فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال سوم/ شماره ۸/ پاییز ۱۳۹۶/ صفحات۱۱۸-۹۹

قیمت‌گذاری فناوری بیوگاز در ایران با رویکرد پویایی سیستم

رستم بهمردی کلانتری
کارشناسی ارشد صنایع، گرایش مدیریت فناوری و نوآوری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(نویسنده مسئول)
rostam.behmardi95@gmail.com
علی اصغر توفیق
دانشیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
ali.a.tofigh@gmail.com
محمد علی شفیعا
دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت
omidshafia@gmail.com

یکی از مسایل عمده در زمینه توسعه استفاده از فناوری‌های تجدیدپذیر و تجاری‌سازی آنها، قیمت بالای این فناوری‌هاست. روش های فعلی قیمت‌گذاری برای فناوری‌ها با دوره عمر کوتاه و میزان قطعیت بالا مناسب هستند. در قیمت‌گذاری فناوری‌های تجدیدپذیر، متغیرهای کلان و خرد زیادی دخیل هستند که ترکیب آنها حالت‌های عدم اطمینان زیادی را ایجاد می‌نماید. لذا طراحی مدلی که علاوه بر متغیرها، روابط متقابل بین آنها را نیز شامل گردد، سبب بهبود قیمت‌گذاری این فناوری‌ها می‌گردد. یکی از عوامل تاثیرگذار بر قیمت فناوری‌های تجدیدپذیر، پدیده یادگیری است، بدین معنا که با افزایش استفاده از فناوری، قیمت فناوری کاهش خواهد یافت. با توجه به اینکه پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مناسب‌ترین روش جهت شبیه‌سازی روابط متقابل بین متغیرها و پدیده یادگیری است، در این مقاله از مدل‌سازی دینامیکی برای قیمت‌گذاری فناوری هاضم بی‌هوازی که یکی از رایج‌ترین فناوری‌های بیوگاز است، استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: پویایی شناسی سیستم‌ها، انرژی تجدیدپذیر، منحنی یادگیری، هاضم بی‌هوازی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

۱. مقدمه

زندگی روزمره انسانها وابستگی شدیدی به تولید و مصرف انرژی دارد، لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به‌طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر بیش از ۷۵ درصد کل انرژی مصرفی جهان را منابع هیدروکربنی تامین می‌کند. سوخت‌های فسیلی با تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرآیند تبدیل و درنتیجه، تخریب لایه اوزون، زیست‌بوم را بشدت مورد تهدید قرار داده و موجب گرم شدن بیشتر کره زمین می‌شوند. بنابراین، به منظور حفظ محیط‌زیست، توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری و لازم به نظر می‌رسد. بیوگاز[1] ازجمله منابع مهم انرژی تجدیدپذیر است و امکان استفاده بهینه از آن در سال‌های اخیر موردتوجه کشورهای مختلف بویژه کشورهای برخوردار از این منبع قرارگرفته است. یکی از روش های تولید بیوگاز، هاضم بی‌هوازی[2] است. هضم بی‌هوازی فرآیندی طبیعی است که در آن میکروارگانیسم‌ها، مواد ارگانیک را در نبود اکسیژن به بیوگاز (ترکیبی از دی‌اکسیدکربن و متان) و ماده گواریده (هضم شده) تبدیل می‌نماید. هاضم بی‌هوازی نسبت به دیگر فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر دارای مزایای بیشتری مانند توانایی تولید پیوسته انرژی برخلاف انرژی بادی، خورشیدی و جزر و مد و قابلیت ذخیره گاز خروجی در شبکه است. علاوه بر این، متان جزو معدود سوخت‌های تجدیدپذیر است که برای وسایل نقلیه سنگین مناسب است. ساخت تجهیزات هاضم بی‌هوازی نسبتا سریع بوده و در مقایسه با دیگر فناوری‌های مدیریت ضایعات ارزان‌تر است، ورودی و خروجی آن قابل‌انعطاف بوده و واحد فرآیند هضم بی‌هوازی می‌تواند بر اساس شرایط محلی و مواد خام اولیه طراحی‌شده و به شبکه گاز و یا برق متصل شود. همچنین با تولید کودهایی با کربن پایین برای کشاورزی، مواد آلی می‌تواند مجددا در مزارع مورداستفاده قرارگرفته و سبب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد.

1.Biogas
2.Anaerobic Digestion

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

آمارها و بررسی‌ها نشان می‌دهند میزان بهره‌برداری از بیوگاز در ایران در مقایسه با بسیاری از کشورها، حتی برخی از کشورهای همسایه نظیر ترکیه، ناچیز است. با توجه به مطالب بیان شده، یکی از گام‌های اساسی در ترویج فناوری بیوگاز، قیمت‌گذاری است. با توجه به ماهیت انرژی‌های تجدیدپذیر علاوه بر عوامل معمول در ارزش‌گذاری فناوری، عوامل دیگری از جمله سیاست‌های دولتی و قوانین بین‌المللی بر روی قیمت فناوری‌های مربوطه تاثیرگذار است.(عدل، ۱۳۹۲)

در این مقاله، با مطالعه کتابخانه‌ای، عوامل موثر بر قیمت‌گذاری فناوری تعیین شد. سپس نحوه ارتباطات متغیرهای مذکور به صورت روابط ریاضی بیان گشت. در انتها، با استفاده از روش پویایی سیستم[1] که به عقیده بسیاری از صاحب نظران بهترین روش برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده است، یک مدل دینامیک طراحی گشت. پس از انجام آزمون اعتبارسنجی و تایید صحت مدل، پیش‌بینی قیمت فناوری با دقت بالا امکان‌پذیر می‌گردد. در نهایت، به منظور شناسایی تاثیر هریک از متغیرها بر روی قیمت فناوری، متغیرهای تاثیرگذار به دو دسته بازار و دولت تقسیم شدند و پس از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، مشخص گشت متغیرهای دولتی به نسبت بازار تاثیر بیشتری بر روی قیمت و توسعه فناوری دارند و یارانه به نسبت سایر متغییرهای دولتی، نقش موثرتری بر روند توسعه و قیمت فناوری دارد.

بیوگاز زمانی تولید می‌شود که میکرو ارگان‌های بخصوصی مواد آلی را در محیط عاری از اکسیژن تجزیه کنند. این فرآیند می‌تواند درون دفنگاه ها، فاضلاب، واحدهای هاضم بی‌هوازی و همچنین هنگام تبخیر گرمایی مواد آلی انجام شود(نورین[2]). بسته به نوع مواد و نوع واحد هاضم بی‌هوازی، محتوای متان[3] بیوگاز متفاوت است.

1.System Dynamics
2.Norin
3.Methane

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش پاپ زن و همکاران (۱۳۹۲) نشـــان داد بیو گاز می توا ند جایگزینی بی بد یل برای سـوخت‌های مرسـوم باشـد. با توجه به پتانسـیل بالای منابع انرژی تجدیدپذیر بویژه بیوگاز در مناطق روستایی و حرکت کشور به سمت واقعی کردن قیمت حامل های انرژی به منظور توسعه و کاربست این انرژی‌ها متناسـب با تحولات جهانی، ضـروری اسـت امکانات و سـاختارهای سـیاسـتگذاری و اجرایی کشـور در زمینه بیوگاز مورد توجه قرار گیرد. طراحی و اسـتفاده از پلنت های بومی از جمله استراتژی‌هایی است که می تواند بهره گیری از این انرژی را بویژه در مناطق کشور تسریع و بسترهای د ست‌یابی به آرمان تو سعه پایدار رو ستایی و کشاورزی را مهیا سازد. نو شتار حا ضر ضمن نگاهی جامع به وضـــعیت انرژی کشـــور با تاکید بر مناطق روســـتایی، به معرفی پلنت بومی طراحی و ثبت اختراع شـــده توســـط نگارندگان پرداخته اســـت، با این امید که بتوان از این رهگذر، گامی هر چند کوچک اما حیاتی در راستای تامین انرژی خانوارهای روستایی و تولید کود آلی غنی شده در جهت تولید محصولات سالم و ارگانیک برداشت.

وفور مواد فسـادپذیر و سـادگی عمل با توجه به کاربرد متنوع و صـرفه اقتصـادی، موجب شـده سـاختمان این واحدها در بسـیاری از کشـورها از جمله هند، نپال، ژاپن، چین، امریکا و کشـورهای اروپایی به صـــورت یک فناوری کاربردی مورد بهره برداری قرار گیرد. در اکثر کشـــورها، برنامه سـاخت و راه‌اندازی واحدهای بیوگاز بویژه در قالب تعاونی های روسـتایی دنبال می شـود. چین و هند از پیشگامان فناوری بیوگاز در دنیا به شمار می روند. از اوایل دهه ۱۹۳۰ تولید بیوگاز با استفاده از مدل گنبدی با محفظه ثابت[1] در چین آغاز گردید و در ســـال ۱۹۷۹ تعاونی های تولید بیوگاز حدود ۱۴۳ میلیارد مترمکعب گاز جهت تامین انرژی حرارتی خانوارهای روستایی تولید نمودند.

1.Plant Dome – Fixed

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

همراه با روند توسعه این فناوری تا سال ۱۹۸۳ بیش از ۷۰ میلیون دستگاه بیوگاز با ظرفیتی معادل ۸ تا ۱۰ مترمکعب حدود ۳۰ میلیون کشاورز را از مزایای بیوگاز بهره‌مند ساختند.(علیزاده، ۱۳۸۶)

موسسه تحقیقات کشاورزی هند طی دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ مدل اولیه بیوگاز را طراحی نمود و نخستین برنامه جامع برای اشاعه واحدهای بیوگاز خانگی در سال ۱۹۶۱ آغاز گردید. اجرای بخش اعظم برنامه های تولید بیوگاز در این کشور برعهده سازمان‌های غیردولتی است(عمرانی، ۱۳۷۵). مشکلاتی از قبیل نقص فنی و مشکل احداث واحدهای با محفظه ثابت، موسسات تحقیقاتی هند را بر آن داشت تا مدل جدیدی را با عنوان مدل استوانه‌ای شناور[1] طراحی کنند.

در کشورهای اروپایی مانند آلمان، بلژیک، دانمارک، فرانسه، یونان، هلند، ایتالیا و فنلاند واحدهای بیوگاز با استفاده از پسماندهای کشاورزی، فضولات انسانی، فضولات دامی و ضایعات کشتارگاه‌ها فعالیت می‌نمایند.(مرادی، ۱۳۸۲)

در ایالات متحده امریکا، کشورهای شمال افریقا وکشورهای جنوب شرق آسیا نیز راه اندازی واحدهای بیوگاز در حال گسترش می باشد.

سابقه تولید بیوگاز در ایران به قرن دهم برمی گردد، گرمابه شیخ بهایی اصفهان یکی از شیوه های استفاده از بیوگاز برای تامین سوخت حرارتی برای تولید آب گرم بوده است. استفاده از بیوگاز در ابعاد وسیع‌تر به سال‌های بعد از انقلاب اسلامی و شرایط ویژه ناشی از جنگ تحمیلی باز می‌گردد. در این مقطع، به علت حساسیت شرایط و پیش‌بینی امکان قطع

1.Plant Drum-Floating

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

توان سوخت رسانی متداول، تمهیداتی به کار گرفته شد که یکی از آنها استفاده از مولدهای بیوگاز بویژه در روستاهای کشور بود و این وظیفه به عهده جهاد سازندگی گذاشته شد. این سازمان پس از گردآوری اطلاعات، مدل شناور را انتخاب کرد و در سال۱۳۶۳ یک نمونه آزمایشی با تولید روزانه ۲۰ مترمکعب گاز در حیدرآباد کرج احداث گردید. در ادامه، ۴۰ واحد بیوگاز در کشور احداث گردید که ۱۸ واحد آن به گازدهی رسید. در سال ۱۳۶۴ یک واحد بیوگاز در روستای چین سیب لی از توابع بخش آق قلا در منطقه گرگان احداث گردید که روزانه ۵ مترمکعب گاز تولید می‌کرد. در سال۱۳۶۶ تولید بیوگاز از سازمان جهاد سازندگی منتزع شد و طرح های مربوط به توسعه این فناوری متوقف گردید. مرادی (۱۳۸۲) ضمن طراحی مدل پلی اتیلنی بیوگاز، آن را در روستای قزل شهرستان کرمانشاه احداث نمود. این واحد روزانه یک مترمکعب بیوگاز تولید می کرد، اما به علت آسیب پذیر بودن محفظه تخمیر نایلونی، این محفظه پس از مدتی تخریب و تولید بیوگاز متوقف گردید. رونق دامداری در گستره وسیعی از کشور و تبدیل دام های سبک به سنگین به دلیل اجرای طرح‌های حفاظت مراتع، موجب شده امکان تولید بیوگاز در بسیاری از مناطق روستایی فراهم گردد.(سعیدی، ۱۳۹۰)

۳. انواع روش های قیمت‌گذاری فناوری

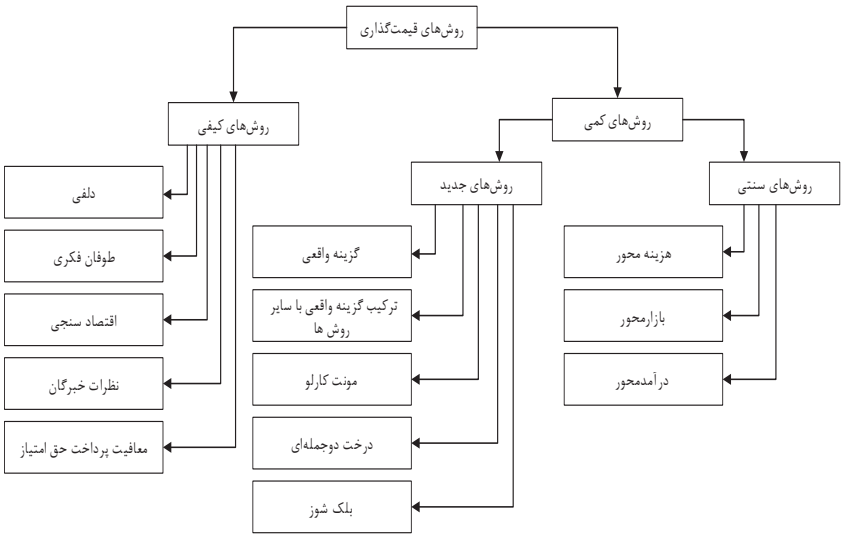
در گذشته، قیمت‌گذاری فناوری بیشتر هنر تلقی می‌شد تا علم. اما در حال حاضر، روشها و رویکردهای متنوعی برای تعیین ارزش فناوری ابداع گردیده است. از روش‌های ساده و سرانگشتی تا روش‌های نوین، هر یک نکات مثبت و منفی خاص خود را دارند و به منظور رفع محدودیت‌های رویکردهای قبلی ابداع گردیده‌اند. در حالت کلی، هیچ یک از این روشها بر بقیه ارجحیت ندارد.(رابرت، ۱۳۸۳؛ طباطبائیان، ۱۳۸۸)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

روش‌های ارزش‌گذاری فناوری به دو دسته کلی ریاضی و تجربی تقسیم می‌گردد که مزایا و معایب هریک از روشها در جدول (۱) آمده است.(بندریان، ۱۳۸۶)

روش‌های کیفی قیمت‌گذاری فناوری نیز اگرچه دارای مبانی پیچیده‌ای نیستند، ممکن است در عمل نتایج دلخواهی را ارایه داده و بخوبی مورد استفاده قرارگیرند که این امر به موقعیت خاص فناوری مورد نظر بستگی دارد. روش‌های کمی، ارزش پولی فناوری را با استفاده از محاسباتی که گاهی اوقات پیچیده به نظر می‌رسد، محاسبه می‌نمایند. این روشها خود به دو دسته سنتی و جدید تفکیک می‌گردند.

شکل (۱) برخی از پرکاربردترین روش‌های قیمت‌گذاری فناوری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. مقایسه انواع روش های قیمت‌گذاری فناوری (عدل، ۱۳۹۲)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

در جدول (۱) کلیه تعاریف به همراه منابع آن بیان شده است:

جدول ۱. تعاریف انواع روش های قیمت‌گذاری فناوری

ردیف	روش	تعریف	منبع
۱	هزینه محور	رویکرد هزینه بر این فرض اقتصادی پایه‌ای قرار دارد که نه خریدار و نه فروشنده برای یک دارایی حاضر به پرداخت مبلغی بیشتر از هزینه خلق یا جایگزینی آن نیستند. رویکرد مبتنی بر هزینه عموما کم کاربردترین رویکرد ارزشیابی یک دارائی ناملموس است و معمولا ارزش دارائی را کمتر از حد واقعی تخمین می‌زند. استفاده از این روش عمومیت زیادی ندارد، زیرا فناوری‌های زیادی وجود دارند که به رغم هزینه‌های تحقیق و توسعه پایین، ارزش بالایی دارند و برعکس، در ضمن به دلیل وجود قوانین مالکیت فکری، استفاده از رویکرد هزینه تولید مجدد به‌عنوان اهرمی برای چانه‌زنی در مذاکرات امکان‌پذیر نیست.	(موسایی، ۲۰۰۷)
۲	بازار محور	در روش بازارمحور، از اطلاعات مربوط به تراکنش های مرتبط مانند دارائی های مشابه به موجود در بازار برای پیش‌بینی رفتار بازار نسبت به فناوری مورد ارزش گذاری استفاده می‌شود.	(جنگ، ۲۰۰۵)
۳	درآمد محور	رویکرد درآمد مبنا، ارزیابی سود اقتصادی و تحلیل جریان نقدی تخفیف نیز نامیده می‌شود. در این روش ارزش دانش فنی بر اساس ارزش حال جریان منافع مالی آینده حاصل از بکارگیری دانش فنی محاسبه می‌شود. شاخص‌های اولیه که ارزش دانش فنی را بیان می کند شامل سود اقتصادی، نرخ نزول یا جمع‌آوری سرمایه و دوره عمر اقتصادی است.	(پارک و همکاران، ۲۰۱۲)
۴	گزینه واقعی	در این روش، سناریوهایی که درآمد آتی حاصل از تملک فناوری بیشتر از هزینه‌های عملیاتی باشد، در محاسبات لحاظ می گردد و سناریوهایی که هزینه عملیاتی بیشتر از درآمد باشد، محاسبه نمی گردد. پس از آن، سود خالص هریک از آنها در احتمال وقوع هر سناریو ضرب گشته و سود کل حاصل می گردد. این روش برای محاسبه منافع خریدار مناسب است و خود به تنهایی منجر به تعیین قیمت نمی گردد و مکمل روش قیمت‌گذاری بر اساس قواعد سرانگشتی است. بنیان قواعد سرانگشتی بر اساس تجارب حاصل از قیمت گذاری فناوری مانند اینکه معمولا در هر قرارداد ۲۵ درصد سود برای فروشنده و ۷۰ درصد سود برای خریدار استوار است.	(جنگ، ۲۰۰۵)
۵	بلک شوز	این مدل که در اوایل دهه ۱۹۷۰ ارایه شد، تاثیر زیادی در نحوه قیمت گذاری اختیار معامله داشته است. اساس مدل بلک شولز بررسی این است که نوسانات قیمت سهام در طول زمان‌های آتی چگونه حرکت خواهد کرد. فرض اساسی در مدل این است که قیمت‌های سهام از یک گشت تصادفی پیروی می کنند و درصد تغییرات قیمت سهام در یک دوره زمانی کوتاه‌مدت دارای توزیع نرمال است.	(اسمیت، ۲۰۰۴)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

۶	درخت دو جمله ای	مدل قیمت‌گذاری دوجمله‌ای، مدل تکامل یافته‌ای از مدل‌های اختیار معامله با یک مقطع زمانی است. این مدل از درخت دوجمله‌ای برای گام‌های زمانی بین زمان‌های ارزش‌گذاری و انقضاء استفاده می‌کند. این شبکه درختی دارای گره‌هایی نیز است که هر کدام بیانگر قیمت احتمالی در یک زمان مشخص است. قیمت‌گذاری با شروع از گره پایانی و حرکت به سمت عقب روی شبکه تا رسیدن به گره اول صورت می‌پذیرد.	(رازگیتز، ۲۰۰۹)
۷	مونت کارلو	روشی برای انتخاب اعداد تصادفی بر اساس توزیع احتمال است که از آن در هر تکرار آزمایشی شبیه‌سازی استفاده می‌شود. استفاده از رویدادهای تصادفی و ماهیت تکرار در این روش مربوط به کارهایی است که در یک کازینو انجام می‌شود، چراکه اصل اساسی ورای این روش همان اصلی است که زیربنای لوازم قماربازی چون گردونه انتخاب اعداد، تاس، ورق‌های پاسور وغیره است. این لوازم نیز مانند روش مونت کارلو نمونه‌های تصادفی تولید می‌کنند.	(چو، ۲۰۱۳)
۸	دلفی	در فرآیند دلفی، پرسشنامه‌ایبرای کارشناسان مربوط ارسال می‌شود. پاسخ‌های یک‌ایک این کارشناسان جمع آوری و خلاصه می‌شود و خلاصه پاسخ‌ها همراه با رهنمودهایی برای اصلاح پاسخ‌ها (در صورت لزوم)، به هر یک از کارشناسان ارجاع داده می‌شود.	(لینو، ۲۰۰۵)
۹	توفان فکری	کار شنا سان فعال در زمینه فناوری پس از برگزاری جلسات متعدد و هم فکری با یکدیگر، عوامل موثر بر قیمت‌گذاری فناوری را شناسایی نموده و بر مبنای آنها قیمت فناوری را برآورد می‌نمایند.	(دیسل، ۲۰۰۵)
۱۰	اقتصاد سنجی	روش های اقتصاد سنجی بر اساس جمع آوری و بررسی انبوهی از داده‌ها در مورد محصول یا خدمت مورد بحث و تخمین ارزش آن توسط روش های آماری استوار است. خروجی روش مورد بحث به صورت واحد پولی بیان نمی‌گردد و هدف آن ایجاد تصویری کلی از ارزشمندی فناوری است.	(لی، ۲۰۰۳)
۱۱	نظر خبرگان	در این روش، متغیرهای موثر بر قیمت فناوری توسط خبرگان شناسایی می‌گردد. برای هر یک از مؤلفه‌ها ضریبی در نظر گرفته می‌شود و با ضرب آنها در قیمت تمام شده، قیمت فناوری محاسبه می‌شود.	(موسایی، ۲۰۰۵)
۱۲	معافیت از پرداخت حق امتیاز	تابع تقاضا بر اساس قیمت محصول تعیین می‌شود. سپس با استفاده از روش تحلیل حساسیت، تاثیر معافیت از پرداخت حق اختراع و امتیاز بر قیمت فناوری بررسی و قیمت تعادلی محاسبه می‌گردد.	(لی، ۲۰۰۳)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

پس از مطالعات انجام شده، عواملی که کلیه مدل‌ها و روش‌های قیمت‌گذاری فناوری بدان توجه نموده‌اند، به چهار بخش کلی منافع صاحب فناوری، خریدار، دولت و ریسک تقسیم شده است.

مقایسه بین مدل‌ها بر مبنای عوامل مذکور به صورت خلاصه در جدول (۲) نشان داده شده و علاوه برآن، مقایسه‌ای بین انواع روش‌های کمی و حوزه کاربرد آنها در این جدول آورده شده است.

جدول ۲. مقایسه انواع مدل‌های قیمت‌گذاری فناوری

مدل و روش‌ها	ریسک	منافع صاحب فناوری	منافع خریدار	منافع دولت
هزینه محور	×	✓	×	×
بازار محور	✓	✓	✓	×
درآمد محور	×	×	✓	×
گزینه واقعی	✓	✓	✓	×
مدل تسهیل مذاکرات انتقال فناوری	✓	✓	✓	×
قیمت‌گذاری بر مبنای استاندارهای حسابداری	✓	✓	✓	×
قیمت‌گذاری فناوری	✓	×	✓	×
قیمت‌گذاری فناوری فتوولتائیک	✓	✓	✓	×

مأخذ: یافته‌های تحقیق (عدل، ۱۳۹۲)

۴. مدل پیشنهادی برای قیمت‌گذاری فناوری

قیمت‌گذاری فناوری فرآیندی پیچیده است که متغیرهای گوناگونی بر روی آن تاثیرگذار هستند. از این رو، پویایی شناسی سیستم‌ها که امکان شبیه سازی روابط متقابل بین متغیرها را ارایه می‌دهد، ابزاری مناسب برای قیمت گذاری فناوری محسوب می‌گردد.

پویایی‌شناسی سیستم‌ها، روش‌شناسی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مثل کسب‌وکار، اقتصاد، محیط‌زیست، مدیریت انرژی، مسایل شهری و سایر حوزه‌های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند. در این رویکرد، تصویری از سیستم بر اساس بازخوردها و تاخیرهای موجود ایجاد می‌شود تا رفتار دینامیکی سیستم‌های پیچیده فیزیکی، زیستی و اجتماعی بهتر فهمیده شود. به بیان دیگر،

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

مهمترین اصـــل اساسی که پویایی سیستم‌ها بیان می‌دارند این است که بازخوردها و تاخیرها رفتار سیستم‌ها را می‌سازند و پویایی رفتاری سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است.(فارستر،۲۰۰۵)

فرضیه پویا و نمودارهای علی و معلولی

در این بخش کلیـه فرض‌هـای پویـا و نمودارهـای علی و معلولی مفروض در مـدل تشـــریح گردیده است.

تاثیر یادگیری بر قیمت فناوری

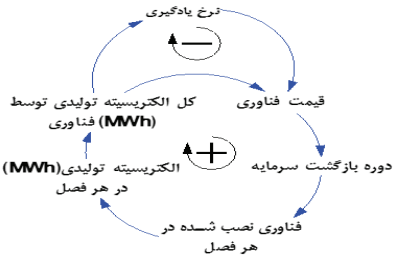
فرآیند یادگیری در فناوری‌های بیوماس[1](زیست توده) به سه بخش عرضه سوخت اولیه، هزینه ســـرمایه گذاری و عملیات و تولید انرژی تقســـیم می‌گردد و به هریک ضـــریب یادگیری مجزایی تخصـیص می‌یابد. طبق داده‌های جمع‌آوری شـده از سـازمان بین المللی انرژی تجدیدپذیر[2] و مقاله جانجینجر[3] و همکاران، ضریب یادگیری فناوری در مورد بازده الکتریسیته تولیدی و سرمایه‌گذاری وجود داشته و در بقیه موارد ضریب یادگیری نزدیک به صفر است.

با توجه به مطالعات جانجینجر، بهترین معیار برای تعیین پارامتر یادگیری، مقدار الکتریسته تولیدی اســـت، زیرا تعداد فناوری های هاضـــم بی‌هوازی اندک بوده و اســـتفاده از این معیار عدم قطعیت فراوانی را به وجود می‌آورد.(ویسر، ۲۰۰۶)

با افزایش میزان تجمعی الکتریســیته تولیدی توسـط فناوری، طبق فرآیند یادگیری قیمت فناوری کاهش می‌یابد که باعث کاهش دوره بازگشـــت ســـرمایه می‌گردد. ســـپس ســـرمایه‌گذاران به سـرمایه‌گذاری راغب شـده و تعداد فناوری نصـب شـده و میزان تجمعی الکتریسـیته تولیدی افزایش می‌یابد. این حلقه دائما تکرار گشته و باعث کاهش قیمت فناوری می‌گردد. از سوی دیگر، هنگامی که الکتریسته تولیدی از حد مجازی تجاوز نماید، دیگر نرخ یادگیری به صفر رسیده و قیمت فناوری ثابت می‌گردد. این حلقه در شکل (۲) نشان داده شده است.

1.Biomass Technologies
2.International Renewable Energy Agency (IRENA)
3.Junginger

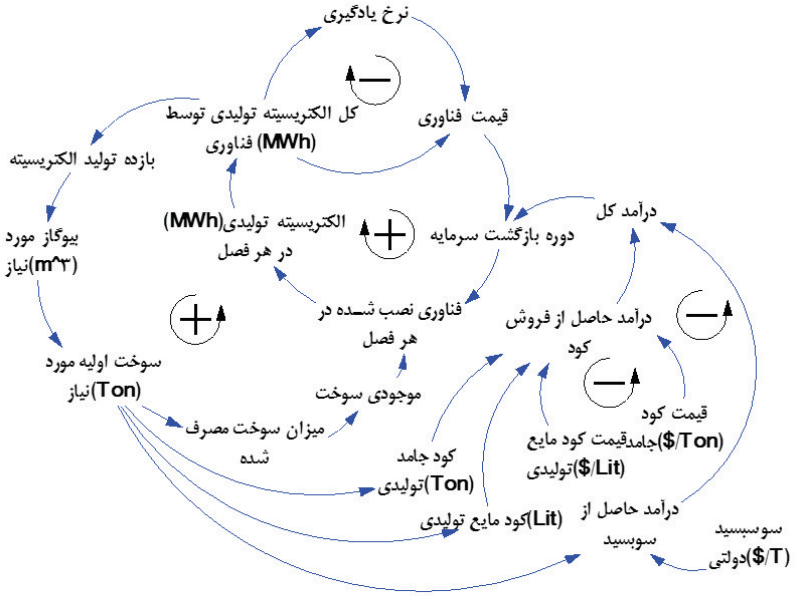
[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]



شکل۲. تاثیر یادگیری بر قیمت فناوری (یافته های پژوهش)

تاثیر یادگیری بر بازده الکتریسیته

شکل(۳) ارتباط بین تولید تجمعی برق توسط فناوری با بازدهی الکتریسیته را نشان می‌دهد. با افزایش تولید تجمعی برق، با در نظر گرفتن فرآیند یادگیری بازده تولید الکتریسیته افزایش می‌یابد که سبب کاهش سوخت اولیه مورد نیاز می‌گردد. در نتیجه، سوخت در دسترس افزایش یافته و تعداد فناوری نصب شده و الکتریسیته تولیدی افزایش می‌یابد.(اتساب، ۲۰۱۵)



شکل۳. تاثیر یادگیری بر بازده الکتریسیته (یافته های پژوهش)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

از ســـوی دیگر، کاهش ســـوخت اولیه باعث می‌گردد میزان فضـــولات لازم برای تولید بیوگاز کاهش یابد، در نتیجه، یارانه حاصـــل از بازیافت فضـــولات کاهش خواهد یافت. همچنین با کاهش میزان فضولات لازم(سوخت مورد نیاز) میزان کود تولیدی نیز کاهش می‌یابد که در مجموع، سبب کاهش درآمد، افزایش دوره بازگشت سرمایه، کاهش نرخ نصب فناوری و کاهش کل الکتریسیته تولیدی توسط هاضم می‌گردد.

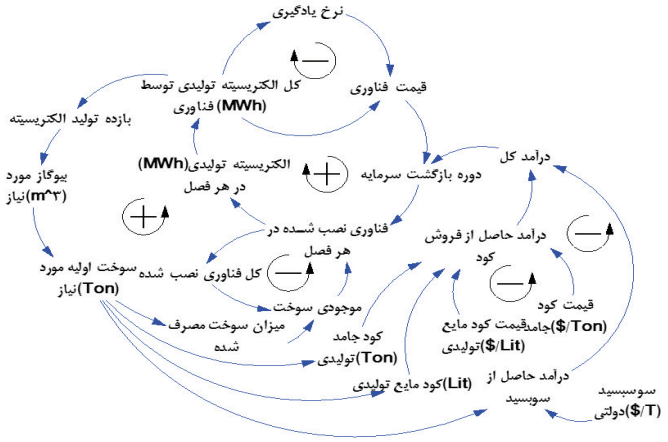
با افزایش ســـوخت اولیه مورد نیاز، میزان کود تولیدی و درآمد حاصـــل از فروش کود افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش سوخت اولیه، میزان درآمد حاصل از یارانه افزایش یافته که باعث افزایش درآمد،کاهش دوره بازگشـــت ســـرمایه، افزایش نصـــب فناوری و افزایش کل الکتریســـته تولیدی فناوری می‌گردد.

محدودیت عرضه سوخت اولیه

وجود شرایط منطقه‌ای مناسب برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری است. به طور مثال، برای توســـعه انرژی های بادی، وجود مناطق بادخیز امری حیاتی به شـــمار می‌رود. از این رو، یکی از محدودیت‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، وجود مناطق مستعد است.

از عوامل اولیه برای توسعه فناوری هاضم بی‌هوازی، وجود سوخت اولیه موردنیاز مانند فضولات به میزان کافی است. با افزایش تعداد فناوری‌های نصب شده، مصرف سوخت اولیه افزایش می‌یابد که باعث کاهش موجودی سوخت اولیه شده و کاهش نرخ نصب فناوری در سال را سبب می‌شود. حلقه علی و معلولی بیان شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]



شکل۴. محدودیت عرضه سوخت اولیه (یافته های پژوهش)

نمودار علی و معلولی مدل

دولت یکی از ذینفعان ا صلی تو سعه فناوری‌های تجدیدپذیر ا ست. از این‌رو، برای افزایش دقت در فرآیند قیمت گذاری، متغیرهای دربرگیرنده منافع دولت نیز در مدل علی و معلولی آورده شـــده است. برخی از این متغیرها همراه با تعریف آنها در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. متغیرهای تاثیرگذار بر توسعه انرژی تجدیدپذیر از منظر دولت

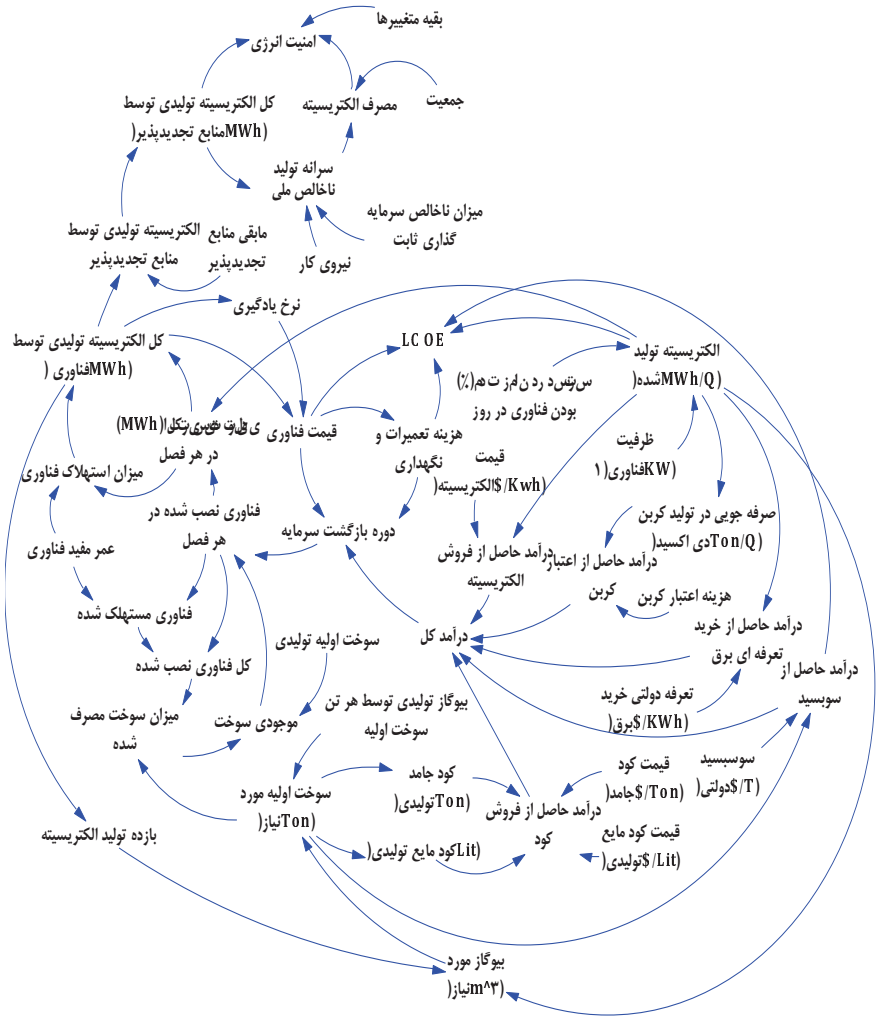
متغیر	تعریف	مرجع
امنیت انرژی	دسترس بودن مقدار کافی و قابل اطمینان از عرضه انرژی برای راضی نمودن تقاضا	(اسلانی، ۲۰۱۴)
صرفه‌جویی در تولید کربن دی‌اکسید[1]	کربن دی‌اکسید کاهش یافته هنگام استفاده از انرژی تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی	(جان و شین، ۲۰۱۴)
هزینه تولید الکتریسیته[2]	هزینه لازم برای تولید هر کیلوات ساعت انرژی الکتریسیته توسط فناوری	(ایتساب، ۲۰۱۵)
سرانه تولید ناخالص ملی	ارتباط مستقیم بین افزایش الکتریسیته تولیدی توسط انرژی تجدیدپذیر با تولید ناخالص ملی	(جبرائیلی، ۲۰۱۵)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

1.Carbon Emission
2.Levelised Cost of Electricity

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

برخی از حمایت‌های دولتی برای ترویج اســتفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از قبیل تعرفه خرید برق و اعتبار کربن اضافه گردیده است. نمودار علی و معلولی مدل در شکل(۵) نشان داده شده است.

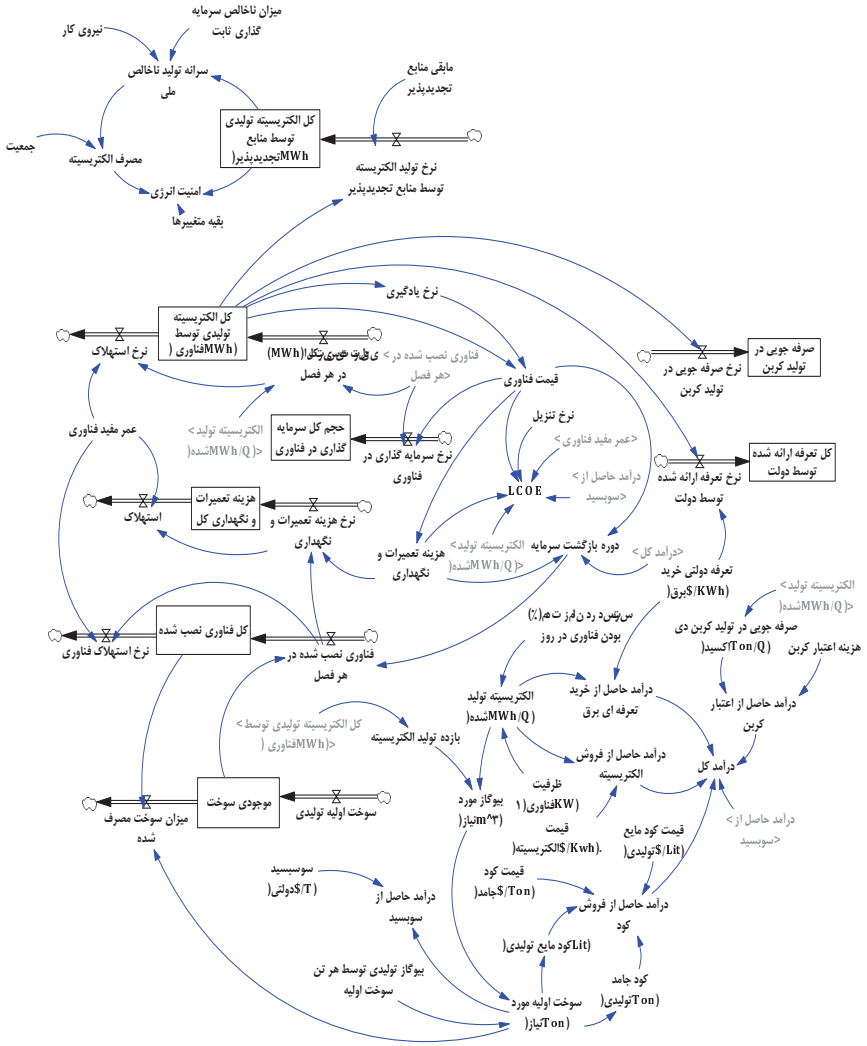


شکل۵. نمودار علی و معلولی مدل (یافته های پژوهش)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

مدل جریان انباشت

مدل جریان انباشت در شکل(۶) نشان داده شده است.



شکل۶. مدل جریان انباشت (یافته های پژوهش)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

۵. نتیجه‌گیری

افزایش تقاضا برای انرژی، محدود بودن منابع انرژی فسیلی و مشکلات ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. بیوگاز یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است و هاضم بی‌هوازی یکی از فناورهای بالغ در زمینه تولید بیوگاز از پسماند، زباله، فضولات و غیره است که به علت خواص منحصربفرد از جمله توانایی بازیافت، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است.

از مسایل عمده در زمینه توسعه استفاده از فناوری‌های هاضم بی‌هوازی و تجاری سازی آنها، تعیین روش مناسب قیمت‌گذاری است. روش های فعلی قیمت‌گذاری برای فناوری‌های با دوره عمر کوتاه و میزان قطعیت بالا مناسب هستند.

در قیمت‌گذاری فناوری‌های تجدیدپذیر، متغیرهای کلان و خرد زیادی بر قیمت‌گذاری دخیل هستند که ترکیب آنها حالت‌های عدم اطمینان زیادی را ایجاد می‌نماید. لذا طراحی مدلی که علاوه بر متغییرها، روابط متقابل بین آنها را نیز شامل گردد، سبب افزایش دقت قیمت‌گذاری می‌گردد.

از سوی دیگر، یکی از عوامل تاثیرگذار بر قیمت فناوری‌های تجدیدپذیر، پدیده یادگیری است، بدین معنا که با افزایش استفاده از فناوری، قیمت فناوری کاهش خواهد یافت.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

با توجه به اینکه پویایی‌شناسی سیستم‌ها، مناسب‌ترین روش جهت شبیه‌سازی روابط متقابل بین متغیرها و پدیده یادگیری است، از مدل‌سازی دینامیکی برای قیمت‌گذاری فناوری هاضم بی‌هوازی استفاده شده است.

یکی از مهمترین عناصر قیمت گذاری فناوری، دولت است. منافع دولت از توسعه فناوری بیوگاز شامل صرفه جویی در انتشار کربن و افزایش امنیت انرژی است. دولت پس از ارزش‌گذاری منافع حاصل از توسعه فناوری بیوگاز، سیاست های حمایتی خود از قبیل یارانه، هزینه اعتبارکربن، نرخ تعرفه‌ای خرید برق و قیمت کود جامد و مایع را تعیین می‌نماید. سپس خریداران فناوری دوره بازگشت سرمایه را محاسبه نموده و در صورت صرفه اقتصادی، اقدام به خرید و استفاده از فناوری می نمایند. با ایجاد تقاضا برای فناوری، تولیدکنندگان(مالکان) فناوری و سطح استفاده از فناوری افزایش می یابد که با توجه به پدیده یادگیری، سبب کاهش قیمت فناوری و افزایش صرفه اقتصادی آن می شود که تکرار حلقه مذکور سبب توسعه استفاده از فناوری هاضم بی‌هوازی می‌شود.

با استفاده از مدل مطرح شده در این مقاله می توان تاثیر هر یک از متغییرها و یا ترکیبی از آنها را بر روی قیمت فناوری و سایر متغییرها مشخص نمود که سبب می شود قیمت‌گذاری فناوری با دقت بالاتری صورت پذیرد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

منابع

بندریان، رضا و احمد موسایی (۱۳۸۷)، "ارزشگذاری و قیمت گذاری دانش فنی محصولات شیمیایی و پتروشیمیایی بر اساس روش گزینه واقعی"، *فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش های مدیریت در ایران*، دوره ۱۲، شماره ۱ پیاپی ۵۶، صص ۱۰۳-۷۹.

سعیدی، عباس (۱۳۹۰)، *روابط و پیوندهای روستایی – شهری در ایران*، تهران: *انتشارات مهر مینو*، چاپ اول.

علیزاده، غلامرضا (۱۳۸۶)، "تعاونی های بیوگاز: راهی برای توسعه روستایی"، *فصلنامه تعاون روستایی و کشاورزی*، شماره‌های ۱ و ۲.

عمرانی، قاسم علی (۱۳۷۵)، *مبانی تولید بیوگاز از فضولات شهری و روستایی*، تهران: *انتشارات دانشگاه تهران*.

مرادی، خدیجه (۱۳۸۲)، " *طراحی و اجرای یک واحد پلی اتیلنی بیوگاز به منظور تغییر الگوی مصرف انرژی جهت بهینه سازی مصرف سوخت در روستای قزل با استفاده از روش اقدام پژوهی (شهرستان کرمانشاه)"*، پایان نامه کارشناسی ارشد توسعه روستایی.

عدل، مهرداد؛ نصرتی نیا، مریم و علی اصغر توفیق (۱۳۹۲)، "مدیریت انرژی‌های نو در ایران (مطالعه موردی بیوگاز)"، *سومین کنفرانس برنامه ریزی و محیط‌زیست دانشگاه تهران*.

فطرس، محمدحسن؛ آقازاده، اکبر و سودا جبرائیلی (۱۳۹۳)، "رابطه علّیت پانلی بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی؛ مقایسه مناطق مختلف جهان"، پژوهشنامه اقتصاد کلان، دوره ۹، شماره ۱۸، ص ۵.

Aslani, A; Helo, P. and M. Naaranoja (2014) , " Role of Rnewable Energy Policies in Energy Dependency in Finland: System Dynamics Approach", *Applied Energy*, vol.113, pp. 758-765.

Mousaee, A; Amin Moghadam, A. and A. Ghadirian (2007), "Developing Model for Commercialization of Petrochemical Product : Case Study Knowledge Intensive Industries in Iran", *International Journal of Technology Management*.

Georgios, A. and N. Angelou (2009), "A Compound Real Option and AHP Methodology for Evaluating ICT Business Alternatives", *Telemetics and Informatic.*

Jeon, C. and J. Shin (2014)," Long-Term Renewable Energy Technology Valuation Using System Dynamics and Monte Carlo Simulation: Photovoltaic Technology Case", *Energy*, vol. 66, pp. 447-457.

Jun, C. (2007), "Characteristics of New Technology Investment Project and Assessment Approach", *Journal of Hengshui University.*

Cho, D. O. and Y.-H. (2013), *Validating the Technology Valuation with Monte Carlo Simulation.*

Hunt, F; Mitchell, R; Phaal, R. and D. Probert(2004), "Early Valuation of Technology: Real Options, Hybrid Models and Beyond", vol. 43, pp. 730-735.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]

Cheng-Few Lee, G.-H. T. and Shin-Yun Wang (2005) , "A New Application of Fuzzy Set Theory to The Black–Scholes Option Pricing Model", *Expert Systems with Application*.

Park, H. w; Jun, S.-P. and S.-G. Kim (2012), "A Comparative Study on Methods of Income Approach to Technology Valuation", *Journal of Supply Chain and Operations Management,* vol.10, p. 76.

IEA/OECD (2000), "Experience Curves for Energy Technology Policy", *International Energy Agency,* Paris, France.

ETSAP, I. (2015), "Biomass for Heat and Power", *International Renewable Energy.*

Forrester, J.(1989), "The Beginning of System Dynamics-Banquet", presented at The *International Meeting of The System Dynamics Society Stuttgart*, Germany.

Waller, K. D. M. and H. G. (2003), Scenarios, Real Options And Integrated Risk Management, Long range planning.

Leino, L. (2005), "IPR Valuation and Pricing", presented at the *Seminar of Casestudies in Operation Research*, Helsinki University of Technology.

Chan, M. H. C. F.T.S. (2000), "Evaluation Methodologies for Technology Selection", *Journal of Materials Processing Technology.*

Dissel, M; Farrukh, C; Probert, D. and R. Phaal (2005), "Evaluating Early Stage Technology Valuation Methods: What Is Available and What Really Matter", *in Proceedings of the IEEE Conference,* pp: 11-13.

Junginger, M; de Visser, E; Hjort-Gregersen, K; Koornneef, J; Raven, R. and A. Faaij (2006), "Technological Learning in Bioenergy Systems", *Energy Policy*, vol. 34, pp. 4024-404.

Razgaitis, R. (2009), *Valuation and Dealmaking of Technology-Based Intellectual Property: Principles, Methods and Tools*, John Wiley & Sons.

Lee, R. M. (2003), "Estimating Hospital Market Pricing: An Equilibrium Approach Using Spatial Econometrics", *Regional Science and Urban Economics*.

Smith, R.(2004), *Applying Option Theories to Technology Management Ecisions*, University of Oxford.

Jang, W. J. J. and Tae-Yun (2005), *The Application of Real Options Theory in Defense Acquisition Projects*, Ph.D. Dissertation, Seoul, National University.

Jang ,W. J. J., and Tae-Yun(2010), "Defence R & D Technology Valuation Model With Income Approach", *Seoul National University Republic of Korea*, *The DISAM Journal*.

Yu-Jing Y.-W. C. and Chiu (2007), Using AHP in Patent Valuation, Mathematical and Computer Modelling.

Lou Yan, Z. H. and Huang Lucheng (2010), "Review on Methods of New Technology Valuation", *International Conference on E-Business And E-Government.*

[Downloaded from epprjournal.ir on 2025-07-13]