



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در  
مهندسی سازه و مدیریت ساخت  
دانشگاه صنعتی شریف



ارزشیابی مالی و اقتصادی پروژه های مشارکت عمومی – خصوصی (PPP) تصفیه خانه های آب و  
فاضلاب با رویکرد تحلیل اختیارات واقعی

محمد وحدت منش<sup>1\*</sup>، افشین فیروزی بویاغچی<sup>2</sup>

1. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران [m.vahdatmanesh@srbiau.ac.ir](mailto:m.vahdatmanesh@srbiau.ac.ir)

2. عضو هیئت علمی گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران [firouzi@srbiau.ac.ir](mailto:firouzi@srbiau.ac.ir)

## چکیده

ارزشیابی صحیح و موثر مالی و اقتصادی پروژه های مشارکتی آب و فاضلاب اهمیت زیادی برای هر دو بخش خصوصی و دولتی جهت انتخاب اقتصادی ترین پروژه داشته و همچنین نقش مهمی در تضمین به رسیدن این قبیل پروژه ها سرانجام دارد. روشهای مرسوم ارزشیابی اقتصادی، دارای ضعف هایی در ارزشیابی صحیح پروژه های زیر ساختی با مشارکت عمومی – خصوصی می باشند. لذا از سه دهه گذشته رویکرد جدیدی به نام تحلیل اختیارات واقعی جهت ارزشیابی اقتصادی پروژه های ساخت دارایی فیزیکی زیرساختی که دارای عدم قطعیت های ذاتی بوده و انعطاف پذیری مدیریتی اثر مهمی در رسیدن به نتیجه و هدف از پیش تعیین شده آنها دارد معرفی و به کار گرفته شده است. این مقاله بر آن است تا ضمن بررسی تحلیل اختیارات واقعی و انواع مدل های ارزشیابی مرسوم در آن، با ذکر یک مثال، ارزش مالی و اقتصادی یک پروژه تصفیه خانه آب و فاضلاب با اختیار واگذاری را بوسیله مدل درخت دو جمله ای محاسبه نماید.

**کلمات کلیدی:** تحلیل اختیارات واقعی، ارزشیابی مالی و اقتصادی، مدل درخت دو جمله ای، پروژه های مشارکتی PPP، زیرساخت ها.

\* نویسنده مسئول: محمد وحدت منش، [m.vahdatmanesh@srbiau.ac.ir](mailto:m.vahdatmanesh@srbiau.ac.ir)

یکی از مهم ترین پایه های پیشرفت هر کشور توسعه زیر ساخت<sup>۱</sup> های فیزیکی کارا و دارای کیفیت مطلوب می باشد، قدرت اقتصاد ملی بازتابی از توانایی و موجودی زیر ساخت های آن است [۱]. پروژه های سرمایه گذاری زیر ساختی بزرگ مانند بزرگراه ها، فرودگاه ها یا بیمارستان ها پروژه هایی طولانی مدت با هزینه های جانبی زیاد میباشند. از این گذشته گستره دربرگیرنده این پروژه ها متناوباً با عدم قطعیت های زیادی به ویژه در خصوص تقاضا، هزینه سرمایه و حتی هزینه های ساخت و ساز مواجه میباشند [۲]. نیاز به سرمایه گذاری از یک سو و در نظر داشتن محدودیت های مالی از سوی دیگر منجر به این شده است که دولت ها به دنبال شرکایی در بخش خصوصی در جهت توسعه این قبیل پروژه ها باشند. برای مشارکت در پروژه، بخش خصوصی باید نسبت به ریسک های ذاتی نهفته در پروژه آسوده خاطر باشد [۳]. در ده های اخیر بسیاری از کشورهای در حال توسعه بنا به دلایل مختلف روی به استفاده از روش تامین مالی مشارکت عمومی - خصوصی<sup>۲</sup> در ساخت دارایی های زیرساختی با ابعاد بزرگ آورده اند. از جمله علل روی آوردن دولت ها به این روش تامین مالی میتوان به دلایلی چون مشکلات تامین بودجه، عدم توانایی فنی بخش دولتی و همچنین تمایل حکومت ها به توسعه پر شتاب تر و لذا استفاده از ظرفیت های بخش خصوصی در این مسیر اشاره نمود. از مهمترین برتری های روش مشارکت عمومی - خصوصی نسبت به سایر روش های تامین مالی میتوان به کاهش هزینه ها، استفاده بهینه از زمان و افزایش رضایت مندی اجتماعی اشاره نمود. به دلیل نیاز به انجام سرمایه گذاری های کلان و گاهاً حضور شرکت های چند ملیتی در این حوزه که به آن ابعاد سیاسی و بین المللی می بخشد، ارزشیابی مالی و اقتصادی این طرح ها دارای اهمیتی دو چندان بوده و اصلی ترین دغدغه ذهنی بخش خصوصی و همچنین دولت میزبان<sup>۳</sup> پیش از انعقاد قرارداد واگذاری امتیاز و حتی در طی دوره طراحی، ساخت و بهره برداری میباشند. به دلیل ضعف روش های ارزشیابی مبتنی بر تنزیل جریان نقدی آزاد<sup>۴</sup> به جهت در نظر نگرفتن عدم قطعیت های ذاتی موجود در پروژه های زیر ساختی و همچنین عدم انعکاس عواملی که ارزش پروژه را در طول چرخه حیات پروژه تحت تاثیر قرار میدهند، از دهه ۷۰ میلادی رویکرد جدیدی به نام تحلیل اختیارات واقعی<sup>۵</sup> جهت ارزشیابی مالی پروژه های زیرساختی مورد استفاده قرار گرفته است. این مقاله برآن است تا ضمن معرفی تحلیل اختیارات واقعی و انواع مدل های قیمت گذاری مورد استفاده در آن منجمله مدل قیمت گذاری بلک-شولز، مرتون و روش درخت دو جمله ای<sup>۶</sup> با ذکر یک مثال ارزش اختیار واگذاری<sup>۷</sup> یک پروژه زیر ساختی تصفیه خانه فاضلاب فرضی را بوسیله مدل درخت دو جمله ای محاسبه نماید.

---

<sup>1</sup> infrastructure

<sup>2</sup> Public private partnership

<sup>3</sup> Host government

<sup>4</sup> Discounted cash flow

<sup>5</sup> Real options analysis

<sup>6</sup> Binominal tree method

<sup>7</sup> Abandon option

## اهمیت زیر ساخت ها

مفهوم زیر ساخت ها اشاره به گروهی از سازه ها، سیستم ها و تاسیسات دارد که به یک کشور، شهر یا منطقه خدمات رسانی میکنند. منجمله خدمات و تسهیلاتی که جهت کارایی اقتصاد آن کشور، شهر و یا منطقه لازم و ضروری هستند [۴]. زیرساخت ها معمولاً مشخصه سازه هایی مانند راه ها، پل ها، تونل ها، تاسیسات آبرسانی، شبکه های برق رسانی، مخابراتی و ... هستند. زیر ساخت ها میتوانند به عنوان اجزا فیزیکی سیستم های به هم وابسته ای که وظیفه فراهم کردن محصولات و خدماتی که جهت امکان پذیر ساختن، بهبود یا پایداری شرایط زندگی اجتماعی لازم و ضروری هستند نیز تعریف شوند [۵]. شبکه های زیر ساختی برای حمایت از توسعه اقتصادی جهان لازم و ضروری هستند، دولت های سراسر جهان با اقتصاد توسعه یافته ویا در حال توسعه بخش مهمی از بودجه عمومی را به گسترش و نوسازی زیر ساخت ها اختصاص می دهند [۲].

نمونه هایی از تاسیسات و دارایی های زیر ساختی:

- سیستم های حمل و نقل (بزرگراه ها، فرودگاه ها، راه آهن، بنادر)
- تاسیسات تولید، انتقال و توزیع الکتریسیته
- تاسیسات تامین آب (آب آشامیدنی و فاضلاب و شبکه های مربوطه)
- سازه های آبی (پل ها، سدها، کانال ها، دیواره های ساحلی)
- تولید، انتقال و توزیع نفت و گاز
- مدیریت پسماند (پسماند جانند، پسماند خطرناک، خاکریز ها)
- کشاورزی، تولید و توزیع غذا
- ساختمانهای عمومی و خدمات رسان (بیمارستان ها، مدارس، کتابخانه ها، اداره پلیس، موزه ها، پارک ها، آتش نشانی)

## لزوم ارزشیابی اقتصادی صحیح پروژه های زیر ساختی

همانطور که در بخش های پیشین بیان شد، زیر ساخت ها طیف وسیعی از طرح های عمرانی کشور ها را در بر گرفته و همین طور همه ساله بخش مهمی از بودجه عمومی کشور را به خود اختصاص میدهند، از آن گذشته زیر ساخت های موثر و کارا پایه و اساس رشد اقتصادی و اجتماعی جوامع گوناگون بوده و حتی با نسبت بالایی میتوان شکست و موفقیت دولت ها را در گرو ایجاد و توسعه زیر ساخت های مناسب و مورد نیاز جامعه دانست. از این رو ارزشیابی صحیح پروژه های زیر ساختی دارای اهمیت بالایی بوده و میتواند ضمانتی بر نیل به هدف از پیش تعیین شده جهت ایجاد زیرساخت مورد نظر باشد.

## مشارکت عمومی - خصوصی (PPP)

مشارکت بخش خصوصی با دولتی (عمومی) عبارتست از درگیر شدن شرکت های خصوصی در طراحی، تامین مالی، ساخت، مالکیت و بهره برداری با یک واحد بخش دولتی، چنین مشارکتی امروزه به عنوان جایگزین مناسبی برای روشهای سنتی متداول ایجاد تسهیلات از طریق تامین مالی دولتی است. این رویکرد شراکتی باعث می شود که هر دو طرف توانایی های مخصوص خود را همراه کنند و به نتیجه ای برسند که هیچ کدام به تنهایی نمی توانستند برسند [۱]. مشارکت عمومی - خصوصی (PPP) و طرح های سرمایه گذاری خصوصی<sup>۸</sup> (PFI)، بدل به طرح هایی شده اند که برای اجرای پروژه های زیر ساختی بزرگ مقیاس<sup>۹</sup>، به طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته و رکن ضروری رشد اقتصاد جهانی را تشکیل داده اند. این روش ویژه تامین مالی در تجارت بین المللی و منطقه ای بزرگ مقیاس و با ریسک بالا و علی الخصوص صنایع مبتنی بر دارایی حائز اهمیت بیشتری میباشد [۶]. کاربرد روش تامین مالی مشارکت عمومی-خصوصی باعث به وجود آمدن روشهای اجرای پروژه دیگری مانند ساخت - بهره برداری - انتقال<sup>۱۰</sup>، طراحی - ساخت - بهره برداری<sup>۱۱</sup>، طراحی - ساخت - تامین مالی - بهره برداری<sup>۱۲</sup> و ساخت - مالکیت - بهره برداری<sup>۱۳</sup> شده است. پر کاربرد ترین روش مابین روش های فوق الذکر روش ساخت - بهره برداری - انتقال یا BOT میباشد.

## نقدی بر روش های ارزشیابی مبتنی بر تنزیل جریان نقدی (DCF)

روش سنتی و مرسوم ارزشیابی سرمایه گذاری در طرح، مبتنی بر تنزیل جریان نقدی و وجه نقد می باشد. در این روش ضمن شناسایی و اندازه گیری جریان نقد در مقاطع مختلف زمانی آینده و سپس تنزیل و تجمیع آن به یک مقدار مشخصی به نام ارزش، شاخصی را برای تصمیم گیری در اختیار می گذارد. اگر هدف مدیریت شرکت از اجرای هر پروژه ایجاد ارزش برای سرمایه گذاران باشد، باید عواید حاصل از پروژه از هزینه های آن بیشتر باشد. ارزش فعلی خالص<sup>۱۴</sup> هر پروژه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left( \frac{CF_t}{(1+K)^t} \right) \quad (1)$$

که در آن  $CF_t$  جریان نقدی خالص پیش بینی شده در دوره  $t$ ،  $K$  نرخ بهره و  $\frac{1}{(1+K)^t}$  ضریب تنزیل هستند. در محاسبات اگر  $NPV \geq 0$  گردد، پروژه اقتصادی و اگر  $NPV < 0$  گردد پروژه غیر اقتصادی می باشد. همانطور که مشخص است، استفاده از رابطه ۱ زمانی برآورد صحیحی از ارزش اقتصادی پروژه به دست میدهد که بتوان تصویری مشخص از متغیرهای آن در آینده در ذهن ایجاد کرد، به عبارت دیگر کاربرد این رابطه در ارزشیابی اقتصادی پروژه هنگامی میتواند مثمر ثمر باشد که اولاً اطمینان داشته باشیم که متغیرهای ارزش یابی، در طول زمان تغییری به غیر از آنچه اکنون پیش بینی کرده ایم نخواهند داشت و ثانیاً عامل یا عوامل دیگری بر ارزش نهایی پروژه تاثیر گذار نخواهند بود. در روشهای متداول

<sup>8</sup> Private finance initiatives

<sup>9</sup> Large scale infrastructure projects

<sup>10</sup> Build-operate-transfer

<sup>11</sup> Design- Build-operate

<sup>12</sup> Design-Build-Finance-Operate

<sup>13</sup> Build-Ownership-Operate

<sup>14</sup> Net present value

ارزیابی فرض بر اینست که همه ریسک‌ها بوسیله نرخ تنزیل<sup>۱۵</sup> محاسبه می‌شوند درحالی که ریسک‌های مربوط به پروژه در طول عمر پروژه تغییر میکنند، همچنین در این روشها در بدو شروع، همه پروژه‌ها بدون تغییر مدیریت می‌شوند، در حالی که پروژه‌ها معمولاً از طریق چرخه دوره عمر پروژه<sup>۱۶</sup>، اختیارات مربوط به تصمیم‌گیری، محدودیت‌های بودجه‌ای و مواردی اینچنینی به شکل فعال مدیریت می‌شوند[۷]. به عنوان مثال در پروژه ساخت یک تصفیه‌خانه فاضلاب که بر اساس قرارداد مشارکت منعقد شده آن ما بین دولت میزبان و بخش خصوصی، این بخش نسبت به ایجاد زیر ساخت تصفیه فاضلاب تولید شده اقدام خواهد کرد و سپس در دوره بهره برداری نسبت به دریافت هزینه تصفیه فاضلاب به علاوه سود مورد نظر بر اساس تعرفه مشخص و در ازای هر متر مکعب بر ثانیه دبی اقدام خواهد نمود. استفاده از روش‌های مرسوم ارزشیابی اقتصادی مبتنی بر تنزیل جریان نقدی در این پروژه علی‌رغم سادگی کاربرد با دو چالش اساسی مواجه خواهد شد ۱. لحاظ ننمودن عدم قطعیت حول دبی فاضلاب تولید شده توسط بخش خانگی که در نتیجه باعث عدم قطعیت حول جریان نقدی ورودی بخش خصوصی می‌شود؛ زیرا به دلیل طولانی مدت بودن دوره بهره برداری پروژه‌های مشارکت عمومی - خصوصی امکان تخمین دقیق میزان فاضلاب تولید شده در بخش خانگی که آنهم به نوبه خود وابسته به عواملی چون نرخ رشد جمعیت در آینده، میزان نزولات جوی و تغییر الگوی مصرف آب است وجود ندارد ۲. انتخاب نرخ تنزیل معقول<sup>۱۷</sup>؛ در روش‌های مبتنی بر DCF هیچ روش استاندارد سیستماتیکی که نحوه تعدیل نرخ تنزیل را جهت منعکس نمودن ریسک تخمین دست‌پایین مقدار فاضلاب تولیدی بخش خانگی شرح دهد وجود ندارد. لذا به جهت چیره شدن بر محدودیت‌های روش‌های مرسوم ارزیابی اقتصادی، مهندسی مالی رویکرد جدیدی را به نام روش اختیارات واقعی معرفی نموده‌اند.

## روش اختیار واقعی

اصطلاح اختیار واقعی برای اولین بار توسط مایرز<sup>۱۸</sup> (۱۹۷۷) مطرح گردید. و به روش‌های قیمت‌گذاری اختیارات همچون فرمول بلک و شولز (۱۹۷۷) و مرتون (۱۹۷۷) اشاره دارد که برای ارزشیابی فرصت‌های سرمایه‌گذاری غیرمالی یا "واقعی" کاربرد دارند. روش اختیارات واقعی اسلوب‌شناسی<sup>۱۹</sup> نوینی در مهندسی مالی است که یک چهارچوب یکپارچه برای سنجیدن فرصت‌های سرمایه‌گذاری تحت عدم قطعیت‌های پویای بازار فراهم می‌نماید. اختیار عبارتست از حق (نه تعهد) خرید (فروش) یک دارایی به قیمت مشخص در یا تا تاریخ مشخص. در قراردادهای اختیار مالی، دارایی پایه معمولاً سهام است در صورتی که یک اختیار واقعی حق مربوط به اتخاذ تصمیم‌های سرمایه‌گذاری در خصوص دارایی‌های واقعی میباشد، البته این اختیار ایجاد تعهد نمی‌نماید و شامل حق به تعویق انداختن<sup>۲۰</sup>، حق ساختن<sup>۲۱</sup>، حق واگذاری<sup>۲۲</sup> و حق تغییر وضعیت<sup>۲۳</sup> و مواردی از این دست می‌باشد [۸]. عموماً دو نوع از اختیارات در بازار معامله میشود ۱. اختیار خرید<sup>۲۴</sup> که صاحب اختیار حق (و نه تعهد) برای خرید یک سهام با قیمت از پیش تعیین شده و در طی یک زمان از پیش مشخص شده را دارد. ۲. اختیار فروش<sup>۲۵</sup> که دقیقاً معکوس اختیار خرید بوده و حالتی است که دارنده اختیار حق فروش یک سهام را در برابر یک قیمت از پیش تعیین شده و در یک زمان از پیش مشخص شده را دارد [۲]. نوع

<sup>15</sup> Discount rate

<sup>16</sup> Project life cycle

<sup>17</sup> Rationale discount rate

<sup>18</sup> Mayers

<sup>19</sup> Methodology

<sup>20</sup> Right to defer

<sup>21</sup> Right to build

<sup>22</sup> Right to abandon

<sup>23</sup> Right to switch

<sup>24</sup> Call option

<sup>25</sup> Put option

دیگری از تقسیم بندی اختیارات مالی، تقسیم بندی بر اساس زمان سررسید میباشد و بر این اساس اختیارات را به دو نوع عمده اختیارات اروپایی<sup>۲۶</sup> که تنها در زمان سر رسید قابل اعمال کردن هستند و اختیارات آمریکایی<sup>۲۷</sup> که به دارنده اختیار این حق را میدهد تا در هر زمان قبل از زمان سررسید اختیار خود را اعمال نماید، تقسیم بندی مینمایند. انواع دیگر تقسیم بندی بر اساس زمان سررسید عبارتند از: اختیارات آسیایی<sup>۲۸</sup> و اختیارات استرالیایی<sup>۲۹</sup>.

تحلیل اختیارات مالی در واقع نوعی دیدگاه را در ذهن مدیران و ارزیابان مالی پروژه ها به وجود آورد که با استفاده از آن و معادل سازی اختیارات واقعی با اختیارات مالی<sup>۳۰</sup> می توان ارزش اضافی که اختیارات واقعی برای پروژه به وجود می آورد را ارزشیابی کرد [۹].

## مدل های قیمت گذاری اختیارات واقعی

سه تکنیک (مدل) اصلی برای ارزش گذاری اختیارات وجود دارد:

۱. مدل قیمت گذاری بلک شولز

۲. مدل قیمت گذاری درخت دو جمله ای و سه جمله ای<sup>۳۱</sup>

۳. شبیه سازی مونت کارلو<sup>۳۲</sup>

## مدل قیمت گذاری بلک شولز

این مدل قیمت گذاری که در سال ۱۹۷۳ بوسیله فیشر بلک و مایرون شولز معرفی گردید به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و کاربرد آسانی دارد، به طوری که تنها نیاز است که شش متغیر مربوطه در مدل وارد شوند. متغیر های مدل عبارتند از:

۱. ارزش اولیه دارایی مورد نظر

۲. زمان باقی مانده تا سر رسید<sup>۳۳</sup>

۳. قیمت اعمال<sup>۳۴</sup>

۴. تفاوت میان نرخ سرمایه گذاری و درصد تغییر مورد انتظار در ارزش دارایی مورد نظر

۵. نرخ بازگشت سرمایه پیوسته مرکب ریسک - خنثی<sup>۳۵</sup>

---

<sup>26</sup> European option

<sup>27</sup> American option

<sup>28</sup> Asian option

<sup>29</sup> Australian option

<sup>30</sup> Financial options

<sup>31</sup> Trinominal tree method

<sup>32</sup> Monte carlo simulation

<sup>33</sup> Time to Maturity

<sup>34</sup> Exercise price

۶. فراریت<sup>۳۶</sup> دارایی مورد نظر

همچنین علی رغم سادگی این مدل استفاده از کاربرد آن با محدودیت های زیر همراه است:

۱. تنها در اختیارات نوع اروپایی دارای کاربرد است.

۲. اکثر متغیر های مدل تحت تابع توزیع نرمال<sup>۳۷</sup> رفتار نمی کنند.

برخی محققان به دلیل اینکه مهمترین متغیر هایی که بیشترین تاثیر را از محدودیت های این مدل می پذیرند قیمت، فراریت و مدت زمان انجام پروژه میباشد و همچنین به علت عدم شفافیت<sup>۳۸</sup> موجود در نتایج حاصل از این مدل، استفاده از مدل قیمت گذاری بلک شولز را در پروژه های زیر ساختی بزرگ مقیاس یا با مدت زمان طولانی مناسب نمیدانند.

فرمول بلک شولز برای اختیار خرید:

$$C = SN(d_1) - Ke^{-r_f T} N(d_2) \quad (2)$$

فرمول بلک شولز برای اختیار فروش:

$$P = Ke^{-r_f T} N(d_2) - SN(d_1) \quad (3)$$

همچنین از فرمول های زیر جهت محاسبه  $d_1$  و  $d_2$  استفاده میشود:

$$d_1 = \frac{[\ln \frac{S}{K} + (r_f + .5\sigma^2)T]}{\sigma\sqrt{T}} \quad (4)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (5)$$

## مدل درخت دوجمله ای

مدل درخت دو جمله ای اولین بار توسط کاکس، راس و رایبنشتن<sup>۳۹</sup> در ۱۹۷۹ پیشنهاد گردید. در درخت دو جمله ای هر نقطه تصمیم گیری که در برگرفته یک وضعیت است با یک گره نمایش داده میشود. و مسیرهایی که این گره ها را به هم متصل می نمایند نشان دهنده حالات امکان پذیری است که است که وضعیت می تواند به وقوع بپیوندد [۱۰]. با توجه به اینکه مدل دو جمله ای مبتنی بر دو حالت کلی است، فرض می شود

<sup>35</sup> Continuous compound risk-free rate of return

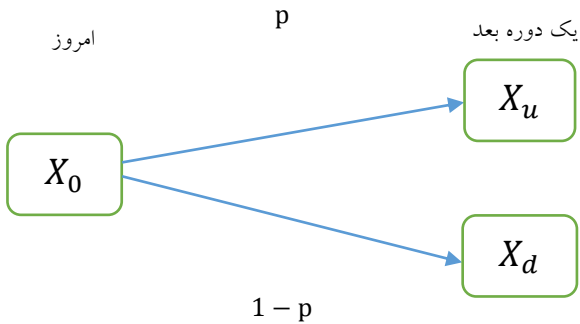
<sup>36</sup> volatility

<sup>37</sup> Normal distribution function

<sup>38</sup> transparency

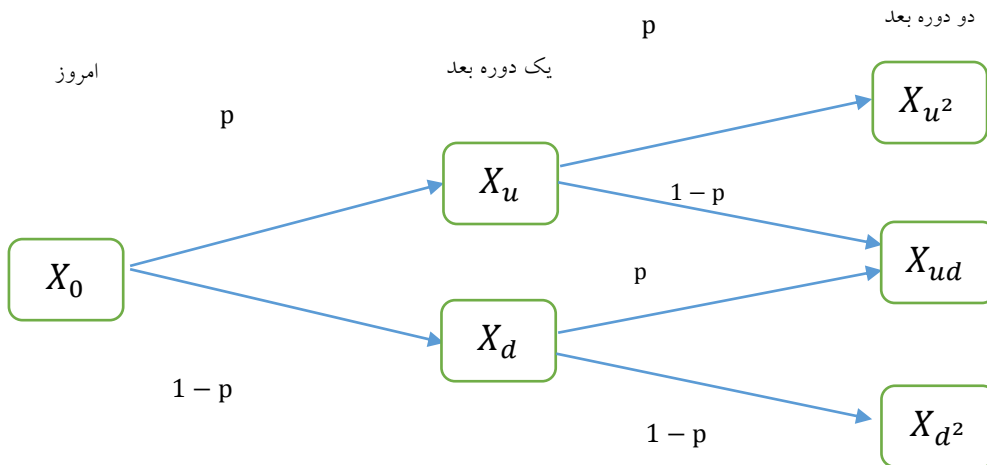
<sup>39</sup> Cox, j.,ross, s.,rubinstein, m.

که وضعیت اقتصادی میتواند بهتر و یا بدتر شود. بر این اساس احتمال بهتر شدن وضعیت یا به عبارتی افزایش ارزش مورد نظر را برای یک دوره آتی  $p$  و احتمال بدتر شدن آن یا کاهش ارزش مورد نظر را  $1 - p$  در نظر میگیریم [۸].



نمودار ۱: مدل درخت دو جمله ای وضعیت اقتصادی جهت یک دوره بعد

به بیان دیگر اگر دارایی دارای ارزش اولیه  $X_0$  باشد، در دوره زمانی بعدی در صورت حرکت رو به بالا با احتمال  $p$  (بهتر شدن وضعیت) در  $U > 1$  ضرب گشته و دارای مقدار  $X_u$  خواهد بود. و بالعکس در صورت حرکت رو به پایین (بدتر شدن وضعیت) در  $d < 1$  ضرب گشته و دارای مقدار  $X_d$  خواهد بود. نکته حائز اهمیت اینست که در هر دوره دارایی مورد نظر میتواند تنها یکی از دو حالت امکان پذیر را اختیار نماید. به همین ترتیب در دودوره بعد ارزش دارایی مورد نظر میتواند یکی از مقادیر  $X_{u^2}, X_{ud}, X_{d^2}$  را داشته باشد. به دلیل جلوگیری از پیچیده شدن مدل و احتراز از محاسبات اضافی، فرض بر اینست که  $X_{ud} = X_{du}$ ، هرچند که ممکن است در عالم واقعیت اینگونه نباشد.



نمودار ۲: مدل درخت دو جمله ای وضعیت اقتصادی جهت دو دوره بعد

<sup>40</sup> Initial value



$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}(6)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}(7)$$

$$P = \frac{e^{r_f \Delta t} - d}{u - d} (8)$$

$$C_{ij} = \text{MAX}[(A_{i+1j}P + A_{i+1j+1}(1-P)e^{-rt}; B_{ij}] \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, m_i(9)$$

## روش شناسی پژوهش

در این مقاله پس از بررسی اهمیت پروژه های زیر ساختی و معرفی روش تامین مالی مشارکت عمومی - خصوصی به تبیین محدودیت های روش های متعارف ارزشیابی مالی و اقتصادی پرداخته شده است. سپس ضمن معرفی تئوری اختیارات واقعی و بررسی انواع مدل های ارزشیابی آن، یک پروژه ساخت تصفیه خانه فاضلاب فرضی بوسیله روش اختیار مورد ارزشیابی قرار گرفته است.

## ارزشیابی مالی و اقتصادی پروژه فرضی احداث یک تصفیه خانه فاضلاب فرضی با حجم ۹۵۰۰۰ متر مکعبی در شبانه روز بر اساس مدل درخت دو جمله ای

در این قسمت ارزش مالی و اقتصادی یک پروژه فرضی تصفیه خانه فاضلاب با حجم ۹۵۰۰۰ متر مکعب در شبانه روز که قرارداد واگذاری امتیاز ساخت - بهره برداری - انتقال آن ما بین دولت میزبان و دارنده امتیاز<sup>۴۱</sup> (شرکت پیمانکار) منعقد شده است، و بر اساس آن به دلیل عدم قطعیتی که در بخش هایی از عملیات اجرایی و همچنین دبی تولیدی فاضلاب بخش خانگی ناشی از فقدان آمار رسمی وجود دارد، پیمانکار این اختیار را دارد که قبل از سررسید معین (آغاز عملیات اجرایی ساخت) با دریافت مبلغی معین نسبت به واگذاری پروژه اقدام نماید.

اطلاعات ورودی لازم جهت انجام محاسبات مربوطه، ارزش فعلی جریان وجوه آتی حاصل از سرمایه گذاری ۷۵۰۰۰۰۰۰۰ ریال، زمان تا سررسید (آغاز عملیات اجرایی ساخت) ۴ سال، دوره بهره برداری ۲۰ سال، نرخ بهره بدون ریسک ۱۰٪، انحراف معیار نوسان بازده لگاریتمی جریان وجوه آتی با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو ۳۵. و تعداد گامهای زمانی (n) ۵ میباشد. همچنین دارنده اختیار میتواند امتیاز خود را با دریافت مبلغ ۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال جهت سال پایه که سالانه ۲۰٪ افزایش می یابد واگذار نماید.

با استفاده از روابط ۷ و ۸  $u = ۱.۱۹۰۱$  و  $d = ۰.۷۰۴۷$  و با استفاده از رابطه ۸ احتمال افزایش ارزش (p) ۰.۵۶۰ برآورد شده است.

<sup>41</sup> Concessionaire

مرحله اول: محاسبه تغییرات ارزش سرمایه گذاری برای ۴ سال آتی

سال ۰	سال ۱	سال ۲	سال ۳	سال ۴
				۳۰۴۰۸۲۰۹۲۵۵۴
			۲۱۴۲۹۳۲۲۹۴۲۵	
		۱۵۱۰۱۷۰۷۵۰۰۰		۱۵۱۰۱۲۴۳۸۷۷۶
	۱۰۶۴۲۵۰۰۰۰۰۰		۱۰۶۴۲۱۷۳۲۷۵۳	
۷۵۰۰۰۰۰۰۰۰		۷۴۹۹۷۶۹۷۵۰۰		۷۴۹۹۵۳۹۵۰۷۱
	۵۲۸۵۲۵۰۰۰۰۰		۵۲۸۵۰۸۷۷۴۲۸	
		۳۷۲۴۵۱۵۶۷۵۰		۳۷۲۴۴۰۱۳۳۲۴
			۲۶۲۴۶۶۶۱۹۶۲	
				۱۸۴۹۶۰۲۲۶۸۴

نمودار ۳: تغییر ارزش پروژه برای ۴ سال آتی (ارقام به ریال)

همانطور که از نمودار ۳ مشخص است، ارزش فعلی جریانهای آتی پروژه ذکر شده میتواند حداکثر ۳۰۴۰۸۲۰۹۲۵۵۴ و یا حداقل ۱۸۴۹۶۰۲۲۶۸۴ ریال گردد. در مرحله بعدی لازم است تا عایدی شرکت مزبور در صورت اعمال اختیار واگذاری محاسبه گردد. این عایدی همان ۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال جهت سال پایه است که ارزش آن سالانه ۲۰٪ افزایش می یابد.

مرحله دوم: محاسبه عایدی در نتیجه اعمال اختیار واگذاری

سال ۰	سال ۱	سال ۲	سال ۳	سال ۴
				۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰
			۳۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰	
		۲۸۸۰۰۰۰۰۰۰۰		۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰
	۲۴۰۰۰۰۰۰۰۰		۳۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰	
۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰		۲۸۸۰۰۰۰۰۰۰۰		۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰
	۲۴۰۰۰۰۰۰۰۰		۳۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰	
		۲۸۸۰۰۰۰۰۰۰۰		۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰
			۳۴۵۶۰۰۰۰۰۰۰	
				۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰

نمودار ۴: عایدی شرکت در نتیجه اعمال اختیار واگذار (ارقام به ریال)

از نمودار ۴ مشخص است که عایدی شرکت در صورت اعمال اختیار واگذاری در سال پایه (لایه ۰) ۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰ و در انتهای سال چهارم ۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد. حال در مرحله بعدی با استفاده از الگوریتم پسرو، ارزش هر گره محاسبه می‌گردد.

مرحله سوم: محاسبه ارزش هر گره با روش پسرو

سال ۰	سال ۱	سال ۲	سال ۳	سال ۴
				۳۰۴۰۸۲۰۹۲۵۵۴
			۲۱۴۲۰۳۴۶۸۰۱۲	ادامه فعالیت
		۱۵۰۸۹۰۵۸۷۸۷۷	انتظار تا دوره بعدی	۱۵۱۰۱۲۴۳۸۷۷۶
	۱۰۶۲۹۱۳۲۰۶۸۳	انتظار تا دوره بعدی	۱۰۶۳۷۷۱۵۵۶۷۹	ادامه فعالیت
۷۵۴۵۱۶۷۱۲۸۸	انتظار تا دوره بعدی	۷۴۹۳۴۸۸۱۸۰۲	انتظار تا دوره بعدی	۷۴۹۹۵۳۹۵۰۷۱
	۵۴۲۳۶۰۳۱۲۹۸	انتظار تا دوره بعدی	۵۲۸۲۸۷۳۹۶۸۱	ادامه فعالیت
		۴۰۸۵۵۷۹۷۸۹۰	انتظار تا دوره بعدی	۳۷۲۴۴۰۱۳۳۲۴
			۳۵۳۸۳۰۵۸۴۷۱	واگذاری
				۴۱۴۷۲۰۰۰۰۰۰

نمودار ۵: عایدی شرکت در نتیجه اعمال اختیار واگذاری (ارقام به ریال)

در این مرحله با استفاده از الگوریتم رابطه ۹ ابتدا برای گره های لایه (سال) آخر ماکزیمم مقدار گره در نمودار ۴ و آنچه در گره های متناظر در نمودار ۳ را محاسبه و در گره های متناظر در نمودار ۵ قرارداد می شود. سپس برای گره های مربوط به لایه های قبلی نیز ابتدا ارزش میانگین دو گره مرتبط را محاسبه و با نرخ بهره بدون ریسک<sup>۴۲</sup> به ترتیبی که در نمودار ۵ نشان داده شده است تنزیل و آن را با مقدار گره متناظر در نمودار ۴ مقایسه و ماکزیمم آنها را در گره متناظر در نمودار ۵ قرار می دهیم. پس از تعیین تمام مقادیر برای یک لایه (سال)، این روال را برای لایه (سال) ماقبل

<sup>42</sup> Risk-free rate of interest

نیز تکرار میکنیم [۱۱]. همانطور که از نمودار ۵ نمایان است سرمایه گذار در گره (۴و۴) که با رنگ قرمز نشان داده شده است از اختیار واگذاری استفاده می نماید. ارزش فعلی تمام حالات ممکن با احتساب اختیار واگذاری مبلغ ۷۵۴۵۱۶۷۱۲۸۸ ریال می باشد، مابه التفاوت این رقم با مبلغ ارزش فعلی جریان وجوه آتی حاصل از سرمایه گذاری نمودار ۳ همان ارزش اختیار واگذاری است که بالغ بر ۴۵۱۶۷۱۲۸۸ ریال میگردد.

### نتیجه گیری

دولت های زیادی به دلایل مشکلات بودجه ای و ناتوانی فنی روی به روش تامین مالی مشارکت عمومی - خصوصی در اجرای پروژه های زیر ساختی آورده اند. به دلیل ابعاد ملی و گاهاً بین المللی و حجم بالای سرمایه گذاری مورد نیاز در اجرای پروژه های زیر ساختی همچون پروژه های تصفیه خانه فاضلاب ارزشیابی مالی و اقتصادی این گونه پروژه ها از اهمیت فوق العاده ای برخوردار می باشد. به دلیل اینکه انعطاف پذیری های مدیریتی<sup>۴۳</sup> و عدم قطعیت<sup>۴۴</sup> های بالای پروژه های مشارکت عمومی - خصوصی همچون پروژه های تصفیه خانه فاضلاب مانند نرخ تورم، تعرفه تصفیه، میزان نزولات جوی، الگوی مصرف آب و ..... در روش های مرسوم ارزشیابی مبتنی بر تنزیل جریانات وجوه نقد (DCF) به حساب گرفته نمی شوند، این روشهای ارزشیابی ارزش پروژه ها را کمتر از ارزش واقعی آنها تخمین میزنند. لذا در این پژوهش یک پروژه فرضی مربوط به احداث تصفیه خانه فاضلاب بر اساس مدل درخت دوجمله ای مورد ارزشیابی قرار گرفت. نتیجه حاصل نشان میدهد که ارزش فعلی خالص بدست آمده از تحلیل اختیار واقعی در مقایسه با روش های مرسوم بیشتر بوده و به واقعیت نزدیک تر میباشد. همچنین تفاوت ارزشیابی حاصل از دو روش همان ارزش اختیار<sup>۴۵</sup> و در نظر گرفتن انعطاف پذیری های مدیریتی می باشد. به دلایل فوق الذکر پیشنهاد میگردد در ارزشیابی پروژه های زیر ساختی با مشارکت عمومی - خصوصی که در شرایط عدم قطعیت های بالا قرار انجام میگیرند از تحلیل اختیارات واقعی بهره گرفته شود.

---

<sup>43</sup> Managerial flexibilities

<sup>44</sup> Uncertainties

<sup>45</sup> Option value

- [۱] روانشادنیامهدی(۱۳۹۳). *اصول، مقررات و روشهای مدیریت پیمان طرح های عمرانی*، چاپ دوم. انتشارات سیمای دانش ۹۲
- [2] J. Martins, R. C. Marques, and C. O. Cruz, "Real Options in Infrastructure: Revisiting the Literature," *J. Infrastruct. Syst.*, no. December 2015, p. 04014026, 2013.
- [3] A. Almassi, B. McCabe, M. Thompson, and X. Yu, "Real Options – Based Approach for Valuation of Government Guarantees in Public – Private Partnerships," *J. Infrastruct. Syst.*, pp. 196–204, 2013.
- [4] M. Sullivan and sm Sheffrin, *economics: principle in action*. pearson prentice hall, 2003.
- [5] J. Fumler, "what in the world is infrastructure?," *pei Infrastruct. Invest.*, 2009.
- [6] J. Liu and C. Y. J. Cheah, "Real option application in PPP/PFI project negotiation," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 27, no. 4, pp. 331–342, 2009.
- [7] J. Mun, *Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions*. 2002.
- [8] B. Ashuri, H. Kashani, K. R. Molenaar, S. Lee, and J. Lu, "Risk-Neutral Pricing Approach for Evaluating BOT Highway Projects with Government Minimum Revenue Guarantee Options," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 138, no. 4, pp. 545–557, 2012.
- [۹] فرجی، سپیده و مهدی روانشادنیامهدی، ۱۳۹۴، ارائه مدلی مبتنی بر روش درخت دو جمله ای برای ارزشیابی مالی و اقتصادی پروژه های مشارکتی BOT آزادراهی کشور با رویکرد تئوری اختیارات حقیقی، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل ترافیک،  
[http://www.civilica.com/Paper-TTC14-TTC14\\_003.html](http://www.civilica.com/Paper-TTC14-TTC14_003.html)
- [10] M. Schulmerich, *Real options valuation: The importance of interest rate modelling in theory and practice*. 2010
- [۱۱] ذکاوت، سیدمرتضی، ۱۳۸۸، کاربرد تحلیل اختیار واقعی در بررسی طرحهای سرمایه گذاری، دومین کنفرانس بین المللی توسعه نظام تامین مالی در ایران، تهران، مرکز مطالعات تکنولوژی دانشگاه صنعتی شریف،  
[http://www.civilica.com/Paper-IRFINANCE02-IRFINANCE02\\_019.html](http://www.civilica.com/Paper-IRFINANCE02-IRFINANCE02_019.html)