نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال هفتم/ شماره ۲۲/ بهار ۱۴۰۰ / صفحات ۱۴۸ - ۱۳۱

قراردادهای بهینه بهره‌برداری از مولدهای مقیاس کوچک تولید برق: مسئله کارگزار- کارفرما

داوود منظور
دانشیار اقتصاد، دانشگاه امام صادق(ع) (نویسنده مسئول)
manzoor@isu.ac.ir
سیدصادق نیکوسپهر
کارشناس ارشد مدیریت اجرایی، دانشگاه شریف، پردیس کیش
nikoosepehr@gmail.com

در فضای صنعت برق تجدید ساختار یافته که مالکیت مولدها و نیروگاه‌های برق در اختیار بخش خصوصی قرار می‌گیرد و بهره‌برداری و نگهداری از آن نیز در قالب قرارداد بهره‌برداری توسط یک شرکت بهره‌بردار خصوصی دیگر صورت می‌گیرد، تحلیل نظام‌مند روابط بین طرفین، نیازمند بررسی و واکاوی قراردادهای منعقده مابین آنها می‌باشد. از آنجاییکه قراردادها، مهمترین عامل شکل دهنده تعامل بین این بازیگران است انتخاب یک الگوی پرداخت مناسب جهت جبران خدمات شرکت بهره‌بردار بهترین راه حصول اطمینان از اثربخش بودن تعامل بین طرفین (کارگزار و کارفرما) می‌باشد. مع‌الوصف پدیده اطلاعات نامتقارن، که به نوبه خود کژمنشی و کژرفتاری را به دنبال دارد، مانع اصلی در مقابل طراحی و اجرای یک قرارداد ایده‌آل و مطلوب می‌باشد. در این مقاله روابط میان مالک مولد مقیاس کوچک و بهره‌بردار این مولد در چارچوب یک قرارداد بهره‌برداری و در قالب نظریه بازی‌ها با تاکید بر کژمنشی و کژرفتاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور و با در نظر گرفتن برخی فروض در مورد مالکان و بهره‌برداران مولدهای مقیاس کوچک، تلاش می‌نماییم تا قراردادهای بهینه از نظر مالک مولد را به منظور پیشنهاد به بهره‌بردار با رویکرد ریاضی به نحوی طراحی نماییم که مطلوبیت انتظاری مالک مولد حداکثر شده و در عین حال مشارکت و انگیزش بهره‌بردار نیز به خوبی حاصل شود. در خاتمه تلاش می‌شود تا با شبیه‌سازی فضای واقعی و به کمک الگوریتم ژنتیک پاسخ نظری به دست آمده صحت‌سنجی شود. بر اساس یافته‌های این مقاله کارفرما می‌تواند قراردادهای پیشنهادی معینی را که در این مقاله بدان اشاره شده است و با توجه به شناخت اولیه خود از جامعه کارگزاران هدف (بهره‌برداران از مولدهای مقیاس کوچک) طراحی نماید به گونه‌ای که مطلوبیت انتظاری وی حداکثر شود.

واژگان کلیدی: مسئله کارگزار-کارفرما، کژمنشی، کژگزینی، اطلاعات نامتقارن، الگوی پرداخت، قرارداد بهینه، مولد مقیاس کوچک

تاریخ دریافت: ۶ / ۱۲ / ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۸ / ۳ / ۱۴۰۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

۱. مقدمه

تلاش علم اقتصاد در تحلیل روابط گسترده و پیچیده بین عوامل اقتصادی پیدایش نظریه‌های فراوان و متنوع در پی داشته است. یکی از مهم‌ترین نظریه‌های موجود در این علم که به بررسی تصمیم‌گیری افراد در شرایط تعامل با یکدیگر می‌پردازد نظریه بازی‌ها[1] است. نظریه بازی‌ها شامل مباحث متنوعی می‌باشد که مسئله کارگزار-کارفرما[2] یکی از این موضوعات است. در عین حال مسئله استخراج قرارداد بهینه نیز که عموما در کنار مسئله کارگزار-کارفرما قرار می‌گیرد از دیگر زیر شاخه‌های نظریه بازی‌ها است.

در حالی که عمده انرژی الکتریکی مصرفی توسط نیروگاه‌های بزرگ و در محل نیروگاه تولید می‌شود، تولید برق از مولدهای مقیاس کوچک و در نزدیکی مصرف‌کنندگان یکی از روش‌های حل معضلاتی از جمله آلایندگی نیروگاه‌ها، راندمان پایین برخی فناوری‌های تولید برق، غلبه بر تلفات شبکه انتقال و کاهش هزینه‌های تحمیل شده بابت پیک مصرف می‌باشد. به صورت میانگین در دنیا نزدیک به ۲ تا ۳ درصد کل انرژی تولید شده توسط مولدهای مقیاس کوچک تولید می‌شود(کومار ۲۰۱۵). در این شرایط سهم این مولدها از تولید انرژی در کشور ایران ۱/۴ درصد می‌باشد(آمار تفصیلی صنعت برق شرکت توانیر ۱۳۹۷). با عنایت به اینکه صنعت تولید برق از مولد مقیاس کوچک در فضای کاملا خصوصی و ما بین دو فعال بخش خصوصی شکل گرفته است، حرکت مشخصی از طریق بخش حاکمیتی برای ارائه تیپ قرارداد بهره‌برداری برای این مولدها صورت نگرفته است. البته راهنمایی‌های صورت گرفته در قالب سمینارها و و کارگاه‌های آموزشی برگزار شده در این زمینه اثربخشی خود را داشته است اما هنوز نه بخش دولتی و نه بخش خصوصی

1. Game Theory
2. Principal-Agent Problem

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

نسبت به تهیه یک قرارداد بر پایه مطالعات اقتصادی و با در نظر گرفتن اثرات ناشی از کژمنشی و کژگزینی اقدامی انجام نداده‌اند.

پیش از اینکه به جزئیات مسئله کارگزار-کارفرما پرداخته شود باید به یکی از مهمترین و تاثیرگذارترین عوامل دخیل در تعیین شرایط بازی بپردازیم. این عامل مهم و تاثیرگذار اطلاعات است. اهمیت اطلاعات از این جهت است که کامل بودن یا نبودن اطلاعات برای هر طرف بازی بر روی عملکرد طرف دیگر تاثیر مستقیم گذاشته و این مجموعه تصمیم‌گیری‌ها و عملکرد هر طرف بازی است که باعث شکل‌گیری یک بازی می‌شود.(تیرول ۱۹۸۸)

از این رو، عدم تقارن اطلاعات[1] بین طرفین یک بازی موجود که رفتار نامشهود و اطلاعات نامشهود را در پی دارد، ایجاب می‌کند در ذیل نظریه کارگزار-کارفرما دو مساله کژگزینی و کژمنشی مورد توجه قرار گیرد. کژگزینی به معنی انتخاب اشتباه از سوی یکی از طرفین بازی می‌باشد و در اثر اطلاعاتی بوجود می‌آید که از دید وی پنهان بوده است. این حالت را اصطلاحا اطلاعات پنهان[2] می‌نامند. کژمنشی هم به معنی عدم رفتار درست یکی از طرفین بازی می‌باشد و دلیل آن پنهان بودن برخی از رفتارهای وی برای طرف دیگر بازی است. این حالت نیز اصطلاحا رفتار نامشهود[3] نامیده می‌شود.(تیلن ۱۹۹۸)

زمانی که قرارداد نوشته می‌شود، نگرانی اصلی رابطه بین مالکیت و کنترل است. کارفرما در نظر دارد قرارداد را به گونه‌ای طراحی کند که کارگزار منافع او را حداکثر کند با در نظر گرفتن این حقیقت که منافع کارگزار ممکن است با منافع کارفرما همراستا نباشد، بنابر این کارفرما باید انگیزه‌ای فراهم کند تا کارگزار در راستای منافع او حرکت کند. همزمان، عامل سیستم نظارتی طراحی میکند که او را قادر می‌کند بر نحوه عملکرد کارگزار نظارت داشته باشد و او را از کژمنشی باز دارد. به عبارت بهتر، کارفرما می‌خواهد چارچوبی در قرارداد طراحی کند که کارگزار را تشویق

1. Asymmetric Information
2. Hidden Information
3. Hidden Action

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

نماید تلاش خود را حداکثر کند تا حداکثر حقوق و پاداش را داشته باشد و همچنین سود کارفرما را هم حداکثر نماید.(سیدنورایی ۱۳۹۴) در هر قرارداد کارفرما با دو نوع کلی از کارگزار(نوع کارا و نوع ناکارا) روبه‌رو است. اصولا اگر حاصل تلاش و عملکرد هر کارگزار قابل مشاهده و قابل اثبات باشد، کارفرما می‌تواند قرارداد کامل و بدون دغدغه در خصوص مسئله انگیزش به وی پیشنهاد دهد اما تفاوت کارایی عموما چندان قابل مشاهده نیست و در صورت مشاهده‌پذیری نیز اغلب قابلیت اثبات ندارد. بنابراین، مسپله اول این بوده کارفرما احتمالا از سطح کارایی یا به عبارت دیگر نوع کارگزار اطلاع نداشته و در این شرایط کارگزار نوع ناکارا می‌تواند به خود را به عنوان کارگزار نوع کارا به وی معرف نماید.(خداپرست، ۱۳۹۴)

در ابتدا تلاش می‌کنیم عوامل شکل‌گیری اطلاعات نامتقارن را به صورت ریاضی بیان کنیم. سپس ضمن طراحی و توصیف ساختار ریاضی یک قرارداد، سعی خواهیم کرد بهترین گزینه‌های ممکن در خصوص الگوی پرداخت بهینه را شناسایی کنیم، این الگوی بهینه عملا مبنای پیشنهاد قراردادها از سوی کارفرما قرار می‌گیرد که از این پس آن را «فهرست قراردادهای پیشنهادی کارفرما» می‌نامیم. این گزینه‌ها نشان دهنده ترکیبی از قرارداد است که کارفرما با شناخت اولیه از جامعه کارگزاران اطراف خود تهیه و در هنگام عقد قرارداد به آنها پیشنهاد می‌نماید.

در نهایت با استفاده از روش مونت‌کارلو و بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک، تلاش خواهیم کرد تا مسئله را که به صورت ریاضی طراحی و حل شد شبیه‌سازی کرده و جواب بهینه آن را با جواب بهینه ریاضی پیشین مقایسه نماییم.

نتایج این شبیه‌سازی حاکی از آن است که پاسخ به دست آمده از راه‌حل نظری مسئله در عمل نیز بهترین سازوکار طراحی «فهرست قراردادهای پیشنهادی کارفرما» می‌باشد چرا که پاسخ بهینه حاصل از شبیه‌سازی بسیار نزدیک به جواب نظری بدست آمده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

۲. ساختار الگوی نظری و چارجوب بازی پیشنهادی

در طراحی الگوی پیشنهادی دو مسئله کژمنشی و کژگزینی در قرارداد مابین کارفرما و کارگزار به منظور بررسی قراردادهای بهره‌برداری از مولدهای تولید همزمان برق و حرارت به طور همزمان مورد تاکید و تصریح قرار می‌گیرد. فرض ما بر این است که مالک مولد (کارفرما) به دنبال برون‌سپاری بهره‌برداری از مولد خویش می‌باشد.

جهت سهولت میزان انرژی را که توسط این تاسیسات تولید می‌شود (اعم از برق و حرارت) به صورت $p = \overline{p} + e(\theta) + \varepsilon$ در نظر گرفته می‌شود. در رابطه متغیر $p \in P \subseteq \mathcal{R}$ از سه مؤلفه تشکیل می‌شود که $\overline{p}$ نشان دهنده بخش ثابت ارزش محصول بنگاه است که صرفنظر از نحوه بهره‌برداری از مولد، این مقدار به عنوان حداقل مورد انتظار تولید خواهد شد. $e(\theta)$ نشان دهنده میزان تلاش بهره‌بردار بوده و به صورت مستقیم نشان دهنده تاثیر عملکرد بهره‌بردار بر روی درآمد مالک مولد (کارفرما) می‌باشد. متغیر تصادفی ε نیز نشان دهنده جزء اختلال است که سایر عوامل محصول را منعکس می‌نماید و با توزیع نرمال به صورت $\varepsilon = N(0, \sigma^2)$ تعریف می‌شود. بدین ترتیب، ارزش محصول یک متغیر تصادفی با تابع توزیع $\Phi(\mathrm{p}, \mathrm{e})$ خواهد بود.

یکی از ملاحظات اصلی در این الگو مساله کژگزینی است. فرض بر آن است که کارفرما از پیش شناخت کاملی از کارگزار نداشته و راهی نیز برای شناخت کارگزار پیش رو ندارد. از این رو، وی اقدام به طراحی و پیشنهاد چندین گزینه قرارداد متفاوت می‌نماید و هر کدام از این قراردادها را بر حسب مشخصات مفروض برای گروه‌های مختلفی کارگزاران احتمالی می‌نماید. کارگزاردر مقابل، از مشخصات خود کاملا آگاهی داشته و در نتیجه از میان قراردادهای پیشنهادی، قرارداد را بر اساس مشخصات خود انتخاب خواهد کرد.بدین ترتیب، قرارداد انتخاب شده توسط کارگزاران نشان می‌دهد وی به کدامیک از گروه‌های طبقه‌بندی شده اولیه تعلق دارد و در نتیجه کارفرما می‌تواند مقدار θ متناظر با این کارگزار را برآورد نماید، این برآورد از پارامتر θ را $\hat{\theta}$ می‌نامیم.

ملاحظه دوم در طراحی و تحلیل این الگو موضوع کژمنشی است. با توجه به عدم اشراف کامل کارفرما به نحوه بهره‌برداری از مولد، و با توجه به اینکه تنها عاملی که به عنوان مشاهده کارفرما از

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

عملکرد کارگزار میزان خروجی مولد است، کارفرما با رفتار نامشهود و یا مسئله کژمنشی روبرو است. بدین مفهوم که وی آگاهی چندانی از میزان تلاش کارگزار نخواهد داشت. این در حالی است که کارفرما برای بیشینه کردن مطلوبیت مورد انتظار خود نیاز به سطح مطلوبی از تلاش توسط کارگزار دارد.بر این اساس، نحوه پرداخت در قراردادها باید به گونه‌ای طراحی شود که اطمینان حاصی نماییم رفتار کارگزار (میزان تلاش وی) متناسب با سطح بیشینه مطلوب انتظاری کارفرما، خواهد بود. (تیلن ۲۰۰۳)

مطلوبیت کارفرما به طور مستقیم به میزان درآمد وی (ارزش تولید) بستگی دارد. به هر حال با توجه به ماهیت تصادفی ارزش محصول، متغیرهای درآمد بنگاه و در نتیجه مطلوبیت کارفرما نیز تصادفی خواهد بود. چنانچه پرداخت به کارگزار را $w(p,\hat{\theta})$ نشان دهیم در نتیجه درآمد کارفرما و مطلوبیت وی از روابط $\mathrm{u^P(p,w)} = p - w(p,\hat{\theta})$ خواهد بود و در نتیجه مطلوبیت انتظاری وی از رابطه $\mathrm{Eu^P} = \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \int_{\underline{p}}^{\overline{p}} \big(\mathrm{p - w(p,\theta)}\big).\, \Phi\big(\mathrm{p, e(\theta)}\big)\, \mathrm{dp} \quad \mathrm{g(\theta)\, d\theta}$ محاسبه می‌شود.

کارگزاران احتمالی در این مساله در این مسئله بر حسب ویژگی هر یک از آنها، که با پارامتر θ آن را نشان می‌دهیم دسته‌بندی می‌شوند. به طوریکه $\theta \in \Theta = [\underline{\theta}, \overline{\theta}]$ نشان دهنده نوع کارگزار می‌باشد.این متغیر تصادفی با تابع توزیع $G(\theta)$ بوده و تابع چگالی احتمال $g(\theta)$ مشخص می‌شود. در بازه $[\underline{\theta}, \overline{\theta}]$، هرچه مقدار θ افزایش یابد، کارایی بهره‌بردار افزایش میابد. کارایی بهره‌برداری با مقدار نهایی[1] افزایش هزینه بهره‌برداری به نسبت میزان تلاش بهره‌بردار سنجیده می‌شود. بدین منظور تلاش بهره بردار با $e(\theta) \in E = [0, \overline{e}]$ نشان داده می‌شود و هزینه بهره‌برداری که با $d(\theta, e(\theta))$ تعریف می‌شود که $d(.,.) \in C(\Theta \times E, \mathcal{R})\ ,\ \ e(.) \in C(\Theta, \mathcal{R})$. بر این اساس مطلوبیت کارگزار از رابطه $u^A(e,w) = 1 - e^{-r.\left(w(p,\hat{\theta}) - d(e,\theta)\right)}$ و کمیت انتظاری مطلوبیت وی نیز از رابطه $Eu^A = \int_{\underline{p}}^{\overline{p}} \left(1 - e^{-r.(w(p,\hat{\theta}) - d(e,\theta))}\right).\, \Phi\big(p, e(\theta)\big)\, dp$ محاسبه می‌شود.

بدین ترتیب مي‌توان گفت مدل پیشنهادي است که بر اساس دسته‌بندي‌هاي مرسوم

1. Marginal

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

۱. یک بازی نامتقارن[1] است چرا که مجموعه راهبردهای[2] یکسانی برای بازیگران مختلف بازی وجود ندارد.

۲. یک بازی مجموع غیر صفر[3] است چرا که اتخاذ برخی راهبردها توسط یک بازیگر می‌تواند باعث کاهش مطلوبیت هر یک از بازیگران از جمله بازیگر مفروض می‌شود.به عنوان مثال عملکرد ضعیف کارگزار به کاهش سود کارفرما و در عین حال کاهش سود خود کارگزار (به دلیل سهم وی از فروش انرژی) خواهد انجامید.

۳. یک بازی تصادفی[4] است چرا که عموما متغیرهای دخیل در این بازی از نوع متغیرهای تصادفی هستند. طبقه‌ای که کارگزار در آن قرار می‌گیرد و شرایط طبیعی تاثیرگذار بر محصول بنگاه از جمله این متغیرهای تصادفی می‌باشند.

۴. یک بازی پیاپی[5] است چرا که تصمیمات هر یک از بازیگران به صورت زنجیره‌ای و عموما پس از اطلاع از انتخاب دیگر بازیگران صورت می‌پذیرد.

۵. یک بازی با اطلاعات ناقص است چرا که شامل متغیرهای مشاهده ناپذیر[6] از جمله نوع کارگزار و یا رفتار کارگزار می‌باشد.

توالی و ترتیب بازی مربوط به این مسئله به شرح زیر است:

آغاز این بازی انتخابی است که توسط طبیعت صورت می‌گیرد به طوری که نوع کارگزار به صورت تصادفی مشخص می‌شود.

در این مرحله کارفرما نسبت به طراحی و پیشنهاد فهرست قراردادهای مختلف به کارگزار ارائه می‌نماید تا بدین ترتیب نوع کارگزار را شناسایی نماید.

1. Asymmetric
2. Strategy
3. Non Zero-Sum
4. Random
5. Sequential
6. Unobservable

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

حال کارگزار نسبت به انتخاب یکی از قراردادها و یا رد همگی آنها اقدام می‌نماید. در صورت انتخاب یکی از قراردادها بازی به مرحله بعد می‌رود و در صورت رد همه قراردادها بازی مجددا شروع می‌شود.

کارگزار علاوه بر انتخاب قرارداد می‌بایست در قالب قرارداد ارائه شده سطح تلاش[1] (e) را نیز انتخاب کند، طبعا محصول بنگاه به سطح تلاش انتخاب شده بستگی خواهد داشت.

به هر حال علاوه بر سطح تلاش کارگزار، میزان خروجی بنگاه به انتخاب طبیعت یا میزان جزء اختلال (ε) نیز بستگی خواهد داشت.

در نهایت پرداخت به کارگزار بر اساس الگوی پرداختی مندرج در قرارداد و با توجه به میزان محصول تولیدی صورت می‌گیرد.

۳. قرارداد

بر این اساس فرض بر این است که پرداخت به کارگزار در قالب یک سازوکار انگیزشی[2] صورت می‌گیرد که از دو مولفه اصلی شامل میزان تلاش کارگزار $e(.)$ و الگوی پرداخت $w(.,.)$ تشکیل می‌شود. به طور مشخص و $w(.,.) \in C(\Theta \times P, \mathcal{R})$ دستمزدی است که به نوبه خود با توجه به دو پارامتر $\alpha(.) \in C(\Theta, \mathcal{R})$ و $\beta(.) \in C(\Theta, \mathcal{R})$ تعیین می‌شود. البته هر یک از این دو پارامتر برای گروه‌های مختلف کارگزاران در فهرست قراردادهای پیشنهادی متفاوت می‌باشد. پارامتر α سهم کارگزار از تولید و یا محصول بنگاه می‌باشد و پارامتر β جزء مستقل دستمزد پرداختی به کارگزار می‌باشد که به سطح تولید بستگی ندارد. به زبان ریاضی

$$w(\hat{\theta}, p) = \alpha(\hat{\theta})p + \beta(\hat{\theta}) \qquad (۱)$$

1. Effort
2.Incentive Mechanism

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

٤. حل ریاضی الگوی پیشنهادی

بر اساس توضیحات قسمت گذشته تصمیم‌گیری کارگزار را می‌توان در قالب یک مساله حداکثرسازی مطلوبیت به صورت مقید تعریف کرد.(بایمن ۱۹۸۰) به عبارت دیگر، هدف کاررفرما آن است که الگوی پرداختی را به گونه‌ای انتخاب نماید که مطلوبیت انتظاری وی را ضمن تشویق کارگزار به مشارکت در این بازی و ایجاد انگیزه تلاش کافی برای وی حداکثر نماید. در نتیجه فرم اصلی صورت این مسئله به شکل زیر می‌باشد:

$$\max_{\alpha,\beta} u^P = \int_{\underline{\theta}}^{\overline{\theta}} \int_{\underline{p}}^{\overline{p}} \big(p - w(p,\theta)\big).\Phi\big(p, e(\theta)\big)\, dp \;\; g(\theta)\, d\theta \qquad (۲)$$

$$\big(\theta, e(\theta)\big) \in arg\, max \left\{ \int_{\underline{p}}^{\overline{p}} u\left(w\big(p,\hat{\theta}\big)\right).\Phi\big(p, e(\theta)\big) dp - d\big(e(\theta),\theta\big) \right\} \qquad (۳)$$

$$\int_{\underline{p}}^{\overline{p}} u\big(w(p,\theta)\big).\Phi\big(p, e(\theta)\big) dp - d\big(e(\theta),\theta\big) \geq \bar{u} \qquad (۴)$$

بر اساس معادله 0، کارگزار از تلاشی که انجام می‌دهد دستمزدی دریافت می‌کند که سطح مطلوبیت وی را تعیین می‌نماید. هر چند مطلوبیت از دست رفته ناشی از تلاش و زحمت کار را می‌بایست از مطلوبیت حاصل از درآمد کسر کنیم تا خالص رفاه کارگزار استخراج شود. بر اساس این قید الگوی پرداخت باید به گونه‌ای پرداخت شود که در عین حال با رفتار حداکثرسازی مطلوبیت توسط کارگزار هماهنگ باشد. قید دوم بیان می‌کند خالص رفاه کارگزار حداقل باید به میزانی باشد که جذابیت لازم برای ورود وی به این قرارداد را ایجاد نماید. چنانچه در مسئله فوق تابع چگالی متغیر تصادفی θ را به صورت نرمال فرض کنیم، پس از برخی عملیات جبری مساله مورد نظر به یک مسئله کنترل بهینه تبدیل می‌شود که با استفاده از روش همیلتونین[1] قابل حل می‌باشد که در آن $k(\theta) = \frac{1-G(\theta)}{g(\theta)}$. بر اساس شروط لازم مربوطه خواهیم داشت:

$$1 - d_e(e(\theta),\theta)(1 + r\sigma^2\, d_{ee}) + k(\theta) d_{\theta e}(e(\theta),\theta) = 0 \qquad (۵)$$

$$\widehat{w}(\theta) = d\big(e(\theta),\theta\big) + \frac{r}{2}\sigma^2 d_e\big(e(\theta),\theta\big)^2 - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} d_\theta\big(e(\tilde{\theta}),\tilde{\theta}\big)\, d\tilde{\theta} + \bar{\bar{u}} \qquad (۶)$$

1. Hamiltonian

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

بر این اساس و با توجه به رابطه 0، پارامترهای مربوط به سازوکار خطی پیشنهادی برای پرداخت بهینه در قرارداد به صورت زیر خواهد بود:

$$\alpha(\theta) = d_e(e(\theta), \theta) \quad (۷)$$

$$\beta(\theta) = -d_e(e(\theta), \theta) e\left(e\left(\hat{\theta}\right), \hat{\theta}\right) + d(e(\theta), \theta) + \frac{r}{2}\sigma^2 d_e(e(\theta), \theta)^2 - \int_{\underline{\theta}}^{\theta} d_\theta\left(e\left(\tilde{\theta}\right), \tilde{\theta}\right) d\tilde{\theta} + \bar{\bar{u}} \quad (۸)$$

این پاسخ متشکل از جملات متعددی است که برخی از آنها ناظر به پدیده کژگزینی و برخی دیگر ناظر به رفتار کژمنشی در کارگزاران است. طبعا فرض رفتار ریسک‌گریزی ثابت در کارگزار و همچنین فرض نرمال بودن توزیع محصول بنگاه نقش اساسی در بدست آوردن این نتایج داشته است. در جواب‌های بدست آمده :

$\alpha(\theta)$ نشان‌دهنده درصدی از محصول بنگاه است که به عنوان بخشی از جبران خدمامت کارگزار به او پرداخت می‌شود.

$\beta(\theta)$ نشان‌دهنده مبلغ ثابتی است که مستقل از سطح تولید بنگاه به کارگزار پرداخت می‌شود. این مبلغ ثابت خود از مولفه‌های زیر تشکیل می‌شود:

پیام جمله اول به کارگزار آن است که چنانچه کمتر از میزان مورد انتظار کارفرما تلاش نماید، تنبیه خواهد شد و این اطمینان را در کارفرما ایجاد می‌کند که کارگزار رفتار کژمنشی را انتخاب نخواهد کرد.

جمله دوم نشان می‌دهد کارفرما به میزان زحمت و عدم مطلوبیتی که به کارگزار تحمیل می‌شود، وی را جبران خواهد نمود.

جمله سوم نشانگر جبران کارگزار متناسب با شدت نااطمینانی حاکم بر فرایند تولید (σ^2) و همچنین میزان ریسک‌گریزی کارگزار(r) می‌باشد. با این پرداخت، کارگزار میان این شغل و شغل دیگری که ریسک کمتری دارد تفاوتی قائل نخواهد شد.

جمله چهارم در اصل هزینه اطلاعات کارفرما است. بدین مفهوم که کارفرما با توجه به عدم شناخت کامل از میزان بهره‌وری فرد داوطلب (گروهی که وی بدان تعلق دارد)، مبلغی را متناسب با

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

تفاوت عدم مطلوبیت وی نسبت به ضعیف‌ترین بهره‌بردار ممکن به وی می‌پردازد تا وضعیت بهره‌وری خود را به درستی آشکار نماید. طبعا این پرداخت به کنترل رفتار کژمنشی توسط بهره‌برداران بالقوه کمک می‌کند.

جمله پنجم در اصل حداقل پرداختی است که جهت برانگیختن کارگزار (بهره‌بردار) نسبت به مشارکت در این بازی مورد نیاز است و به عبارتی محدودیت مشارکت در مساله بهینه‌یابی را تامین می‌نماید.(تیلن ۲۰۰۳)

۵. شبیه‌سازی

به منظور تبیین بیشتر و درک شهودی‌تر از جواب نظری بدست آمده، در ادامه به شبیه‌سازی مونت‌کارلو از رفتار بازیگرانی که در چارچوب این الگو رفتار می‌نمایند اقدام می‌کنیم و نتایج حاصله از شبیه سازی را با رفتار بهینه‌یابی بازیگران در قالب الگوریتم ژنتیک مقایسه خواهیم کرد. در روش مونت‌کارلو آزمایشات بسیار زیاد بر روی یک متغیر تصادفی با در نظر گرفتن تابع توزیع آن صورت می‌گیرد. در الگوریتم ژنتیک برای یافتن پاسخ بهینه مسئله فرض می‌شود پاسخ بهینه از بهبود هر پاسخ نسبت به پاسخ قبلی بدست خواهد آمد بدین ترتیب که نسلی از پاسخ‌ها را به عنوان نمونه انتخاب کرده و با شناخت ژن‌ها، و همچنین تعیین شاخص ضعف و قدرت ژن‌ها، نسبت به تولید نسل بعدی پاسخ‌ها با انتخاب بهترین و قوی‌ترین پاسخ‌های نسل قبل به عنوان والدین نسل جدید اقدام می‌شود. در عین حال در فرایند اجرای الگوریتم ژنتیک، به منظور اطمینان از عدم انتخاب پاسخ بهینه محلی، از جهش ژنتیکی و همچنین تزریق تصادفی افراد جدید به هر نسل استفاده می‌شود. (گلدبرگ ۱۹۸۹)

قبل از انجام عملیات شبیه‌سازی به تقلید از تیلن (۱۹۹۶) و به دلیل قابلیت مقایسه در نتایج شبیه‌سازی و تئوری فرض می‌کنیم:

۱. متغیر تصادفی نوع کارگزار (θ) دارای توزیع احتمال نرمال به صورت $\theta \sim N(0,1)$ فرض می‌شود. در عین حال جهت سهولت در عملیات شبیه سازی کارگزاران بر اساس فرض در بازه $\theta \in \Theta = [-1,1]$ انتخاب می‌شوند.

۲. تابع عدم مطلوبیت کارگزار که نوعی مشخصه ذاتی آن محسوب می‌شود به صورت زیر توصیف می‌شود:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

$$d(\theta, e) = e^2 . exp\ (-\theta) \quad (۹)$$

که در آن همانگونه که قبلا ذکر شد، e میزان تلاش کارگزار در جریان عملیات بهره‌برداری می‌باشد. طبعا این تلاش سطحی از ناخرسندی (عدم مطلوبیت) را به همراه دارد که آن را بر اساس رابطه 0 با $d(\theta, \mathrm{e})$ اندازه گیری می‌نماییم. چنانچه فرد هیچگونه تلاشی نداشته باشد، میزان ناخرسندی(عدم مطلوبیت) وی نیز صفر خواهد بود ($e = 0 \Rightarrow d = 0$). در مقابل، حداکثر تلاش e_{max} برای هر فرد حداکثر ناخرسندی d_{max} را در پی خواهد داشت. به علاوه، بر اساس این رابطه، ناخرسندی ناشی از تلاش معین، برای کارگزارن دارای بهره‌وری پایین‌تر $\theta \to -1$ بیش از کارگزاران با بهره‌وری بالاتر $\theta \to 1$ می‌باشد.

۳. شدت ریسک‌گریزی کارگزاران (r) ثابت و برابر با یک فرض می‌شود.

۴. انحراف معیار متغیر جزء اختلال در تابع تولید (ε)، $s = 0.001$ فرض می‌شود.

٦. بهبود منوی قراردادی با الگوریتم ژنتیک

به منظور بهبود منوی قراردادی و با بهره‌گیری از نتایج بدست آمده از هر مرحله، اقدام به پیاه سازی الگوریتم ژنتیک با مخصات زیر بر روی ماتریس منوهای قراردادی می‌نماییم.

۱. ژن ها[1]: ژن‌های مورد بحث در الگوریتم این مسئله تعداد ۲۰ عدد ژن می‌باشند که بیانگر زوج‌های دوتایی ۱۰ عدد قرارداد هر منو م یباشند .در اصل در ردیف ژن ۱۰ تایی که در مقابل یکدیگر قرارگرفته اند ساختار کروموزوم‌ها را تشکیل می‌دهند.

۲. کروموزوم ها[2]: هر منوی قراردادی یک کروموزوم است که از ۲۰ ژن تشکیل شده است.

۳. نسل[3]: هر ۱۰۰ کروموزوم که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند سازنده یک نسل می‌باشند. این نسل، در اصل همان ماتریس منوهای قراردادی م یباشد که هدف ما بهبود آن خواهد بود.

1. Genes
2. Chromosomes
3. Generation

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

۴. آمیزش :به منظور آمیزش کروموزومها، هر دو کروموزوم والدین را در مقابل یکدیگر قرار داده و به صورت تصادفی یک جفت ژن از هر کدام انتخاب نموده و برای ایجاد کروموزومی در نسل بعد به کار می‌بریم. این عملیات آنقدر تکرار می‌شود تا کروموزوم نسل بعد به اندازه مطلوب یعنی ۲۰ ژن برسد.

۵. جهش: منظور از جهش، انتخاب تصادفی یک ژن برای کروموزوم نسل بعد است به نحوی که این ژن از والدین وی به ارث نرسیده باشد. بدین منظور به صورت تصادفی و با احتمال بسیار پایین چند تا از ژن‌ها را به صورت تصادفی انتخاب خواهیم کرد.

۶. تازه واردها[1]: به منظور خروج احتمالی از محدود نقطه حداکثر محلی، تعداد ۲۰ عدد از کروموزوم‌ها به صورت تاره وارد و کاملا تصادفی انتخاب می‌شوند و به مجموعه اضافه می گردند.

با توجه به تعاریف بالا، ایجاد نسل بعدی از منوهای قراردادی از روی نسل قبلی آنها از طریق الگوریتم زیر صورت می‌پذیرد.

۱. هر نسل شامل ۱۰۰ کروموزوم می‌باشد .

۲. ۵ عدد ازاین کروموزوم‌ها عینا بهترین ۵ کروموزوم نسل قبل می‌باشند.

۳. ۲۵ کروموزم بعدی نتیجه تمامی حالات ازدواج ۵ کوموزوم اول می‌باشد.

۴. ۱۰ کروموزوم بعدی حاصل ازدواج تصادفی دو عدد از ۳۰ کروموزم بعدی می‌باشد.

۵. ۴۰ کروموزوم بعدی حاصل میانگین گرفتن تصادفی از دو کروموزوم از ۴۰ کروموزوم اول می‌باشند.

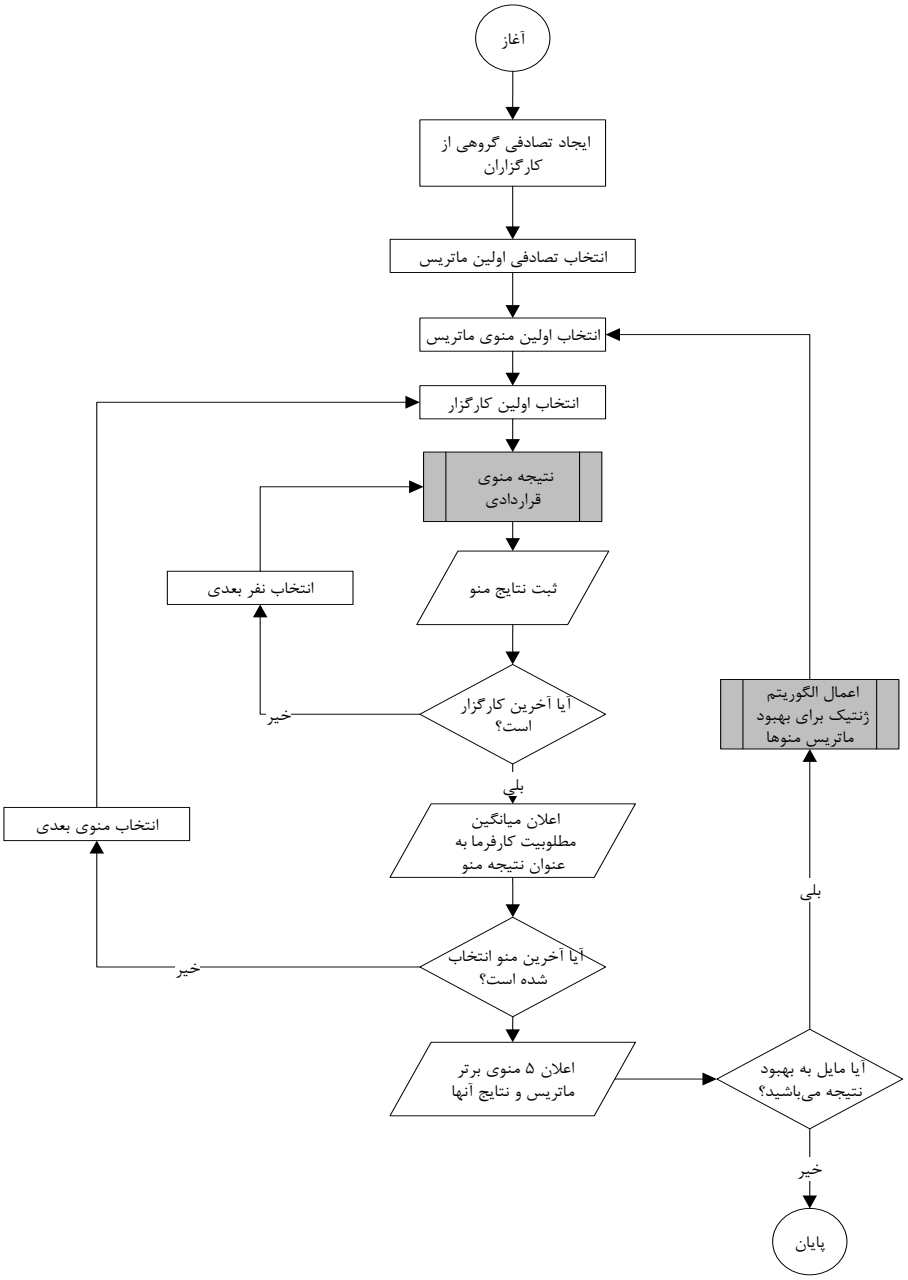
۶. ۲۰ کروموزوم آخر به صورت کاملا تصادفی از خارج از مجموعه وارد می‌شوند.

فلوچارت اجرای نرم‌افزار مورد استفاده در شکل ۱ و شکل ۲ ارائه شده است.[2]

1. Cross Over

۲. کد شبیه‌سازی به کار رفته که در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده است از طریق مولفان در دسترس متقاضیان می‌باشد. این کد جهت بررسی و صحت‌سنجی به داوران ارائه شده است.

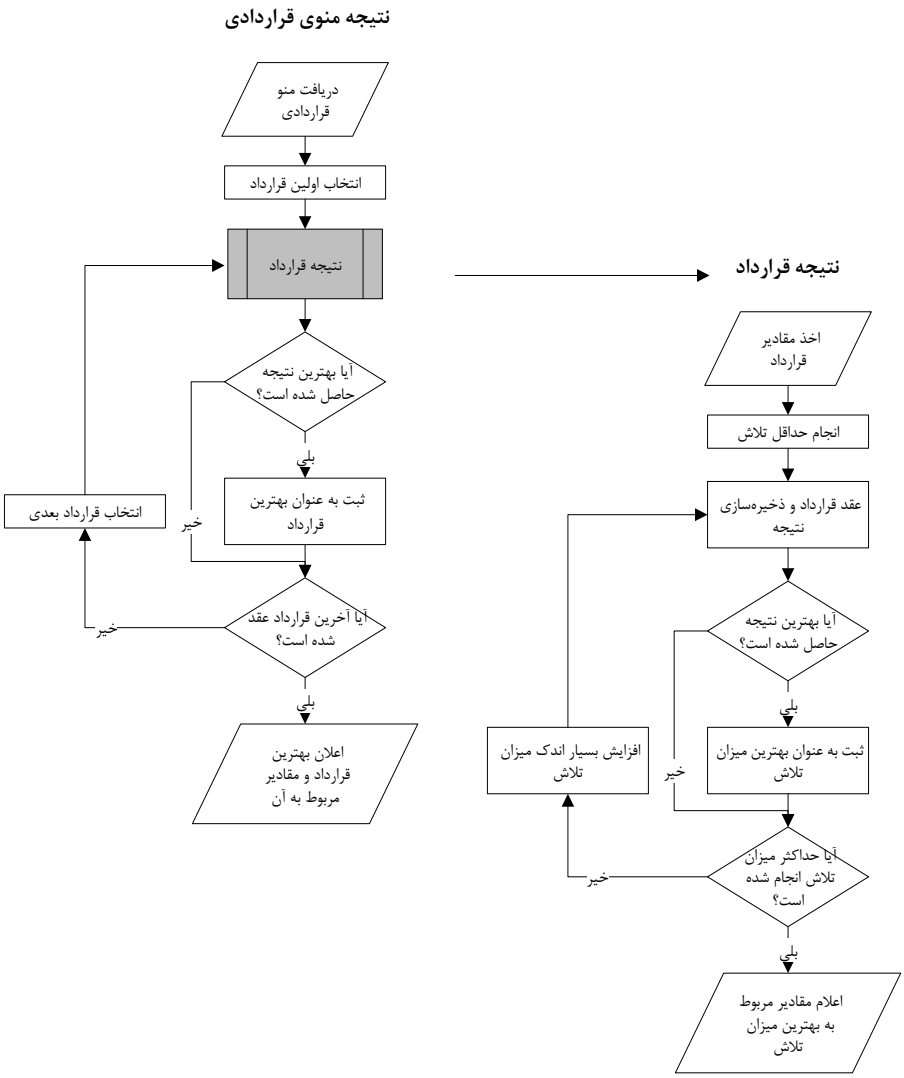
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]



شکل ۱. فلوچارت کلی نرم‌افزار به منظور یافتن بهترین فهرست قراردادهای پیشنهادی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

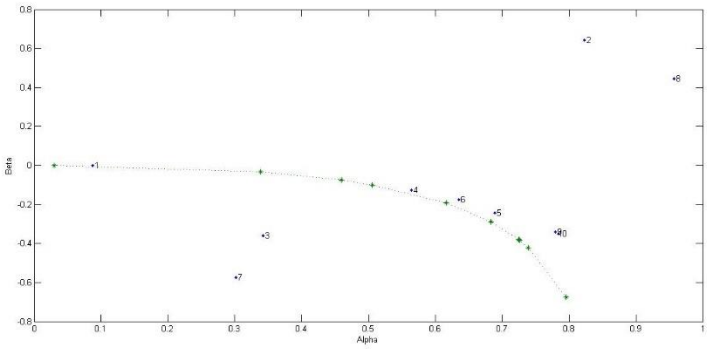
شکل ۲ نشان دهنده زیرفلوچارت «نتیجه منوی قراردادی» می‌باشد که در شکل مشاهده می‌شود.



شکل ۲. زیرفلوچارت‌های مربوط به الگوریتم نرم‌افزار

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

نتایج حاصل از شبیه‌سازی بازی با دو روش حل ریاضی و الگوریتم ژنتیک جهت مقایسه بهتر در نمودار ۸ و نمودار گزارش شده است.

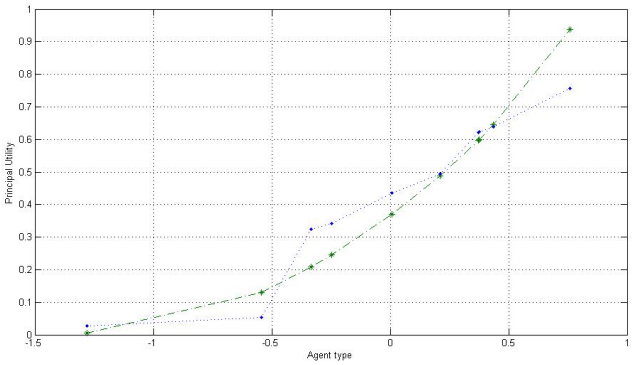


نمودار ۸مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل ریاضی و پاسخ حاصل از الگوریتم ژنتیک (نقاط شماره دار حاصل از شبیه‌سازی بوده و نقاطی که با ستاره و خط‌چین مشخص شده‌اند پاسخ مدل ریاضی می‌باشند)

این نمودار ترکیب فهرست بهینه قراردادهای پیشنهادی کارفرما را که از دو روش مختلف بدست آمده‌اند مقایسه می‌نماید. همانگونه که انتظار می‌رود تشابه قابل ملاحظه‌ای بین این دو ترکیب مشاهده می‌شود. به هر حال در مواردی بین جواب‌های بدست آمده از دو روش تفاوت معناداری مشاهده می‌شود که علت آن به عدم انتخاب برخی از قراردادهای موجود در پاسخ اولیه در تکرارهای بعدی الگوریتم ژنتیک توسط کارگزاران باز می‌گردد. طبعاً قراردادهایی که بر اساس نمودار۵ توسط بازیگران در تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک انتخاب شده‌اند مشابهت زیادی با پاسخ بهینه مدل ریاضی دارند.

مطلوبیت انتظاری کارفرما نیز که از قراردادهای بهینه دو روش حاصل می‌شود در نمودار با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]



نمودار ۴. مقایسه مطلوبیت کارفرما در شبیه‌سازی مدل ریاضی و نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک

همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش θ مطلوبیت کارفرما نیز افزایش یافته و در عین حال مطلوبیت انتظاری مورد محاسبه از دو روش تا حد قابل قبولی با یکدیگر مشابهت دارند.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا با اشاره به سابقه مسئله کارگزار-کارفرما به اهمیت موضوع عدم تقارن اطلاعات بین طرفین این مسئله اشاره نموده و سپس به راه پیشنهادی به منظور کاهش آثار منفی عدم تقارن اطلاعات خصوصا کژمنشی و کژگزینی یعنی ارائه منوی قراردادی پیشنهادی توسط کارگزار پرداختیم. سپس با بررسی روش پیشنهادی (تیلن ۱۹۹۸) در تهیه قرارداد مناسب و پیاده‌سازی آن در یک نرم‌افزار رایانه‌ای، از سوی دیگر با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوی مونت‌کارلو نسبت به حل مجدد مسئله و تهیه منوی بهینه قراردادهای پیشنهادی توسط کارگزار اقدام کردیم و نتایج حاصله را با تئوری تیلن مقایسه نمودیم.

جواب بدست آمده از الگوی ریاضی طراحی شده حاکی از آن است که قرارداد بهینه بهره‌برداری از مولد مقیاس کوچک مابین مالک مولد(کارفرما) و بهره‌بردار آن(کارگزار) به صورت خطی و با عنایت به اینکه مطلوبیت انتظاری مالک مولد حداکثر شده و در عین حال مشارکت و انگیزش بهره‌بردار حاصل گردد بر اساس روابط $w(\hat{\theta},p)=\alpha(\hat{\theta})p+\beta(\hat{\theta})$، 0 و 0 طراحی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]

می‌گردد. این قرارداد با استفاده از الگوی پرداخت خطی طراحی شده و تابعی از میزان بهره‌وری احتمالی کارگزار، جزء اختلال در تولید مولد و همچنین میزان ریسک‌گریزی کارگزاران می‌باشد.

به منظور کاهش اثر عدم تقارن اطلاعات در حین عقد قرارداد و همچنین بهره‌برداری از مولدهای مقیاس کوچک- که به صورت بروز رفتار کژمنشی و کژگزینی از سوی کارگزار و کارفرما مشاهده می‌شود- پیشنهاد می‌شود مالک مولد تعدادی قرارداد از پیش طراحی شده را بر اساس مشخصات کارگزاران مختلف و با استفاده از الگوی ارائه شده در این مقاله تهیه نموده و به کلیه افرادی که به قصد بهره‌برداری از مولد به وی مراجعه می‌کنند ارائه نماید تا هر یک قرارداد طراحی شده‌ی مخصوص به خود را انتخاب نماید. بر اساس یافته‌های این مقاله کارفرما می‌تواند قراردادهای پیشنهادی معینی را که در این مقاله بدان اشاره شده است و با توجه به شناخت اولیه خود از جامعه کارگزاران هدف (بهره‌برداران از مولدهای مقیاس کوچک) طراحی نماید به گونه‌ای که مطلوبیت انتظاری وی حداکثر شود.

منابع

سیدنورانی، محمدرضا و محمد علیمردای (۱۳۹۴)، «بهینه‌یابی تسهیم ریسک در قراردادهای بیع متقابل: کاربردی از نظریه نمایندگی»، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال چهارم، شماره ۱۵، تابستان سال ۱۳۹۴

خداپرست، مهدی و شراره کاووسی (۱۳۹۴)، «اقتصاد تطبیقی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی»، سال دوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۴.

آمار تفصیلی صنعت برق، شرکت توانیر (۱۳۹۷)

Baiman S. And J.S. Demski (1980) Economically Optimal Performance Evaluation and Control System. Journal of Accounting Research, 18, pp.180-220.

Goldberg D.E. (1989) Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Boston: Kluwer Academic.

Kumar Manish and Cherian, Samuel (2015), "An Overview Of Distributed Generation In Power Sector", International Journal of Science, Technology & Management, Volume No 04, Special Issue No. 01.

Theilen B. (1998), Optimal Contract and Organizational Design under Moral Hazard and Adverse Selection. Koln, Germany: Verlag Josef Eul.

Theilen B. (2003), Simultaneous Moral Hazard and Adverse Selection with Risk Averse Agents. Economics Letters, 79 (2).

Tirole J. (1988), The Theory of Industrial Organization. London, Cambridge: MIT press.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-11-17]