

ارزیابی روابط دولت و پیمانکاران در زمینه منابع مالی پروژه‌های معدنی با استفاده از روش چانه‌زنی نش

امیر فضلی اله آبادی

کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران amirfazli@aut.ac.ir

مجید عطایی پورا^۱

دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران map60@aut.ac.ir

چکیده

صنعت معدن به دلیل تامین مواد اولیه، نقش مهمی در اقتصاد جهانی ایفا می‌کند. با این حال، روابط دولت و پیمانکاران در این صنعت می‌تواند پیچیده باشد، به ویژه در شرایطی که منابع مالی محدودی وجود دارد. اهداف مقاله شامل مدل‌سازی روابط دولت و پیمانکاران با استفاده از نظریه بازی‌ها و ارزیابی استفاده از چانه‌زنی نش به عنوان روشی برای حل تعارض‌ها و دستیابی به نتایج بهینه می‌باشد. با تجزیه و تحلیل سیاست‌های استخراجی پیمانکاران معدنی از منظر دولت به عنوان ناظر بازی، این نتیجه حاصل می‌شود که بخش دولتی بدلیل حجم بالا سرمایه‌گذاری، سهم بیشتری دارد که این موضوع باعث می‌شود، قدرت چانه‌زنی این بخش بیشتر باشد. در انتها، با محاسبه دستاوردهای هر یک از بازیکنان، مشخص می‌شود که سهم دولت در سیاست تولید پایدار و تولید حداکثری به ترتیب ۸۳۸۸۶۶ و ۸۳۸۲۶۴ میلیارد ریال است. در سوی دیگر، سهم پیمانکاران معدن به ترتیب ۶۵۶۴۲ و ۶۴۱۲۶ میلیارد ریال می‌رسد.

کلمات کلیدی: همکاری دولت و پیمانکار، نظریه بازی‌ها، چانه‌زنی نش، بازی اطلاعات کامل، بازی مشارکتی.

^۱ نویسنده مسئول

Evaluation of the relationship between the government and contractors in the field of financial resources of mining projects using the Nash bargaining method

A. Fazli Allah Abadi, amirfazli@aut.ac.ir

M.Sc. degree, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

M. Ataee-pour, (corresponding author), map60@aut.ac.ir

Associate Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

The complex relationship between governments and contractors in the mining industry requires intelligent management, especially in cases of financial constraints. Effective decision making by both parties is very important to achieve optimal results and maintain the economic share of the industry. Engagement and strategic management of government-contractor relationships is essential to address challenges and ensure mutually beneficial outcomes. The use of tools such as game theory and Nash bargaining provides suitable methods for conflict resolution and efficiency optimization. By understanding the dynamics of this relationship, stakeholders can work towards promoting sustainable and successful mining practices. This paper pursues two main goals: First, it aims to develop a comprehensive model of government-contractor dynamics using game theory principles, by exploring strategic interactions to elucidate the underlying drivers of decision making in the mining sector. Second, it seeks to evaluate Nash bargaining as a mechanism for resolving conflicts and achieving optimal outcomes. This evaluation entails a careful examination of how Nash bargaining principles can be applied in the context of government-contractor relations and provides insights into its potential effectiveness. An analysis of mining contractors' extraction strategies from a government perspective reveals significant government influence attributed to its significant capital investments. This dominance gives government institutions more bargaining power and shapes the dynamics of policy formulation and implementation. By quantifying the respective benefits for each of the participants, it becomes clear that government policies related to sustainable and maximal production have a significant contribution, which emphasizes the central role of government intervention. On the contrary, mining contractors follow these policies with a relatively smaller share, which indicates an inherent power imbalance in this relationship. This dominance translates into enhanced bargaining power for government entities. Ultimately, upon calculating the respective payoffs for each participant, it becomes evident that the government's stake in policies related to sustainable and maximum production amounts to 838,866 billion rials and 838,264 billion rials, respectively. In contrast, mining contractors' shares in these policies stand at 65,642 billion rials and 64,126 billion rials, respectively.

Keywords: Government and contractor cooperation, Game theory, Nash bargaining, Complete information game, Cooperative game.

۱. مقدمه

معدن برای بسیاری از کشورها بخش مهمی از اقتصاد بوده و مدیریت منابع مالی آن اغلب پیچیده و چالش برانگیز است. مشارکت دولت و بخش خصوصی به ارتباط و هماهنگی میان دولت به عنوان نهاد نظارتی و مالک منابع با پیمانکاران، که به عنوان همکاران در پروژه‌های معدنی شناخته می‌شوند، اشاره دارد. این همکاری معمولاً در زمینه سرمایه‌گذاری‌های صورت پذیرفته در معدن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مشارکت شامل موضوعاتی مانند تخصیص سهم استخراج، تقسیم سود و هزینه‌ها، الگوی کارا در استفاده از منابع طبیعی و غیره می‌باشد^[۱]. با توجه به اهمیت معدن‌کاری و تأثیرات گسترده‌ای که این صنعت بر اقتصاد و توسعه‌ی پایدار دارد، ضرورت بررسی و بهبود روابط دولت و پیمانکاران در این زمینه احساس می‌شود. مدیریت موثر منابع مالی معدن به عنوان یک چالش بزرگ در این صنعت شناخته شده و از این رو، توسعه مدل‌هایی که تعاملات بین دولت و پیمانکاران را بهبود بخشد، اهمیت زیادی پیدا می‌کند^[۲]. در این سیاق، نظریه بازی‌ها و روش چانه‌زنی نش^۱ به عنوان ابزارهای تحلیلی موثر در مدل‌سازی این روابط مطرح شده‌اند. این تحقیق به ارائه راهبردها و سیاست‌های خاص بخش دولتی و خصوصی در زمینه سرمایه‌گذاری و تعیین سهم هر یک از بازیکنان در پروژه‌های معدنی می‌پردازد و تأکید دارد که بهره‌گیری از این روش‌های تحلیلی می‌تواند منجر به بهبود بهره‌وری و بهینه‌سازی روابط بین دولت و پیمانکاران در این صنعت گردد. در ادامه با ارائه فرض‌ها و توابع دستاورد، روابط دولت و پیمانکاران در صنعت معدن مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به مرور مدل‌سازی این روابط و پتانسیل استفاده از چانه‌زنی نش در صورت همکاری بازیکنان و ایجاد یک ائتلاف به عنوان راه‌حلی برای مسائل پرداخته می‌شود. سوالات پژوهشی این مطالعه به چگونگی ایجاد توابع دستاورد بین دولت و پیمانکاران در صنعت معدن و پتانسیل‌های بکارگیری چانه‌زنی نش به عنوان روشی برای حل تعارضات در وهله اول می‌پردازد. سپس می‌توان بررسی کرد که کدام یک از سیاست‌های استخراجی برای پیمانکاران اثربخش‌تر است و انتخاب چه راهبرد^۲ نظارتی می‌تواند ائتلاف بین دولت و پیمانکاران را در یک وضعیت تعادلی قرار دهد.

۲. پیشینه مطالعات

تعاملات بین دولت و پیمانکاران در زمینه منابع مالی پروژه‌های معدنی یک زمینه بسیار حیاتی از مدیریت پروژه است که به شکل قابل توجهی بر موفقیت و کارایی زیرپروژه‌های معدنی تأثیر می‌گذارد. تحقیقات پیشین در حوزه مشارکت‌های عمومی-خصوصی به جوانب مختلف در زمینه تخصیص سهم شراکت^[۳-۴]، راهبردهای بهینه‌سازی سود طرفین^[۵-۶]، بررسی تقاضای بازار^[۷-۹]، پیامدهای اقتصادی^[۱۰-۱۱] و راهبرد مدیریت ریسک^[۹] این همکاری‌ها پرداخته‌اند. بطور کلی فرض نظارت دولتی بر پیمانکاران را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود^[۱۲]. در دسته بندی اول، دولت به عنوان یک نهاد نظارت بر پروژه‌های معدنی را انتخاب می‌کند. این نوع نظارت ممکن است شامل تعیین استانداردها و تنظیم قوانین و مقررات مربوط به اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی باشد. دولت در این حالت ممکن است نقشی در تخصیص منابع مالی ایفا کند و مشارکت فعالی در فرآیندهای تصمیم‌گیری داشته باشد^[۱۳-۱۴]. در دسته بندی دوم، دولت نقش محدودتری در نظارت بر پروژه‌ها دارد. این انتخاب ممکن است اجازه دهد تا بخش خصوصی و پیمانکاران به طور مستقل فعالیت کنند و تصمیم‌های اجرایی را به خود اختصاص دهند. در این حالت، دولت اغلب نقش نظارتی محدود دارد و ممکن است فقط درخواست‌های مربوط به تأمین منابع مالی را از طریق فرآیندهای قراردادی و مذاکرات انجام دهد. رویکرد چانه‌زنی نش به عنوان یک ابزار تحلیلی کارآمد در این زمینه می‌تواند تمامی جنبه‌های مورد بحث را بررسی و سپس مورد تحلیل قرار دهد. جدول ۱ به بررسی پیشینه تحقیقات صورت پذیرفته در مسائل مرتبط با مشارکت‌های عمومی-خصوصی با استفاده از مدل‌های چانه‌زنی می‌پردازد. یکی از نکات قابل بحث این است که تحقیقات موجود در سایر صنایع صورت پذیرفته و جایگاه صنعت معدن در این کاربرد بصورت محدود و انگشت‌شمار می‌باشد. این تحقیق به عنوان یک مطالعه جدید در مبحث مشارکت‌های عمومی-خصوصی در صنعت معدن می‌باشد و سعی دارد با ارائه رویکرد چانه‌زنی نش، به جوانب تازه و کمتر مورد توجه این حوزه پرداخته و نقدهای جدیدی به مسائل مدیریت پروژه‌های معدنی ارائه دهد.

جدول (۱): پیشینه تحقیقات

نویسندگان	سال انتشار	معیارها	بازیکنان	روش تحلیل	هدف تحقیق
عبدالرحمن و بین الایشا ^۲	۲۰۲۳	تابع دستاورد پویا استفاده از پارامترهای نظارتی استفاده از عوامل اقتصادی بررسی تقاضای بازار	دولت و پیمانکاران	نظریه بازی (مذاکره نش)	بررسی تأثیر عوامل اقتصادی و رویه‌های نظارت دولتی بر مدیریت ریسک در صنعت ساختمان [۷]
بوسو و گرکو ^۴	۲۰۲۳	بیشینه‌سازی سود اقتصادی پارامترهای تشویقی-نظارتی تحلیل هزینه و سود بصورت یکپارچه	دولت و پیمانکاران	نظریه بازی	تفاوت کارآمدی اجتماعی بین قراردادهای شراکت عمومی-خصوصی و مناقصه‌های سنتی در زمینه زیرساخت‌های عمومی [۵]
بالحسن و همکاران	۲۰۲۲	تخصیص سهم مشارکت ایجاد مدل متناسب با نوسانات قیمت نفت استفاده از NPV و IRR در توابع دستاورد	شرکت ملی نفت و شرکت بین‌المللی	نظریه بازی (روش ماکسی مین و توافق نش)	استفاده از نظریه بازی به منظور افزایش همکاری و کاهش تعارض در شرایط نوسانات قیمت نفت برای بهبود توافق بین شرکای زنجیره تأمین [۳]
چنگ و همکاران	۲۰۲۲	بیشینه‌سازی سود اقتصادی بیشینه‌سازی عملکرد اقتصادی استفاده از پارامترهای نظارتی	ایستگاه یکپارچه شارژ و مصرف کننده	نظریه بازی (مذاکره نش و استکلبرگ)	ایجاد بازی همکارانه به منظور بهینه‌سازی سودهای اقتصادی از سیستم‌های تامین انرژی برق شهری [۶]
شرفی و همکاران	۲۰۲۲	تعداد وسایل نقلیه مدت اجاره حمایت‌های دولتی	بخش خصوصی و بخش دولتی	مذاکره نش و مدل پارتو	ارائه یک رویکرد مذاکره‌ای برای تعیین دستاوردهای عادلانه بین بخش خصوصی-دولتی و بهینه‌سازی متغیرهای قرارداد در پروژه‌های باربری [۱۵]
هونگ سو و فان آن ^۵	۲۰۲۱	پاداش برای تشویق شرکت‌های فعال راهبردهای پویا پیشنهاد مدل مناقصه برای بازیکنان	مالک و مشتریان	نظریه بازی (مذاکره نش)	ارائه مدل تشویقی جدید برای مذاکره شرکت‌ها در مناقصات ساختمانی [۱۳]
لیو و همکاران	۲۰۲۰	توزیع متوازن مزایا راهبردهای نظارتی هزینه‌های مذاکره بررسی تقاضای بازار	توسعه دهندگان و ساکنان مناطق شهری	مذاکره نش نا متقارن	بررسی فرآیند مذاکره بین بازیکنان مذکور در زمینه توزیع مزایا در بازسازی شهری [۸]
لیانگ و همکاران	۲۰۲۰	ایجاد مدل کسب و کار نوآورانه بازی همکارانه تولید راهبرد بازی بر اساس شبکه عصبی	دولت (شرکت تامین کننده) و مشتریان	نظریه بازی و شبکه عصبی	ارائه یک مدل کسب و کار نوآورانه برای استفاده مشترک از نیروگاه خورشیدی و ذخیره‌سازی انرژی [۱۱]
مارک شوپف و آخیم فوس ^۶	۲۰۱۹	سیاست حداکثرسازی سود طرفین راهبرد وجود حد ضرر در توافق هزینه‌های استخراج وابسته به موجودی	دولت، سازمان محیط زیست و شرکت استخراجی	توافق نش	بررسی سیاست استخراج منابع زیست محیطی تحت تأثیر قوانین دولتی [۱۴]
لیو و همکاران	۲۰۱۹	مدل ترکیبی ارزیابی سرمایه‌گذاری مدل‌سازی دینامیک سیستم استفاده از ارزش جریان‌های نقدی	دولت و سرمایه‌گذاران	سیستم پویا و مدل بلک - شولز	ارائه یک مدل تحلیلی ترکیبی بر اساس روابط ایجاد شده برای ارزیابی سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی [۱۰]
آقا داداشلی و همکاران	۲۰۱۶	تخصیص سهم مشارکت تقسیم سود بین بازیکنان اعمال مشوق برای شرکت‌های پایین دستی	شرکت بالا دستی و شرکت پایین دستی	نظریه بازی (مذاکره نش)	ارائه فرمول تقسیم سود بر اساس مشارکت شرکت‌های با اهمیت نامتقارن [۴]
لیپمن و همکاران	۲۰۱۳	تقسیم هزینه در قراردادها عدم وجود ریسک در مشارکت وجود هزینه‌های ثابت مشارکت عدم قطعیت در تامین هزینه‌های پروژه بررسی تقاضای بازار	مدیریت و پیمانکار	نظریه بازی (مذاکره نش)	ارائه یک رویکرد چانه‌زنی برای تعیین بهترین قرارداد تقسیم هزینه بین بازیکنان [۹]

۳. چانه‌زنی نش

دستاورد برای هر بازیکن که نتایج احتمالی را برای یک بازده ترسیم می‌کند و یک تابع سود مشترک که نتایج را به بازده همه ترسیم می‌کند، نشان داد [۱۸]. هدف بازیکنان این است که با انتخاب اقداماتی که منجر به بهترین نتیجه ممکن برای همه شرکت‌کنندگان شود، عملکرد مشترک را به حداکثر برسانند.

در بازی مشارکتی n نفره، بازیکنان را با $N = \{1, 2, \dots, n\}$ نمایش می‌دهند. هر زیرمجموعه غیر تهی یک ائتلاف را تشکیل می‌دهد. تمامی اجزای مجموعه N یک ائتلاف جمعی را تشکیل می‌دهند. هر یک از ائتلاف‌های موجود را با S و تعداد اجزای هر ائتلاف مشارکتی با $|S|$ نشان می‌دهند. در ادامه تعداد ائتلاف‌های یک بازی n نفره برابر با $S = 2^n - 1$ می‌باشد.

فرم مشخصه بازی n نفره را با $V(N)$ نمایش می‌دهند که در آن V تابع مشخصه و N دستاورد هر ائتلاف می‌باشد. در بازی با دو بازیکن A و B رابطه (۱) برقرار است [۱۸]:

$$V(A) + V(B) \leq V(A+B) \quad (1)$$

شرط موجود در (۱) بیان می‌کند که دو ائتلاف A و B هنگامیکه با هم ائتلاف جدید تشکیل می‌دهند که تابع $V(A+B)$ حداقل برابر جمع دستاوردهای ائتلاف‌های مستقل A و B باشد. مسئله مهم در تشکیل ائتلاف نحوه تقسیم دستاورد ائتلاف بین اعضا است. این تقسیم یا تخصیص سهم باید عادلانه صورت گیرد تا اعضای ائتلاف رضایت داشته باشند و به تشکیل ائتلاف با بازیکنان دیگر نپردازند. چنین تخصیصی را تخصیص عقلایی گویند. تخصیص مورد بحث را با $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ نشان می‌دهند. X_n سهم بازیکن n ام می‌باشد. واضح است مجموع سهم بازیکنان در یک ائتلاف برابر یک می‌باشد. در یک تخصیص عقلانی دو ویژگی باید رعایت شود [۱۷]:

الف) کل دستاورد تخصیص یافته به بازیکنان $(\sum_{i=1}^n X_i)$ باید برابر منافع ایجاد شده با تشکیل ائتلاف جمعی $V(N)$ باشد. به این شرط اصطلاحاً شرط عقلانیت گروهی گویند.

راه حل چانه‌زنی نش یک چارچوب ریاضی است که هدف آن کمک به طرفین برای رسیدن به یک نتیجه متقابل سودمند در شرایطی است که منافع متضاد دارند. راه حل چانه‌زنی نش مبتنی بر این ایده است که دو یا چند طرف مذاکره سعی می‌کنند دستاورد^۷ خود را به حداکثر برسانند و در عین حال منافع طرف مقابل را نیز در نظر بگیرند. راه حل شامل یک فرآیند مذاکره است که در آن هر دو طرف ترجیحات و منافع خود را به اشتراک می‌گذارند و تلاش می‌کنند تا به توافقی دوجانبه سودمند برسند [۱۶].

۳-۱. الگوریتم حل در چانه‌زنی نش

در زمینه راه حل چانه‌زنی نش، یک الگوریتم حل یک روش ریاضی است که برای یافتن توافق بهینه بین دو طرف استفاده می‌شود که منافع فردی آن‌ها را به حداکثر می‌رساند و در عین حال ترجیحات طرف مقابل را نیز در نظر می‌گیرد [۱۷]. راه حل چانه‌زنی نش مبتنی بر این ایده است که هر یک از طرفین سعی می‌کند با پیشنهاد بهترین راهبرد خود، دستاورد خود را به حداکثر برساند، در حالی که از ترجیحات طرف مقابل و توانایی آن‌ها در رد راهبردهای پیشنهادی آگاه است [۱۷]. به این نوع بازی، بازی با اطلاعات کامل^۸ گویند. در نظریه بازی‌ها، بازی اطلاعات کامل نوعی بازی است که در آن هر بازیکن در زمان تصمیم‌گیری به اطلاعات یکسانی نسبت به سایرین دسترسی دارد. این نوع بازی در تضاد با بازی‌های اطلاعات ناقص است. در بازی اطلاعات ناقص برخی از بازیکنان به اطلاعاتی دسترسی دارند که سایر بازیکنان به آن دسترسی ندارند [۱۷].

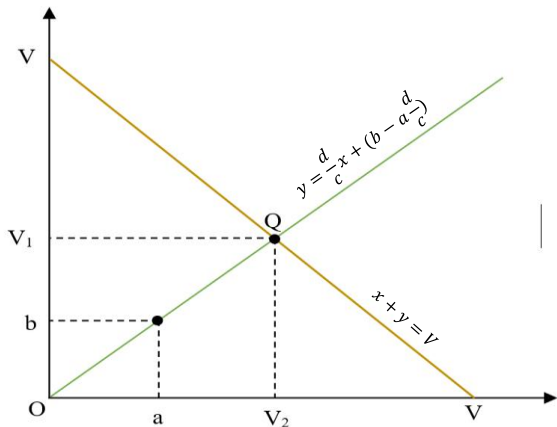
۳-۲. روش حل در بازی مشارکتی

کلید یافتن راه حل چانه‌زنی نش استفاده از یک الگوریتم ریاضی است که می‌تواند توافقی را شناسایی کند که دستاورد هر یک از طرفین را به حداکثر می‌رساند و در عین حال از قابل قبول بودن توافق برای طرفین اطمینان حاصل کند. یک بازی مشارکتی^۹ را می‌توان با مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از اقدامات ممکن برای هر بازیکن، یک تابع

نکته قابل توجه این است که مجموع x و y برابر با V خواهد بود.

$$x + y = V$$

هر مقدار x و y که در دو رابطه بالا صدق نماید به راه حل چانه‌زنی معروف است. این راه حل با نقطه Q در شکل ۱ به نمایش در آمده است.



شکل (۱): راه‌حل چانه‌زنی برای بازی مشارکتی [۱۸]

با توجه به شکل ۱ می‌توان گفت که شیب خط صعودی و نشان‌دهنده قدرت چانه‌زنی نسبی دو بازیکن است. همانطور که گفته شد با فرض مشارکتی بودن بازی سهم بازیکن اول (دولت) از V برابر c درصد و سهم بازیکن دوم (پیمانکاران معدن) برابر با d درصد باشد، اگر قدرت چانه‌زنی پیمانکاران معدن بیشتر باشد خط دارای شیب بیشتری می‌باشد و سهم بازیکن دوم از دستاورد ائتلاف بیشتر خواهد بود. نکته قابل توجه دیگر آن است که عرض از مبدا خط سبز رنگ الزاماً بر روی صفر محور مختصات قرار ندارد و مقدار x و y همان سهم بازیکن اول و دوم از بازی می‌باشد.

۳-۳. فرم مشخصه چانه‌زنی نش

در چانه‌زنی نش تعداد n تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته می‌شود، که با فرض X به عنوان فضای تصمیم و $u_i: X \rightarrow R$ به عنوان تابع هدف تصمیم‌گیرنده i ، فضای ضابطه به روش زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

(ب) دستاورد پیوستن به ائتلاف برای هر بازیکن نباید کمتر از دستاورد تنها عمل کردن باشد. به این شرط اصطلاحاً عقلانیت فردی گویند.

$$x_n \geq V(\{i\}), \forall i \in N \quad (۲)$$

پس تخصیص عقلایی به طور کلی می‌توان به صورت (۳) نمایش داد:

$$\sum_{i=1}^n x_i = V(N), x_n \geq V(\{i\}), \forall i \in N \quad (۳)$$

پس از بیان مفاهیم بازی مشارکتی و نحوه روابط در صورت وجود ائتلاف، اکنون مباحث موجود در بازی چانه‌زنی بین دولت و پیمانکاران معدن با استفاده از بازی مشارکتی مدل‌سازی می‌گردد. بدین منظور در ابتدا فرض می‌شود که دستاورد ائتلاف دو بازیکن (دولت و پیمانکاران معدن) برابر با $V(1,2) = V$ و دستاورد دولت به طور مستقل برابر با $V(1) = a$ و پیمانکاران معدن به طور مستقل برابر با $V(2) = b$ است. دستاورد خالص ائتلاف برابر می‌شود با:

$$V(1,2) - V(1) - V(2) = V - a - b$$

اگر ضمن فرض مشارکتی بودن بازی سهم بازیکن اول (دولت) از V برابر c درصد و سهم بازیکن دوم (پیمانکاران معدن) برابر با d درصد باشد، دستاورد بازیکنان (دولت و پیمانکاران معدن) از تقسیم V بازی برابر خواهد بود با:

$$x = a + c(V - a - b) = a(1 - c) + c(V - b) \quad (۴)$$

$$x - a = c(V - a - b) \quad (۵)$$

$$y = b + d(V - a - b) = b(1 - d) + d(V - a) \quad (۶)$$

$$y - b = d(V - a - b) \quad (۷)$$

با توجه به دو رابطه (۵) و (۶) می‌توان به رابطه زیر برسیم:

$$\frac{y - b}{x - a} = \frac{d}{c} \rightarrow y = b + \frac{d}{c}(x - a) \quad (۸)$$

$$y = \frac{d}{c}x + (b - a\frac{d}{c})$$

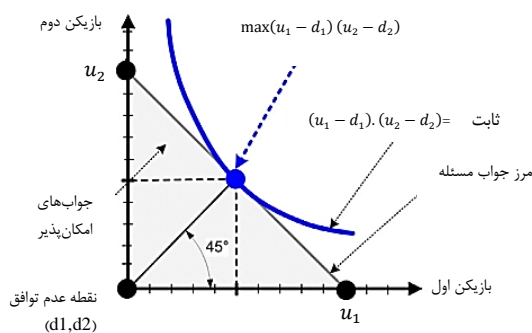
$$H = \{u \mid u \in R^n, u = u_i, u_i = f_i(x) \forall x \in X\} \quad (9)$$

در رابطه ۹، u به عنوان دستاورد بازیکنان تعریف می‌شود و هنگامی که تصمیم‌گیرندگان قادر به دستیابی به یک توافق نیستند، به مقادیر تابع هدف کمتری دست می‌یابند. اگر d_i به عنوان مقدار اختلاف (تعارض) و H به عنوان مجموعه دستاورد قابل قبول تعریف شود، مقدار d می‌تواند برای تصمیم‌گیرنده i به صورت $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ نمایش داده شود. این تعارض در طول مسئله به صورت ریاضی با جفت (H, d) تعریف می‌شود. اگر H محدب، بسته و محدود باشد و حداقل یک $u \in H$ وجود داشته باشد، بطوریکه $u \geq d$ راه حل چانه‌زنی نش $u^* = \varphi(H, d)$ به عنوان راه‌حل بهینه تک مسئله می‌تواند حاصل شود [۱۹].

با فرض عقلانی بودن، بازیکنان قصد دارند تا دستاورد خود را بیشینه سازند. اگر فرض شود مقادیر اختلاف بازیکنان صفر باشد، مرز جواب مسئله توسط یک خط غیر صعودی در بازه $[d_1, u_1]$ تعریف شده است (شکل ۲) [۱۹].

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (u_1 - d_1)(u_2 - d_2) \dots (u_n - d_n) \\ & \text{Subject to} \\ & u_i \geq d_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & (u_1, u_2, \dots, u_n) \in H \end{aligned} \quad (10)$$

این راه‌حل، تمام اصول نش را برآورده می‌سازد. باید توجه شود که در این مورد، تمام شرکت‌کنندگان در بازی به صورت همزمان به تصمیم‌گیری می‌پردازند.



شکل (۲): راه‌حل الگوریتم چانه‌زنی نش [۱۸]

۴. بازی تعارض مدیریت با پیمانکاران

راه حل چانه‌زنی یکی از مناسب‌ترین راه‌ها برای حل تعارض بین دولت و پیمانکاران معدنی است. همانطور که گفته شد این راه حل با در نظر گرفتن ترجیحات و دستاوردهای هر دو طرف، معیار منصفانه و عینی را برای ارزیابی روابط دولت با پیمانکاران معدنی ارائه می‌دهد و تشخیص می‌دهد که هر دو بازیکن ممکن است اهداف و اولویتهای متفاوتی داشته باشند و به دنبال شناسایی یک سازش سودمند متقابل است. همچنین می‌تواند با اولویت دادن گزینه‌ها در انتخاب‌های موجود، دستاورد را برای هر دو طرف به حداکثر برساند و چالش تخصیص منابع مالی در پروژه‌ها معدنی را برطرف کند. در ادامه نیاز است تا فرض‌های بازی بیان شود تا بتوان توابع چانه‌زنی مرتبط با بازیکنان را تشکیل داد.

۴-۱. فرض‌های بازی

در این بخش فرض‌های بازی چانه‌زنی بین دولت و پیمانکاران معدنی بیان می‌گردد:

(۱) بازی ایجاد شده از نوع بازی دو جانبه می‌باشد. دولت به عنوان بازیکن اول و ناظر بازی معرفی می‌شود. در سوی دیگر نماینده بخش خصوصی یعنی پیمانکاران به عنوان بازیکن دوم فرض می‌گردد.

(۲) راهبردهای دولت شامل پذیرش همکاری با پیمانکاران و نظارت بر سیاست‌های آن‌ها و رد همکاری و عدم نظارت بر رفتار آن‌ها می‌باشد. در مقابل، راهبردهای پیمانکاران به دو انتخاب تقسیم می‌شود. در ابتدا پیمانکاران باید تصمیم بگیرند که در پروژه می‌خواهند شرکت کنند و یا در سرمایه‌گذاری. اگر پیمانکاران بخواهند در پروژه معدنی شرکت کنند باید مشخص کنند که کدام یک از سیاست‌های تولید ماده معدنی را اتخاذ می‌کنند. سیاست‌های موجود برای پیمانکاران شامل تولید پایدار و تولید حداکثری می‌باشد.

(۳) بازی ذکر شده یک بازی کامل^{۱۰} می‌باشد، بدین منظور روش استقرار معکوس، روشی مناسب برای حل بازی چانه‌زنی می‌باشد. در این روش از انتهای نمودار درختی موجود در شکل (۳)، استراتژی بازیکنان بررسی و به

صفر تا یک دارد ($0 < \varphi < 1$). اگر دولت اقدام انحصاری برای اجرای پروژه صورت دهد در آن صورت مقدار φ برای دولت برابر با یک خواهد بود. در صورت همکاری نمودن دولت و پیمانکاران درصد مشارکت در پروژه برای دولت با φ و برای پیمانکاران با $1 - \varphi$ مشخص می‌شود. در بحث هزینه‌ها میزان سرمایه‌گذاری هر یک از بازیکنان موجود در بازی با I_n مشخص می‌شود. اندیس n می‌تواند نشان‌دهنده دولت (G) و یا پیمانکاران معدنی (C) باشد. با توجه به منافع و تعارض‌های موجود در زوج مرتب تشکیل شده در فرض بازی می‌توان دستاورد کلی بازی را همانند (۱۱) نمایش داد.

$$B(I, \varphi) = \varphi B_G(I_G) + (1 - \varphi) B_C(I_C) \quad (11)$$

در (۱۱)، $B_G(I_G)$ دستاورد دولت و $B_C(I_C)$ دستاورد پیمانکاران معدن می‌باشد. با توجه به اینکه بازی از نوع مشارکتی و اطلاعات کامل می‌باشد، بازیکنان از انتخاب‌های یکدیگر اطلاع دارند. شروع‌کننده بازی پیمانکاران می‌باشد، او پس از انتخاب راهبرد خود نوبت را به دولت واگذار می‌کند. پیمانکاران در انتخاب اول خود باید تصمیم گیرد که ورود به پروژه برای او تا چه میزان جذاب است. مشارکت پیمانکاران در پروژه می‌تواند به دو صورت باشد. در راهبرد اول پیمانکاران در سرمایه‌گذاری پروژه به دولت کمک خواهد کرد. طبق این راهبرد دستاورد دولت و پیمانکاران به ترتیب برابر با (۱۲) و (۱۳) خواهد بود:

$$U_G = \frac{(\varphi I_G + P_G)}{(1+i)^t} \quad (12)$$

$$U_C = \frac{(1-\varphi)I_G + P_C}{(1+i)^t} \quad (13)$$

در (۱۲) و (۱۳)، U_G دستاورد دولت، U_C دستاورد پیمانکاران، I_G میزان سود حاصل از سرمایه‌گذاری دولت، P_G درآمد جانبی برای دولت حاصل از توسعه اقتصادی، ایجاد اشتغال، رعایت استانداردهای محیط زیستی، P_C درآمد جانبی برای پیمانکاران معدن حاصل از انحصار به وجود آمده در پروژه، توسعه دانش و تجربه، i نرخ تنزیل و t دوره زمانی محاسبه دستاورد می‌باشد. در صورت تمایل به همکاری از سوی پیمانکاران، بازی ادامه پیدا خواهد کرد. راهبرد دوم شامل

سمت بالا تحلیل ادامه پیدا می‌کند. در ابتدا استراتژی‌های اتخاذی توسط پیمانکاران بررسی می‌گردد و سپس عملکرد اتخاذی دولت در قبال تصمیم پیمانکاران مبنی بر مشارکت در پروژه تعیین می‌شود. (۴) سرمایه‌گذاری در پروژه معدنی به صورت سرمایه‌گذاری بازگشت‌پذیر می‌باشد و به همین خاطر با علامت مثبت در توابع دستاورد ظاهر می‌شود. (۵) بازیکنان موجود در بازی منطقی می‌باشند. این عبارت بدان معناست که بازیکنان به دنبال بیشینه نمودن دستاورد خود از بازی می‌باشند و راهبردهای موفق‌تر را انتخاب می‌نمایند.

۴-۲. توابع چانه زنی

یکی از جنبه‌های کلیدی چانه‌زنی نش مجموعه راهبردها یا موقعیت‌های مذاکره است که در دسترس هر بازیکن قرار می‌گیرد. طبق فرض‌ها پیمانکاران در بازی تخصیص منابع مالی شروع‌کننده بازی می‌باشد و راهبردهای ابتدایی او تمایل و یا عدم تمایل برای مشارکت با دولت در بازی می‌باشد. مجموعه راهبردها در بازی چانه‌زنی به نوبت میان دو بازیکن تغییر می‌یابد. به این صورت که در مرحله بعدی نوبت به انتخاب راهبرد دولت می‌رسد. جنبه بعدی مهم در چانه‌زنی نش، توابع دستاورد برای هر بازیکن است. به عبارت دیگر، توابع دستاورد هدف هر بازیکن را در مذاکرات تعیین می‌نماید. برای دولت، این ممکن است شامل به حداکثر رساندن درآمد مالیاتی، به حداکثر رساندن سلامت و ایمنی عمومی، به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی، یا ترکیبی از همه این عوامل باشد. برای شرکت‌های معدنی نیز ممکن است به حداکثر رساندن سود از طریق تولید بیشتر، به حداقل رساندن هزینه‌ها، افزایش تاثیر اجتماعی یا پایداری، یا ترکیبی از این اهداف باشد.

با توجه به مفهوم چانه‌زنی فضای تعارض میان هدف‌ها با زوج مرتب (H, d) مشخص می‌شود. مجموعه منافع بازی میزان سرمایه‌گذاری می‌باشد و نقطه تعارض بین دولت و پیمانکاران معدن سهم هر یک از انجام پروژه در نظر گرفته می‌شود. میزان سرمایه‌گذاری و سهم اجرای پروژه هر کدام به ترتیب با I و φ نمایش داده می‌شود. سهم اجرای پروژه مقداری بین

ورود پیمانکاران به پروژه و وارد کردن سرمایه بخش خصوصی به معدن می‌باشد.

در مرحله بعدی نوبت به انتخاب راهبرد دولت می‌رسد. گزینه‌های موجود در انتخاب‌های دولت شامل قبول همکاری و نظارت بر پیمانکاران و در سوی دیگر رد همکاری و عدم نظارت بر رفتار پیمانکاران می‌باشد. در صورت به توافق نرسیدن دولت با پیمانکار، پروژه معدنی به بخش خصوصی واگذار شده و تنها سرمایه‌گذاری پیمانکاران در توابع جایگذاری می‌شود. اما در سوی دیگر اگر دولت راهبرد قبول همکاری را انتخاب نماید، پروژه معدنی به یک پروژه عمومی - خصوصی تبدیل می‌شود. نکته قابل توجه این است که در صورت نظارت دولتی، پارامترهای نظارتی در توابع دستاورد بازیکنان وارد می‌شود.

پس از ارزیابی وضعیت واگذاری پروژه، گام بعدی بر روی تدوین سیاست‌های مربوط به پیمانکاران در اجرای پروژه معدنی تمرکز دارد. در این مرحله به بررسی سیاست‌های پیمانکاران در صورت نظارت و یا عدم نظارت دولت پرداخته می‌شود. نمودار درختی شکل ۳ روند بازی چانه‌زنی را به نمایش می‌گذارد. به همین منظور برای بررسی دستاوردهای دولت و پیمانکاران ابتدا حالتی در نظر گرفته می‌شود که دولت نظارت را انتخاب می‌نماید. در این وضعیت پیمانکاران اگر راهبرد پیش روی خود را سیاست تولید پایدار انتخاب نمایند، دستاورد دولت و پیمانکاران به ترتیب برابر با (۱۴) و (۱۵) خواهد بود:

$$U_G = \frac{\varphi I_{PPP} + (P_G + r_1) - b}{(1+i)^t} \quad (14)$$

$$U_C = \frac{(1-\varphi)I_{PPP} + (P_C + r_1) + b}{(1+i)^t} \quad (15)$$

در (۱۴) و (۱۵)، مقدار سرمایه‌گذاری بازیکنان در صورت همکاری با یکدیگر، r_1 سود حاصل از اتخاذ سیاست تولید پایدار و b پارامتر تشویقی ناظر برای رعایت شاخص‌های پایداری در معدن می‌باشد. سود حاصل از سیاست تولید پایدار از طریق بهره‌وری بالاتر به دلیل بازیابی مواد معدنی، کاهش هزینه‌های پروژه معدنی، کاهش ریسک‌های محیطی، توسعه

اقتصادی، ایجاد اشتغال و افزایش انگیزه کارکنان ایجاد می‌شود.

حال اگر پیمانکاران سیاست تولید حداکثری را در وضعیت نظارت دولتی انتخاب نمایند. به دلیل تخطی در استخراج مجاز، با جریمه دولتی مواجه می‌شوند. در این حالت پیمانکاران به دلیل استخراج بالاتر نیاز به خرید تجهیزات با هزینه‌های بیشتر می‌باشند که سرمایه‌گذاری در پروژه را افزایش می‌دهد. دستاوردهای دولت و پیمانکاران در این وضعیت به ترتیب در (۱۶) و (۱۷) به نمایش درآمده است:

$$U_G = \frac{\varphi(I_{PPP} + r_2) + P_G + p}{(1+i)^t} \quad (16)$$

$$U_C = \frac{(1-\varphi)(I_{PPP} + r_2) + P_C - p}{(1+i)^t} \quad (17)$$

در (۱۶) و (۱۷)، r_2 سود حاصل از استخراج بیشتر از حد مجاز برای بازیکنان و p جریمه دولتی برای رعایت نکردن مقررات استخراجی در معدن می‌باشد.

پس از بررسی راهبردهای پیمانکاران در صورت نظارت دولت، حال نوبت به انتخاب عدم نظارت توسط دولت می‌رسد. در این وضعیت دولت در سرمایه‌گذاری بخش خصوصی سهیم است و از اعمال پارامترهای نظارتی بی‌نصیب می‌باشد. در این وضعیت هنگامیکه پیمانکاران بخواهند سیاست تولید پایدار را انتخاب نمایند، به دستاوردهای زیر دست می‌یابند:

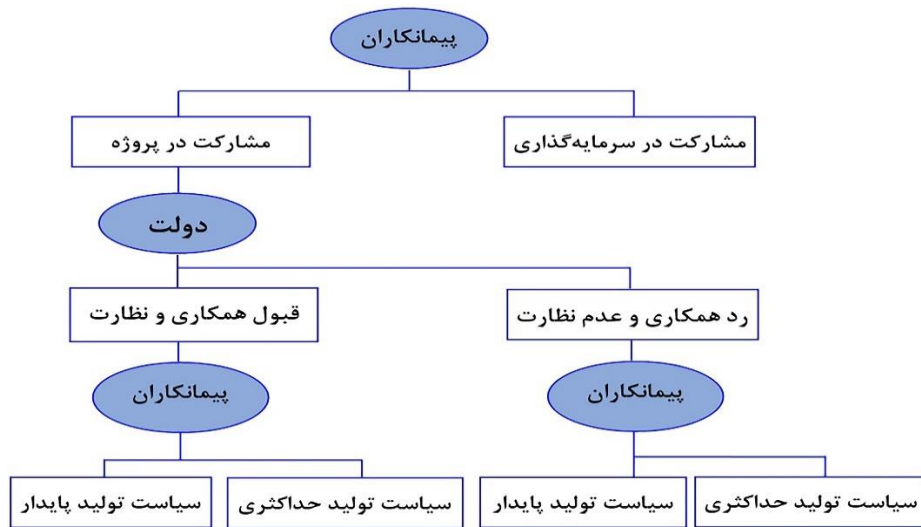
$$U_G = \frac{\varphi I_C + (P_G + r_1)}{(1+i)^t} \quad (18)$$

$$U_C = \frac{(1-\varphi)I_C + (P_C + r_1)}{(1+i)^t} \quad (19)$$

در (۱۸) و (۱۹)، I_C نشان‌دهنده میزان سود حاصل از سرمایه‌گذاری پیمانکاران معدن می‌باشد. سیاست تولید حداکثری در این وضعیت دستاوردهای دولت و پیمانکاران را با روابط (۲۰) و (۲۱) برابر می‌کند. این روابط در زیر به نمایش درآمده است:

$$U_G = \frac{\varphi(I_C + r_2) + P_G}{(1+i)^t} \quad (20)$$

$$U_C = \frac{(1-\varphi)(I_C + r_2) + P_C}{(1+i)^t} \quad (21)$$



شکل (۳): نمودار درختی بازی چانه‌زنی

۳-۴. بررسی تعادل بازی

به طور مطلق مثبت باشد و شرط بعدی آن است که تابع به طور اکیدا صعودی باشد. در ابتدا وضعیت دستاورد دولت و پیمانکاران در اولین انتخاب بررسی می‌شود. روابط (۱۲) و (۱۳) را میتوان به عنوان تابعی از سرمایه گذاری نوشت. این تابع با $f(I)$ نمایش داده می‌شود:

$$f(I) = \frac{\phi I + P}{(1+i)^t} \rightarrow f(0) = \frac{P}{(1+i)^t}$$

$$f(I) = \frac{\phi I + P}{(1+i)^t} \rightarrow f'(I) = \frac{\phi}{(1+i)^t}$$

با توجه به اینکه پارامترهای P ، ϕ و i پارامترهای مثبتی هستند، قطعاً جواب مسئله در فضای تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد. برای بدست آوردن دیگر جواب‌های مسئله نیاز است روابط دستاوردهای بازیکنان (روابط ۱۴ تا ۲۱) مشابه وضعیت سرمایه‌گذاری دولتی بررسی و از برقراری شروط دوگانه اطمینان حاصل شود. طبق محاسبات تمامی توابع بازیکنان در فضای تصمیم‌گیری نش قرار گرفته‌اند و می‌توانند به عنوان جواب مسئله بیان شوند.

برای محاسبه نقطه تعادل نیاز است تمامی دستاوردهای کسب شده توسط بازیکنان را به صورت تک به تک محاسبه نمود تا بتوان از معادله دستاورد جدید مشتق گرفته شود تا بیشینه

در نظریه بازی‌ها، تعادل حالتی است در یک بازی که در آن هیچ بازیکنی انگیزه‌ای برای تغییر راهبرد خود ندارد، با این فرض که همه راهبردهای بازیکنان دیگر ثابت بماند. این به این معنی است که هیچ بازیکنی نمی‌تواند با تغییر یک جانبه راهبرد خود، سود خود را بهبود بخشد. مفهوم تعادل بر این فرض استوار است که همه بازیکنان تصمیم‌گیرندگان منطقی هستند و همیشه راهبرد را انتخاب می‌کنند که سود خود را به حداکثر می‌رساند. ایده تعادل یک مفهوم اساسی در نظریه بازی‌ها است، زیرا چارچوب مهمی برای تجزیه و تحلیل رفتار راهبردی در شرایطی که بازیکنان با منافع رقابتی روبرو هستند، فراهم می‌کند. در یک محیط رقابتی، بازیکنان ممکن است سعی کنند برای رسیدن به اهداف خود از یکدیگر پیشی بگیرند، اما مفهوم تعادل به آنها اجازه می‌دهد تا بفهمند که چگونه تصمیمات بازیکنان باید هماهنگ شود تا به بهترین نتیجه برای همه شرکت‌کنندگان دست پیدا کنند. به منظور بررسی تعادل بازی، تعدادی از فرض‌های بازی در ادامه بیان می‌شود. برای به دست آوردن پاسخ‌های مطلوب در فضای چانه‌زنی، لازم است توابع دستاوردهای بازیکنان با دو شرط اساسی بررسی شود. شرط اول این است که تابع دستاورد باید

آن نسبت به سهم مشارکت هر بازیکن در پروژه محاسبه گردد. در ادامه مجموع پرداختی‌ها برای هر بازیکن به دست می‌آید:

$$U_{total}^G(\varphi, I) = \frac{\varphi(I_{PPP} + I_G + r_2) + (P_G + r_1) + p - b}{(1+i)^t} \quad (22)$$

در (۲۲)، $U_{total}^G(\varphi, I)$ دستاورد تجمیعی دولت می‌باشد. نکته قابل توجه این است که این رابطه از مجموع دستاوردهای پرداختی بازی به دولت به دست آمده است. در سوی دیگر دستاورد تجمیعی پیمانکاران در (۲۳) آورده شده است.

$$U_{total}^C(\varphi, I) = \frac{(1-\varphi)(I_{PPP} + I_C + r_2) + (P_C + r_1) + b - p}{(1+i)^t} \quad (23)$$

برای محاسبه مشتق φ برابر با m و $1 - \varphi$ برابر با n در نظر گرفته شد. واضح است که مجموع m و n برابر یک می‌باشد.

$$U_{total}^G = \frac{m(I_{PPP} + I_G + r_2) + (P_G + r_1) + p - b}{(1+i)^t} \quad (24)$$

$$\frac{dU_G}{dm} = \frac{I_{PPP} + I_G + r_2}{(1+i)^t} \quad (25)$$

به منظور محاسبه تعادل دستاورد پیمانکاران نیز مراحل بالا تکرار می‌گردد:

$$U_{total}^C = \frac{n(I_{PPP} + I_C + r_2) + (P_C + r_1) + b - p}{(1+i)^t} \quad (26)$$

$$\frac{dU_C}{dn} = \frac{I_{PPP} + I_C + r_2}{(1+i)^t} \quad (27)$$

با توجه به روابط (۲۵) و (۲۷)، تعادل بازی چانه‌زنی در نقطه $\left(\frac{(I_{PPP} + I_G + r_2)}{(1+i)^t}, \frac{(I_{PPP} + I_C + r_2)}{(1+i)^t}\right)$ به دست می‌آید.

با توجه به نقطه تعادلی می‌توان گفت که در این نقطه بازیکنان به حداکثر مقدار دستاورد در طول راهبرد انتخابی خواهند رسید. نکته قابل توجه در نقطه تعادل این است که این میزان، بیشترین مقدار دستاورد دریافتی در طول بازی نیست و تنها

حداکثر دستاورد امکان‌پذیر را در صورتیکه دستاورد تمامی بازیکنان در آن دخیل است، پیشنهاد می‌کند.

۵. اجرای بازی و بحث

پس از بیان مفاهیم مربوط به چانه‌زنی در محیط نظریه بازی‌ها، حال در مرحله اجرای بازی بیان شده، در هر گام از بازی سرمایه‌گذاری‌های متناسب با هر کدام تخصیص داده می‌شود. همانطور که بیان شد با توجه به مشارکت بین دولت و پیمانکاران معدن، اعتبارات تخصیص یافته به سه شاخه‌بندی پروژه‌های امانی (سرمایه‌گذاری دولت)، پروژه‌های پیمانی (سرمایه‌گذاری خصوصی) و پروژه‌های امانی - پیمانی (سرمایه‌گذاری در حالت مشارکتی) تقسیم می‌گردد. یکی از چالش‌های موجود در بخش داده‌ها، نبود اطلاعات مالی و سرمایه‌گذاری در بخش معدن بود. به همین منظور در این مقاله از اطلاعات تمامی پروژه‌های عمرانی اجرا شده استفاده گردید و با استفاده از تعمیم اطلاعات مقادیر مورد نیاز برای روابط به دست آمد. با استفاده از آمارهای بخش معدن در سازمان خصوصی‌سازی مشخص گردید ۵۲ درصد پروژه‌های معدنی توسط پیمانکاران اجرا و مابقی آن ماهیتی دولتی دارد. قراردادهای دولت و پیمانکاران معدن دارای مدت زمانی متغیر می‌باشند. مدت زمان قرارداد بستگی به عواملی همچون نوع معدن، میزان سرمایه‌گذاری، مراحل استخراج و فرآوری، قوانین و مقررات محلی و بین‌المللی و غیره دارد. با توجه به چنین مسائلی برای مدت زمان مشارکت بین دولت و پیمانکاران معدن یک میانگین از قراردادهای کوتاه و بلند مدت موجود انجام گردید و زمان ۱۰ ساله برای این مقاله فرض گردید. در ادامه توابع دستاورد بازیکنان با استفاده از پارامترهای بیان شده به دست خواهند آمد. با توجه به بازی شکل گرفته در صورت اتخاذ هر یک از سیاست‌های موجود پیمانکاران با یک سود مواجه می‌شوند. زمانی که پیمانکاران تصمیم به انتخاب سیاست تولید پایدار می‌گیرند، این تصمیم می‌تواند به تحقق اهداف مختلفی در زمینه توسعه معدنکاری منجر شود. از جمله مزایا و اثرات این سیاست می‌توان به افزایش درآمد جانبی معدن همچون بهبود فرآیند بازیافت باطله‌ها و استفاده مجدد از منابع در فرآیند تولید اشاره کرد. همچنین، اعتماد به تکنولوژی‌های پیشرفته و به‌روز و استفاده

برای یافتن تعادل بازی از روش استقراء معکوس استفاده می‌شود. برای این امر نیاز است دستاوردهای بازیکنان از آخرین مرحله محاسبه شود و به سمت بالا حرکت کند. به همین دلیل، بیشترین مقدار دستاورد هر بازیکن با استفاده از روابط انتخاب می‌شود و به عنوان دستاورد ورودی در گام بعدی وارد می‌گردد. طبق روابط (۱۸) تا (۲۱) دستاوردهای دولت و پیمانکاران در صورت عدم نظارت دولتی محاسبه می‌شود. برای این کار با استفاده از مقادیر جدول ۲ دستاورد اتخاذ سیاست تولید پایدار در ابتدا بررسی می‌گردد:

$$U_G = \frac{(0.48 \times 177973) + (2791647 + 12827)}{(1 + 0.14)^{10}} = 779532$$

$$U_C = \frac{(0.52 \times 177973) + (64134 + 12827)}{(1 + 0.14)^{10}} = 45723$$

پیمانکاران دستاوردی برابر با مقادیر زیر در سیاست تولید حداکثری به دست می‌آورند:

$$U_G = \frac{0.48(177973 + 17797) + 2791647}{(1 + 0.14)^{10}} = 778377$$

$$U_C = \frac{0.52(177973 + 17797) + 64134}{(1 + 0.14)^{10}} = 44760$$

بعد از بررسی انتخاب‌های پیمانکاران در مقابل راهبرد عدم نظارت، نوبت به اعمال پارامترهای نظارتی توسط دولت طبق روابط (۱۴) تا (۱۷) می‌رسد. محاسبه دستاورد بازیکنان در وضعیت تولید پایدار برابر با مقادیر زیر می‌باشد:

$$U_G = \frac{(0.48 \times 471779) + (2791647 + 12827) - 6500}{(1 + 0.14)^{10}} = 815820$$

$$U_C = \frac{(0.52 \times 471779) + (64134 + 12827) + 6500}{(1 + 0.14)^{10}} = 88688$$

در سمت دیگر، نوبت به بررسی سیاست تولید حداکثری پیمانکاران در وضعیت نظارت دولتی می‌رسد:

$$U_G = \frac{0.48(471779 + 17797) + 2791647 + 6500}{(1 + 0.14)^{10}} = 818172$$

$$U_C = \frac{0.52(471779 + 17797) + 64134 - 6500}{(1 + 0.14)^{10}} = 84218$$

همانطور که گفته شد محاسبات بازی از انتها آغاز و به سمت بالا حرکت می‌کند. با توجه به مقادیر بدست آمده می‌توان با استفاده از روش استقراء معکوس مسیر تعادلی بازی را به

از تجهیزات مدرن نیز به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کند. این اقدامات، به دستیابی به معدن‌کاری پایدار و ایجاد تأثیر مثبت بر محیط زیست و جوامع محلی کمک می‌کند. سود حاصل از این سیاست را بصورت تقریبی برابر با ۲۰ درصد درآمد جانبی پیمانکاران در نظر گرفته می‌شود. در مقابل زمانیکه پیمانکاران تولید حداکثری را انتخاب نمایند فرض می‌شود ۱۰ درصد بیشتر از حد مجاز استخراج نمایند. این مقدار سبب افزایش درآمد حاصل از فروش ماده معدنی می‌شود. به همین علت سود حاصل از اتخاذ این سیاست برابر با ۱۰ درصد سرمایه‌گذاری صورت پذیرفته توسط پیمانکاران می‌باشد. نکته قابل توجه این است که پارامترهای نظارت دولت در این تحقیق از لحاظ مقدار برابر با مالیات دریافتی دولت از پروژه‌های مذکور فرض گردیده است. بدین ترتیب پیمانکاران با اتخاذ سیاست‌های موجود به اندازه مقدار مالیات دولتی، جریمه و پاداش از دولت دریافت می‌نمایند. جدول ۲ داده‌های مورد نیاز دستاورد بازیکنان را نشان می‌دهد.

جدول (۲): مقادیر توابع دستاورد [۲۰-۲۴]

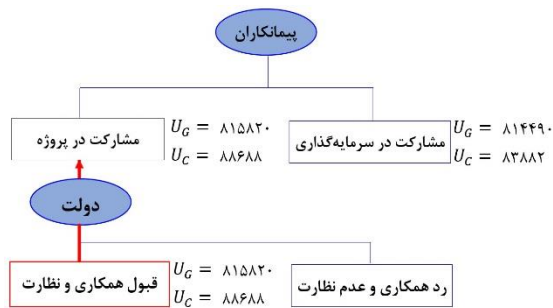
مقدار	پارامتر
۴۷۴۶۸۵	میزان سرمایه‌گذاری تخصیص یافته برای پروژه دولتی (میلیارد ریال)
۱۷۷۹۷۳	میزان سرمایه‌گذاری تخصیص یافته برای پروژه خصوصی (میلیارد ریال)
۴۷۱۷۷۹	میزان سرمایه‌گذاری تخصیص یافته برای پروژه تعاونی (میلیارد ریال)
۲۷۹۱۶۴۷	درآمد جانبی دولت (میلیارد ریال)
۶۴۱۳۴	درآمد جانبی پیمانکاران (میلیارد ریال)
۱۲۸۲۷	سود حاصل از اتخاذ سیاست تولید پایدار (میلیارد ریال)
۱۷۷۹۷	سود حاصل از اتخاذ سیاست تولید حداکثری (میلیارد ریال)
۶۵۰۰	جریمه و پاداش دولت (میلیارد ریال)
۴۸	درصد مشارکت دولت در پروژه‌ها
۵۲	درصد عدم مشارکت دولت در پروژه‌ها (حضور بخش خصوصی)
۱۴	نرخ تنزیل (درصد)
۱۰	دوره زمانی مشارکت (سال)

گردد. دستاورد بازیکنان در صورت سرمایه گذاری دولتی طبق روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه می شود.

$$U_G = \frac{0.48 \times 474685 + 2791647}{(1 + 0.14)^{10}} = 814490$$

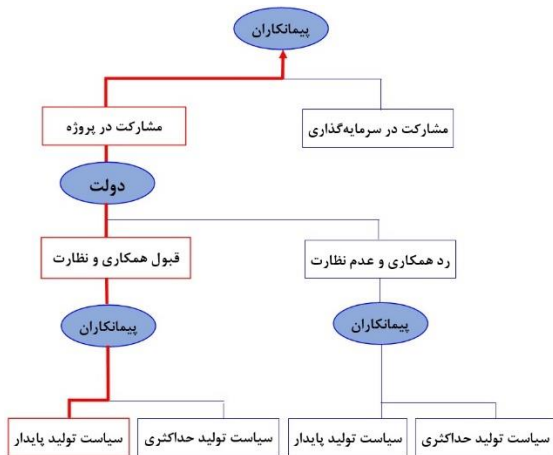
$$U_C = \frac{0.52 \times 474685 + 64134}{(1 + 0.14)^{10}} = 83882$$

طبق شکل ۶ نوبت به انتخاب مجدد پیمانکاران می رسد. آن ها باید بین مشارکت در سرمایه گذاری دولتی و یا حضور در پروژه یک گزینه را انتخاب نمایند.



شکل (۶): مرحله سوم بازی چانه زنی

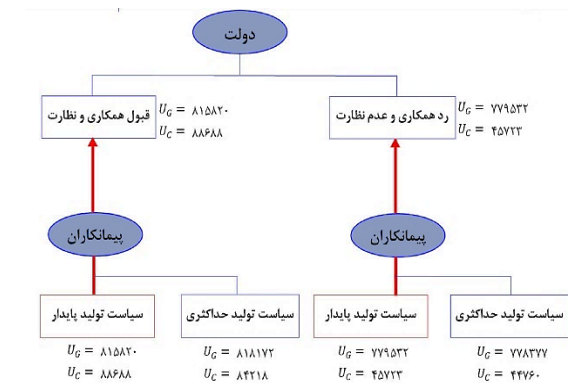
پس از مشاهده شکل ۶، با توجه به بزرگتر بودن مقدار دستاورد در راهبرد مشارکت در پروژه، انتخاب منطقی پیمانکاران حضور و ورود سرمایه بخش خصوصی به پروژه های معدنی می باشد ($83882 < 814490$). شکل نهایی مسیر تعادل بازی چانه زنی دولت و پیمانکاران مطابق شکل ۷ می باشد.



شکل (۷): مسیر تعادلی بازی چانه زنی

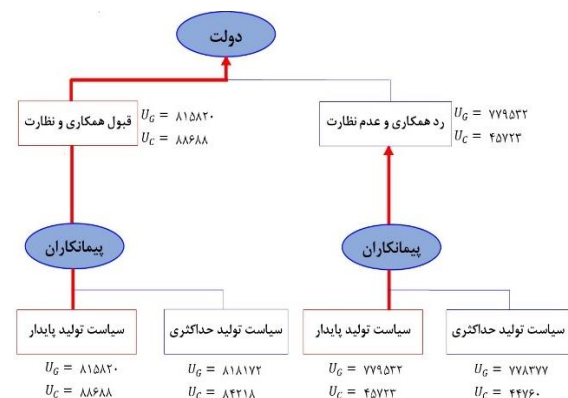
نکته قابل توجه در مسیر تعادلی این است که این مسیر با توجه به گزینه های موجود تعیین گردیده و این روش به دنبال حداکثر نمودن دستاورد هیچ یک از طرفین بازی نمی باشد.

دست آورد. با توجه به شکل ۴ انتخاب پیمانکاران از بین دو گزینه نظارتی دولت صورت می گیرد. در هر دو گزینه موجود، با توجه به برتری در دستاوردهای حاصل از سیاست تولید پایدار، این راهبرد انتخاب عقلایی برای پیمانکاران می باشد. ($44723 < 445723$) در صورت عدم نظارت دولت - $88688 < 84218$ در صورت نظارت دولت)



شکل (۴): مرحله اول بازی چانه زنی

در مرحله بعدی نیاز است دولت وضعیت همکاری و نظارت خود را مشخص نماید. دستاوردهای این مرحله از طریق الگوریتم استقرآ معکوس در مرحله قبلی مشخص و توسط پیمانکاران به بالا انتقال یافته اند. با توجه به شکل ۵ دولت از بین دو انتخاب موجود، راهبرد همکاری و نظارت بر رفتار پیمانکاران را انتخاب می کند. دلیل این امر بدان منظور است که دستاورد حاصل از این راهبرد دارای برتری نسبت به راهبرد عدم نظارت می باشد ($815820 < 779532$).



شکل (۵): مرحله دوم بازی چانه زنی

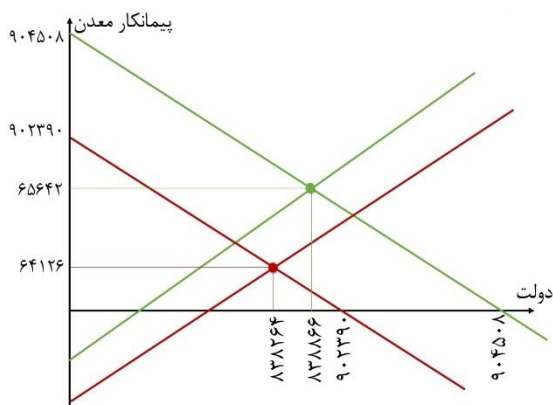
پس از مشخص شدن راهبرد انتخابی بازیکنان در گام اول، نیاز است در گام دوم به بررسی میزان تمایل مشارکت پیمانکاران پرداخته شود تا مسیر تعادلی بازی چانه زنی تکمیل

$$\begin{cases} y = 0.92x - 706114 \\ x + y = 904508 \end{cases}$$

در صورت انتخاب سیاست تولید حداکثری:

$$\frac{y - 44760}{x - 814490} = \frac{0.48}{0.52}$$

$$\begin{cases} y = 0.92x - 707077 \\ x + y = 902390 \end{cases}$$



ائتلاف بازیکنان در سیاست تولید پایدار
ائتلاف بازیکنان در سیاست تولید حداکثری

شکل (۸): راه حل چانه‌زنی نش

با توجه به مقادیر تعادلی شکل ۸ می‌توان گفت که سهم دولت در انتهای چانه‌زنی به ترتیب در سیاست تولید پایدار و تولید حداکثری برابر با ۸۳۸۸۶۶ میلیارد ریال و ۸۳۸۲۶۴ میلیارد ریال است. سهم پیمانکاران معدن نیز در این دو سیاست به ترتیب گذشته برابر با ۶۵۶۴۲ میلیارد ریال و ۶۴۱۲۶ میلیارد ریال می‌باشد. در اینجا سهم بازیکن اول (دولت) از بازیکن دوم (پیمانکاران معدن) بیشتر است. به طور کلی عوامل زیادی بر میزان دستاورد نهایی بازیکنان در انتهای بازی دخیل است. در این بازی دولت با توجه به میزان سرمایه‌گذاری بیشتری را که نسبت پیمانکاران در معدن صورت داده، سهم بیشتری را از مسئله تعارض کسب می‌نماید. دیگر پارامتری که در میزان دستاورد نهایی بازیکنان دخیل بود، نرخ تنزیل می‌باشد. هر چه بازیکن در محاسبه نرخ تنزیل خود از حاشیه سود بازار کوچکتری استفاده نماید، سبب نرخ تنزیل کمتری خواهد شد و در نتیجه درآمد کسب شده توسط او در طول زمان با کاهش کمتری مواجه می‌شود و در چانه‌زنی صبورتر خواهد بود. در نتیجه قدرت چانه‌زنی بیشتری نسبت به بازیکن دیگر خواهد داشت. در این مسئله هر چه نرخ تنزیل بازیکنان کوچکتر

توجه به جواب مسئله همکاری بین دولت و پیمانکاران معدن موجب افزایش دستاورد برای هر دو طرف بازی شده و این دلیل باعث گردید که در ادامه به بازی مشارکتی و تشکیل ائتلاف شکل گرفته در بازی پرداخته شود. در ادامه سعی بر این است که سهم طرفین در بازی چانه‌زنی پروژه‌های معدنی تعیین گردد.

همانطور که گفته شد بازی با دو بازیکن شامل سه ائتلاف خواهد بود (در اینجا ائتلاف اول: {۱} دولت، ائتلاف دوم: {۲} پیمانکاران معدن، ائتلاف سوم: {۱،۲} دولت و پیمانکاران معدن). مقادیر ائتلاف‌ها در صورت انتخاب هر یک از سیاست‌های موجود برابر با اعداد زیر می‌باشد.

در صورت انتخاب سیاست تولید پایدار:

$$V\{1\} = 814490 \text{ میلیارد ریال}$$

$$V\{2\} = 45723 \text{ میلیارد ریال}$$

$$V\{1 \text{ و } 2\} = 815820 + 88688 = 904508 \text{ میلیارد ریال}$$

در صورت انتخاب سیاست تولید حداکثری:

$$V\{1\} = 814490 \text{ میلیارد ریال}$$

$$V\{2\} = 44760 \text{ میلیارد ریال}$$

$$V\{1 \text{ و } 2\} = 818172 + 84218 = 902390 \text{ میلیارد ریال}$$

در اینجا $V\{1\}$ میزان دستاورد دولت در سرمایه‌گذاری امانی، $V\{2\}$ میزان دستاورد پیمانکاران در سرمایه‌گذاری پیمانی و $V\{1 \text{ و } 2\}$ میزان دستاورد دولت و پیمانکاران در سرمایه‌گذاری تعاونی می‌باشد. برای محاسبه مقدار بهینه چانه‌زنی نیاز است با استفاده از رابطه (۸)، معادله خطوط ایجاد شده توسط تابع‌های مشخصه را به دست آورده سپس نقطه تلاقی خطوط جواب مسئله چانه‌زنی بین دولت و پیمانکاران معدن می‌باشد. در ادامه معادله خط ائتلاف دولت و پیمانکاران آورده شده است.

در صورت انتخاب سیاست تولید پایدار:

$$\frac{y - 45723}{x - 814490} = \frac{0.48}{0.52}$$

شود، در طول بازی چانه‌زنی، دولت و پیمانکاران معدنی صورت‌ر عمل خواهند نمود. نتیجه دیگری که می‌توان از سهم بازیکنان در سیاست‌های اتخاذ شده گرفت این است که اگر سهم پیمانکاران در ائتلاف تولید معدنی در وضعیت تولید حداکثری به مقدار ۶۵۶۴۲ میلیارد ریال برسد، تفاوتی میان سیاست‌ها برای پیمانکاران وجود ندارد. این وضعیت برای بازیکن دیگر یعنی دولت نیز وجود دارد. دولت هم به دلیل سودهای بیشتری که سیاست تولید پایدار نصیب جامعه می‌کند، از این وضعیت دست‌آورد بیشتری کسب می‌نماید. نکته قابل توجه این است که اگر دولت پاداش نظارتی خود را برابر با اختلاف سهم خود در این دو سیاست وضع نماید، حالتی رخ می‌دهد که دولت ترجیحی در انتخاب و یا اتخاذ سیاست‌های استخراجی نداشت.

با توجه به حیاتی بودن استخراج منابع در زمینه توسعه اقتصادی و پایداری محیط زیست، تحلیل سناریوها، پارامترها و تأثیرات آن‌ها بر رفتار بازیکنان در پروژه‌های معدنی، نقش مهمی در درک پویایی مشارکت دارد. این مقاله توانسته به تصمیم‌گیران و ذینفعان در پروژه‌های معدنی کمک کند تا عوامل تأثیرگذار بر راهبردهای همکارانه و نتایج تعادل را درک کنند. مفهوم چانه‌زنی نش در زمینه همکاری‌های عمومی و خصوصی در صنعت معدن می‌تواند یک راهبرد کلیدی برای توسعه پایدار باشد. این نظریه، که به عنوان یک چارچوب ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به دقت به تعاملات و رفتارهای اجتماعی بین دولت و شرکت‌های معدن می‌پردازد. از این روی، این مدل می‌تواند بهبود در فهم موازنه و همکاری بین نهادهای عمومی و خصوصی در پروژه‌های معدن ایجاد کند. استفاده از این مدل برای تصمیم‌گیری بهتر در مدیریت منابع، با کمک نظارت دولتی نقش مهمی در توسعه پایدار ایفا می‌کند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مشارکت بخش عمومی و خصوصی و اعمال پارامترهای تشویقی در اتخاذ بخش خصوصی به سیاست‌های تولید پایدار، تأثیر مثبتی دارد. در بخش پیشنهادها می‌توان در بررسی‌های آینده به تأثیرات اقتصادی و اجتماعی استخراج منابع و میزان اثربخشی سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه محلی اشاره نمود. تحلیل تأثیرات محیط‌زیستی استخراج منابع بر اکوسیستم و

راه‌حل‌های قابل اجرای دولتی را نیز می‌توان به عنوان یکی از مباحث مورد تحقیق دیگر در نظر گرفت. همچنین، توسعه بیشتر در زمینه پارامترهای اقتصادی و اجتماعی می‌تواند کامل بودن مدل را افزایش دهد و اثرات سودمند توسعه پایدار را ارزیابی کند.

۶. جمع‌بندی

استخراج مواد معدنی یکی از زمینه‌های اساسی در تأمین نیازهای مواد اولیه برای تولید صنعتی و اقتصادی جوامع جهانی است. با این حال، روابط بین بخش عمومی و خصوصی در این صنعت ممکن است پیچیده و چالش‌برانگیز باشد، به ویژه زمانی که یک شراکت دوجانبه وجود دارد. برای بهبود مدل‌سازی رابطه بین دولت و پیمانکاران معدنی در این تحقیق از روش چانه‌زنی نش برای ارائه راهبردها و مقادیر مشارکت بازیکنان استفاده گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مشارکت بخش عمومی و خصوصی و اعمال پارامترهای تشویقی در اتخاذ سیاست‌های تولید پایدار توسط پیمانکاران معدنی، تأثیر مثبتی دارد. در آخر نیز با محاسبه میزان دست‌آورد هر یک از بازیکنان می‌توان دریافت که سهم دولت در سیاست تولید پایدار و تولید حداکثری به ترتیب ۸۳۸۸۶۶ میلیارد ریال و ۸۳۸۲۶۴ میلیارد ریال است. در مقابل، سهم پیمانکاران معدن نیز در این دو سیاست به ترتیب ۶۵۶۴۲ میلیارد ریال و ۶۴۱۲۶ میلیارد ریال می‌باشد. بر این اساس دست‌آورد دریافتی بخش دولتی نسبت به بخش خصوصی بیشتر است، در این صورت قدرت چانه‌زنی بخش دولتی بالاتر از بخش خصوصی خواهد بود. دلیل این امر، حجم سرمایه‌گذاری بالای دولت نسبت به بخش خصوصی می‌باشد.

پانوشتها

1. Nash bargaining
2. Strategy
3. Abdul Rehman and Min Ishak
4. Marco Buso and Luciano Greco
5. Phan Hong Son and Phan Kim Anh
6. Mark Schopf and Achim Voss
7. Payoff
8. Complete information game
9. Cooperative game
10. Perfect game

۷. مراجع (References)

1. Faraji-Kalarijani, H.R. and Jalali, S.M.E., 2020. Identifying and Prioritizing Factors Affecting the Success of Public/Private Participation in Mining Projects. *Journal of Mining Engineering*, 15(47), pp.14-29. [In Persian]. 10.22034/ijme.2020.105336.1714
2. Domínguez-Gómez, J.A. and González-Gómez, T., 2021. Governance in mining: Management, ethics, sustainability and efficiency. *The Extractive Industries and Society*, 8(3), p.100910. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.100910>
3. Balhasan, S., Alnahhal, M., Shawan, S., Salah, B., Saleem, W. and Tabash, M.I., 2022. Optimization of Exploration and Production Sharing Agreements Using the Maxi-Min and Nash Solutions. *Energies*, 15(23), p.8970. <https://doi.org/10.3390/en15238970>
4. Aghadadashli, H., Dertwinkel-Kalt, M. and Wey, C., 2016. The Nash bargaining solution in vertical relations with linear input prices. *Economics Letters*, 145, pp.291-294. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.07.008>
5. Buso, M. and Greco, L., 2023. The optimality of public-private partnerships under financial and fiscal constraints. *Journal of Economics & Management Strategy*. <https://doi.org/10.1111/jems.12520>
6. Cheng, S., Zuo, X., Wei, Z., Ni, K. and Wang, C., 2022. Nash bargaining-based cooperative game for distributed economic scheduling of microgrid with charging-swapping-storage integrated station. *International Journal of Energy Research*, 46(15), pp.23927-23938. <https://doi.org/10.1002/er.8689>
7. Rehman, M. and Ishak, M., 2023. Moderation role of government acts, laws and policies between economic factors and risk management: A case study of Saudi Arabia contractors. *Journal of Project Management*, 8(4), pp.213-226. <https://doi.org/10.5267/j.jp.m.2023.8.001>
8. Liu, G., Wei, L., Gu, J., Zhou, T. and Liu, Y., 2020. Benefit distribution in urban renewal from the perspectives of efficiency and fairness: A game theoretical model and the government's role in China. *Cities*, 96, p.102422. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102422>
9. Lippman, S.A., McCardle, K.F. and Tang, C.S., 2013. Using Nash bargaining to design project management contracts under cost uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 145(1), pp.199-207. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.036>
10. Liu, D., Li, G., Hu, N. and Ma, Z., 2019. Application of real options on the decision-making of mining investment projects using the system dynamics method. *IEEE Access*, 7, pp.46785-46795. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909128>
11. Liang, J., Shirsat, A. and Tang, W., 2020. Sustainable community based PV-storage planning using the Nash bargaining solution. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 118, p.105759. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105759>
12. Collins, B.C. and Kumral, M., 2020. Game theory for analyzing and improving environmental management in the mining industry. *Resources Policy*, 69, p.101860. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101860>
13. Son, P.V.H. and Anh, P.K., 2021. Applying the noncooperative game model for compensation concept in contractor selection process for large-scale projects. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-HUCE*, 15(3), pp.123-135. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(3\)-10](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3)-10)
14. Schopf, M. and Voss, A., 2019. Bargaining over natural resources: Governments between environmental organizations and extraction firms. *Journal of Environmental Economics and Management*, 97, pp.208-240. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.12.002>
15. Sharafi, A., Amalnick, M.S. and Taleizadeh, A.A., 2022. Optimal readjustment of contract variables and the financial outcome of PPP projects in the operation period. *Construction management and economics*, 40(2), pp.87-103. <https://doi.org/10.1080/01446193.2021.2007536>
16. Matsumoto, A. and Szidarovszky, F., 2016. *Game theory and its applications* (p. 35). Tokyo: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-54786-0>
17. Leyton-Brown, K. and Shoham, Y., 2022. *Essentials of game theory: A concise multidisciplinary introduction*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-01545-8>
18. Compte, O. and Jehiel, P., 2010. The coalitional Nash bargaining solution. *Econometrica*, 78(5), pp.1593-1623. <https://doi.org/10.3982/ECTA7883>
19. Contreras, I., Lozano, S. and Hinojosa, M.A., 2021. A DEA cross-efficiency approach based on bargaining theory. *Journal of the operational research society*, 72(5), pp.1156-1167. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1755898>
20. The Privatization Agency (2019). The performance report of the privatization agency in 2019 with a comparison approach with the performance of previous years, [In Persian].
21. Organization of Management and Planning of the Islamic Republic of Iran, monitoring report of provincial construction projects in 2019, vice president of strategic monitoring, capital budget monitoring affairs, [In Persian].
22. Organization of Management and Planning of the Islamic Republic of Iran, evaluation report of selected national projects implemented in 2019, deputy of strategic supervision, capital budget supervision affairs, [In Persian].
23. Central Bank of the Islamic Republic of Iran, Capital Assets Acquisition Report in 2019, Economic Time Series Data Bank, Department of Economic Investigations and Policies, [In Persian].
24. Central Bank of the Islamic Republic of Iran, Private Sector Investment Report in 2019, Economic Time Series Information Bank, Department of Economic Research and Policies, [In Persian].