه به توضیح مدل ارائه شده پرداخته می‌شود.

مفاهیم، تعاریف و نمادگذاری‌ها

مجموعه‌ها

i	مجموعه پروژه‌های کاندید	$i = \{1,2,..,I\}$
j	مجموعه عوامل بروز تأخیر شناسایی شده سطح ۱	$j = \{1,2,..,J\}$
k	مجموعه عوامل بروز تأخیر شناسایی شده سطح ۲	$k = \{1,2,..,K\}$
l	مجموعه شرکت‌های واسطه	$l = \{1,2,..,L\}$
S	مجموعه سناریوها	$s = \{1,2,..,S\}$

پارامترها

$Risk_{jks}$	میزان ریسک موجود در زیر بخش k از بخش j تحت سناریو s
Pro_{ijk}	احتمال وقوع ریسک موجود در زیر بخش k از بخش j اجرای پروژه i از نظر تصمیم‌گیرنده
$RiskP_{ils}$	میزان ریسک واگذاری پروژه i به شرکت واسطه l تحت سناریو s
ER_{is}	درآمد حاصل از اجرای پروژه i تحت سناریو s
ERV_{ils}	سود حاصل از واگذاری پروژه i به شرکت واسط l تحت سناریو s
W_{is}	دستمزد کارگران برای اجرای پروژه i تحت سناریو s
M_{is}	هزینه ماشین‌آلات برای اجرای پروژه i تحت سناریو s
RM_{is}	هزینه مواد خام برای اجرای پروژه i تحت سناریو s
NW_{is}	تعداد نیروی کار مورد نیاز برای انجام پروژه i تحت سناریو s
NM_{is}	تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز برای انجام پروژه i تحت سناریو s
NR_{is}	میزان مواد و مصالح مورد نیاز برای انجام پروژه i تحت سناریو s
TNW	تعداد کل نیروی کار دردسترس شرکت
$VolP_i$	حجم پروژه i تحت سناریو s
NP	تعداد پروژه‌های مجاز به انجام در طول دوره برنامه‌ریزی برای شرکت
VP	حجم پروژه‌های مجاز به انجام در طول دوره برنامه‌ریزی برای شرکت (متر مربع)
M	عددی به اندازه کافی بزرگ

متغیرهای تصمیم

X_{is}	برابر ۱ است اگر پروژه i تحت سناریو s انتخاب شود و درغیراینصورت برابر ۰ است.
y_{ils}	برابر ۱ است اگر پروژه i از طریق شرکت واسط l برای انجام تحت سناریو s انتخاب شود و درغیراینصورت برابر ۰ است.
NWB_{is}	تعداد نیروی‌کاری مورد نیاز که جهت انجام پروژه i تحت سناریو s باید استخدام شود.
NMB_{is}	تعداد ماشین‌آلات مورد نیاز جهت انجام پروژه i تحت سناریو s
NRB_{is}	میزان مصالح مورد نیاز جهت انجام پروژه i تحت سناریو s
NUW_{is}	تعداد نیروی کار مورد استفاده برای پروژه i (از نیروهای شرکت) تحت سناریو s

مدل ریاضی

$$Min\ Z_1 = \sum_{i=1} X_{is} \left(\sum_{j=1} \sum_{k=1} Risk_{jks}\ Pro_{ijk} \right) + \sum_{i=1} \sum_{l=1} RiskP_{ils}\ y_{ils} \quad (۳-۱)$$

$$Max\ Z_2 = \sum_{i=1} ER_{is} X_{is} + \sum_{j=1} \sum_{l=1} ERV_{ils} y_{ils} - \sum_{i=1} \left(W_{is}(NUW_{is} + NWB_{is}) + M_{is}(NMB_{is}) + RM_{is}(NRB_{is}) \right) X_{is} \quad (۳-۲)$$

$s.t$

$$\sum_{i=1} X_{is} \leq NP \qquad \forall s \quad (۳-۳)$$

$$\sum_{i=1} VolP_{is} X_{is} \leq VP \qquad \forall s \quad (۳-۴)$$

$$(NUW_{is} + NWB_{is})\ X_{is} \leq NW_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۵)$$

$$NMB_i\ X_{is} \leq NM_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۶)$$

$$NRB_{is}\ X_{is} \leq NR_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۷)$$

$$NWB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۸)$$

$$NMB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۹)$$

$$NRB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall i, s \quad (۳-۱۰)$$

(۱۰

۳)

$$\sum_{i=1} NUW_{is} \leq TNW \quad -$$

(۱۱

۳)

$$\sum_{l=1} y_{ils} \leq 1 \qquad \forall i, s \quad -$$

(۱۲

۳)

$$X_{is} + \sum_{l=1} y_{ils} \leq 1 \qquad \forall i, s \quad -$$

(۱۳

۳)

$$and\ (NWB_{is}, NMB_{is}, NRB_{is}, NUW_{is}, NUM_{is}, NUR_{is}) \in Integer\ X_{is}, y_{ils} \in \{0,1\} \qquad \forall i, l \quad -$$

(۱۴

قبل از پرداختن به توضیح مدل ارائه لازم است این موضوع بیان شود که منظور از علل تاخیر سطح اول و دوم، در واقع علل اصلی و علل زیر شاخه‌ای است. به بیان واضح‌تر، فرض می‌شود که در شناسایی علل تاخیر، برخی از عوامل به عنوان عوامل اصلی در نظر گرفته می‌شوند. مانند علل تاخیر مربوط به حمل و نقل. اما هر علت اصلی خود دارای زیر شاخه‌هایی است که دارای اهمیت هستند. برای مثال در علت تاخیر مربوط به حمل و نقل، موضوع خراب شدن وسایل نقلیه جزء زیرشاخه‌های آن است. دلیل بررسی عل درجه یک و دو این است که در بسیاری از مواقع در هنگام محاسبات، وزن علت اصلی میانگینی از علل فرعی است. اما ممکن است یکی از علل فرعی به قدری دارای اهمیت باشد که با میانگین‌گیری و درنظرگرفتن وزن علت اصلی، اهمیت آن از بین برود. به همین دلیل در این تحقیق به منظور بررسی دقیق‌تر علل تاخیر در پروژه‌ها، علل به دو دسته ۱ و ۲ تقسیم شده‌اند.

مدل ارائه شده دارای (۲) تابع هدف است که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود. تابع هدف (۳-۱) به کمینه‌سازی ریسک‌های شناسایی شده در انتخاب پروژه‌ها می‌گردد. در حقیقت بر اساس این تابع سعی می‌شود با توجه به ریسک‌های شناسایی شده و احتمال وقوع هرکدام از آن‌ها از دید تصمیم‌گیرنده، پروژه‌هایی انتخاب می‌شود که دارای کمترین میزان ریسک در اجرا باشد. تابع هدف (۳-۲) سعی بر بیشینه‌سازی کل سود حاصله برای شرکت دارد که از طریق تفاضل درآمدها و هزینه‌ها محاسبه می‌شود. درآمدها به دو دسته درآمد تقسیم می‌شود. دسته اول، درآمد حاصل از انجام مستقیم پروژه توسط شرکت و دسته دوم، درآمد حاصل از واگذاری برخی پروژه‌هایی است که شرکت توانایی انجام آن‌ها را دارد ولی به دلیل تکمیل بودن ظرفیت قانونی اجرای پروژه، مجاز به انجام آن‌ها نیست. هزینه‌ها نیز شامل هزینه‌های عملیاتی اجرای پروژه‌ها مانند هزینه ماشین‌آلات مورد استفاده، هزینه نیروی انسانی و هزینه مواد اولیه و همچنین هزینه واگذاری پروژه به شرکت‌های واسطه است که در واقع همان هزینه خرید ظرفیت محسوب می‌شود. محدودیت (۳-۳) و (۳-۴) تضمین می‌کند که تعداد پروژه‌های انتخابی برای شرکت از ظرفیت مجاز آن بیشتر نباشد. محاسبه تعداد نیروی انسانی، ماشین‌آلات مورد نیاز و در نهایت میزان مصالح مورد نیاز برای انجام پروژه توسط محدودیت (۳-۵)، (۳-۶) و (۳-۷) انجام می‌پذیرد. اما مشخصا تنها زمانی

بایستی تجهیزات مازاد بر تجهیزات موجود خریداری کرد که پروژه انتخاب گردد. این مهم توسط محدودیت‌های (۳-۸)، (۳-۹) و (۳-۱۰) تضمین می‌شود. محدودیت (۳-۱۱) تضمین می‌کند که تعداد نیروی انسانی که از موجودی شرکت جهت انجام پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد از میزان موجود بیشتر نباشد. اما هر پروژه واگذار شده به شرکت‌های واسطه، بایستی تنها توسط یکی از آن‌ها انجام شود که محدودیت (۳-۱۲) این موضوع را تضمین می‌کند. محدودیت (۳-۱۳) تضمین می‌کند که هر پروژه در صورت انتخاب یا توسط شرکت بطور مستقیم انجام شود و یا به شرکت واسطه واگذار گردد. محدودیت (۳-۱۴) نوع متغیرهای استفاده شده را مشخص می‌کند.

روش حل

از آنجاکه در فرآیند حل مسائل چندهدفه به جای نقطه بهینه، مجموعه نقاط غیر مغلوب مدنظر است، بنابراین باید از روش‌هایی خاص به منظور دست‌یابی به این مجموعه استفاده کرد. تاکنون روش‌های زیادی جهت حل این نوع از مسائل معرفی شده‌اند که مهمترین آن‌ها عبارتند از ۱) روش‌های وزنی ۲) محدودیت اپسیلون[30] ۳) $L-P$ متریک و غیره. با توجه به ماهیت روش آنالیز استواری که بایستی توابع هدف به صورت وزنی با یکدیگر ترکیب شوند، در این تحقیق روش محدودیت اپسیلون مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفته می‌شود.

چهارچوب مدل بهینه‌سازی استوار

بهینه‌سازی استوار مجموعه‌ای از پاسخ‌هایی بدست می‌آورد که در برابر نوسانات پارامترها (داده‌های ورودی) در آینده استوار هستند. رویکرد بهینه‌سازی استوار توسط مولوی و همکاران[31] در سال ۱۹۹۵ ارائه شده است، که قادر است تصمیم‌گیرنده ریسک ناسازگاری یا تابع سطح خدمات را به عهده بگیرد و یک مجموعه‌ای از پاسخ‌هایی که حساسیت کمتری به تحقق داده‌ها در مجموعه سناریوها را دارد ارائه کند. در این رویکرد دو نوع پایداری معرفی شده است : پایداری پاسخ (پاسخ نزدیک به بهینه در همه سناریوها) و پایداری مدل (پاسخ نزدیک به موجه بودن در همه سناریوها). پاسخ بهینه بدست آمده توسط مدل بهینه‌سازی استوار، استوار نامیده می‌شود. اگر داده‌های ورودی تغییر کند آنگاه نزدیک به بهینه باقی بماند، به آن پایداری پاسخ می‌گویند. یک پاسخ پایدار نامیده می‌شود اگر برای تغییرات کوچک در داده‌های ورودی تقریبا موجه (شدنی) باشد. به این پایداری مدل می‌گویند. بهینه‌سازی استوار شامل دو محدودیت مشخص می‌باشد: ۱) محدودیت ساختاری ۲) محدودیت کنترل. محدودیت ساختاری بصورت مفهومی از برنامه‌ریزی خطی و داده‌های ورودی بصورت قطعی و ثابت و دور از هر اختلالی هستند در حالی که محدودیت‌های کنترل بصورت محدودیت‌های کمکی که توسط داده‌های غیر قطعی تحت تاثیر قرار گرفته‌اند فرمول‌بندی می‌شود. در زیر چهارچوب بهینه‌سازی استوار بطور مختصر توضیح داده می‌شود. ابتدا $x\epsilon R^{n_1}$ بردار متغیرهای طراحی و $y\epsilon R^{n_2}$ بردار متغیرهای کنترل هستند. فرم مدل بهینه‌سازی استوار بصورت زیر است:

$$Min\ c^T x + d^T y \qquad (۱۵-۳)$$

$$Ax = b \qquad (۱۶-۳)$$

$$Bx + Cy = e \qquad (۱۷-۳)$$

$$x, y \geq 0 \qquad (۱۸-۳)$$

محدودیت (۳-۱۶) یک محدودیت ساختاری است و ضرایب آن‌ها ثابت و قطعی هستند. محدودیت (۳-۱۷) محدودیت کنترل است که ضرایب آن‌ها تحت تاثیر سناریو و غیر قطعی هستند. محدودیت (۳-۱۸) هم که غیر منفی بودن متغیرها را تضمین می‌کند. فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی استوار شامل مجموعه‌ای از سناریوهای $\tau = \{1,2,\dots S\}$ می‌باشد. تحت هر سناریو $\tau \in S$، ضرایب مربوط به

[30] *ε-constraint*
[31] *Mulvey at el*

محدودیت‌های کنترل با احتمال ثابت P_s برابر $\{d_s, B_s, C_s, e_s\}$ می‌شود، که P_s احتمال اینکه هر سناریو رخ دهد را نشان می‌دهد و $\sum_s P_s = 1$ می‌باشد. پاسخ بهینه این مدل پایدار است، اگر باقی بماند نزدیک به بهینگی برای هر سناریو مشخص $S \in \tau$ به این پایداری مدل می‌گویند. شرایطی وجود دارد که ممکن است پاسخ‌هایی که برای مدل بالا بدست می‌آوریم هم موجه و هم بهینه برای همه سناریوهای $S \in \tau$ نباشد. در اینجا رابطه بین پایداری پاسخ و پایداری مدل با استفاده از مفاهیم تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین می‌شود. مدل بهینه‌سازی استوار برای اندازه‌گیری این رابطه فرمول‌بندی شده است. اول از همه متغیر کنترل Y_s برای هر سناریو $S \in \tau$ و بردار خطا δ_s که غیر موجه بودن مجاز در محدودیت‌های کنترل تحت سناریو s را اندازه‌گیری می‌کند، معرفی شده‌اند. به دلیل وجود پارامترهای غیر قطعی مدل ممکن است برای بعضی از سناریوها غیر موجه باشد. بنابراین δ_s غیر موجه بودن مدل تحت سناریو s را نشان می‌دهد. اگر مدل موجه باشد δ_s مساوی صفر خواهد شد. در غیر اینصورت δ_s مقدار مثبت بر طبق محدودیت (۳-۲۱) خواهد گرفت. در واقع پایداری مدل تقاضای برآورد نشده برای تولید قطعه را اندازه‌گیری می‌کند. مدل بهینه‌سازی استوار بر مبنای مسئله برنامه‌ریزی ریاضی (۳-۱۵) تا (۳-۱۸) بصورت زیر فرمول‌بندی شده است:

$$Min\ \sigma(x, y_1, \dots, y_s) + \omega\ \rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s) \qquad (۳-۱۹)$$

$$AX = b \qquad (۳-۲۰)$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \qquad (۳-۲۱)$$

$$x \geq 0\ , y \geq 0 \qquad (۳-۲۲)$$

باید توجه کنیم که چون مدل بهینه‌سازی استوار سناریوهای چندگانه را در نظر می‌گیرد، عبارت اول از تابع هدف انتخاب واحدی برای اهداف در تابع هدف قبلی (۳-۱۹)، $\beth_s = c^T x + d^T y$ متغیر تصادفی با مقدار تصادفی $\beth_s = c^T x + d_s{}^T y_s$ و با احتمال P_s تحت سناریو $S \in \tau$ می‌شود. در فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی تصادفی مقدار میانگین $\sigma(0) = \sum_s \beth_s\ P_s$ بکار برده شده است و در واقع عبارت اول پایداری پاسخ را نشان می‌دهد. عبارت دوم در تابع هدف $\rho(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_s)$ ، تابع جریمه موجه است، که تخطی محدودیت های کنترل تحت بعضی از سناریوها را جریمه می‌کند. تخطی محدودیت‌های کنترل یعنی اینکه پاسخ غیر موجه تحت بعضی از سناریوها مسئله بدست می‌آورد. با استفاده از وزن ω رابطه بین پایداری پاسخ که از عبارت اولی $\sigma(0)$ اندازه‌گیری می‌شود و پایداری مدل که از تابع جریمه $\rho(0)$ اندازه‌گیری می‌شود می‌توان تحت تصمیم‌گیری چند معیاره مدل‌سازی شود. برای نمونه اگر $\omega(0)$ هدف کمینه‌کردن عبارت $\sigma(0)$ و پاسخ ممکن غیر موجه باشد. در حالی که اگر ω به قدر کافی بزرگ شود، عبارت $\rho(0)$ تسلط یافته و منجر به هزینه بیشتر می‌شود. بررسی در مورد انتخاب شکل مناسب $\rho(0)$ و $\sigma(0)$ را می‌توان در مطالعات بسیاری مشاهده کرد (یو و لی[۳۲]، ۲۰۰۰؛ مالوی و همکاران[۳۳]، ۱۹۹۵). عبارت $\sigma(x, y_1, \dots, y_s)$ توسط مالوی بصورت زیر ارائه شده است:

$$\sigma(0) = \sum_s^S \beth_s\ p_s + \lambda \sum_s^S p_s \left(\beth_s - \sum_{s\prime}^S \beth_{s\prime}\ p_{s\prime} \right)^2 \qquad (۳-۲۳)$$

برای نشان دادن استواری پاسخ ، واریانس معادله (۳-۱۹) نشان دهنده آن است که تصمیم دارای ریسک بالایی است. به عبارت دیگر یک متغیر کوچک در پارامترهای دارای عدم قطعیت می‌تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع اندازه‌گیری شود. λ وزن اختصاص یافته برای

[32] *Yu & Li*
[33] *Mulvey at el*

واریانس پاسخ است. همانطور که دیده می‌شود یک عبارت درجه دو در معادله (۳-۲۰) وجود دارد. یو و لی[34] در سال ۲۰۰۰ برای کاهش عملیات کامپیوتری از یک عبارت قدر مطلق بجای عبارت درجه دوم استفاده کرده‌اند که به شرح زیر نشان داده شده است:

$$\sigma(0) = \sum_{s}^{S} ב_s \, p_s + \lambda \sum_{s}^{S} p_s \left| ב_s - \sum_{s\prime}^{S} ב_{s\prime} \, p_{s\prime} \right| \qquad (۲۴-۳)$$

مدل پیشنهادی بهینه‌سازی استوار

در این تحقیق، پارامترهای سیستم تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. جهت برخورد با عدم قطعیت موجود از روش برنامه‌ریزی استوار مالوی که پیش‌تر توضیح داده شد، استفاده خواهد شد. در ادامه به تشریح مدل استوار مسئله پرداخته می‌شود.

$$TC1_s = \sum_{i=1} X_{is} \left(\sum_{j=1} \sum_{k=1} Risk_{jks} \; Pro_{ijk} \right) + \sum_{i=1} \sum_{l=1} RiskP_{ils} \; y_{ils} \qquad (۳-۲۵)$$

$$TC2_s = \sum_{i=1} ER_{is} X_{is} + \sum_{j=1} \sum_{l=1} ERV_{ils} y_{ils} - \sum_{i=1} \left(W_{is} (NUW_{is} + NWB_{is}) + M_{is} (NMB_{is}) + RM_{is} (NRB_{is}) \right) X_{is} \qquad (۳-۲۶)$$

در نهایت مدل استوار مورد بحث به صورت زیر خواهد بود.

[34] *Yu & Li*

مدل ریاضی استوار

$$Min\ Z1 = \sum_{s} P_s\ TC1_s + \lambda_1 \sum_{s} P_s \left| TC1_s - \sum_{s\prime} P_{s\prime}\ TC1_{s\prime} \right| + \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s\ \delta_{ihs} \qquad (۲۵-۳)$$

$$Max\ Z2 = \sum_{s} P_s\ TC2_s + \lambda_1 \sum_{s} P_s \left| TC2_s - \sum_{s\prime} P_{s\prime}\ TC2_{s\prime} \right| + \omega \sum_{s} \sum_{i} \sum_{h} P_s\ \delta_{ihs} \qquad (۲۵-۳)$$

$s.t$

$$\sum_{i=1} X_{is} \leq NP \qquad \forall\ s \qquad (۳-۳)$$

$$\sum_{i=1} VolP_{is} X_{is} \leq VP \qquad \forall\ s \qquad (۴-۳)$$

$$(NUW_{is} + NWB_{is})\ X_{is} \leq NW_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۵-۳)$$

$$NMB_i\ X_{is} \leq NM_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۶-۳)$$

$$NRB_{is}\ X_{is} \leq NR_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۷-۳)$$

$$NWB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۸-۳)$$

$$NMB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۹-۳)$$

$$NRB_{is} < M\ X_{is} \qquad \forall\ i,s \qquad (۱۰-۳)$$

$$\sum_{i=1} NUW_{is} \leq TNW \qquad (۱۱-۳)$$

$$\sum_{l=1} y_{ils} \leq 1 \qquad \forall\ i,s \qquad (۱۲-۳)$$

$$X_{is} + \sum_{l=1} y_{ils} \leq 1 \qquad \forall\ i,s \qquad (۱۳-۳)$$

$$and\ X_{is}, y_{ils} \in \{0,1\} \qquad \forall\ i,l$$
$$(NWB_{is}, NMB_{is}, NRB_{is}, NUW_{is}, NUM_{is}, NUR_{is}) \in Integer$$

همانطور که مشاهده می‌شود، مدل فوق طبق ساختار پیشنهادی برنامه‌ریزی استوار، جهت برخورد با شرایط عدم قطعیت ارائه شده است. در ادامه در فصل چهارم تحقیق، نتایج حاصل از حل مسئله ارائه شده و بررسی‌های لازم جهت اطمینان از صحت عملکرد مدل انجام خواهد شد.

جدول (۲) : برخی اطلاعات مربوط به پروژه‌های کاندید جهت انتخاب

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۳	بله
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰۰	۲۰۰	۰.۲	خیر
۳	مسکونی	دولتی	۱۸۰۰۰	۲۵۰	۰.۲	خیر
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۰۰۰۰	۱۲۰	۰.۴	بله
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۱۵	خیر
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱۵	خیر
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۸۰۰۰	۱۰۰	۰.۳	بله
۸	مسکونی	دولتی	۱۷۰۰۰	۲۲۰	۰.۲	خیر
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰۰	۲۰۰	۰.۲۵	بله
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۲۲۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	خیر
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	خیر
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۵۰۰۰	۶۰	۰.۲	بله
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰۰	۲۰۰	۰.۳	بله
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۳۵۰۰۰	۳۵۰	۰.۱	خیر
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۳۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	خیر

جدول (۳) : برخی اطلاعات مربوط به پروژه‌های کاندید جهت انتخاب

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	هزینه ماشین-آلات (هزار ریال)	هزینه مواد خام (هزار ریال)	تعداد ماشین-آلات	میزان مواد و مصالح	حجم پروژه (واحد از ۱۰)	دستمزد کارگران (هزار ریال)
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰	۳۰۰	۸	۲۰	۵	۳۵۰۰
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰	۲۵۰	۹	۲۴	۶	۲۷۰۰
۳	مسکونی	دولتی	۸۰۰	۳۰۰	۹	۲۲	۷	۲۵۰۰
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۶۰۰	۳۷۰	۸	۲۰	۸	۳۰۰۰
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۱۰۰	۲۴۰	۷	۱۸	۴	۲۴۰۰
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۱۷۰۰	۲۵۰	۱۲	۱۵	۵	۲۵۰۰
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۱۵۰۰	۲۶۰	۱۰	۱۶	۲	۳۱۰۰
۸	مسکونی	دولتی	۱۳۰۰	۲۷۰	۹	۱۷	۵	۲۵۰۰
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰	۲۸۰	۹	۱۸	۴	۲۸۰۰
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۱۱۰۰	۲۵۰	۷	۱۹	۵	۲۱۰۰
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۲۴۰	۸	۲۰	۶	۲۰۰۰
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۱۵۰۰	۲۰۰	۱۲	۲۰	۴	۱۸۰۰
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰	۲۱۰	۱۵	۲۱	۵	۲۸۰۰
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۱۸۰۰	۲۲۰	۱۴	۱۵	۷	۳۲۰۰
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۶۰۰	۲۳۰	۱۲	۱۲	۸	۳۵۰۰

۴- مثال عددی

به منظور بررسی کارایی مدل ارائه شده، فرض می‌شود شرکتی قصد دارد جهت انتخاب بهترین پروژه‌ها و تصمیم‌گیری در مورد شرکت در چندین مناقصه، تصمیم‌گیری نماید. این مناقصه‌ها توسط سازمان‌های دولتی و غیردولتی برگزار شده و پروژه‌های مربوط به آن‌ها بنا به میزان گستردگی دارای حاشیه سود و ریسک متفاوت است. مدیران قصد دارند تعدادی از پروژه‌ها را مستقیما به کمک امکانات و نیروهای

متخصص شرکت و تعدادی را از طریق واگذاری به شرکت‌های همکار انجام دهند. اطلاعات موجود جهت تصمیم‌گیری مطابق جداول زیر است.اما همان طور که قبلا نیز بیان شد، یکی از مهمترین موضوعات در انتخاب پروژه‌های عمرانی، آگاهی از میزان ریسک موجود در انجام هریک از پروژه‌ها است. بدین منظور فرض بر آن است که مسئولان شرکت تعدادی پرسشنامه جهت شناسایی عوامل موثر در ایجاد تاخیر در اجرای پروژه که در حقیقت بزرگترین عامل ریسک انتخاب است، طراحی و توسط خبرگان تکمیل کرده‌اند. اما موضوع مهم دیگر، وجود عدم قطعیت در مقادیر ارائه شده برای هر آیتم است. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه این تعیین مقادیر عددی داده‌های مسئله توسط نیروی انسانی مشخص شده است، بنابراین وجود اشتباه در آن‌ها امری انکار ناپذیر است. بنابراین تصمیم برآن شد که از طریق طراحی سناریوهای مختلف و تخصیص مقادیر احتمال مشخص برای وقوع هر سناریو، داده‌های مسئله تحت شرایط عدم قطعیت درنظر گرفته شود. بدین منظور، فرض بر آن است که سه سناریو با احتمال‌های وقوع به ترتیب ۳۰، ۵۰ و ۲۰ درصد در نظر گرفته است. در ادامه به توضیح دقیق‌تر این اطلاعات پرداخته می‌شود.

داده‌های هر مسئله تحت هر سناریو نیز مطابق جداول زیر است.

جدول (۴) : احتمال وقوع: ۳۰ درصد

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰۰	۱۰۰	۰.۳	بله
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰۰	۲۲۰	۰.۲	خیر
۳	مسکونی	دولتی	۱۸۰۰۰	۲۰۰	۰.۴	خیر
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	بله
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۴	خیر
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۲۰۰	۰.۵	خیر
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۸۰۰۰	۷۰	۰.۶	بله
۸	مسکونی	دولتی	۱۷۰۰۰	۱۲۰	۰.۲	خیر
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰۰	۳۰۰	۰.۳	بله
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۲۲۰۰۰	۲۲۰	۰.۱۲	خیر
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۲۰۰	۰.۷	خیر
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۵۰۰۰	۱۰۰	۰.۲	بله
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰۰	۲۲۰	۰.۲	بله
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۳۵۰۰۰	۲۰۰	۰.۱	خیر
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۳۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۳	خیر

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	هزینه ماشین‌آلات	هزینه مواد خام	تعداد ماشین‌آلات	میزان مواد و مصالح	حجم پروژه	دستمزد کارگران
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰	۲۵۰	۹	۱۸	۵	۳۱۰۰
۲	مسکونی	دولتی	۱۳۰۰	۲۶۰	۸	۱۹	۴	۲۷۰۰
۳	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰	۲۷۰	۷	۲۰	۷	۲۵۰۰
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۱۰۰	۲۸۰	۱۲	۲۰	۸	۳۰۰۰
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۲۵۰	۱۰	۲۱	۵	۲۶۰۰
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۲۴۰	۹	۱۵	۶	۲۵۰۰
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۱۴۰۰	۲۰۰	۸	۱۲	۲	۳۱۰۰
۸	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰	۳۰۰	۷	۱۸	۴	۳۵۰۰
۹	مسکونی	خصوصی	۱۱۰۰	۲۵۰	۹	۲۴	۳	۲۷۰۰
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۳۰۰	۹	۲۲	۵	۲۵۰۰
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۳۷۰	۷	۲۰	۴	۳۰۰۰
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۱۴۰۰	۲۴۰	۸	۱۸	۸	۲۴۰۰
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۸۰۰	۲۶۰	۱۲	۱۵	۵	۳۵۰۰
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۱۶۰۰	۲۷۰	۱۵	۲۰	۶	۲۷۰۰
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۱۰۰	۲۸۰	۱۴	۲۴	۷	۲۵۰۰

جدول (۳) : احتمال وقوع: ۵۰ درصد

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰۰	۱۰۰	۰.۷	بله
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰۰	۲۲۰	۰.۴	خیر
۳	مسکونی	دولتی	۱۸۰۰۰	۲۰۰	۰.۵	خیر
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۶	بله
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۲	خیر
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۶۰	۰.۵	خیر
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۸۰۰۰	۸۰	۰.۳	بله
۸	مسکونی	دولتی	۱۷۰۰۰	۱۸۰	۰.۱	خیر
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰۰	۲۱۰	۰.۵	بله
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۲۲۰۰۰	۲۲۰	۰.۲	خیر
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۲	خیر
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۵۰۰۰	۲۰۰	۰.۱	بله
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰۰	۲۵۰	۰.۱	بله
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۳۵۰۰۰	۱۲۰	۰.۲	خیر
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۳۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۲	خیر

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	هزینه ماشین‌آلات	هزینه مواد خام	تعداد ماشین‌آلات	میزان مواد و مصالح	حجم پروژه	دستمزد کارگران
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰	۳۰۰	۹	۱۸	۴	۳۰۰۰
۲	مسکونی	دولتی	۱۷۰۰	۲۵۰	۹	۱۹	۸	۲۸۰۰
۳	مسکونی	دولتی	۱۶۰۰	۳۰۰	۷	۲۰	۶	۲۱۰۰
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۱۰۰	۳۷۰	۸	۲۰	۵	۳۵۰۰
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۲۴۰	۱۲	۲۱	۲	۲۷۰۰
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۳۰۰	۱۵	۱۵	۴	۲۵۰۰
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۱۴۰۰	۲۷۰	۱۴	۲۲	۷	۳۰۰۰
۸	مسکونی	دولتی	۱۸۰۰	۲۸۰	۸	۲۰	۸	۲۴۰۰
۹	مسکونی	خصوصی	۱۶۰۰	۲۵۰	۷	۱۸	۵	۳۵۰۰
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۲۴۰	۱۲	۱۵	۲	۲۷۰۰
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۱۳۰۰	۲۰۰	۱۰	۱۸	۵	۲۵۰۰
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۱۲۰۰	۳۰۰	۹	۱۹	۶	۲۵۰۰
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۱۰۰	۲۵۰	۹	۲۰	۷	۲۴۰۰
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۳۰۰	۷	۲۰	۵	۲۳۰۰
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۳۷۰	۸	۲۱	۶	۲۴۰۰

جدول (۴) : احتمال وقوع: ۱۰ درصد

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	مسکونی	خصوصی	۱۵۰۰۰	۲۵۰	۰.۳	بله
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰۰	۲۰۰	۰.۴	خیر
۳	مسکونی	دولتی	۱۸۰۰۰	۲۲۰	۰.۵	خیر
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۰۰۰۰	۲۰۰	۰.۲	بله
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۲۵۰	۰.۶	خیر
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۱۲۰	۰.۵	خیر
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۸۰۰۰	۷۰	۰.۴	بله
۸	مسکونی	دولتی	۱۷۰۰۰	۲۰۰	۰.۵	خیر
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰۰	۲۲۰	۰.۵	بله
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۲۲۰۰۰	۲۷۰	۰.۴	خیر
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۱۰۰	۰.۵	خیر
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۶	بله
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰۰	۲۰۰	۰.۲	بله
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۳۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	خیر
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۳۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۲	خیر

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	هزینه ماشین‌آلات	هزینه مواد خام	تعداد ماشین‌آلات	میزان مواد و مصالح	حجم پروژه	دستمزد کارگران
۱	مسکونی	خصوصی	۱۱۰۰	۳۰۰	۹	۱۸	۶	۳۰۰۰
۲	مسکونی	دولتی	۱۲۰۰	۲۵۰	۹	۱۹	۴	۲۷۰۰
۳	مسکونی	دولتی	۱۵۰۰	۳۰۰	۷	۲۰	۶	۲۴۰۰
۴	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۴۰۰	۳۷۰	۸	۲۰	۵	۳۰۰۰
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۸۰۰	۲۴۰	۱۲	۲۱	۶	۲۲۰۰
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۱۳۰۰	۳۰۰	۱۵	۱۵	۷	۲۱۰۰
۷	بازسازی بنا	خصوصی	۱۲۰۰	۲۵۰	۱۴	۱۲	۸	۳۵۰۰
۸	مسکونی	دولتی	۱۱۰۰	۲۶۰	۱۲	۲۲	۵	۲۷۰۰
۹	مسکونی	خصوصی	۱۲۰۰	۲۷۰	۹	۲۰	۶	۲۵۰۰
۱۰	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۲۸۰	۷	۱۸	۸	۳۰۰۰
۱۱	مجتمع تجاری	دولتی	۱۵۰۰	۲۵۰	۱۲	۱۵	۴	۲۴۰۰
۱۲	بازسازی بنا	دولتی	۱۳۰۰	۲۴۰	۱۰	۲۰	۵	۳۵۰۰
۱۳	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰	۲۰۰	۹	۱۵	۴	۳۴۰۰
۱۴	مجتمع تجاری	دولتی	۱۲۰۰	۲۵۰	۸	۲۰	۵	۲۷۰۰
۱۵	مجتمع تجاری	دولتی	۱۱۰۰	۲۶۰	۷	۲۴	۶	۳۱۰۰

فرض بر آن است که برخی از علل تاخیر نیز شناسایی و مقادیر آن‌ها مطابق با جداول زیر است.

جدول (۵) : عوامل تأخیر مربوط به تعهدات کارفرما		
عامل تأخیر مربوط به تعهدات کارفرما	درصد بروز تاخیر	رتبه
ناکارآمدی کارفرما در برنامه‌ریزی و تأخیر در تصویب اسناد طراحی	۲۰.۹۸	۱
دخالت و تغییرات در طراحی پروژه توسط کارفرما در حین پروژه ساخت‌وساز	۱۹.۶۴	۲
تعلیق پروژه توسط سازمان صاحب پروژه، تصمیم‌گیری‌های کند و با وقفه طولانی توسط کارفرما، عدم همکاری با پیمانکار طبق قرارداد مانند تأخیر در پرداخت صورت حساب‌های مالی	۱۹.۱۹	۳
هماهنگی ضعیف کارفرما با گروه‌های مختلف در طول پروژه	۱۸.۷۵	۴
انتخاب مهندسین مشاور ضعیف برای پروژه	۱۸.۲۳	۵
عدم رعایت شرایط برگزاری مناسب مناقصه در انتخاب پیمانکار کارآمد	۱۷.۸۲	۶
رابطه و هماهنگی ضعیف مابین کارفرما و مشاور، فقدان یا ضعف نماینده کارفرما در طول اجرای پروژه	۱۶.۰۷	۷
تعیین مدت غیر واقعی قرارداد توسط کارفرما	۱۵.۶۲	۸
تأخیر در حل و فصل ادعاهای پیمانکار توسط کارفرما	۱۴.۲۸	۹
تأخیر در تجهیز و ارائه سایت به پیمانکار پروژه، تغییر در سفارشات خواسته شده پیمانکار از سوی کارفرما	۱۳.۸۳	۱۰
بروکراسی اداری موجود در سازمان‌ها	۱۲.۰۲	۱۱
طولانی شدن زمان بین مرحله طراحی پروژه تا برگزاری مناقصه	۹.۹۴	۱۲

جدول (۸) : عوامل تأخیر مربوط به تعهدات پیمانکار		
عوامل تأخیر مربوط به تعهدات پیمانکار	درصد بروز تاخیر	رتبه
کمبود متخصصان فنی در سازمان پیمانکار	۱۸.۷۵	۱
برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نامناسب پروژه	۱۷.۴۱	۲
برآورد نادرست هزینه‌ها و تخصیص نامطلوب منابع	۱۶.۵۸	۳
استفاده از تکنولوژی‌های منسوخ و روش‌های اجرایی نامناسب در فاز اجرایی پروژه	۱۵.۷۵	۴
مدیریت و نظارت ضعیف پیمانکار در سایت پروژه	۱۵.۳۳	۵
بکارگیری پیمانکاران فرعی ناکارآمد و تغییر مکرر آن‌ها در طول پروژه توسط پیمانکار	۱۵.۳۰	۶
مطالعات فنی نادرست توسط پیمانکار در مرحله برگزاری مناقصه	۱۳.۲۶	۷
عدم تبعیت پیمانکار از قوانین و مقررات سازمانی کارفرما و سایر مانند قوانین ایمنی	۱۲.۴۳	۸
ارتباط و هماهنگی ضعیف بین پیمانکار با سایر ارکان پروژه کنترل کیفیت ناکارآمد توسط پیمانکار	۱۲.۲۴	۹
تعارضات احتمالی در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌هایی با پیمانکاران متعدد (چند پیمانکاره)	۱۰.۷۱	۱۰

جدول (۶) : عوامل تأخیر مربوط به تعهدات مشاور

عوامل تأخیر مربوط به تعهدات مشاور	درصد بروز تاخیر	رتبه
تأخیر در آماده‌سازی نقشه‌ها و ابهام در فاز طراحی پروژه	۱۷.۴۱	۱
توانمندی ضعیف و تخصص ناکافی مهندسین مشاور پروژه	۱۶.۹۹	۲
پاسخ کند مهندس مشاور به سوالات و خواسته‌های پیمانکار	۱۵.۳۳	۳
تجربه ناکافی مشاورین به کار گرفته شده در پروژه	۱۴.۹۲	۴
انعطاف‌پذیری ضعیف مشاور در نظارت و ارزیابی، ارتباط ضعیف بین مهندس مشاور و سایر طرف‌های درگیر در پروژه (کارفرما، پیمانکار و ...)	۱۴.۵۰	۵
تأخیر در کنترل و نظارت ضعیف بر عملکرد پیمانکار توسط مهندس مشاور	۱۲.۴۳	۶
تضاد و اختلاف بین مشاور و مهندسین طراح	۱۲.۰۲	۷
تأخیر در بررسی و تصویب مستندات ارسالی از سوی پیمانکار توسط مشاور	۱۱.۸۶	۸

با توجه به اطلاعات فوق، مسئله مورد نظر به کمک روش وزنی و به کمک نرم‌افزار *GAMS* توسط حل‌کننده *Cplex* حل و نتایج به قرار زیر خواهد بود.

به منظور بررسی دقیق‌تر مسئله مورد نظر، مثال ارائه شده یک بار با توجه به داده‌های اولیه (شرایط قطعیت) و یکبار با توجه به شرایط عدم قطعیت حل شده و نتایج گزارش می‌شود.

با توجه به حل مسئله تحت شرایط قطعیت داده‌ها، نتیجه می‌شود که تنها پروژه‌های خصوصی قابلیت واگذاری به شرکت‌های همکار را دارند. اما مطابق نتایج حاصله، با توجه به در دسترس بودن تعداد نیروی اتسانی و تجهیزات لازم جهت اجرای پروژه‌ها، تمامی پروژه‌ها توسط شرکت انجام شده و واگذاری صورت نمی‌گیرد.

جدول (۱۰) : برخی اطلاعات مربوط به پروژه‌های انتخاب شده

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	ویلای تفریحی	خصوصی	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	بله
۲	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۴	خیر
۳	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۲	خیر
۴	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۶۰	۰.۵	خیر
۵	بازسازی بنا	دولتی	۵۰۰۰	۲۲۰	۰.۶	بله
۶	مسکونی	خصوصی	۱۴۰۰۰	۲۰۰	۰.۲	بله

در جدول زیر اطلاعات مربوط به مقادیر توابع هدف و نیز اطلاعات مربوط به تعداد تجهیزات مورد نیاز ارائه شده است.

جدول (۱۱) : اطلاعات مربوط به توابع هدف و تعداد تجهیزات مورد نیاز	
تابع هدف دوم (میلیون ریال)	تابع هدف اول
۴۷۲۰۰	۲.۰

اما پس از حل مسئله با توجه به وجود شرایط عدم قطعیت در داده‌های مسئله، نتایج زیر حاصل می‌گردد. از بین پروژه‌های کاندید، تعداد ۶ پروژه برای انتخاب مشخص شده است. از آنجاکه در این نقطه تابع هدف اول دارای بیشترین وزن و توابع هدف دوم و سوم دارای وزن برابری هستند، بنابراین سعی می‌شود پروژه‌هایی انتخاب شود که دارای ریسک کمتری (تابع هدف اول) باشند. در نتیجه از بین ۶ پروژه انتخابی، ۴ پروژه مربوط به بخش دولتی و دو پروژه مربوط به بخش خصوصی هستند؛ چراکه پروژه‌های دولتی دارای ساختاری منظم‌تر بوده و از ریسک اجرای کمتری برخوردار هستند. سایر اطلاعات مربوط به انتخاب پروژه‌ها مطابق جداول زیر است.

جدول (۷) : برخی اطلاعات مربوط به پروژه‌های انتخاب شده

ردیف	نوع پروژه	صاحب پروژه	مبلغ قرارداد (مبلغ حدودی) (میلیون ریال)	تعداد نیروی مورد نیاز	ریسک اجرا	امکان واگذاری به شرکت همکار
۱	مجتمع تفریحی	خصوصی	۲۸۰۰۰	۱۲۰	۰.۳	بله
۲	مجتمع تجاری	دولتی	۲۵۰۰۰	۳۰۰	۰.۱۵	خیر
۳	مجتمع تجاری	دولتی	۲۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱۵	خیر
۴	مسکونی	خصوصی	۱۸۰۰۰	۲۰۰	۰.۲۵	بله
۵	مجتمع تجاری	دولتی	۳۵۰۰۰	۳۵۰	۰.۱	خیر
۶	مجتمع تجاری	دولتی	۳۰۰۰۰	۳۰۰	۰.۱	خیر

در جدول زیر اطلاعات مربوط به مقادیر توابع هدف و نیز اطلاعات مربوط به تعداد تجهیزات مورد نیاز ارائه شده است.

جدول (۱۳) : اطلاعات مربوط به توابع هدف و تعداد تجهیزات مورد نیاز	
تابع هدف دوم (میلیون ریال)	تابع هدف اول
۵۴۶۰۰	۱.۰۵

قابل به ذکر است که تجهیزات مورد نیاز برای هر پروژه به شکل ادغامی و براساس نیاز در نظر گرفته شده است. البته از آنجاکه تمامی ریسک‌های موجود مقادیر کمتر از ۱ دارند، بنابراین مقدار تابع هدف اول تنها با سه رقم اعشار گزارش شده است.

نتیجه گیری:

همانطور که در ابتدای فصل هم بیان شد، طبق مطالعات و بررسی‌های انجام شده معمولا شرکت‌های ساخت‌وساز ریسک‌های مرتبط با عوامل بروز تأخیر را در مرحله بعد از انتخاب پروژه انجام می‌دهند و سعی در کاهش و تا حد امکان از بین بردن آن‌ها دارند. اما واقعیت این است که عوامل تأخیر در اجرای پروژه‌ها همان عوامل ریسک در انتخاب پروژه در مدیریت کلاس جهانی است. یکی دیگر از مشکلات این دسته از شرکت‌ها که غالبا شرکت‌های پیمانکار هستند عدم وجود مدلی جامع جهت انتخاب پروژه با توجه به تمام عوامل کلیدی مبتنی بر مدیریت در کلاس جهانی می باشد که مانند: حاشیه سود حاصله، ریسک‌های موجود و دیگر شرایط حاکم است. در این تحقیق مدلی ریاضی جهت حل مسئله انتخاب پروژه با درنظر گرفتن عوامل ریسک و عوامل هزینه‌ای طراحی شده است. طبق این مدل، هر شرکت با توجه به پارامترهای مورد نیاز جهت حل مسئله می‌تواند تصمیم‌گیری خود را در انتخاب پروژه، بهینه سازد. موضوع مهم دیگری که مطرح است، عدم توانایی متخصصان و خبرگان در شناسایی پارامترهای مورد نیاز است. در این تحقیق به منظور حل این مشکل، در ارائه پارامترها، چندین سناریو که برگرفته از مدیریت در کلاس جهانی می باشد در نظر گرفته شده و برای هر سناریو احتمال وقوع مشخصی ارائه می‌شود. در ادامه به منظور حل مسئله تحقیق، از روش برنامه‌ریزی استوار استفاده شده است. طبق نتایج حاصله می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از برنامه ریزی استوار می‌تواند تاثیر بسیاری در انتخاب صحیح پروژه‌ها داشته باشد؛ چراکه نتایج حاصل از حل مسئله تحت شرایط استفاده از برنامه‌ریزی استوار و عدم استفاده از آن، گویای افزایش میزان ریسک و کاهش حاشیه سود حاصله است.

منابع :

[14]آذین ابریشمی کارشناس‌ارشد مدیریت بازرگانی، گرایش مالی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران رضا یوسفی زنوز استادیار گروه مدیریت، دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه خوارزمی، تهران، نشریه علمی-پژوهشی تحقیقات مالی دوره ۱۶،شماره ۲،صفحه ۲۰۱-۲۱۸
ناشر:دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

] Birge JR, Louveaux F. Introduction to stochastic programming. New York: Springer; 1997.۱[
] Badiru AB, Pulat PS. Comprehensive project management. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall PTR;۲[1995.
] Hoschka P. http://www-sop.inria.fr/rodeo/personnel/hoschka/lastpaper/node5.html, 2003.۳[
] Markowitz H. Portfolio selection. Journal of Finance 1952;7:77–91.۴[
Texas; 1995. p. 325–32.
] Edwards RA, Hewett TA. Applying financial portfolio theory to the analysis of producing properties.Proceedingsof the ۵[Society of Petroleum Engineers, Annual technical conference and exhibitionpaper#26392,Houston,Texas,1993209–20.
] Lee J, Kim S. An integrated approach for interdependent information system project selection. International۶[JournalofProjectManagement2001;19:111–8.
] Mohamed S, McCowan AK. Modelling project investment decisions under uncertainty using possibility theory.۷[International Journal of Project Management 2001;19:231–41.
] Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J., Zenios, S.A., (1995). Robust optimization of large scale systems. Operations Research , ۸[Vol.43 (2), pp. 264–281.

] Deb K, Pratap A, Agarwal S, Meyarivan T. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE ۹[Transactions on Evolutionary Computation 2002; 6(2):182–97.

] Bertsimas, D., Sim, M. (2004): Price of Robustness, Oper. Res., 52(1), 35-53.۱۰[

] Bertsimas, D., Sim, M. (2004): Robust Conic Opimization, Working Paper, MIT.۱۱[

] Bertsimas, D., Sim, M. (2004): Robust Discrete Opimization and Downside Risk Measures, Work-ing Paper, National ۱۲[
University of Singapore.

] Ben-Tal, A., Nemirovski, A. (2000): Robust solutions of Linear Programming problems contami-۱۳[
nated with uncertain data, Math. Progr., 88, 411-424.

] Perez, F., & Gomez, T. (2014). Multiobjective project portfolio selection with fuzzy constraints. Annals of Operations ۱۵[
Research, 1-23.

]Huang, X., & Zhao, T. (2014). Project selection and scheduling with uncertain net income and investment cost. Applied ۱۶[
Mathematics and Computation, 247, 61-71.

]Tofighian, A. A., & Naderi, B. (2015). Modeling and solving the project selection and scheduling. Computers & ۱۷[
Industrial Engineering, 83, 30-38

] Jafarzadeh, M., Tareghian, H. R., Rahbarnia, F., & Ghanbari, R. (2015). Optimal selection of project portfolios using ۱۸[
reinvestment strategy within a flexible time horizon. European Journal of Operational Research, 243(2), 658-664.

] Hassanzadeh, F., Modarres, M., Nemati, H. R., & Amoako-Gyampah, K. (2014). A robust R&D project portfolio ۱۹[
optimization model for pharmaceutical contract research organizations. International Journal of Production Economics, 158, 18-27.

]Fallahpour, S. & Tondnevis, F. (2014). Robust model for optimal portfolio selection, Journal of Investment Knowledg, 10, 67-84.

] Mavrotas, G., Figueira, J. R., & Siskos, E. (2015). Robustness analysis methodology for multi-objective combinatorial ۲۱[
optimization problems and application to project selection. Omega, 52, 142-155.

] Mavrotas, G., Pechak, O., Siskos, E., Doukas, H., & Psarras, J. (2015). Robustness analysis in multi-objective ۲۲[
mathematical programming using Monte Carlo simulation. European Journal of Operational Research, 240(1), 193-201.