مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال چهاردهم، شماره اول (پیاپی ۵۲)، بهار ۹۶، ص ص ۶۲-۳۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

انتخاب سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه با استفاده از رویکرد اختیار مرکب و بهینه‌سازی استوار گسسته

مهسا منتجبی‌ها*[۱]، علیرضا ارشدی خمسه[۲]، بهروز افشار نجفی[۳]
۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران
۲- دانشیار، دانشگاه خوارزمی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
۳- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

رسید مقاله: ۹ شهریور ۱۳۹۵
پذیرش مقاله: ۲۹ بهمن ۱۳۹۵

چکیده
بسیاری از سازمان‌ها برای بقا در محیط رقابت جهانی برای مدیریت پروژه‌های خود به سوی انتخاب بهترین سبد پروژه، گرایش پیدا کرده‌اند. سبد پروژه از میان پروژه‌های موجود که منابع کمیاب سازمان را مصرف می‌کنند، انتخاب می‌شود. به جهت دست‌یابی به این هدف، سازمان‌ها باید عدم قطعیت موجود در پروژه‌ها را نیز بررسی کنند. در حقیقت با استفاده از یک تکنیک ارزشیابی مناسب که انعطاف‌پذیری سرمایه‌گذاری را نیز در نظر می‌گیرد، در کنار یک چارچوب بهینه‌سازی به این مهم دست یابند. در این پژوهش مساله انتخاب پروژه تحت عدم قطعیت، براساس رویکرد بهینه‌سازی استوار مدل‌سازی شده است. در مرحله‌ی اول، یک مدل جامع ریاضی که معرف ارزشیابی اختیار مرکب می‌باشد، به جهت رفع نقص رویکردهای سنتی برای محاسبه ارزش پروژه‌های چند مرحله‌ای ارایه می‌شود. سپس یک مدل انتخاب پروژه براساس بهینه‌سازی استوار توسعه داده می‌شود، که برای حل مسایل تحت عدم قطعیت، کاراست. در نهایت با فرض محدودیت بودجه سازمان مدل فوق، ارزش اختیار مرکب پروژه‌ها را بیشینه می‌سازد و براساس الگوریتم بهینه‌سازی استوار ترکیبی حل می‌گردد. کارایی رویکرد پیشنهادی توسط یک مثال جامع نشان داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: انتخاب سبد پروژه، بهینه‌سازی استوار ترکیبی، عدم قطعیت، اختیارات مرکب n تایی.

۱ مقدمه
رویکردهای مدیریت پروژه به طور متداول در بسیاری از صنایع برای فعالیت‌هایی از قبیل تحقیق و توسعه در مورد محصول جدید، پیاده‌سازی سیستم‌ها و فرآیندهای جدید و پروژه‌های ساخت به کاربرده می‌شود، اما به طور معمول تعداد پروژه‌های در دسترس برای انتخاب، بدون توجه به محدودیت منابع کمیاب مانند بودجه، تجهیزات،

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Montajabiha.Mahsa@qiau.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

متخصصین و حتی فضای کار بسیار است؛ بنابراین هر سازمانی که به دنبال سرمایه‌گذاری منابع خود در راستای سودآوری و یا کسب مزیت رقابتی باشد به دنبال سبدی از پروژه‌ها برای سرمایه‌گذاری می‌باشد. هدف از انتخاب سبد پروژه، انتخاب یک مجموعه از میان تعدادی پروژه کاندید است، با این هدف که یک شاخص عمدتا مالی بیشینه گردد و همزمان محدودیت‌هایی از قبیل منابع در دسترس و محدودیت‌های فنی برآورده گردد. مهم‌ترین شاخصی که تقریبا توسط تمام مدل‌های انتخاب سبد پروژه‌ها در نظر گرفته می‌شود، شاخص ارزش اقتصادی یک پروژه است [۱]. به صورت سنتی تحلیل جریان مالی تنزیل یافته و خصوصا ارزش فعلی خالص از بیشترین کاربرد در ارزشیابی پروژه‌ها برخوردارند [۲].

تصمیم حالا و یا هرگز مدل ارزش فعلی خالص فرض می‌نماید که یک شرکت هنگامی که تصمیم سرمایه‌گذاری در یک پروژه را بگیرد، آنگاه مسیر ثابتی را طی خواهد کرد [۳]. در حقیقت در یک محیط رقابتی به همراه تغییرات و عدم قطعیت، پروژه‌ها مطابق آنچه که مدیران انتظار دارند، اجرا نمی‌شوند. اطلاعات جدید ممکن است در زمان‌های مختلف از راه برسند و یا منابع عدم قطعیت درون پروژه‌ها ممکن است رفع گردد [۴]. با شناخت این ضعف اساسی، در سال‌های اخیر روش‌های ارزشیابی اختیارات حقیقی پیشنهاد گردیده است. تا امکان ارزشیابی دقیق‌تر و واقعی‌تر پروژه‌ها فراهم گردد. مزیت‌های این دیدگاه نسبت به تکنیک‌های سنتی، در نظرگرفتن اثر انعطاف‌پذیری مدیریتی در ارزش پروژه و عدم استفاده از نرخ ریسک پروژه در تنزیل ارزش‌های آتی است. این در حالی است که در پروژه‌های دارای عدم قطعیت بالا، انعطاف‌پذیری مدیریتی نقش بسیار پررنگی در بالا بردن ارزش پروژه دارد که در روش‌های سنتی به سادگی از آن صرف نظر می‌شود.

اختیارات حقیقی در سال‌های اخیر توجه محققین زیادی را به خود جلب نموده است؛ زیرا یک سرمایه‌گذاری اولیه به طور مثال در یک پروژه تحقیق و توسعه مشابه خرید یک اختیار بر روی یک سرمایه‌گذاری آتی می‌باشد. یک پروژه تحقیق و توسعه معمولا شامل مراحل مختلفی می‌باشد و تصمیم‌گیرندگان، اختیار توقف و یا ادامه پروژه را در پایان هر فاز را دارا می‌باشند؛ بنابراین هر فاز به مشابه یک اختیار می‌باشد، که وابسته به اجرای اختیارات قبلی می‌باشد [۵].

قاعدتا پروژه‌های سرمایه‌گذاری شامل مراحل مختلفی می‌باشند. یک مثال نمونه در این زمینه یک چرخه سرمایه‌گذاری در بخش دارویی می‌باشد، که تحقیق و توسعه با فاز آزمایش مقدماتی بالینی آغاز می‌شود. سپس چندین فاز آزمایش بالینی خواهیم داشت و در نهایت در صورت پذیرفته شده از طرف سازمان غذا و دارو محصول به صورت انبوه وارد بازار می‌شود [۶]. هنگام بررسی فرآیند چنین پروژه‌ای آنالیز اختیار مرکب می‌تواند، مورد استفاده قرار گیرد. در ادبیات اختیارات حقیقی راه‌حل‌های مختلفی برای مدل‌سازی فرایند پروژه‌های چند مرحله‌ای پیشنهاد دادند و در همین راستا خیلی از محققین توجه خود را به مدل‌های فرم بسته معطوف نمودند. در این زمینه، ابتدا رابطه‌ی ریاضی توسط بلک وشولز [۷] ارایه شد، که قادر بود اختیارات از نوع اروپایی را ارزشیابی کند. این رابطه به فرمول بلک و شولز معروف است و به این نوع روش‌ها در ارزشیابی و یا حل مسایل اختیارات روش‌های تحلیلی و یا فرم بسته گویند. روش‌هایی چون رویکرد بلک و شولز [۷] و اختیار مرکب ۲تایی [۸] جهت تعیین ارزش اختیار یک پروژه سرمایه‌گذاری کاربرد یافته است؛ اما مدل سنتی اختیار مرکب گسسک تنها

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

یک مدل فرم بسته برای یک اختیار مرکب ۲ تایی را ارایه می‌دهد؛ بنابراین برای ارزشیابی پروژه‌هایی با بیش از ۲ مرحله کاربرد چندانی نخواهد داشت. به همین دلیل نسخه‌ی توسعه یافته رویکرد گسک توسط کاسیمون و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۴ توسعه داده شد. با توجه به مراحل پروژه‌ی تحقیق و توسعه ذکر شده، در این تحقیق نیز از رویکرد اختیارات مرکب n–تایی برای ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای استفاده شده است.

مساله بسیار مهم دیگری که در کنار ارزشیابی پروژه‌ها در فرآیند انتخاب همواره تصمیم‌گیرندگان این حوزه را به چالش می‌کشد، عدم قطعیت بالا در داده‌های موجود برای تصمیم‌گیری می‌باشد. به علت ماهیت منحصر به فرد بودن پروژه‌ها معمولا تجربه و یا داده قبلی برای پروژه‌ای خاص به ندرت موجود می‌باشد؛ بنابراین با توجه به اینکه پروژه‌ها دارای عدم قطعیت فطری هستند، در نظرگرفتن مقادیر دقیق برای پارامترهای یک پروژه و یا حتی در نظرگرفتن تابع توزیع برای آن‌ها می‌تواند غیر عملی و غیر کاربردی باشد. به همین جهت در این مقاله با در نظر داشتن چالش فوق از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است.

برای بسیاری از مسایل دودوئی پیداکردن یک جواب استوار باعث می‌شود تا مساله در زمان چند جمله‌ای قابل حل نباشد، حتی اگر مساله اسمی در زمان چند جمله‌ای قابل حل باشد. برتسیمس و سیم [۹] یک چارچوب ترکیبی برای محاسبه همتای استوار پیشنهاد کردند. اما آلوارز و همکاران [۱۰]، الگوریتم آن‌ها را توسعه داده‌اند. در این رویکرد تعداد تکرارهای الگوریتم برتسیمس و سیم، کاهش یافته است. بنابراین در این تحقیق با استفاده از الگوریتم آلوارز و همکاران [۱۰]، همتای استوار مساله انتخاب سبد پروژه را در حالت بیشینه‌سازی حل خواهیم نمود.

با توجه به مباحث مطرح شده، در حوزه برنامه‌ریزی ریاضی مساله توام بهینه‌سازی استوار انتخاب سبد پروژه و ارزشگذاری اختیارات مرکب n–تایی، کارهای محدودی صورت گرفته است. الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش تا به حال برای مساله انتخاب سبد پروژه در کنار ارزشیابی اختیارات حقیقی استفاده نشده است؛ بنابراین در این پژوهش سعی بر آن داریم تا با ترکیب پارامترهای موجود مدلی برای مساله توام بهینه‌سازی استوار انتخاب سبد پروژه و ارزشگذاری اختیارات حقیقی برای سازمان‌ها، ارایه نماییم که بر اساس برنامه‌ریزی صفر و یک انجام خواهد شد و با در نظرگرفتن تجزیه تحلیل اختیارات حقیقی به صورت چند مرحله‌ای به ارزشگذاری پروژه پرداخته خواهد شد. درنهایت جهت رفع مشکل برآورد دقیق پارامتر ارزش فعلی دارایی پروژه‌ها، مدل پیشنهادی آن را به صورت بازه‌ای در نظر خواهد گرفت و از رویکرد مناسب بهینه‌سازی استوار استفاده خواهیم کرد.

براساس آنچه در این بخش از مقاله شرح داده شد، ساختار این مقاله به قرار زیر است: در بخش دوم مروری بر ادبیات مساله بیان می‌شود. رویکرد ارزشیابی اختیارات مرکب به همراه مدل مساله انتخاب پروژه در بخش سوم مطرح خواهد شد. در بخش چهارم مدل‌سازی استوار مدل ارایه می‌شود و در نهایت الگوریتم براساس رویکرد آلوارز و همکاران [۱۰] برای مسایل بهینه‌سازی گسسته ترکیبی شرح داده می‌شود. مثال عددی جهت ارزیابی مدل به همراه آنالیز حساسیت بودجه در بخش پنجم بررسی می‌شود و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی را خواهیم داشت.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

۲ مروری بر ادبیات

انتخاب پروژه یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده می‌باشد، که تحت تاثیر اهداف متعدد و اغلب در تضاد با یکدیگر قرار دارد. در مساله انتخاب پروژه یک تصمیم‌گیرنده باید منابع محدود را به یک مجموعه از پروژه‌ها با در نظر گرفتن اهداف متعدد تخصیص دهد [۱۱]. در این زمینه روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل بسیاری ار مسایل دنیای واقعی به خوبی شناخته شده است [۱۲-۲۰]. در حقیقت تحقیق در عملیات نه تنها از طریق ارایه مدل‌های چندگانه بلکه از طریق توسعه الگوریتم‌های مختلف نقش موثری در موفقیت مدیریت پروژه در راستای مساله انتخاب پروژه داشته است. روش‌های متنوعی که در انتخاب پروژه از گذشته تا کنون در ادبیات موضوع کاربرد داشته، در سال ۲۰۰۸ در پژوهش یامراتاناکول و همکاران [۲۱] ارایه گردیده است.

از جمله معیارهای پذیرفته شده در انتخاب پروژه ارزش فعلی خالص است [۲۲-۲۴]. اما این تکنیک‌های سنتی، ارزش پروژه‌ها را کم‌تر از ارزش واقعی آن‌ها تخمین می‌زنند و منجر به معرفی پروژه‌هایی با ریسک بالا می‌شود که قطعا در سبد نهایی قرار نخواهند گرفت. این روش‌ها یک فرآیند تصمیم‌گیری استاتیک و تک‌زمانه را فرض می‌نمایند، در حالی که رویکرد اختیارات حقیقی، اختیارات استراتژیکی که پروژه تحت شرایط عدم اطمینان خلق می‌نماید، بررسی می‌کند و هم‌چنین انعطاف پذیری مدیریتی که به صورت اجرا یا ترک این اختیارات می‌باشد را در بازه‌های زمانی مختلف که سطح عدم اطمینان کاهش یافت، نیز مورد توجه قرار می‌دهد. به طور کلی مشکلات روش‌های استاتیک ارزشگذاری (به ویژه روش‌های جریان مالی تنزیل یافته) را می‌توان در موارد زیر برشمرد:

- در این روش‌ها فرض می‌شود که سرمایه‌گذاری‌ها یا تماماً صورت می‌گیرند و یا اصلاً صورت نمی‌گیرند (دید استاتیک به سرمایه‌گذاری)
- هیچ انتخاب زمانی و اجرایی وجود ندارد (در نظرنگرفتن انعطاف‌پذیری‌ها)
- ریسک‌ها و فرصت‌های حاصل از توقف، افزایش و یا کاهش سرمایه‌گذاری محاسبه نمی‌شوند.
- مدیریت پویای ریسک‌ها یا مشکلاتی که بر جریان‌های نقدی تاثیر می‌گذارند، در نظر گرفته نمی‌شوند.
- تمام جریان‌های نقدی صرفنظر از تفاوت ریسک آنها با یک نرخ تنزیل می‌شوند.
- از این روش‌ها برای همه پروژه‌ها و شرکت‌ها یکسان استفاده می‌شود.

در سال‌های اخیر رویکرد اختیارات حقیقی برای این موضوع پیشنهاد شده است [۵]. اختیارهای معامله حقیقی انعطاف‌پذیریی است که یک مدیر برای تصمیم‌گیری در رابطه با دارایی‌های حقیقی دارد. این تصمیمات می‌تواند شامل قبول کردن، رها کردن، تعویض یک دارایی با دیگری یا اصلاح ویژگی‌های کارکردی یک دارایی موجود باشد [۲۵].

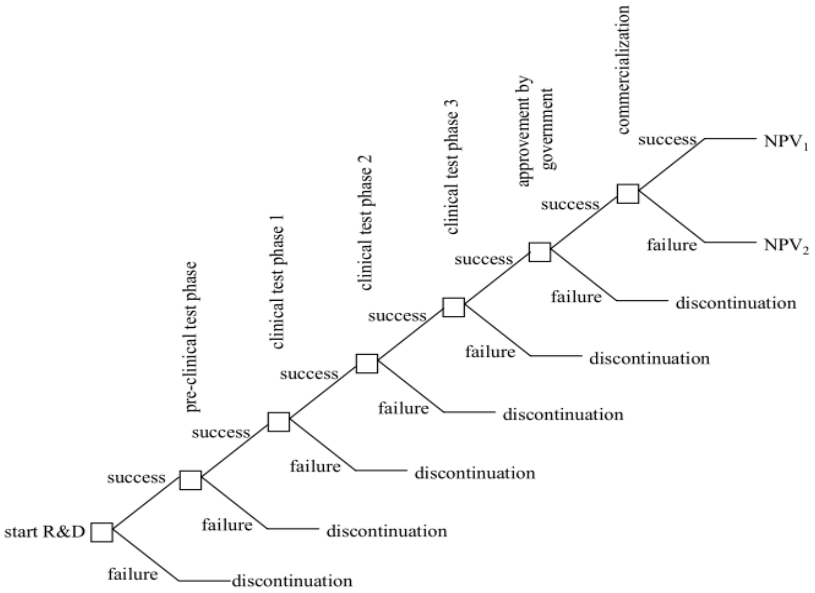
اولین بار شرکت مرک از اختیارات حقیقی برای ارزیابی یک پروژه تحقیق وتوسعه دارویی استفاده نمود. مرک مدل قیمت‌گذاری بلک وشولز را برای تعیین ارزش اختیار یک پروژه سرمایه‌گذاری، مورد استفاده قرار داد [۲۶]. داروهای جدید معمولا مراحل مختلفی را از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی تا قفسه‌های داروخانه‌ها طی می‌کنند. نقطه شروع پروژه مرحله کشف می‌باشد. در فاز توسعه، به طور گزینشی یک ترکیب را برای رسیدن به

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

هدف درمانی که در فاز قبل شناسایی شده، تعدیل می‌کنند. مطالعات مقدماتی بالینی شامل انجام آزمایش‌هایی بر روی مدل حیوانی و سلول‌های انسانی می‌باشد. اگر این آزمایش‌ها موفقیت آمیز باشند، آنگاه شرکت دارویی برای دریافت مجوز جهت انجام آزمایش‌هایی بر روی انسان‌ها، به سازمان غذا و دارو درخواست ارسال می‌نمایند. فرآیند آزمایش‌های بالینی شامل سه مرحله مختلف است. زمانی که تمام سه مرحله آزمایش‌های بالینی به اتمام رسید، شرکت تمام داده‌ها را تجزیه و تحلیل می‌نماید. اگر نتایج نشان داد، که دارو موثر و سالم می‌باشد، شرکت درخواست یک داروی جدید را برای سازمان غذا و دارو، جهت دریافت مجوز بازاریابی ارسال می‌نماید. در صورتی که دارو تائید شود آنگاه می‌تواند در دسترس بیماران قرار بگیرد. آنچه که در مورد چرخه‌ی سرمایه‌گذاری پروژه‌های تحقیق و توسعه دارویی مطرح شد در شکل (۱) مشاهده می‌شود [۲۷].

در حقیقت پروژه‌های سرمایه‌گذاری یک شرکت دارویی می‌تواند به صورت یک اختیار جهت توسعه مراحل بعدی تفسیر شود. از دیدگاه مالی این فرآیند یک انعطاف‌پذیری واضح به شمار می‌آید. از آنجائی که مدیریت حق اجرای پروژه را به طور فعالانه را دارا می‌باشد، این انعطاف‌پذیری ارزشمند خواهد بود. از دیدگاه ارزشیابی اختیارات حقیقی این انعطاف‌پذیری به شکل یک اختیار خرید مرکب می‌باشد. درحقیقت، اختیارات مرکب ترکیبی از اختیارات می‌باشند که اجرای یک اختیار، اختیار دیگری را ایجاد می‌نماید [۲۷].



شکل ۱. مراحل اختیار مرکب در توسعه یک پروژه دارویی [۶].

در همین راستا بسیاری از مقالات در زمینه بودجه بندی سرمایه، مساله سرمایه‌گذاری در پروژه‌های تحقیق و توسعه دارویی را با استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی مورد بررسی قرار دادند و راه‌حل‌های مختلفی برای مدل‌سازی تصمیم‌های سرمایه‌گذاری چند مرحله‌ای پیشنهاد دادند. دسته اول مقالات از تقریب‌های عددی برای ارزیابی چنین پروژه‌هایی استفاده نمودند [۲۸-۳۱]. دسته دوم مقالات، مساله ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای را با استفاده از رویکردهای فرم بسته مدل سازی نمودند. در این زمینه گروهی از مقالات فرآیند پیچیده تحقیق و

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

توسعه را به دو مرحله‌ی ساده تقسیم نمودند، تا در این راستا بتوانند از رویکرد اختیار مرکب ۲تایی گسک استفاده نمایند [۳۲، ۳۳] . مدل‌های ارزشیابی سنتی، ارزشی که اختیار مرکب یک پروژه ی چند مرحله ایجاد می کند را به درستی ارزیابی نمی کنند. کاسیمون و همکاران [۶] یک رویکرد جامع و فرم بسته برای اختیار مرکب را توسعه دادند و آن را برای ارزشیابی پروژه‌های تحقیق و توسعه ۶ مرحله‌ای استفاده نمودند. رویکرد آن‌ها تعمیم مدل اختیار مرکب ۲تایی گسک به اختیار مرکب $n-$تایی می‌باشد. البته در بخش آکادمیک، محققان تغییراتی در این رویکرد جامع پیشنهاد دادند و از آن برای ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای استفاده نمودند [۴، ۲۷، ۳۴، ۳۵].

بر طبق نظر بسیاری از محققان، بهتر است که سبد پروژه‌های یک شرکت به طور یکجا ارزشیابی شود تا ارتباطات و همبستگی‌های میان آن‌ها نیز بررسی گردد. زمانی که پروژه‌ها به صورت انفرادی بررسی می‌شوند، این همبستگی‌ها نادیده گرفته می‌شود. همبستگی‌ها معمولا با مصرف منبع، متعادل کردن ریسک و استراتژی‌های شرکت سروکار دارند. درحالی که ادبیات بسیار وسیعی در زمینه ارزشیابی پروژه‌های تحقیق و توسعه با استفاده از اختیارات حقیقی موجود می‌باشد؛ اما در عمل این رویکرد به طور موثر تنها برای ارزشیابی پروژه‌های مجزا مورد استفاده قرار گرفته است [۳۶].

سهم بزرگی از ادبیات انتخاب سبد پروژه با استفاده از اختیارات حقیقی، مربوط به تحقیق راجرز و همکارانش [۳۷] در سال ۲۰۰۲ می‌باشد. آن‌ها یک مدل بهینه‌سازی احتمالی با استفاده از رویکرد شبکه‌ی دوجمله‌ای را توسعه دادند که قادر است، ارزشمندترین پروژه‌ها را ازمیان سبدی از پروژه‌ها شناسایی نماید. این رویکرد پروژه‌های تحقیق و توسعه را به صورت یک سری اختیارت تداوم/ترک مدل‌سازی می‌نماید که در هر مرحله از پروژه تصمیم به ادامه و یا توقف فرآیند توسعه می گیرد. اما شناسایی یک سبد بهینه از طریق حل مساله‌ای با محدودیت‌ها و متغیرهای فراوان برای یک شرکت دارویی ممکن است، پیچیده و مشکل باشد. به همین دلیل وانگ و هوانگ [۵] در سال ۲۰۰۷ مدلی ساده‌تر ارایه دادند. آن‌ها یک مدل فازی برای اختیار مرکب ۲ تایی گسک توسعه دادند و مساله انتخاب سبد پروژه تحقیق و توسعه را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی باینری فازی، تنظیم کردند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، آنچه در سوابق مدل‌های انتخاب سبد پروژه از طریق اختیارات مرکب انجام شده است، محدود به استفاده از رویکردهای بلک و شولز، گسک و شبکه‌ی دو جمله‌ای می باشد [۳۸-۴۲]. رویکردی که توسط کاسیمون و همکاران [۶] جهت اختیارات مرکب $n-$تایی ارایه شده است، به ندرت برای انتخاب سبد پروژه مورد استفاده قرار گرفته شده است. به همین دلیل در این پژوهش سعی بر ارزشیابی پروژه‌ها، براساس رویکرد فوق داریم؛ اما انتخاب پروژه یک فرآیند تصمیم‌گیری بسیار پیچیده می‌باشد که تحت تاثیر فاکتورهای بحرانی زیادی مانند شرایط بازار، دسترس پذیری مواد اولیه، احتمال موفقیت اجرایی و قوانین دولتی می‌باشد. در حقیقت این مساله با سطح بالایی از ریسک مواجه است که منجر به حضور عدم قطعیت یا نقص در اطلاعات مربوط به پارامترهای مساله انتخاب پروژه می‌باشد. در نتیجه محققین برای رفع این مشکل از روش‌های مختلفی چون برنامه‌ریزی احتمالی، روش‌های فازی، بهینه‌سازی استوار و ... استفاده نمودند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

در سال‌های اخیر ادبیات برنامه‌ریزی ریاضی تحت نام بهینه‌سازی استوار توسعه یافته است که در این رویکرد بهینه‌سازی در مقابل بدترین شرایط انجام می‌شود. برتسیمس و سیم [۹] در سال ۲۰۰۳ یک رویکرد متفاوت برای کنترل سطح محافظه‌کاری جواب‌های نهایی پیشنهاد کردند که منجر به یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌شود. در این رویکرد به دنبال جواب‌های نزدیک به جواب بهینه هستیم که با احتمال بالایی موجه باشند. به عبارت دیگر با کمی صرف‌نظر کردن از تابع هدف، موجه بودن جواب به دست آمده، تضمین می‌شود. البته در مورد عدم قطعیت در ضرایب تابع هدف، با کمی صرف‌نظر کردن از مقدار تابع هدف بهینه، به دنبال جوابی هستیم که با احتمال بالایی جواب‌های واقعی بهتر از آن جواب باشند [۴۵].

در این روش سطح محافظه‌کاری برای جواب‌های نهایی قابل کنترل می‌باشد. برتسیمس و سیم نشان دادند در صورتی‌که ضرایب در تابع هدف یک مساله برنامه‌ریزی عددصحیح با n متغیر باینری، تحت شرایط عدم قطعیت باشد، می‌توان سطح محافظه‌کاری را کنترل نمود و الگوریتمی را برای حل آن پیشنهاد دادند [۹]. رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیمس و سیم [۹] یکی از مهم‌ترین رویکردها برای مسایل بهینه‌سازی باینری تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد. با توجه به تابع محافظت، جواب‌های نهایی برای یک سطح محافظه‌کاری معین Γ، استوار خواهد بود. این سطح محافظه‌کاری توسط تصمیم‌گیرنده اعمال می‌شود. در سال ۲۰۱۳، آلوارز و همکاران [۱۰] الگوریتم پیشنهادی برتسیمس و سیم [۹] را از نظر محاسباتی توسعه دادند. آن‌ها نشان دادند که به جای حل $n+1$ مساله اسمی، همتای استوار می‌تواند از طریق حل $n-\Gamma+2$ تکرار مساله اسمی محاسبه گردد. این توسعه برای شرایطی که سطح محافظه‌کاری، مقادیر بزرگی را می‌گیرد، بسیار کارا خواهد بود. در تحقیق پیش رو برای حل همتای استوار مدل پیشنهادی از الگوریتم آلوارز و همکاران [۱۰] استفاده گردیده است.

مدرس و حسن زاده [۴۳]، کاربرد رویکرد اختیارات را در انتخاب سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه را نشان دادند و ارزشگذاری اختیارات حقیقی را به صورت یک تابع هدف به مدل اضافه نموده‌اند. رویکرد اختیارات مرکب ۲تایی گسک برای ارزشیابی پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است و ترکیب این مدل با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استوار به مدلی برای انتخاب بهینه سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه منجر شده است. با توجه به مباحث مطرح شده، در حوزه برنامه‌ریزی ریاضی مساله توام بهینه‌سازی استوار انتخاب سبد پروژه و ارزشگذاری اختیارات مرکب $n-$تایی، کارهای محدودی صورت گرفته است؛ بنابراین در این پژوهش سعی بر آن داریم تا با ترکیب پارامترهای موجود در ادبیات موضوع مدلی را برای انتخاب سبد پروژه‌ها ارایه دهیم و بادر نظر گرفتن تجزیه تحلیل اختیارات حقیقی به صورت چند مرحله‌ای به ارزشگذاری پروژه بپردازیم. در نهایت جهت رفع مشکل برآورد دقیق پارامتر ارزش فعلی دارایی پروژه‌ها مدل پیشنهادی آن را به صورت بازه‌ای در نظر گرفتیم و از رویکرد بهینه‌سازی استوار گسسته استفاده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

۳ اختیارات مرکب

۳-۱ رویکرد اختیار مرکب ۲ تایی گسک

مدل اصلی گسک برای اختیار مرکب ۲تایی جهت ارزیابی دارایی یک شرکت توسعه یافته‌است. درصورتی که دیون پرداختی شرکت، اوراق قرضه باشند. شرکت باید پرداخت‌های ثابتی به میزان K در زمان t_c و یک پرداخت نهایی به میزان F در زمان t_s، بابت اوراق قرضه داشته باشد. کوتاهی در پرداخت، بدین معنی است که شرکت ورشکسته شده و صاحب سهام قرضه می‌تواند، مالکیت دارایی شرکت را در اختیار بگیرد. اگر در زمان t_c سهام‌داران شرکت تصمیم به پرداخت اولین وجه یعنی K بگیرند، آنگاه آن‌ها یک اختیار ساده‌ی خرید با قیمت اجرایی F در زمان t_s روی دارایی‌های شرکت در دست خواهند داشت؛ بنابراین در هر زمان قبل از t_c، شرکت دارای یک اختیار مرکب با تاریخ سررسید t_c و قیمت اجرایی K که دارایی پایه آن، اختیار ساده متعاقب آن می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده ارزش این اختیار مرکب در هر زمان t که $t_c > t$ می‌باشد توسط فرمول گسک عبارتند از:

(۱)

$$c = VN_2\left(\frac{\ln\left(\frac{V}{V^*}\right)+r\tau_c}{\sigma\sqrt{\tau_c}}+\frac{\sigma\sqrt{\tau_c}}{2},\frac{\ln\left(\frac{V}{F}\right)+r\tau_s}{\sigma\sqrt{\tau_s}}+\frac{\sigma\sqrt{\tau_s}}{2}\right)$$
$$-Fe^{-r\tau_s}N_2\left(\frac{\ln\left(\frac{V}{V^*}\right)+r\tau_c}{\sigma\sqrt{\tau_c}}-\frac{\sigma\sqrt{\tau_c}}{2},\frac{\ln\left(\frac{V}{F}\right)+r\tau_s}{\sigma\sqrt{\tau_s}}-\frac{\sigma\sqrt{\tau_s}}{2}\right)$$
$$-Ke^{-r\tau_c}N_1\left(\frac{\ln\left(\frac{V}{V^*}\right)+r\tau_c}{\sigma\sqrt{\tau_c}}-\frac{\sigma\sqrt{\tau_c}}{2}\right)$$

در این رابطه $\tau_c = t - t_c$ و $\tau_s = t - t_s$ و r نرخ بهره‌ی بدون ریسک، V ارزش دارایی‌های شرکت در زمان t می‌باشد. N_1 توزیع نرمال استاندارد تک متغیره و N_2 توزیع نرمال استاندارد دو متغیره با ضریب همبستگی $\sqrt{\frac{\tau_c}{\tau_s}}$ و V^* از طریق حل رابطه غیر خطی (۲) به دست می‌آید. مقدار بحرانی V^*، حداقل مقداری است که دارایی‌های شرکت باید در زمان t_c داشته باشد، تا پرداخت وجه K برای سهام‌داران توجیه اقتصادی داشته باشد و از این رو اختیار متعاقب آن را پابرجا نگه می‌دارند و تدریجا مالکیت دارایی‌های شرکت را به دست خواهند آورد [۳۵].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

$$VN_1\left(\frac{\ln\left(\frac{V^*}{F}\right)+r\left(\tau_s-\tau_c\right)}{\sigma\sqrt{\tau_s-\tau_c}}+\frac{\sigma\sqrt{\tau_s-\tau_c}}{2}\right) \qquad (2)$$

$$-Fe^{-r\left(\tau_s-\tau_c\right)}N_1\left(\frac{\ln\left(\frac{V^*}{F}\right)+r\left(\tau_s-\tau_c\right)}{\sigma\sqrt{\tau_s-\tau_c}}+\frac{\sigma\sqrt{\tau_s-\tau_c}}{2}\right)=K$$

اما قاعدتا هر پروژه شامل بیش از ۲ مرحله می‌باشد. مانند پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ی دارویی که تشریح شد. بنابراین مدل سنتی اختیار مرکب گسک که تنها یک مدل فرم بسته برای یک اختیار مرکب ۲ تایی را ارایه می‌دهد و برای ارزشیابی پروژه‌هایی با بیش از ۲ مرحله کاربرد چندانی نخواهد داشت. به همین دلیل نسخه‌ی توسعه یافته رویکرد گسک توسط کاسیمون و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۴ ارایه شد. با توجه به مراحل پروژه‌ی تحقیق و توسعه ذکر شده در این تحقیق نیز از رویکرد اختیارات مرکب $n-$تایی برای ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای استفاده می‌شود.

۳-۲ رویکرد اختیار مرکب $n-$تایی

مدل اختیار مرکب $n-$تایی یک مدل توسعه یافته مدل اختیار مرکب گسک می‌باشد. این مدل اختیار را در زمان t_0 ارزشیابی می‌نماید، تا به تدریج دارایی که حاوی جریان مالی است (مانند محصول خروجی از یک پروژه تحقیق توسعه) و ارزش فعلی آن V_0 می‌باشد را به دست آورد. این فرآیند با پرداخت وجوه سرمایه‌گذاری $K_1 \ldots K_n$ در زمان‌های آتی $t_1 \ldots t_n$ به ترتیب حاصل می‌شود. دارایی (محصول حاصل از تحقیق و توسعه) در زمان t_n به دست می‌آید. سرمایه‌گذاری با اولین پرداخت K_0 در زمان t_0 آغاز می‌شود. پرداخت‌های آتی اختیاری می‌باشد و سرمایه‌گذار می‌تواند با عدم پرداخت K_i در زمان t_i به این سرمایه‌گذاری متوالی خاتمه دهد و بنابراین احتمال به دست‌آوردن دارایی (محصول حاصل از تحقیق و توسعه) خاتمه می‌یابد [۳۵].

پروژه سرمایه‌گذاری می‌تواند شامل n مرحله باشد که مرحله iام آن منطبق با فاصله زمانی (t_i, t_{i+1}) برای $i = 1 \ldots n$ می‌باشد، از این رو مرحله i با سرمایه‌گذاری K_i در زمان t_i آغاز می‌شود و زمانی که این مرحله در حال تکمیل شدن در زمان t_{i+1} می‌باشد، تصمیم برای سرمایه‌گذاری بعدی گرفته می‌شود. برای مرحله‌ی آخر هیچ مرحله‌ی متعاقبی در نظرگرفته نمی‌شود. یک پروژه با n مرحله به صورت یک اختیار مرکب n تایی مدل می‌شود. در هر زمان t حین مرحله iام برای $i = 1 \ldots n$ شرکت یک اختیار مرکب $n-i+1$ تایی با ارزش $c_i(V, t)$ بر روی دارایی پایه V در زمان t در دست دارد. رویکرد فرم بسته اختیار مرکب می‌تواند به صورت رابطه (۱) نوشته شود [۶]:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

$$c_1(V_0,t_0)=V_0 N_n\left(a_1,a_2,\ldots\ldots,a_n:A^n\right)-\sum_{m=1}^{n}K_m e^{-r(t_m-t_0)}N_m\left(b_1,b_2,\ldots\ldots,b_m:A^m\right) \qquad (۳)$$

که در رابطه (۳)، r نرخ بهره بدون ریسک، $\tau_i=t_i-t_0$، N_m توزیع نرمال استاندارد m متغیره که ماتریس همبستگی آن از طریق رابطه (۳) و حدود بالای انتگرال‌های آن از روابط (۴) محاسبه می‌شود:

$$a_i=\left(\frac{\ln\left(\frac{V}{V^*_i}\right)+r\tau_i}{\sigma\sqrt{\tau_i}}+\frac{\sigma\sqrt{\tau_i}}{2}\right) \qquad b_i=\left(\frac{\ln\left(\frac{V}{V^*_i}\right)+r\tau_i}{\sigma\sqrt{\tau_i}}-\frac{\sigma\sqrt{\tau_i}}{2}\right) \qquad (۴)$$

$$A^m=\left(a_{ij}\right)_{i,j=1,\ldots,m} \quad \text{with}\left\{a_{ii}=1, a_{ij}=a_{ji}, a_{ij}=\sqrt{\frac{\tau_i}{\tau_j}}\ \forall i<j\right\} \qquad (۵)$$

مقادیر بحرانی V^*_i به طور متوالی با شروع از آخرین مرحله از طریق حل روابط زیر حاصل می شود:

$$V^*_n=K_n \qquad c_{i+1}\left(V^*_i,t_i\right)=K_i \qquad (۶)$$

شرکت می‌تواند این پروژه سرمایه‌گذاری را در صورتی شروع نماید که $c_1(V_0,t_0)>K_0$ باشد، K_0 در حقیقت سرمایه مورد نیاز برای آغاز پروژه می‌باشد. همان‌طور که از روابط (۳) تا (۶) مشخص است، انتگرال‌های چند بعدی و حل روابط غیر خطی در پیدا کردن ارزش اختیار مرکب $n-$تایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. به جهت ساده‌سازی و کاربرد هرچه بیشتر این رویکرد، فرآیند محاسبه‌ی اختیار مرکب در نرم افزار MATLAB به گونه‌ای برنامه‌نویسی گردیده است، تا کاربران و مدیران سازمان‌ها به راحتی بتوانند از آن به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای ارزشیابی پروژه‌های تحقیق و توسعه‌ی چند مرحله‌ای خود استفاده نمایند [۴۴]. در بخش بعد از این رویکرد جهت محاسبه‌ی ضرایب تابع هدف مدل انتخاب سبد پروژه استفاده خواهد شد.

٤ مدل‌سازی مساله پیشنهادی جهت انتخاب سبد پروژه

با توجه به مطالبی که در بخش‌های قبل مطرح شد، در این پژوهش سعی برآن داریم تا با ارایه مدل برنامه‌ریزی ریاضی و ترکیب آن با مدل اختیارات مرکب $n-$تایی به عنوان ضرایب تابع هدف، رویکردی را برای مساله انتخاب سبد پروژه ارایه دهیم. از این رو مدل‌سازی باینری پیشنهادی برای مساله انتخاب پروژه دارای مجموعه‌های زیر می‌باشد.

- N: تعداد کل پروژه‌های پیشنهادی.
- T: انتهای افق زمانی جهت برنامه‌ریزی.
- S: تعداد کل مراحل اجرای هر پروژه.
- j: اندیس مربوط به پروژه‌ها $j=\{1,2,\ldots\ldots,N\}$.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

- t: اندیس دوره‌ی زمانی برنامه‌ریزی $t = \{۰,۱,۲,.....,T\}$.
- s: اندیس معرف مراحل توسعه‌ی هر کدام از پروژه‌ها $s = \{۱,۲,.....,S_j\}$.
- R^{n}: مجموعه‌ی پروژه‌هایی که از طرف مدیریت ارشد انتخاب شده و باید در سبد نهایی قرار گیرند.
- $\mathrm{P}^{\mathrm{n\times n}}$: مجموعه‌ی پروژه‌هایی که پیش نیاز یکدیگرند.
- $\mathrm{E}^{\mathrm{n\times n}}$: مجموعه‌ی پروژه‌های دو به دو ناسازگار از لحاظ تکنیکی.

برای هر کدام از پروژه‌ها، تصمیمات انتخاب پورتفولیو در زمان حاضر، یعنی $t = ۰$ گرفته می‌شود. مرحله‌ی توسعه‌ای که در شرف وقوع می‌باشد، به صورت $s = ۱$، می‌باشد. درحقیقت، بدون توجه به این موضوع که پروژه در کدامیک از مراحل توسعه قرار دارد، مراحل توسعه‌ی بعدی به صورت صعودی تا مرحله نهایی شماره-گذاری می‌شوند. پارامترهای مورد استفاده در مدل‌سازی عبارتند از:

- C_{j}: ارزش اختیار مرکب $n-$تایی پروژه j.
- K_{js}: هزینه سرمایه‌گذاری برای پروژه j که در مرحله sام قرار دارد.
- t_{js}: زمان آغاز سرمایه‌گذاری مرحله‌ی sام از پروژه j.
- $\mathrm{v}_{\circ \mathrm{j}}$: ارزش فعلی پروژه j در زمان $\mathrm{t} = ۰$.
- σ_{j}: برآورد تغییرپذیری سالانه‌ی ارزش پروژه‌ی j.
- r_{f}: نرخ بهره‌ی بدون ریسک.
- B_{t}: بودجه‌ی در دسترس برای هر دوره زمانی t.
- $\mathrm{w}_{\mathrm{jst}}$: پارامتر باینری معرف آغاز مرحله s از پروژه‌ی j ام در دوره زمانی t می‌باشد.

نرخ بهره‌ی بدون ریسک برابر با پنج درصد در نظر گرفته شده است. پارامتر $v_{\circ j}$ معرف ارزش برآورد شده‌ی پروژه j ام براساس رویکرد ارزش فعلی خالص می‌باشد. در حقیقت تمام جریانات مالی که در اتمام پروژه حاصل می‌شود، به زمان $t = ۰$ تنزیل می‌شود. این پارامتر ادغام درآمدهای حاصل از فروش منهای هزینه‌های تولید، بازاریابی و غیره می‌باشد. تغییرپذیری سالانه به صورت برآورد انحراف استاندارد ارزش پروژه j در صورت حصول $v_{\circ j}$ می‌باشد. برآورد ارزش فعلی یک پروژه و تغییرپذیری سالانه آن براساس پیش‌بینی‌های بازار، داده‌های حاصل از فروش محصولات مشابه می‌باشد [۳۷]. از دیدگاه رویکردهای ارزشیابی سرمایه‌گذاری سنتی، تغییرپذیری ارزش پروژه را کاهش می‌دهد، زیرا این افزایش تغییرپذیری در افزایش نرخ تنزیل ظاهر می‌شود. درحالی که براساس تئوری قیمت‌گذاری اختیارات، تغییرپذیری ممکن است، ارزشی را به پروژه اضافه نماید؛ چرا که رشد منفی در این رویکرد محدود شده ولی رشد مثبت از لحاظ فرض علمی نامحدود می‌باشد.

اما هر کدام از پروژه‌ها در هر دوره‌ی افق برنامه‌ریزی، احتیاج به منابعی دارد. به همین دلیل پارامتر باینری w_{jst} نیز در نظر گرفته شده است. این پارامتر بیانگر تفاوت‌ها در زمان اجرای مراحل پروژه‌ها می‌باشد برای مثال $w_{۱۳۳} = ۱$ ، در حالیکه $w_{۱۳۴} = ۰$ می‌باشد، که بیانگر آغاز مرحله‌ی سوم از پروژه‌ی یک در دوره‌ی زمانی سه

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

می‌باشد. در چنین شرایطی پروژه‌ها در نقاط مختلف توسعه می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند تا سبد بهینه برای یک دوره زمانی خاص مدل‌سازی گردد [۳۷] و درنهایت متغیر تصمیم این مساله به شرح زیر می‌باشد:

- x_j: در صورتی که پروژه‌ی jام برای سرمایه‌گذاری انتخاب شود، آنگاه مقداری یک می‌گیرد و در غیر این صورت صفر خواهد شد.

با توجه به آنچه که تاکنون مطرح شده، مدل برنامه‌ریزی ریاضی باینری پیشنهادی جهت انتخاب سبد پروژه به قرار روابط(۷) تا (۱۲) خواهد بود.

$$Max \quad ROV = \sum_{j=1}^{N} C_j * x_j \tag{۷}$$

s.t.

$$x_m - x_n \geq 0 \qquad \forall (m,n) \in P \tag{۸}$$

$$x_p + x_q \leq 1 \qquad \forall (p,q) \in E \tag{۹}$$

$$\sum_{j \in R} x_j = |R| \tag{۱۰}$$

$$\sum_{j=1}^{N} w_{jst} * K_{js} * x_j \leq B_t \qquad \forall t = 0,1,2,\ldots\ldots,T \tag{۱۱}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad \forall\, j = 1,2,\ldots\ldots,N\ . \tag{۱۲}$$

براساس آنچه که در بخش قبل در زمینه اختیارات مرکب $n-$تایی مطرح شد، تابع هدف مدل بهینه‌سازی به صورت مجموع ارزش اختیار سبد پروژه می‌باشد (رابطه (۷)). روابط متقابل تکنیکی، ممکن است میان پروژه‌ها در سبد پروژه موجود باشد. که آن ها را می‌توان به صورت روابط (۸) و (۹) مدل‌سازی نمود. اگر پیاده‌سازی پروژه‌ی m پیش نیاز پروژه‌ی n باشد، آنگاه رابطه‌ی (۸) پیش‌نیازی ما بین پروژه‌ها را درنظر می‌گیرد؛ اما اگر پروژه‌ها دو به دوناسازگار باشند، آنگاه تنها یکی از پروژه‌های p و q می‌تواند پیاده شود؛ بنابراین رابطه‌ی (۹) را می‌توان برای این موضوع در نظرگرفت. بعضی از پروژه‌ها باید توسط سازمان پیاده شود. رابطه‌ی (۱۰) پروژه‌هایی را در نظر می‌گیرد که الزام اجرایی دارند. محدودیت (۱۱)، محدودیت بودجه در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در هر دوره را محدود می‌کند. با توجه به پارامتر باینری w_{jst}، تنها پروژه‌هایی که مرحله اجرایی آن در دوره زمانی t آغاز می‌شود، در محدودیت بودجه حاضر خواهند شد. رابطه (۱۲) معرف متغیر تصمیم باینری مدل می‌باشد.

به دلیل اینکه نمی‌توان جریان‌های مالی پروژه را به راحتی توسط یک مقدار واحد پیش بینی نمود، از این رو در این پژوهش فرض نمودیم که ارزش پروژه در بازه‌ای نوسان دارد [۵]. این بازه را به صورت $\left(V_{0j} - d_v_j, V_{0j}\right)$ معرفی می‌نماییم که V_{0j} مقدار اسمی این پارامتر و d_v_j میزان انحراف آن از مقدار

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

اسمی می‌باشد؛ بنابراین براساس این بازه برای هرکدام از پروژه‌ها رابطه اختیار مرکب n–تایی، دو مرتبه حل می‌شود (یک بار برای مقدار اسمی و بار دیگر برای ابتدای بازه). از آنجائی که افزایش پارامتر ارزش دارایی، منجر به افزایش ارزش اختیار مرکب می‌گردد، در نهایت برای هرکدام از پروژه‌ها ارزش اختیار مرکب آن در بازه‌ی $\left[C_j - d_j \ , C_j \right]$ حاصل می‌شود. در این مرحله برای حل مدل از مدل‌سازی استوار که در بخش آتی شرح داده می‌شود، استفاده خواهد شد. الگوریتم مطرح شده مساله را در زمان چند جمله‌ای حل می‌نماید.

۵ مدل‌سازی استوار مساله پیشنهادی جهت انتخاب سبد پروژه

بهینه‌سازی ترکیبی یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌های بهینه‌سازی گسسته می‌باشد که متغیر تصمیم آن باینری می‌باشد و مدل‌سازی اسمی آن به صورت زیر می‌باشد و اثبات آن توسط برتسیمس و سیم [۹] در سال ۲۰۰۳ انجام شده است.

$$Max \quad \sum_{j \in N} c_j x_j \qquad (۱۳)$$

$$s.t.$$

$$x \in X \subseteq \{۰,۱\}^n$$

درمدل فوق هر کدام از ضرایب تابع هدف یعنی c_j مقداری از بازه $\left[c_j - d_j \ , c_j \right]$ که $j \in N$ ، را می‌گیرند. در حالی‌که مجموعه فضای حل X به صورت ثابت و قطعی در نظر گرفته شده است؛ بنابراین در راستای بهینه‌سازی استوار در تلاش هستیم که جوابی را بیابیم که حداکثر به تعداد Γ از ضرایب تابع هدف $\tilde{c}_j$ مجاز به تغییر در بازه ذکر شده هستند (مدل(۱۴)).

$$Z^* = \max \sum_{j \in N} c_j x_j - \max_{\{S | S \subseteq N, |S| \le \Gamma\}} \sum_{j \in S} d_j x_j \qquad (۱۴)$$

$$s.t.$$

$$x \in X \subseteq \{۰,۱\}^n$$

برای راحتی انجام محاسبات $d_{n+۱} = ۰$ نیز تعریف می‌شود و بدون تغییر در کلیت مساله فرض می‌شود که اندیس‌ها به گونه‌ای مرتب شده‌اند که $d_۱ \ge d_۲ \ge \ldots \ge d_n$ می‌باشد. برای یک سطح محافظه‌کاری معین $\Gamma = \{۱ \ldots N\}$، مدل‌سازی استوار مدل (۱۴)، عبارت است از:

$$Z^* = \max \sum_{j \in N} c_j x_j - \beta^* (\Gamma, x) \qquad (۱۵)$$

$$s.t.$$

$$x \in X \subseteq \{۰,۱\}^n$$

تابع محافظت مدل فوق، $\beta^* (\Gamma, x)$، را می‌توان به صورت مدل (۱۶) بیان کرد:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

$$\beta^*(\Gamma,x)=\max\left\{\sum_{j\in N} d_j x_j u_j \mid \sum_{j\in N} u_j \le \Gamma,\ u_j\in[0,1] \quad \forall j\in N\right\} \qquad (16)$$

واضح است که در جواب بهینه رابطه (۱۶)، حداکثر Γ تعداد از متغیر u_j ها برابر با یک می‌باشند. این موضوع گویای انتخاب از مجموعه $\{S \mid S\subseteq N, |S|\le\Gamma\}$ با در نظر گرفتن تابع هزینه $\sum_{j\in S} d_j \left|x_j^*\right|$ می‌باشد. با استفاده از قضیه قوی دوگان مدل فوق به صورت زیر خواهد شد. (مدل (۱۷) همتای استوار مساله اسمی (۱۳) است)

$$ROPT(\Gamma)=\max\sum_{j\in N} c_j x_j - \left[\Gamma\times\theta+\sum_{j\in N} h_j\right] \qquad (17)$$

s.t.

$$h_j+\theta\ge d_j x_j \qquad \forall j\in N$$
$$h_j\ge 0 \qquad \forall j\in N$$
$$\theta\ge 0$$
$$x\in X\subseteq\{0,1\}^n$$

۵-۱ الگوریتم جهت حل مسایل بهینه‌سازی ترکیبی در حالت استوار

در این بخش توسعه الگوریتم برتسیمس و سیم [۹] با کمی تغییرات برای مسایل بیشینه‌سازی باینری ارایه می‌شود. اثبات این الگوریتم به طور کامل در پژوهش آلوارز و همکاران [۱۰] شرح داده شده است.

قضیه ۱. با توجه به مقدار $\Gamma=\{1...N\}$ همتای استوار مدل اسمی(۱۳) می‌تواند با حل $n-\Gamma+2$ تکرار مساله اسمی به صورت رابطه (۱۸) محاسبه گردد.

$$\mathrm{ROPT}(\Gamma)=\max_{r\in\{\Gamma,\ldots,n+1\}} G^r \qquad (18)$$

که برای هر $r\in\{\Gamma,\ldots,n+1\}$ خواهیم داشت:

$$G^r=-\Gamma^* d_r+\max_{x\in X}\left\{\sum_{j\in N} c_j x_j-\sum_{j=1}^{r}(d_j-d_r)x_j\right\} \qquad (19)$$

با استفاده از قضیه فوق می‌توان الگوریتمی را برای حل مسایل بهینه‌سازی گسسته در شرایط باینری ارایه داد.

گام اول: برای $r\in\{\Gamma,\ldots,n+1\}$ به تعداد $n-\Gamma+2$، از مساله اسمی از طریق رابطه (۱۴) حل شود.

$$G^r=-\Gamma^* d_r+\max_{x\in X}\left\{\sum_{j\in N} c_j x_j-\sum_{j=1}^{r}(d_j-d_r)x_j\right\} \qquad (20)$$

و x^r به عنوان جواب بهینه مساله متناظر با آن در نظر گرفته شود.

گام دوم: $r^*=arg\max_{r\in\{\Gamma,\ldots,n+1\}} G^r$.

گام سوم: $Z^*=G^{r^*}$ و $x^*=x^{r^*}$.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

بنابراین اگر f زمان حل یک مساله اسمی باشد، آنگاه الگوریتم مطرح شده، همتای استوار را حداکثر در $(n-\Gamma+۲)f$ واحد زمانی حل می‌نماید. که این موضوع بیانگر حل در زمان چند جمله‌ای مساله اصلی می‌باشد.

٦ نتایج محاسباتی

تمامی فرآیند ارزشیابی و انتخاب به صورت یک ابزار تصمیم‌گیری در نرم افزار MATLAB برنامه‌نویسی شده است. در این بخش یک مثال انتخاب سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه در صنعت دارویی ارایه می‌شود. داده‌ها بر گرفته از مقالات متعددی می‌باشد که اصلاحاتی در آن ایجاد شده است [۵، ۳۷، ۴۲]. این مثال می‌تواند نشان دهد که چطور تکنیک بهینه‌سازی استوار و الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به مدیران در تشکیل سبد بهینه پروژه‌ها کمک نماید.

از میان پروژه‌های پیشنهادی، ۵۰ پروژه وارد فرآیند انتخاب می‌گردند که سازمان می‌تواند از میان آن‌ها سبد بهینه را تشکیل دهد. باتوجه به شکل (۱)، هر پروژه می‌تواند حداکثر دارای شش مرحله توسعه باشد و همان‌طور که در بخش سوم اشاره شد، برای هر کدام از پروژه‌ها، تصمیمات انتخاب پورتفولیو در زمان حاضر، یعنی $t=۰$ گرفته می‌شود. مرحله‌ی توسعه‌ای که در شرف وقوع می‌باشد، به صورت $s=۱$، می‌باشد و بدون توجه به این موضوع که پروژه در کدامیک از مراحل توسعه قرار دارد. مراحل توسعه‌ی بعدی به صورت صعودی تا مرحله نهایی شماره‌گذاری می‌شوند. برای ساده‌سازی مساله فرض شده است که زمان سررسید هر کدام از مراحل یک تا شش به ترتیب (۲،۶،۷،۹،۱۲،۱۴) می‌باشد. بودجه‌ای که برای دوره اول افق برنامه‌ریزی تعیین شده ۱۲۰۰ هزار دلار و باقی دوره‌ها ۱۸۰۰ هزار دلار در نظر گرفته شده است. در نهایت نرخ بهره بدون ریسک برابر پنج درصد فرض شده است [۵]. اما در مدلی که در بخش قبل مطرح شد، علاوه بر محدودیت بودجه، ارتباطات مابین پروژه‌ها را نیز در نظر می‌گیرد؛ بنابراین داده‌های مورد نیاز برای مجموعه‌های ذکر شده به شرح جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱. مجموعه‌های مربوط به ارتباط متقابل تکنیکی پروژه‌ها

پروژه‌هایی که دو به دو ناسازگارند	پروژه‌هایی که پیش نیاز یکدیگرند	پروژه‌هایی که حضورشان در سبد نهایی الزامی است
(۹ , ۳۳)	۲ → ۳۰	۲۴
(۴۵ , ۱۸)	۱۹ → ۲۷	۴۲
(۱۱ , ۲۴)	۲۲ → ۴۱	۹
(۳۹ , ۵)	---	---

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

جدول ۲. هزینه‌های سرمایه‌گذاری مراحل مختلف پروژه‌های پیشنهادی

پروژه	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	پروژه	K_0	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
۱	۹	۱۱	۶۷/۵	۸۲/۵	۹۰	۱۱۰	۱۲۴/۹	۲	۴/۵	۵/۵	۵۸/۵	۷۱/۵	۱۵۳	۱۸۷	۲۲۰
۳	۱۸	۲۲	۷۶/۵	۹۳/۵	۱۸۰	۲۲۰	۲۵۴/۷	۴	۱۳/۵	۱۶/۵	۳۶	۴۴	۴۰/۵	۴۹/۵	۵۰/۷
۵	۶/۳	۷/۷	۳۱/۵	۳۸/۵	۲۷	۳۳	۴۹/۷	۶	۴/۵	۵/۵	۴۹/۵	۶۰/۵	۴۵	۵۵	۶۵/۵
۷	۹	۱۱	۶۷/۵	۸۲/۵	۷۲	۸۸	۱۱۵/۴	۸	۱۶/۲	۱۹/۸	۷۶/۵	۹۳/۵	۱۰۸	۱۳۲	۱۸۲
۹	۱۳/۵	۱۶/۵	۸۵/۵	۱۰۴/۵	۱۶۲	۱۹۸	۲۵۹/۲	۱۰	۳۱/۵	۳۸/۵	۱۰۸	۱۳۲	۲۵۲	۳۰۸	۳۵۲/۲
۱۱	۷/۷	۳۶	۴۴	۵۴	۶۶	۷۵/۳	---	۱۲	۲۷/۵	۶۳	۷۷	۹۰	۱۱۰	۱۵۰	---
۱۳	۱۶/۵	۸۵/۵	۱۰۴/۵	۱۳۵	۱۶۵	۱۹۹/۲	---	۱۴	۱۸/۷	۷۲	۸۸	۱۶۲	۱۹۸	۲۸۵/۹	---
۱۵	۲۲	۸۱	۹۹	۱۹۸	۲۴۲	۲۵۸/۹	---	۱۶	۳۸/۵	۱۰۸	۱۳۲	۲۲۵	۲۷۵	۳۸۲/۸	---
۱۷	۵۵	۱۱۷	۱۴۳	۳۱۵	۳۸۵	۴۴۰/۸	---	۱۸	۱۲/۷۵	۳۰	۵۰	۶۷	۷۲	---	---
۱۹	۲۴//۶۴	۵۰	۴۸	۵۴	۸۰	---	---	۲۰	۴۴/۳۵	۷۵	۷۰	۱۰۰	۹۵	---	---
۲۱	۴۸/۷۱	۶۵	۷۰	۱۱۱	۱۰۰	---	---	۲۲	۵۲/۶۶	۸۵	۸۰	۹۲	۱۲۰	---	---
۲۳	۱۸/۶۷	۴۰	۷۵	۸۸	۱۰۵	---	---	۲۴	۱۶/۸۴	۳۵	۵۲	۶۹	۸۵	---	---
۲۵	۲۴/۲۵	۵۵	۷۵	۹۱	۱۱۰	---	---	۲۶	۴۰/۳۲	۷۵	۹۰	۱۳۳	۱۵۰	---	---
۲۷	۷۷/۵	۱۸۵	۲۰۰	۲۲۰	۲۲۵	---	---	۲۸	۶۷/۷۲	۱۳۵	۱۶۰	۱۷۲	۱۹۰	---	---
۲۹	۲۲/۰۵	۴۰	۷۰	۶۰	۹۵	---	---	۳۰	۵۶/۱۹	۹۵	۱۲۰	۱۸۰	۱۸۰	---	---
۳۱	۹۰/۴۷	۱۲۰	۱۳۰	۱۹۶	۲۰۰	---	---	۳۲	۴۵/۷۴	۷۰	۱۱۰	۱۴۴	۱۶۰	---	---
۳۳	۴۵/۵۵	۹۵	۱۲۵	۱۵۰	۱۹۰	---	---	۳۴	۴۰/۳۳	۸۰	۱۲۰	۱۸۰	۱۹۰	---	---
۳۵	۱۱/۸۲	۹۰	۱۳۰	۲۲۰	۲۰۰	---	---	۳۶	۸۹/۲۵	۱۲۰	۱۵۰	۱۹۷	۲۲۰	---	---
۳۷	۲۲۴/۹۶	۱۳۰	۱۶۰	۳۵۰	۳۵۰	---	---	۳۸	۹۳	۱۲۷	۱۸۳	۲۴۵	---	---	---
۳۹	۴۶	۱۴۰/۵	۱۴۹	۱۹۰	---	---	---	۴۰	۵۸	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	---	---	---
۴۱	۳۱	۱۱۰	۱۴۰	۱۴۵	---	---	---	۴۲	۶۷	۱۱۶	۱۶۰	۲۰۰	---	---	---
۴۳	۷۶	۱۱۵	۱۵۰	۲۷۰	---	---	---	۴۴	۲۰	۴۰	۴۵	۲۰۰	---	---	---
۴۵	۵۷	۱۱۵	۱۲۵	۱۴۵	---	---	---	۴۶	۶۹	۱۲۵	۱۳۰	---	---	---	---
۴۷	۴۸	۱۳۵	۱۵۰	---	---	---	---	۴۸	۵۳	۱۵۵	۱۸۰	---	---	---	---
۴۹	۷۱	۱۵۵	۲۲۴	---	---	---	---	۵۰	۴۹	۱۲۵	۱۵۷	---	---	---	---

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

جدول ۳. برآورد ارزش فعلی مورد انتظار هرکدام از پروژه‌ها و تغییرپذیری سالانه آنها

σ	$(V_{\circ}-d_v, V_{\circ})$		σ	$(V_{\circ}-d_v, V_{\circ})$	
۰/۶	(۱۰۶ , ۲۲۰)	پروژه ۲	۰/۷	(۹۶ , ۱۶۶)	پروژه ۱
۰/۴۲	(۱۰۳ , ۱۳۵)	پروژه ۴	۰/۵	(۵۱۷ , ۶۶۷)	پروژه ۳
۰/۷	(۶۳ , ۱۱۰)	پروژه ۶	۰/۵	(۷۰ , ۹۵)	پروژه ۵
۰/۴۵	(۲۶۳ , ۳۲۵)	پروژه ۸	۰/۵۵	(۱۲۹ , ۱۹۸)	پروژه ۷
۰/۴۳	(۵۳۵ , ۷۸۱)	پروژه ۱۰	۰/۴۶	(۲۴۴ , ۳۳۳)	پروژه ۹
۰/۵۱	(۴۴۳ , ۴۹۴)	پروژه ۱۲	۰/۸	(۷۱ , ۱۱۳)	پروژه ۱۱
۰/۶	(۲۳۱ , ۳۸۵)	پروژه ۱۴	۰/۹	(۱۹۵ , ۳۳۰)	پروژه ۱۳
۰/۶	(۶۳۲ , ۹۰۷)	پروژه ۱۶	۰/۴۷	(۳۸۲ , ۴۷۹)	پروژه ۱۵
۰/۳۵	(۲۱۹ , ۲۳۵)	پروژه ۱۸	۰/۴۹	(۹۰۸ , ۱۰۶۸)	پروژه ۱۷
۰/۵۶	(۳۲۴ , ۳۳۶)	پروژه ۲۰	۰/۵۳	(۲۱۹ , ۲۳۹)	پروژه ۱۹
۰/۶	(۲۳۶ , ۲۹۲)	پروژه ۲۲	۰/۵۷	(۲۳۰ , ۲۸۰)	پروژه ۲۱
۰/۶۴	(۲۰۸ , ۲۲۵)	پروژه ۲۴	۰/۹	(۱۲۱ , ۱۹۶)	پروژه ۲۳
۰/۶	(۲۴۴ , ۳۳۴)	پروژه ۲۶	۰/۵۵	(۱۹۸ , ۲۶۳)	پروژه ۲۵
۰/۵۳	(۴۹۰ , ۵۰۷)	پروژه ۲۸	۰/۶۴	(۴۱۵ , ۴۶۷)	پروژه ۲۷
۰/۶	(۳۱۵ , ۳۷۹)	پروژه ۳۰	۰/۴۵	(۲۳۷ , ۲۶۹)	پروژه ۲۹
۰/۵	(۳۸۱ , ۴۱۷)	پروژه ۳۲	۰/۷۵	(۳۷۷ , ۴۰۱)	پروژه ۳۱
۰/۶	(۳۵۷ , ۴۷۷)	پروژه ۳۴	۰/۵	(۳۸۵ , ۴۳۶)	پروژه ۳۳
۰/۶۵	(۴۲۸ , ۵۵۰)	پروژه ۳۶	۰/۴	(۳۸۳ , ۵۲۱)	پروژه ۳۵
۰/۴۵	(۳۸۵ , ۳۹۵)	پروژه ۳۸	۰/۷	(۶۷۶ , ۸۸۹)	پروژه ۳۷
۰/۵۵	(۲۵۰ , ۲۶۲)	پروژه ۴۰	۰/۵	(۲۷۵ , ۳۰۹)	پروژه ۳۹
۰/۵	(۴۰۰ , ۴۲۹)	پروژه ۴۲	۰/۷	(۲۰۸ , ۲۴۳)	پروژه ۴۱
۰/۵	(۵۷۹ , ۶۰۹)	پروژه ۴۴	۰/۶	(۳۶۸ , ۴۲۳)	پروژه ۴۳
۰/۵	(۲۴۶ , ۲۵۴)	پروژه ۴۶	۰/۵	(۲۸۷ , ۲۵۴)	پروژه ۴۵
۰/۵۵	(۲۸۷ , ۳۱۳)	پروژه ۴۸	۰/۷	(۱۸۹ , ۲۰۹)	پروژه ۴۷
۰/۴۵	(۲۳۸ , ۲۴۵)	پروژه ۵۰	۰/۴۸	(۵۴۰ , ۵۴۴)	پروژه ۴۹

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

جدول ٤. ارزش اختیار مرکب پروژه‌ها با توجه به مقادیر ارزش فعلی آنها

$(C-d,C)$		$(C-d,C)$	
(۲۳/۵۰۲ , ۹۱/۷۳۹)	پروژه ۲	(۲۵/۶۱۱ , ۷۲/۷۸۵)	پروژه ۱
(۹/۱۵۷ , ۲۸/۶۱۸)	پروژه ۴	(۲۳۰/۵۴۰ , ۳۵۰/۴۳۱)	پروژه ۳
(۱۹/۶۳۶ , ۵۲/۱۵۷)	پروژه ۶	(۱۳/۴۹۶ , ۲۹/۴۰۳)	پروژه ۵
(۸/۲۶۰ , ۲۷/۲۰۴)	پروژه ۸	(۲۹/۲۴۴ , ۷۳/۲۲۷)	پروژه ۷
(۱۳۳/۷۰۹ , ۳۰۶/۴۶۴)	پروژه ۱۰	(۴۲/۸۷۹ , ۹۳/۲۴۷)	پروژه ۹
(۲۰۳/۷۵۵ , ۲۴۵/۷۸۷)	پروژه ۱۲	(۲۴/۱۲۱ , ۵۳/۹۱۷)	پروژه ۱۱
(۵۵/۲۶۸ , ۲۹۹/۱۵۴)	پروژه ۱۴	(۹۱/۸۵۱ , ۱۹۸/۱۱۷)	پروژه ۱۳
(۲۶۵/۶۵۸ , ۴۸۰/۸۵۰)	پروژه ۱۶	(۸۸/۳۶۰ , ۱۴۸/۱۴۸)	پروژه ۱۵
(۵۵/۲۳۸ , ۶۸/۵۵۷)	پروژه ۱۸	(۵۵/۲۸۳ , ۴۵۷/۹۴۱)	پروژه ۱۷
(۷۵/۰۴۸ , ۸۴/۴۸۵)	پروژه ۲۰	(۵۲/۷۹۸ , ۶۸/۶۷۹)	پروژه ۱۹
(۱/۲۰۱ , ۳۷/۰۵۹)	پروژه ۲۲	(۸/۶۱۸ , ۴۲/۲۷۹)	پروژه ۲۱
(۶۹/۶۰۳ , ۸۳/۰۵۴)	پروژه ۲۴	(۲۱/۳۲۵ , ۷۴/۰۸۳)	پروژه ۲۳
(۱۱/۴۸۵ , ۶۸/۴۶۲)	پروژه ۲۶	(۱۶/۵۸۳ , ۵۸/۲۳۳)	پروژه ۲۵
(۵۵/۵۸۴ , ۶۶/۷۴۴)	پروژه ۲۸	(۰/۰۰ , ۱۸/۷۳۵)	پروژه ۲۷
(۱۰/۹۳۰ , ۴۹/۱۹۴)	پروژه ۳۰	(۴۹/۹۲۳ , ۷۴/۸۴۳)	پروژه ۲۹
(۶۴/۳۳۵ , ۹۰/۳۴۸)	پروژه ۳۲	(۳۱/۳۱۱ , ۴۷/۳۵۸)	پروژه ۳۱
(۵۷/۹۱۸ , ۱۴۲/۳۶۰)	پروژه ۳۴	(۴۰/۲۷۸ , ۷۳/۳۳۰)	پروژه ۳۳
(۳۲/۲۵۱ , ۱۱۶/۸۹۸)	پروژه ۳۶	(۳۴/۴۳۹ , ۱۱۵/۱۶۱)	پروژه ۳۵
(۳/۸۱۸ , ۹/۹۶۸)	پروژه ۳۸	(۴۰/۸۹۰ , ۲۰۷/۰۳۸)	پروژه ۳۷
(۱۶/۸۱۶ , ۲۴/۵۳۴)	پروژه ۴۰	(۱۰/۸۶۹ , ۲۹/۴۲۷)	پروژه ۳۹
(۷۳/۳۵۰ , ۹۴/۵۲۰)	پروژه ۴۲	(۳۶/۹۸۳ , ۵۹/۳۶۸)	پروژه ۴۱
(۳۷۶/۷۰۸ , ۴۰۵/۰۵۸)	پروژه ۴۴	(۵۸/۵۸۸ , ۹۷/۷۲۴)	پروژه ۴۳
(۲۸/۱۹۳ , ۳۴/۱۲۸)	پروژه ۴۶	(۲۲/۸۳۹ , ۲۶/۶۹۳)	پروژه ۴۵
(۵۸/۶۹۱ , ۷۷/۴۵۸)	پروژه ۴۸	(۲۹/۹۲۲ , ۴۳/۷۹۷)	پروژه ۴۷
(۲۷/۲۹۴ , ۳۲/۰۴۵)	پروژه ۵۰	(۲۱۲/۳۷۲ , ۲۱۵/۸۲۸)	پروژه ۴۹

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

جدول (۲)، هزینه‌های سرمایه‌گذاری (هزار دلار) برای هرکدام از پروژه‌ها را باتوجه به تعداد مراحل باقیمانده‌ی آن ها را مشخص می‌نماید؛ اما درجدول (۳) برآورد مقدار اسمی ارزش فعلی پروژه‌ها و میزان انحراف آن‌ها در بازه‌ای ارایه شده است (برحسب هزار دلار) و هم‌چنین تغییرپذیری سالانه هر کدام از پروژه‌ها نیز مشاهده می‌شود. در جدول (۴) میزان ارزش اختیارات حقیقی با استفاده از رویکرد اختیار مرکب $n-$تایی که در بخش سوم شرح داده شده است، مشاهده می‌شود [۶]. برای دو مقدار ارزش فعلی برآورد شده در جدول (۴) ارزش اختیار محاسبه شده و در نهایت به صورت بازه‌ای در این جدول ارایه شده است.

با فرض $\Gamma = ۱۵$، خروجی مدل به صورت جدول (۵) می‌باشد زمان محاسبه، پروژه‌های انتخاب شده، ارزش سبد، و هم چنین اندازه سبد در این جدول مشاهده می‌شود؛ البته قابل ذکر است، این مدل براساس رویکرد بهینه‌سازی استوار بدون در نظر گرفتن الگوریتم، در نرم افزار LINGO برنامه‌نویسی شد. این مدل که حاوی ۵۰ متغیر باینری و ۵۱ متغیر نامنفی مربوط به بهینه‌سازی استوار می‌باشد، نرم‌افزار LINGO با توجه به داده‌های جداول (۱) تا (۴)، قادر به حل مدل مطرح شده نمی‌باشد؛ اما همان طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، الگوریتم سبد بهینه را در کم‌تر از هفت ثانیه ارایه می‌کند. این سبد بهینه حاوی ۳۱ پروژه با ارزش ۲۸۳۷/۷۸ هزار دلار می‌باشد.

جدول ۵. خروجی مدل برای مساله انتخاب سبد پروژه با $\Gamma = ۱۵$

زمان محاسبه	تابع هدف	تعداد	سبد پروژه‌های انتخاب شده
۶/۷۶۳ ثانیه	۲۸۳۷/۷۸	۳۱	۳،۵،۶،۹،۱۱،۱۲،۱۳،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴،۲۵،۲۶،۲۸،۲۹،۳۲،۳۳،۳۵،۴۰،۴۲،۴۴،۴۵،۴ ۶،۴۷،۴۸،۴۹

۶-۱ آنالیز حساسیت محدودیت بودجه

از دیدگاه مدیریت یکی از دلایلی که پروژه‌ها جهت سرمایه‌گذاری انتخاب نمی‌شوند، محدودیت بودجه می‌باشد. در این بخش محدودیت بودجه برای دوره‌ی اول افق برنامه‌ریزی تحت بررسی قرار می‌گیرد و با اعمال تغییرات در محدودیت بودجه سبد بهینه و همچنین ارزش سبد نهایی تحت بررسی قرار می‌گیرد. جدول (۶) نتایج حاصل از تغییرات بودجه دروه اول، یعنی $B_{t=۰}$، را نشان می‌دهد. جدول (۶) نشان می‌دهد که چطور اندازه‌ی سبد و مقدار تابع هدف به صورت تابعی از محدودیت بودجه تغییر می‌کند.

به طورکلی پروژه‌هایی که در مراحل آخر توسعه‌ی خود قرار دارند و مراحل پیشین را با موفقیت سپری نمودند، با ارزش‌تر به شمار می‌آیند؛ زیرا محصول خروجی این پروژه‌ها با احتمال بالاتری روانه بازار می‌شوند. میزان بودجه در دسترس، تعداد این پروژه‌ها را محدود می‌نماید؛ اما سبد بهینه تمایل دارد تا پروژه‌های با ارزشی که در مراحل آخر توسعه قرار دارند را روانه بازار نماید.

شکل (۲) ترکیب سبد بهینه را نسبت به تغییرات بودجه $B_{t=۰}$ را نشان می‌دهد. با افزایش محدودیت بودجه مدل پروژه‌هایی که دارای تعداد مراحل بالاتری نیز هستند، درحالی‌که هزینه سرمایه‌گذاری کم‌تری را احتیاج

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

دارند، به سبد انتخابی اضافه می‌نماید. این پروژه‌ها از دیدگاه اختیارات حقیقی به این علت با ارزش‌ترند که پتانسیل ارزش آتی بالاتری را دارا هستند. به طور مثال زمانی که $B_{t=0} = ۹۰۰$ می‌باشد، مدل تعدادی از پروژه‌ها را حذف می‌نماید تا پروژه‌ی شماره ۴۳ وارد سبد گردد. در حقیقت از دیدگاه مدیریتی، پروژه‌هایی که حاوی تعداد مراحل توسعه‌ی کم‌تری هستند، تنها به این دلیل کنار گذاشته می‌شوند که شرکت از عهده ی هزینه‌های سرمایه‌گذاری آن‌ها بر نیاید.

جدول ٦. سبد بهینه پروژه‌ها برای مقادیر مختلف $B_{t=0}$

تابع هدف	اندازه سبد	سبد پروژه‌های انتخاب شده (گاما = ۲۸)	بودجه دوره اول
۲۰۷۲/۸۴	۱۴	۳،۷،۹،۱۲،۱۳،۱۶،۱۷،۱۸،۲۴،۲۹،۳۵،۴۲،۴۴،۴۹	۴۰۰
۲۲۴۰/۲۴	۱۸	۳،۵،۶،۹،۱۱،۱۲،۱۳،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۴،۲۹،۳۲،۳۵،۴۲،۴۴،۴۹	۵۰۰
۲۳۵۳/۶۵	۱۹	۳،۵،۶،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۲۰،۲۴،۲۹،۳۲،۳۵،۴۱،۴۲،۴۴،۴۸،۴۹	۶۰۰
۲۴۵۰/۶۱	۲۲	۳،۵،۶،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۹،۳۲،۳۵،۴۱،۴۲،۴۴،۴۵،۴۸،۴۹	۷۰۰
۲۵۲۶/۰۷	۲۴	۳،۵،۶،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۵،۲۸،۲۹،۳۲،۳۳،۳۵،۴۲،۴۴،۴۵،۴۸،۴۹	۸۰۰
۲۵۸۳/۲۹	۲۶	۳،۵،۶،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۵،۲۸،۲۹،۳۲،۳۳،۳۵،۴۲،۴۴،۴۵،۴۷،۴۸،۴۹،۵۰	۹۰۰
۲۶۲۰/۲۳	۲۶	۵۰ ,۳،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۵،۲۶،۲۸،۲۹،۳۲،۳۳،۳۵،۴۲،۴۳،۴۴،۴۵،۴۷،۴۸،۴۹	۱۰۰۰
۲۶۶۸/۲۵	۲۷	,۳،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۵،۲۸،۲۹،۳۱،۳۲،۳۳،۳۵،۴۲،۴۳،۴۴،۴۵،۴۶،۴۷،۴۸ ۴۹،۵۰	۱۲۰۰
۲۶۶۸/۲۵	۲۷	,۳،۹،۱۰،۱۲،۱۶،۱۷،۱۸،۱۹،۲۰،۲۳،۲۴،۲۵،۲۸،۲۹،۳۱،۳۲،۳۳،۳۵،۴۲،۴۳،۴۴،۴۵،۴۶،۴۷،۴۸ ۴۹،۵۰	۱۴۰۰

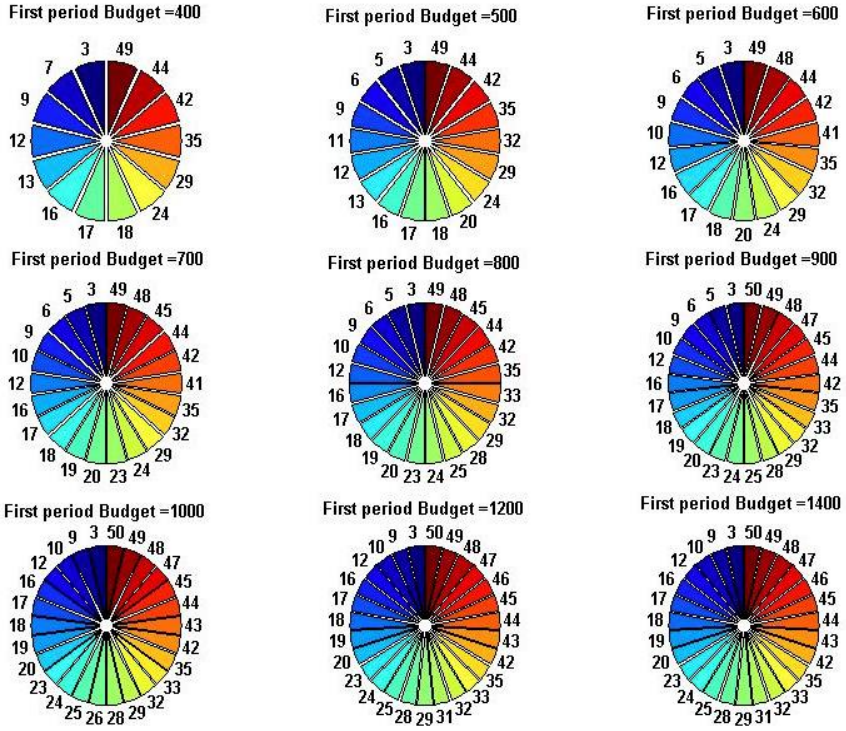
۷ نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک رویکرد بهینه‌سازی استوار به همراه الگوریتم حل دقیق جهت بیشینه‌سازی ارزش حاصل از انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه، ارایه شد؛ درحالی که طبیعت عدم قطعیت مساله انتخاب سبد پروژه نیز بررسی گردید. در راستای جبران عدم کارایی روش‌های ارزشیابی سنتی، رویکرد ارزشیابی اختیارات حقیقی مورد استفاده قرار گرفته شد. در حقیقت مدلی برای مساله توام بهینه‌سازی استوار انتخاب سبد پروژه و ارزش‌گذاری اختیارات حقیقی برای سازمان‌ها، ارایه شد که بر اساس برنامه‌ریزی صفر ویک انجام می‌شود. تاکنون مساله انتخاب و ارزشیابی سبد پروژه با استفاده از مدل اختیارات مرکب $n-$تایی، مطالعه نشده است که هم راستا با آن از مدل‌سازی استوارمسایل باینری نیز استفاده گردد. الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق نیز تا به حال برای مساله انتخاب سبد پروژه در کنار ارزشیابی اختیارات حقیقی استفاده نشده است؛ بنابراین با توجه به مطالب فوق‌الذکر

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

تمرکز در این پژوهش ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای با استفاده از ارزشیابی اختیارات مرکب بوده است، که جهت انتخاب پروژه‌ها از مدل‌سازی استوار مسایل باینری کمک گرفته شده است.



شکل ۲. ترکیب سبد بهینه پروژه‌ها برای مقادیر مختلف $B_{t=0}$

در نگاه سنتی عدم قطعیت زیاد به معنای ریسک بیش‌تر می‌باشد که به شکل نرخ تنزیل با ریسک بالاتر سبب کم‌تر شدن ارزش خالص فعلی پروژه می‌گردد. درحالی‌که در یک پروژه با سیستم مدیریتی انعطاف‌پذیر، از دیدگاه ارزشیابی اختیارات حقیقی پروژه دارای ریسک کم‌تر می‌شود؛ زیرا امکان به وجودآمدن نتایج منفی محدود می‌شود و دارنده در مقابل زیان‌های احتمالی آینده خود را پوشش می‌دهد. به همین خاطر جهت ارزشیابی پروژه‌های چند مرحله‌ای تحقیق و توسعه از رویکرد اختیار مرکب $n-$تایی [۶]، استفاده شده است. با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار بر روی یک مثال از صنعت دارویی نشان دادیم که چطور داده‌های تفصیلی پروژه‌ها می‌تواند، یک مساله انتخاب پروژه را به سادگی حل نماید. در حقیقت این موضوع یک ابزار تصمیم‌گیری بسیار کاربردی را برای مدیران ارایه می‌نماید، که تمایل به داده‌های مفصل و هم‌چنین ریاضیات پیچیده ندارند و ترجیح می‌دهند که براساس ابزارهای کیفی و توصیفی تصمیم بگیرند.

در این پژوهش فرآیند انتخاب پروژه به صورت یک ابزار تصمیم‌گیری در نرم افزار MATLAB برنامه‌نویسی شده، که جهت حل مدل استوار از الگوریتم آلوارز و همکاران [۱۰] استفاده شده است. رویکردهای حلی که در نرم افزارهای بهینه‌سازی موجود استفاده می‌شود، قادر به حل دقیق مدل پیشنهادی استوار با ۵۰ پروژه و بالاتر نمی‌باشند. فرآیند انتخاب با ورود داده‌های اصلی به مدل آغاز می‌شود، سپس اختیار مرکب هر پروژه

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

محاسبه می‌شود و در نهایت داده‌ها وارد چرخه الگوریتم می‌شوند. با توجه به تجزیه و تحلیل انجام شده، ارزش سبد بهینه با افزایش سطح محافظه‌کاری کاهش می‌یابد؛ اما آنالیز محدودیت بودجه نشان داد که پروژه‌های با ارزش از دیدگاه اختیارات حقیقی در صورتی از سبد بهینه حذف می‌گردند و برای سرمایه‌گذاری انتخاب نمی‌شوند که شرکت از عهده‌ی هزینه‌های آن‌ها برنیاید.

نکات مختلفی در مساله انتخاب سبد پروژه در ادبیات این مساله دیده می‌شود که در این پژوهش بررسی نگردیده و برای تحقیقات آتی می‌توان آن‌ها را پیشنهاد داد. اولین مورد بررسی مدل در شرایط فازی می‌باشد. بسیاری از محققان رویکرد اختیارات مرکب ۲ تایی گسک را به صورت فازی توسعه دادند؛ اما تاکنون بررسی رویکرد اختیار مرکب $n-$تایی به صورت فازی برای مساله انتخاب پروژه مشاهده نشده است. در این پژوهش رویکرد بهینه‌سازی استوار با در نظرگرفتن تغییرات ضریب تابع هدف حل شده است؛ اما صورت‌های دیگر مدل‌سازی که منجر به تغییرات در ضرایب محدودیت‌ها در مساله انتخاب پروژه می‌شود، می تواند بررسی گردد و هم‌چنین می‌توان الگوریتمی را که ارایه شد، با کمی تغییرات برای این شرایط نیز استفاده نمود.

منابع

[۱] حسن زاده، ف.، (۱۳۸۹). مدیریت سبد پروژه‌های تحقیق و توسعه. دانشگاه صنعتی شریف.

[۲] حسن زاده، مفرد، م.، (۱۳۸۸). مدل استوار مساله بهینه‌سازی سبد مالی دارای اختیار معامله. دانشگاه صنعتی شریف.

[۲۵] سمیعی نیا، م.، (۱۳۸۸). بهینه‌سازی در مدیریت سرمایه‌گذاری با داده‌های غیر قطعی. دانشگاه صنعتی شریف.

[۴۴] منتجبی ها، م.، (۱۳۹۲). ارایه مدلی پایدار جهت انتخاب سبد پروژه با استفاده از ارزشگذاری اختیارات حقیقی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین.

[۴۵] مرادی و همکاران.، (۱۳۹۳). یک مدل جدید استوار در طراحی شبکه زنجیره‌ی تأمین تحت عدم قطعیت. مجله تحقیق در عملیات درکاربردهای آن، ۱۱، ۲۵-۹.

[3] Feinstein, S., Lander, D., (2002). A better understanding of why NPV undervalues managerial flexibility. The Engineering Economist, 47, 418–435.

[4] Cassimon, D., Engelen, P., Yordan, V., (2011). Compound real option valuation with phase-specific volatility: A multi-phase mobile payments case study. Technovation, 31, 240-255.

[5] Wang, J., Hwang, W. L., (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. omega, 35, 247-257.

[6] Cassimon, D., Engelen, P., Thomassen, I., Van Wouwe, M., (2004). The valuation of a NDA using a 6-fold compound option. Research Policy, 33, 41-51.

[7] Black, F., Scholes, M., (1973). The pricing of options and corporate liabilities. Journal of Political Economy, 81, 637-657.

[8] Geske, R., (1979). The valuation of compound options. journal of Financial Economics, 7, 63-81.

[9] Bertsimas, D., Sim, M., (2003). Robust discrete optimization and network flows. Mathematical Programming, 98, 49-71.

[10] Alvarez-Miranda, F., Ljubic, I., Toth, P., (2013). A note on the Bertsimas & Sim algorithm for robust combinatorial optimization problems. 4OR, 11, 349-360.

[11] Badiru, A., Pulat, P., (1995). Comprehensive project management. Prentice Hall.

[12] Rabbani, M., Aramoon Bajestani, M., Baharian Khoshkhou, G., (2010). A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem. Expert Systems with Applications, 37,315-321.

[13] Carazo, A., Gómez, T., Molina, J., Hernández-Díaz, A., Guerrero, F., Caballero, R., (2010). Solving a comprehensive model for multiobjective project portfolio selection. Computers & Operations Research, 37, 630-639.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

[14] Shakhsi-Niaei, M., Torabi, S., Iranmanesh, S., (2011). A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. Computers & Industrial Engineering, 61, 226–237.
[15] Khalili-Damghani, K., Sadi-Nezhad, S., Aryanezhad, M., (2011). A modular decision support system for optimum investment selection in presence of uncertainty combination of fuzzy mathematical programming and fuzzy rule based system. Expert Systems with Applications, 38, 824-834.
[16] Chang, P., Lee, J., (2012). A fuzzy DEA and knapsack formulation integrated model for project selection. Computers & Operations Research, 39, 112-125.
[17] Khalili-Damghani, K., Tavana, S., Sadi-Nezhad, S., (2012). An integrated multi-objective framework for solving multi-period project selection problems. Applied Mathematics and Computation, 219, 3122–3138.
[18] Chen, C., Liu, H., Song, J., (2013). Integrated projects planning in IS departments: A multi-period multi-project selection and assignment approach with a computerized implementation. European Journal of Operational Research, 229, 683-694.
[19] Khalili-Damghani, K., Sadi-Nezhad, S., (2013). A hybrid fuzzy multiple criteria group decision making approach for sustainable project selection. Applied Soft Computing, 13, 339-352.
[20] Rafiee, M., Kianfar, F., Farhadkhani, M., (2013). A multistage stochastic programming approach in project selection and scheduling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70, 2125–2137.
[21] Iamratanakul, S., Patanakul, P., Milosevic, D., (2008). Project portfolio selection: From past to present. In Proceedings of the 4th IEEE international conference on management of innovation and technology.
[22] Fahmi, P., Spring, M., (1990). An application oriented guide to R&D project selection and valuation methods. R&D Manageemnt, 20, 155-171.
[23] Hall, D., Nauda, A., (1990). An interactive approach for selection in R&D project. IEEE Transactions on Engineering Management, 37, 126-133.
[24] Weber, R., Werners, B., Zimmerman, H., (1990). Planning models for research and development. European Journal of Operational Research, 48, 175-188.
[26] Bowman, E., Moskowitz, G., (2001). Real options analysis and strategic decision making. Organization Science, Informs, 12, 772–777.
[27] Pennings, E., Sereno, L., (2011). Evaluating pharmaceutical R&D under technical and economics uncertainty. European Journal of Operational research, 212, 374-385.
[28] Kellogg, D., Charnes, J., (2000). Real options valuation for a biotechnology company. Financial Analysts Journal, 56, 76-84.
[29] Shockley, R., Curtis, S., Jafari, J., Tibbs, K., (2007). The option value of an early stage biotechnology investment. Journal of Applied Corporate Finance, 15, 44-55.
[30] Schwartz, E., (2004). Patents and R&D as real options. Economic Notes, 33, 23–54.
[31] Cortellezzi, F., Villani, G., (2009). Valuation of R&D sequential exchange options using Monte Carlo approach. Computational Economics, 33, 209–236.
[32] Perlitz, M., Peske, T., Schrank, R., (1999). Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation. R&D Management, 29, 255–270.
[33] Jensen, K., Warren, P., (2001). The use of options theory to value research in the service sector. R&D Management, 31, 173–180.
[34] Cassimon, D., Backer, M., Engelen, P., Wouwe, M., Yordanov, V., (2011). Incorporating technical risk in compound real option models to value a pharmaceutical R&D licensing opportunity. Research Policy, 40, 1200-1216.
[35] Ghosh, S., Troutt, M. D., (2012). Complex compound option models–Can practitioners truly operationalize them ?. European Journal of Operational Research, 222, 54552.
[36] Copeland, T., Antikarov, V., (2001). Real Options. A Practitioner's Guide. Texere.
[37] Rogers, M., Gupta, A., Maranas, C., (2002). Real options based analysis of optimal pharmaceutical research and development portfolios. Industrial & Engineering Chemistry Research, 41, 6607-6620.
[38] Carlsson, C., Fullér, R., Heikkila, M., Majlender, P., (2007). A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. International Journal of Approximate Reasoning, 44, 93-105.
[39] Hassanzadeh, F., Collan, M., Modarres, M., (2012). A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58, 227–236.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]

[40] Rafiee, M., Kianfar, F., (2011). A scenario tree approach to multi-period project selection problem using real-option valuation method. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 56, 411–420.
[41] Padhy, P., Sahu, S., (2011). A Real Option based Six Sigma project evaluation and selection model. International Journal of Project Management, 29, 1091– 1102.
[42] Nigro, G., Morreale, A., Enea, G., (2014). Open innovation: A real option to restore value to the biopharmaceutical R&D. International Journal of Production Economics, 149, 183-193.
[43] Modarres, M., Hassanzadeh, F., (2009). A Robust Optimization Approach to R&D Project Selection. World Applied Sciences Journal, 7, 582-592.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-05-14]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.2.7]