



## تحلیل پویایی توسعه بکارگیری انرژی خورشیدی در ایران

عباس رئیسی<sup>۱\*</sup>، علی محمد احمدوند<sup>۲</sup>

مهندسی صنایع دانشگاه ایوان کی-گرمسار، ایران (mr.raeisy@gmail.com)

گروه مهندسی صنایع دانشگاه ایوان کی-گرمسار-ایران (Alimohamad.ahmadvand@gmail.com)

### چکیده

هدف از این پروژه پیاده سازی تفکر و رویکرد سیستمی در نظام تأمین انرژی ایران و همچنین بررسی توسعه انرژی های تجدیدپذیر و جایگزینی آن به عنوان انرژی پاک و بهینه است. در این تحقیق ابتدا مدل سازی به سه بخش محتوایی، ساختاری، محیطی تقسیم شده و با مدل سازی سیستم دینامیک و نمودارهای جریان ساخته شده متغیرهای اهرمی یافت شده و شبیه سازی در طی ۳۰ سال آینده برای انرژی های نو انجام گرفته و با تغییر در هر یک از اهرم ها مانند نرخ بهره، تولید ناخالص داخلی، ضریب سرمایه گذاری انرژی، تنوع طلبی و فرهنگ سازی تغییرات عمده ای در توسعه استفاده از انرژی های نو ایجاد می شود. نتایج حاصل شده از این تحقیق بستر سازی مناسب برای توسعه استفاده از انرژی های نو همچون انرژی خورشیدی و ضمن بکارگیری سیاست صرفه جویی فرهنگ بکارگیری این نوع انرژی را در جامعه توسعه داده و با بکارگیری اهرم هایی جهت افزایش تولید ناخالص داخلی در توسعه هرچه بیشتر انرژی های نو و در پی آن کاهش بیکاری و رونق اقتصادی و از همه مهم تر محیط زیستی سالم تلاش شود.

واژه های کلیدی: تفکر سیستمی، سیستم دینامیک، شبیه سازی، انرژی تجدیدپذیر

### ۱- مقدمه

توسعه شگرف علم و فن آوری در جهان امروز ظاهراً آسایش و رفاه زندگی بشر را موجب شده است، لکن این توسعه یافتگی، مایه بروز مشکلات تازه ای نیز برای انسان ها شده است که از آن جمله می توان به آلودگی محیط زیست، تغییرات گسترده آب و هوایی در زمین و غیره اشاره نمود. به ویژه می دانیم که نفت و مشتقات آن از سرمایه های ارزشمند ملی و حیاتی و پایان پذیر کشور می باشند که مصرف غیر بهینه از آنها گاهی زیان های جبران ناپذیری را ایجاد می کند، از این رو صاحب نظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به تدریج جایگزین سوخت های فسیلی شوند. متخصصان بر این باورند که با استفاده از انرژی های پاک نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، هیدروژن و... به جای انرژی های حاصل از سوخت های فسیلی از آلودگی های زیست محیطی و خطرات مترتب بر آن جلوگیری خواهد شد. در این پروژه سعی بر آن است تا اثرگذاری در تأمین انرژی با استفاده از انرژی تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گیرد و میزان صرفه اقتصادی، زیست محیطی و دسترسی به آن بیان شود امروزه چالش های پیش رو برای مدیران و برنامه ریزان در سیستم انرژی کشور پایان پذیری نفت و آلودگی محیط زیست بوده و در این مدت، برنامه ریزان، سعی داشتند رویکردهای مختلفی جهت برخورد با مسائل آینده به کار بسته که عمدتاً بر پایه تحلیل روندهای گذشته و ادامه آن در آینده بوده است. اما در آغاز هزاره سوم جهت حصول جامع نگری

۱- \* کارشناسی ارشد مهندسی صنایع سیستم های اقتصادی اجتماعی

۲- استاد و عضو هیأت علمی دانشگاه ایوانکی



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

در برنامه ریزی ها، تفکر سیستمی، ادبیات پراکنده و غیرمنسجم درخصوص برنامه ریزی برای آینده را به علم مدون با اصول و مبانی خاص تبدیل کرده که وظیفه آن علاوه بر تحلیل روندهای گذشته، کشف، ابداع و ارزیابی آینده های ممکن، محتمل و مطلوب است. نگاه کلان به جهان امروز و اهرم های اصلی آن، حاکی از وجود دیدگاه کل نگر و تأثیرگذار آینده نگاری در مراکز قدرت و تصمیم گیری دولت های بزرگ و توسعه یافته جهان است. چه بسا رویکرد سیستمی آنان به مسائل جهان و برنامه ریزی برای آینده ریشه های تسلط آنان را بر جهان آینده بیش از پیش مستحکم تر می کند. برنامه ریزی هم اکنون با ارتقاء نقش خود به دنبال تسخیر آینده با اندیشه ایفای نقش جدی و سهم خواهی از آن است.

## ۲- تاریخچه

مقاله هایی در زمینه تحقیق حاضر کار شده که ماحصل آن در روند این پژوهش نمود یافته است. تحول در بخش برق امروزه به تولید انرژی پایدار بر اساس انرژی های تجدید پذیر در ساختار صنعت تغییر خواهد کرد. در نتیجه، آب و برق به عنوان سهامداران عمده در این دگرگونی، چالش های جدید در این راه از انجام کسب و کار مواجه هستند. اینها به انطباق مدل های کسب و کار خود را به حفظ توان رقابتی در چشم انداز جدید انرژی است. بررسی حاضر از ادبیات مدل کسب و کار نشان می دهد که دو انتخاب اساسی وجود دارد: مدل کسب و کار بر محور خدمات شهری (آب و برق...) و مدل کسب و کار مشتری محور

منابع انرژی تجدید پذیر در طول تاریخ نقش های کوچک برای تولید برق در جهان ایفا کرده است. با این حال، نگرانی هایی از قبیل امنیت عرضه انرژی، محدودیت ها و نوسانات قیمت سوخت های فسیلی و تهدید به تغییرات آب و هوا، سیاست گذاران و صاحب نظران را به بحث و فکر در مورد تنوع استراتژی در تأمین انرژی و ترویج انرژی های تجدیدپذیر و می دارد. تحقیقات اخیر نشان می دهد که یک رابطه تعادلی بلند مدت بین منابع انرژی غیر قابل تجدید و تجدید پذیر، تولید صنعتی و رشد اقتصادی وجود دارد. پائل تجزیه و تحلیل علیت دو طرفه بین تولیدات صنعتی و مصرف انرژی هر دو قابل تجدید و غیر قابل تجدید در کوتاه مدت و بلند مدت نشان می دهد. با این حال شواهدی از روابط کوتاه مدت دو طرفه بین رشد<sup>۱</sup> GDP و مصرف انرژی غیر قابل تجدید در حالی که علیت یک طرفه بین رشد GDP و مصرف انرژی های تجدید پذیر وجود دارد.

روش سیستم داینامیک راه را برای نگاه همه جانبه و شبیه سازی در این ورطه آسان نموده تا تصمیم گیری و سیاست گذاری مفیدتر و ارزنده تر باشد. هرچند در بعضی از مقالات ناپیوستگی انرژی های نو از چالش های آن مطرح شد ولی انتخاب درست و بهینه استفاده از انرژی تجدیدپذیر است. در مقالات خارجی چون شبیه سازی در کشورهایی صورت گرفته که بیشتر از انرژی های نو بهره می گیرند بحث فرهنگ و تنوع طلبی خیلی مطرح نیست در حالی که باید در کشور چون ایران این موضوع را در نظر گرفت و در شبیه سازی بکار برد. موضوع دیگری که در این حوزه به چشم می خورد، بحث یارانه است. به هم علت نظرهای متفاوتی بر ارائه یارانه به صورت غیر مستقیم در سیستم انرژی است؛ طوری که به جای یارانه مستقیم و نقدی در اختیار مردم راهکارهایی را جهت ارائه یارانه انرژی به صورت غیر مستقیم است.

اهرم هایی که از مقالات و منابع حاصل شده نرخ بهره، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن، تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی، کارایی زیست محیطی، ضریب سرمایه گذاری، میزان بکارگیری انرژی تجدیدپذیر، انباشت انرژی، سوخت فسیلی و .... می باشد.

## ۲-۱- تاریخچه نظری

<sup>۱</sup> تولید ناخالص داخلی



\*مقاله ای با عنوان به کارگیری مدل سیستم داینامیک به منظور بررسی اثر یارانه ها و سرمایه بر تعرفه تأسیسات سلول های خورشیدی در سال ۲۰۱۲، توسط چیونگ ون به چاپ رسیده است. هدف این مقاله رسیدن به هدف ملی چون کاهش انتشار CO<sub>2</sub> است، دولت تایوان قصد دارد سیاست هایی مانند یارانه و سرمایه گذاری، به منظور جذب مردم و همچنین شرکت برای سرمایه گذاری در به کارگیری از سیستم های خورشیدی فتوولتائیک (PV) اتخاذ نماید. با این حال، بودجه عظیمی برای پیاده سازی این سیاست ها برای دولت لازم است. بنابراین مهم است که آن سیاست را به رسمیت بشناسند. ترویج برنامه های کاربردی سلول های خورشیدی می تواند بیشترین سود اقتصادی را داشته باشد. این مقاله با استفاده از شبیه سازی رویکرد پویایی سیستم به منظور توسعه و ارزیابی این سیاست های انجام شده است. با استفاده از این سیستم شبیه سازی، سیاست گذاران قادر به انجام تجزیه و تحلیل هزینه-سود و ترکیب های مختلف از آن هستند. اهداف سیاست های کاهش انتشار CO<sub>2</sub> و محدودیت های بودجه می باشد. دوره شبیه سازی از سال ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۳۰ می باشد. در صورتی که ROI بازگشت سرمایه ثابت باشد با افزایش میزان یارانه ها کمک زیادی به کاهش انتشار CO<sub>2</sub> خواهد کرد. [۱]

\*ماریو ریچر در مقاله ای تحت عنوان خدمات رفاهی (برق و آب و...)، مدل های کسب و کار برای انرژی های تجدیدپذیر بیان می کند تحول در بخش برق امروزه به تولید انرژی پایدار بر اساس انرژی های تجدید پذیر در ساختار صنعت تغییر خواهد کرد. در نتیجه، آب و برق به عنوان سهام داران عمده در این دگرگونی، چالش های جدید در این راه از انجام کسب و کار مواجه هستند. اینها انطباق مدل های کسب و کار به حفظ توان رقابتی در چشم انداز جدید انرژی است. بررسی حاضر از ادبیات مدل کسب و کار نشان می دهد که دو انتخاب اساسی وجود دارد: مدل کسب و کار بر محور خدمات شهری و مدل کسب و کار مشتری محور. این مقاله نشان می دهد که راهکارهایی برای مدل های کسب و کار بر محور خدمات شهری (آب و برق) در دسترس هستند، در حالی که مدل های کسب و کار مشتری محور در مراحل اولیه توسعه هستند. استفاده از چارچوب مدل کسب و کار به عنوان یک ابزار تحلیلی که مدل های کسب و کار موجود ابزار جانبی شامل یک سری از مزایا را برای آب و برق از نظر پتانسیل درآمد و اجتناب از خطر است. این مطالعه بینش های جدیدی در مورد اینکه چرا مدل های کسب و کار بر محور خدمات شهری ابزار جانبی بیش از مدل های کسب و کار مشتری محور دارد و به همین دلیل آن نیز باید در مدل های کسب و کار مشتری محور تلاش خود را برای کسب و کار پایدار آینده فراهم می کند. این مقاله در سال ۲۰۱۲ به چاپ رسیده است. [۲]

\*منابع انرژی تجدید پذیر در طول تاریخ نقش های کوچک برای تولید برق در ایالات متحده ایفا کرده است. با این حال، نگرانی هایی از قبیل امنیت عرضه انرژی، محدودیت ها و نوسانات قیمت سوخت های فسیلی و تهدید به تغییرات آب و هوا، سیاست گذاران ایالات متحده را به بحث و فکر در مورد تنوع استراتژی در تأمین انرژی و ترویج انرژی های تجدیدپذیر وا می دارد. مقاله حاضر به بحث در مورد نقش نمونه کارها در طرح عمل انرژی تجدید پذیر ایالات متحده در طول سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ است. علیرضا اصلانی و کوفوی وانگ در مقاله ای که در سال ۲۰۱۴ به چاپ رسیده است، اذعان دارند که این یک مدل پویای سیستم است که ساخته شده برای ارزیابی هزینه های مختلف استفاده از انرژی های تجدید پذیر تا سال ۲۰۳۰ را نشان می دهد. نتایج مقاله با عنوان تحلیل توسعه انرژی تجدید پذیر به تولید انرژی (برق) در ایالات متحده نشان می دهد در حالی که هزینه انرژی های تجدید پذیر در سال ۲۰۱۰ در یک بازار را نزدیک به ۱۰ میلیارد دلار (در سطح هزینه) باشد، در سال ۲۰۳۰ ارزش کل ایجاد ارتقاء انرژی های تجدید پذیر و بهره برداری در ایالات متحده بیش از ۱۷۰ میلیارد دلار (در سطح هزینه ها) خواهد بود. [۳]

\*در مقاله ای نمودار حلقه های علت و معلولی و یک مدل پویایی سیستم که سناریوهای انرژی تجدید پذیر و سیاست های آن را در فنلاند بررسی و رابطه بین عوامل پویا مانند تقاضا، وابستگی و انرژی را تجزیه و تحلیل می کند. علیرضا اصلانی و



پترو هیلو و دیگر همکاران در این مقاله با عنوان نقش سیاست های انرژی تجدید پذیر در وابستگی به انرژی در فنلاند؛ با رویکرد پویایی سیستم نتایج حاصل از نمودار حلقه های علت و معلولی و یک مدل پویایی سیستم، ارزیابی سه سناریو مختلف سیاست های انرژی های تجدید پذیر در فنلاند تا سال ۲۰۲۰ را اینطور بیان دارند. تجزیه و تحلیل نشان می دهد که با وجود ۷٪ برق/حرارت، رشد مصرف سال ۲۰۲۰ در فنلاند، وابسته به منابع وارد شده بین ۱٪ و ۷٪ در سناریوهای تعریف شده بستگی دارد و کاهش خواهد یافت.[۴]

## ۲-۲- تاریخچه تفکر سیستمی

تاریخچه نظریه سیستم ها را از دو دیدگاه می توان بررسی نمود. دیدگاه اول برای بررسی روند توسعه نظریه سیستمها ترجیح می دهد به بررسی روند تحولات و رویدادهایی بپردازد که در دانشگاه های آمریکا ( بهخصوص دانشگاه MIT) در سال های ۱۹۴۰ تا ۱۹۷۰ رخ داد. دیدگاه دوم به بررسی روند تحول در شیوه های نگرش به جهان و متدولوژی علم در سطح جهان می پردازد. آنچه در پی می آید، خلاصه ای از دو نگرش فوق است.

الف) تحولات دانشگاه MIT: پس از جنگ جهانی دوم، سه جهش در دانشگاه MIT بوجود آمد که هر یک ۱۰ سال به درازا کشید. در این جهش ها اندیشه و علم پیشرفت های بزرگی کردند و دنیا با شناخت های جدیدی از سایبرنتیک<sup>۱</sup> گرفته تا حادثترین مسئله روز یعنی محدودیت رشد اقتصادی آشنا شد. در این دوران مفاهیمی همچون بازخور<sup>۲</sup> که تا آن زمان در مورد ماشین ها بکار می رفت، در مورد ارگانیسم نیز بکار رفتند و راه پیدا شدن دو دانش جدید یعنی اتوماسیون و انفورماتیک هموار گردید[۷]

ب) تحولات متدولوژی علم:

طبق دیدگاه دوم، شیوه های تفکر را به سه گروه تقسیم می کنند:

-کل گرایی اولیه:

این شیوه تا رنسانس، روش غالب تفکر بود. این دوره را دوران حاکمیت فلسفه ها و وجود علامه ها (که از هر موضوعی، مقداری می دانستند) می شناسند. یک اشکال عمده کل گرایی این بود که رشد نداشت.

اصطلاح کل گرایی را اولین بار «جان کریستین اسماتز» در کتاب کل گرایی و تکامل (۱۹۲۶) به کار برد. او معتقد بود نگرش مکانیکی نمایانگر مجموعه هایی است که قابل تقسیم به اجزایشان هستند، بدون آنکه کیفیت شان از بین برود. در حالی که نگرش کل گرایی به بررسی «کل هایی» می پردازد که بدون از بین رفتن کیفیت شان قابل تقسیم به اجزایشان نیستند. کواپن نیز با مطرح ساختن کل گرایی، معتقد بود که باورها و مفاهیم علمی، شبکه درهم تنیده گسترده ای را تشکیل می دهند به نحوی که هیچ باور و مفهومی را نمی توان از بقیه، بریده و جدا ساخت. در اینصورت ارتباط علوم و مسائل آنها از طریق یک شبکه بزرگ از مفاهیم صورت می پذیرد.[۱۱]

-جزء گرایی:

تفکر جزءگرا از زمان تمدن های باستانی وجود داشته است و آن را برخاسته از اندیشه فلاسفه یونان باستان می دانند. تفکر جزءگرا هر پدیده ای را ابتدا به اجزاء کوچکتر تقسیم می نماید و می خواهد با مطالعه رفتار هر یک از اجزاء، به رفتار پدیده اصلی دست یابد. به عبارتی رفتار پدیده اصلی را حاصل جمع رفتار اجزاء آن می داند. جهان هستی یک واقعیت و کلیت واحد و همبسته و پیوسته است. گرچه آنچه در نگاه اول دیده می شود کثرت و پراکندگی موجودات و پدیده ها و

<sup>1</sup> Cybernetics

<sup>2</sup> Feedback



نیروهاست اما توجه به مناسبات و ارتباطات میان اجزاء نشان می‌دهد که هستی، هویتی همچون یک موجود زنده دارد که شناخت آن نیازمند عبور از جزئیات و فهم شخصیت کلی آن است. شاید جای تعجب نباشد که یکی از سرچشمه‌های ناشادمانی مردم جهان امروز، عدم توانایی آنان در بدست آوردن تصویری کلی و واحد از جهان باشد [۹]

### ۳-۲- تاریخچه صنعت برق

در سال ۱۲۸۳ هجری شمسی با نصب یک ژنراتور  $400\text{KW}^1$  توسط حاج امین الضرب در خیابان چراغ برق تهران استفاده از انرژی الکتریکی بصورت یک سیستم در ایران آغاز شد. تا سال ۱۳۳۸ تنها چند نیروگاه دیگر به ظرفیت‌های  $6\text{MW}^2$ ،  $8\text{MW}$ ،  $2\text{MW}$  و  $1\text{MW}$  مورد بهره‌برداری قرار گرفتند. در سال ۱۳۳۸ نیروگاه طرشت با چهار واحد توربین بخار و تولید جمعاً  $50\text{MW}$  بعنوان اساسی‌ترین منبع تولید قدرت در ایران بشمار می‌رفت. اولین چراغ در ۱۱۵ سال گذشته در حرم رضوی روشن شد.

با تشکیل وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۳ که بعداً به وزارت نیرو تغییر نام داد، وظائف شرکت‌های برق پراکنده به این وزارتخانه محول شد. در پایان سال ۱۳۶۰ ظرفیت نصب شده در کل کشور به بیش از  $11800\text{MW}$  رسید که نشان‌دهنده حدود  $305\text{W}$  برای هر نفر بود. هم اکنون در سال ۱۳۹۰ با ۶۲ هزار مگاوات ظرفیت نصب شده برق نیروگاهی، در مقام پانزدهم جهان و مقام اول منطقه قرار داریم. [۱۲]

### ۳-۱- انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>۳</sup>

پس از منابع انرژی تجدیدپذیر به علل مختلف که مهمترین آن، عامل اقتصادی است، هنوز مورد بهره‌برداری مؤثر قرار نگرفته است. در صورتی که اکثر آنها هیچ گونه آلودگی ایجاد نکرده و برخی می‌توانند کل انرژی مورد نیاز و مصرف جهان را تأمین کنند. انرژی‌های تجدیدپذیر هر چند هم اکنون در تأمین انرژی جهان نقش چندانی ندارند، اما در دهه‌های آینده نقش خیلی بارزتری خواهند یافت؛ تا جایی که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، حالت عمومی پیدا کنند و در آغاز نیمه دوم قرن جاری، جایگزین اصلی سوخت‌های فسیلی و دیگر انرژی‌های تجدیدناپذیر شوند. هر چند که عوامل بسیاری در افزایش تدریجی قیمت نفت در سال‌های اخیر داشته است، اما یک عامل مهم و احتمالاً پذیرفته شده برای کشورهای صنعتی، اقتصادی شدن پروژه‌های انرژی‌های نو (تجدیدپذیر) و یا حداقل توجیه هزینه مطالعات و تحقیقات در این راستا بوده است که این نیاز هم اکنون برآورده شده است.

### ۳-۱-۱- انرژی خورشیدی

بدون شک، خورشید عظیم‌ترین منبع انرژی جهان به شمار می‌آید. تابش خورشید از خط استوا (صفر درجه) تا حدود ۴۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی و جنوبی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی بسیار مناسب است. خوشبختانه با توجه به وسعت زیاد ایران و موقعیت جغرافیایی مناسب که بیش از ۳۵ درجه تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار دارد و همچنین زاویه مناسبی که تابش خورشید با سطح کشور داراست، می‌توان در بسیاری از نقاط، نیروگاه خورشیدی تأسیس کرد.

۱ کیلو وات

۲ مگا وات

<sup>3</sup> Renewable Energy



میزان دریافتی انرژی خورشیدی کره زمین در سال برابر  $10^{17} \times 1/5$  کیلووات ساعت یعنی بیش از ۱۶۰۰۰ برابر کل مصرف سالانه انرژی جهان و بیش از ۴۰۰ برابر کل ذخایر نفت، گاز، زغال‌سنگ و اورانیوم دنیاست. میزان دریافتی انرژی خورشیدی یک صفحه افقی در ایران به طور متوسط برابر ۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز و یا ۱۸۲۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال است. بنابراین کل دریافت انرژی خورشیدی کشور تقریباً  $3 \times 10^{15}$  کیلووات ساعت در سال، بیش از ۱۰۰ برابر کل ذخایر نفت و گاز کشور است. اعداد و ارقام فوق بیانگر این واقعیت است که در صورتی که بتوانیم حتی از بخش ناچیزی از انرژی خورشیدی کشور استفاده کنیم، می‌توان از مصرف بخش قابل توجهی از ذخایر نفت و گاز جلوگیری کرد. در کشور آلمان کل ظرفیت نصب شده به میزان  $24/8$  گیگاوات رسیده که میزان  $3/1\%$  از برق تولیدی کشور آلمان را به خود اختصاص می‌دهد (در سال ۲۰۱۰ این میزان  $1/9\%$  بوده است).

ایتالیا رکورد جدیدی را ثبت نموده است،  $9/3$  گیگاوات سیستم فتوولتائیک وارد شبکه نمود که تا آخر سال به میزان  $12/8$  گیگاوات رسید. از دیگر بازارهای برتر در اروپا می‌توان به بلژیک (نزدیک ۱ گیگاوات)، انگلستان ( $0/9$  گیگاوات)، یونان (بیشتر از  $0/4$  گیگاوات)، اسپانیا (نزدیک به  $0/4$  گیگاوات که از مقام دوم جهانی به مقام چهارمی نزول کرد)، اسلواکی ( $0/3$  گیگاوات) اشاره نمود.

مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات خورشیدی در ایران مناسب بوده و میتواند بخشی از انرژی مورد نیاز کشور را تأمین نماید. ایران کشوری است که به گفته متخصصان این فن با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دو سوم آن و متوسط تابش  $5,5 - 4,5$  کیلووات ساعت بر متر مربع در روز یکی از کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی شده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی گام را فراتر نهاده و در حالتی آرمانی ادعا می‌کنند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده‌ای از منطقه را نیز تأمین و در زمینه صدور انرژی برق فعال شود.

با مطالعات انجام شده توسط مرکز هوافضای آلمان<sup>۱</sup>، در مساحتی بیش از ۲۰۰۰ کیلومترمربع، امکان نصب بیش از ۶۰۰۰۰ MW نیروگاه حرارتی خورشیدی وجود دارد. اگر مساحتی معادل  $100 \times 100$  کیلومترمربع زمین را به ساخت نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک اختصاص دهیم، برق تولیدی آن معادل کل تولید برق کشور در سال ۱۳۸۹ خواهد بود. نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی به ۵ دسته تقسیم بندی می‌گردند:

- نیروگاه‌های سهموی خطی<sup>۲</sup>
- نیروگاه‌های دریافت کننده مرکزی<sup>۳</sup>
- نیروگاه‌های بشقابک سهموی<sup>۴</sup>
- نیروگاه‌های دودکش خورشیدی<sup>۵</sup>
- نیروگاه کلکتورهای فرنل<sup>۶</sup>
- نیروگاه‌های سهموی خطی<sup>۷</sup>

<sup>1</sup> DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

<sup>2</sup> Parabolic Trough

<sup>3</sup> CRS

<sup>4</sup> Parabolic Dish

<sup>5</sup> Solar Chimney

<sup>6</sup> Fresnel Collector

<sup>7</sup> Parabolic Trough





### اثرات زیست محیطی و موانع و محدودیت استفاده از انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی از نظر محیط زیست بی خطر است و همچنین انرژی خورشیدی با شرایط فرهنگی متفاوت بخوبی پیوند می بندد. شمار محدودیتهای اقتصادی و اساسی وجود دارند که برای استفاده وسیع از این انرژی می باید رفع شوند از جمله:

- محدودیت های فنی که شامل: شدت انرژی کم - منبع تنها در روز در دسترس می باشد - ابرها و هوای نامنظم.
- محدودیت بنیادی شامل: تغییرپذیری برنامه های تشویقی دولت.
- محدودیت اقتصادی شامل: قیمت های ارزان برای سوخت معمولی - هزینه سرمایه ای زیاد برای سیستم های خورشیدی - هزینه بالا برای حمل و نقل انرژی برقی یا حرارتی حاصل از انرژی خورشیدی - هزینه آنالیز ساختمان مناسب محل در مقایسه با ارزش انرژی.
- محدودیت فرهنگی اجتماعی: شامل تغییرات در روش زندگی برای حداکثر استفاده - تغییر از منابع انرژی سنتی.
- محدودیت آموزشی: که متخصصین محل معلومات و تجربیات محدودی دارند. [۱۳]

### ۴- روش شناسی

جهان در حال تغییر و تحول است. سرعت تغییر در روزگار ما بیشتر از هر زمان دیگر در تاریخ بشر است. تغییر و تحول فرایندی دینامیکی است و اتفاقی یکباره نیست. به علت پیچیدگی های تغییر تشخیص جهت مناسب تغییر کار ساده ای نیست. سازمان ها و جوامع انسانی ممکن است در پاسخ به تحولات محیطی، تغییر و تحولی را آغاز و حمایت نمایند که ثمر بخش نبوده و حتی در صورت موفقیت منجر به ضعف و نابودی مجموعه می شود. [۵]

موفقیت در ایجاد تغییر و تحولات، مستلزم درک علل تغییر و تحول در گذشته و شناخت ساختارها و روابط ایجاد کننده تحولات آینده است. بیشتر تغییراتی که برای درک آنها تلاش می کنیم، پیامدهای خواسته یا ناخواسته خود بشوند. تغییرات اساسی در جوامع و سازمان های امروزی به هوش اجتماعی جدیدی نیاز دارد. به همین منظور گسترش تفکر سیستمی به منظور بقای انسان ها حیاتی است. [۸]

پویایی شناسی سیستم ها روشی است برای بالا بردن سطح یادگیری در سیستم های پیچیده، در حقیقت عمدتاً روشی برای ایجاد شبیه سازهای پرواز در مدیریت است. این روش گرایش علمی بین رشته ای است. از آنجا که با رفتار سیستم های پیچیده سر و کار داریم پویایی شناسی سیستم ها بر اساس نظریه پویایی غیرخطی پایه ریزی شده و بر اساس نظریه بازخوردهای کنترلی در ریاضیات، فیزیک و علوم مهندسی توسعه یافته است. در این حوزه را با مدلسازی رایانه ای پیچیدگی پویا را درک می کنیم و منشا مقاومت در برابر سیاست را بشناسیم و سیاست های کاراتری را طراحی کنیم. [۶]

### ۴-۱- ابزارهای تفکر سیستمی

- بازخورد



بازخورد<sup>۱</sup> و یا اثر متغیرها به یکدیگر در مدل سازی مفهوم مهمی است باید صورت بندی کامل مدل در حلقه های بازخوردی صورت گیرد. در واقع اثر دو متغیر به روی یکدیگر و نهایتاً تاثیر متغیرها به روی یکدیگر بررسی شود. [۱۰]

درک ضعیف از روابط داخلی پیچیده در سیستم ها غالباً منجر به تصمیماتی می شود که نتایج آن پایداری لازم را ندارند. در الگوهای طبیعی توسعه و نشان داده است که چگونه پیچیدگی و پویایی سیستم عکس العمل هایی را در مقابل رفتار ما ایجاد می کند که پس از مدتی نتایج اولیه تصمیمات را خنثی کرده و حتی وضعیت بدتری را نیز ممکن است ایجاد نماید. دلیل عمده این مساله به این موضوع برمی گردد که ذهن انسان ها برای تفسیر رفتار سیستم های اجتماعی مناسب نیست. این نوع سیستم ها به طبقه ای از سیستم ها تعلق دارند که سیستم های دارای بازخوردهای غیرخطی<sup>۲</sup> و چند حلقه ای<sup>۳</sup> نامیده می شوند. [۸]

#### - نمودار علی-حلقوی

نمودار علت معلولی ابزاری برای ترسیم ارتباطات علی بین مجموعه ای از متغیرها (یا عوامل) درگیر در داخل یک سیستم است. عناصر اساسی حلقه های علت معلولی عبارتند از متغیرها (عوامل) و فلش ها (روابط). یک متغیر عبارت است از یک وضعیت، اقدام یا تصمیمی که می تواند سایر متغیرها را تحت تاثیر قرار دهد و یا از آن ها تاثیر پذیرد. یک حلقه علی ابزاری مفهومی است که فرآیند دینامیکی که در آن زنجیره ای از روابط علی مجموع های بسته از روابط را تشکیل داده و نهایتاً به متغیر اولیه (علت) وصل می شوند را توضیح می دهد.

وقتی مجموعه ای از متغیرها در یک مسیر متصل بسته به یکدیگر وصل می شوند یک حلقه علی را تشکیل می دهند. به این ترتیب در یک حلقه علی وقتی از یک متغیر شروع می کنیم باید مجدداً به آن متغیر بازگردیم. به لحاظ نظری همه متغیرهای داخل این حلقه بسته می توانند متغیر شروع حلقه باشند ولی ما بر اساس شرایط مسأله و اقداماتی که علاقه مند هستیم متغیر شروع را می توانیم انتخاب نماییم. این حلقه بسته عنصر مهمی را در ساختار سیستم به وجود می آورد که به آن بازخورد می گوئیم. بازخورد این مفهوم را در بر دارد که تغییرات یک متغیر سرانجام بر مقدار آتی خود آن نیز اثر خواهد داشت. نگرش مبتنی بر بازخورد متفاوت از نگرش خطی است که در آن روابط بین دو متغیر یک سو به دیده می شود. وجود بازخورد در حلقه ها باعث ایجاد الگوهای رفتاری در حلقه می شود که در کلی ترین تقسیم بندی می توان آن را به حلقه های تقویت کننده<sup>۴</sup> و تعادلی<sup>۵</sup> تقسیم کرد.

حلقه های تقویت کننده: حلقه های تقویت کننده سیستم های فیدبک مثبت هستند. این نوع حلقه ها می توانند رفتار رشد یابنده یا تنزل یابنده از خود نشان دهند. به عنوان مثال کل وامی که باید بر اساس نرخ بهره مشخصی بازپرداخت شود دارای رفتار تقویت کننده است. هر قدر مقدار وام بیشتر می شود، بهره بیشتری بر آن تعلق می گیرد و بهره بیشتر کل بدهی را افزایش می دهد. در مقابل وقتی یک شرکت دارای توانایی پایینی است، قادر به ایجاد سود کم تری می شود و سود کمتر قابلیت سرمایه گذاری برای بهبود کیفیت داخلی را هر چه بیشتر کاهش می دهد در این حالت بازدهی سیستم روز به روز

<sup>1</sup> Feedback

<sup>2</sup> Non Linear Feedback

<sup>3</sup> Multi Loop

<sup>4</sup> Reinforcing

<sup>5</sup> Balancing





کاهش می‌یابد. این نوع حلقه‌های مثبت را که باعث حرکت سیستم به سمت نقاط منفی می‌شود حلقه‌های معیوب یا شیطانی (Vicious) نامیده می‌شود.

حلقه‌های تعادلی: بر عکس رفتار حلقه‌های تقویت‌کننده، یک حلقه تعادلی نوعی پایداری در بازگشت به نقطه تعادلی یا هدف تعیین شده برای سیستم را نشان می‌دهند. وجود بازخورد منفی در این نوع حلقه‌ها باعث می‌شود تا با دور شدن وضعیت سیستم از نقطه هدف، میزان بازخورد منفی افزایش یافته و سیستم را به سمت نقطه هدف هدایت نماید. در سیستم‌های مختلف اطراف ما انواع حلقه‌های تعادلی به چشم می‌خورد. در بدن انسان حلقه‌های تعادلی مختلفی برای تنظیم عناصر داخل خون و درجه حرارت بدن وجود دارد. در زندگی روزمره ترموستات نمونه‌ای از یک حلقه تعادلی است.

- نمودار جریان

نمودارهای علت معلولی، درک تصویری از ساختار سیستم را ارائه می‌کنند ولی این نمودارها برای بررسی رفتار سیستم در طول زمان کافی نیستند. برای درک بهتر از رفتار سیستم لازم است، روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شده و با استفاده از کامپیوتر، مقدار متغیرها در طول زمان شبیه‌سازی شود. متغیرهای مدل‌های جریان در پویایی سیستم‌ها، به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند:

✓ **متغیرهای حالت:** این متغیرها مربوط به عناصری در سیستم هستند که مقدار آن‌ها در جریان یک دوره زمانی شکل می‌گیرد. به عنوان مثال سرمایه موجود در یک شرکت یک متغیر حالت به شمار می‌آید چرا که این متغیر، مجموعه تجمعی کلیه سرمایه‌گذاری‌های قبلی شرکت است که در طول زمان شکل گرفته است. معمولاً انواع متغیرهایی که نشان‌گر میانگین یک متغیر در طول زمان است مثل متوسط فروش شرکت یا متوسط کارکنان از این نوع متغیرها هستند. متغیرهای حالت بیانگر وضعیتی است که اگر هیچ تغییری در سیستم ایجاد نشود، آن وضعیت حفظ می‌شود. لذا یک روش ساده برای شناسایی این نوع متغیرها این است که مقدار آن‌ها را در هر لحظه از زمان می‌توان تعیین نمود. در نمودارهای گرافیکی این متغیرها توسط یک مستطیل نشان داده می‌شود.

✓ **متغیرهای نرخ:** هر متغیر حالت توسط مجموعه‌ای از متغیرهای نرخ تغییر می‌کند. متغیر نرخ نشان‌گر میزان تغییر یک متغیر در واحد زمان است. به عنوان مثال نرخ استخدام نیروی انسانی، یک متغیر نرخ است که مقدار متغیر حالت (کل نیروی انسانی سازمان) را افزایش می‌دهد. به همین ترتیب نرخ اخراج نیروی انسانی نیز یک متغیر نرخ است که باعث کاهش متغیر حالت (کل نیروی انسانی سازمان) می‌شود.

✓ **متغیرهای کمکی:** این متغیرها نشانگر ضرایبی هستند که رابطه بین متغیرهای دیگر را تعیین می‌کنند. به عنوان مثال نرخ مالیات، نرخ سرمایه‌گذاری، امید به زندگی و ... نمونه‌هایی از متغیرهای کمکی در مدل‌های پویا هستند. معمولاً متغیرهای برون‌زا در سیستم توسط این نوع متغیرها نشان داده می‌شود.

## ۵- پیاده‌سازی روش‌شناسی و تحلیل نتایج

شبیه‌سازی در ۳ بخش صورت گرفته است. این ۳ بخش عبارت‌اند از: ساختاری، محیطی

<sup>1</sup> Level or Stock Variables

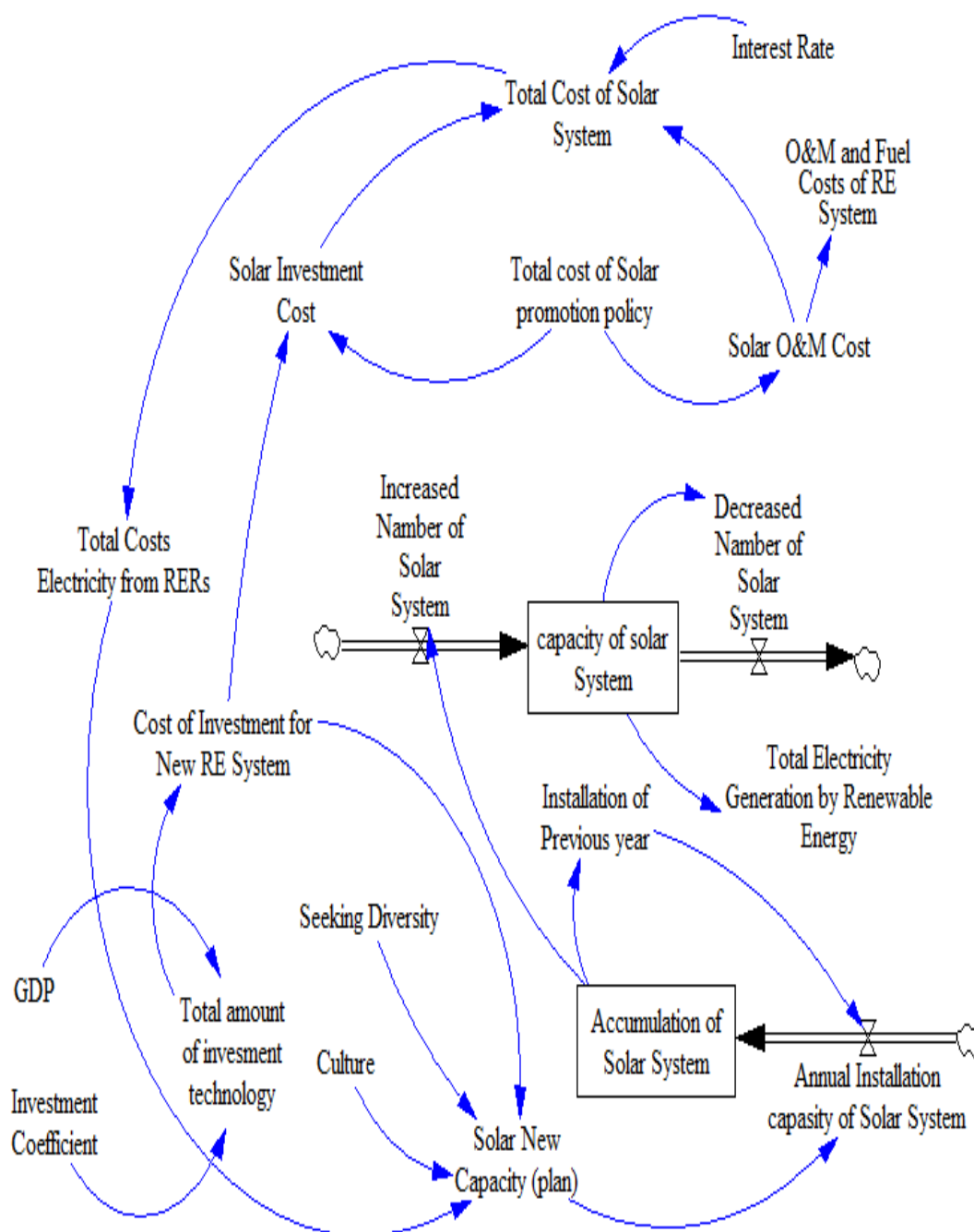
<sup>2</sup> Rate

<sup>3</sup> Auxiliary Variables



#### ۵-۱- شبیه سازی بخش محتوایی

انرژی همواره در طبیعت وجود داشته است، اما بشر از زمانی که دانش چگونگی استفاده از آن را آموخت، در حقیقت توانایی کشف و استفاده از انرژی ها را بدست آورد. تکنولوژی های متعدد هم اکنون در زمینه انرژی های تجدید پذیر و پایان پذیر وجود دارد. هر روزه مرزهای دانش برای استفاده از انرژی های نو و بهینه استفاده نمودن از انرژی های مختلف گسترش می یابد. آلمان بیش از ۱۰ درصد انرژی مورد نیاز خود را علی رغم دارا بودن روزهای کم خورشیدی از انرژی های نو تامین می کند و این در حالی است که این پتانسیل در کشور ما بسیار بیشتر از این کشورها فراهم است. در این بخش بحث امنیت انرژی و فن آوری انرژی مطرح می شود. نمودار جریان در این بخش به صورت زیر می باشد.



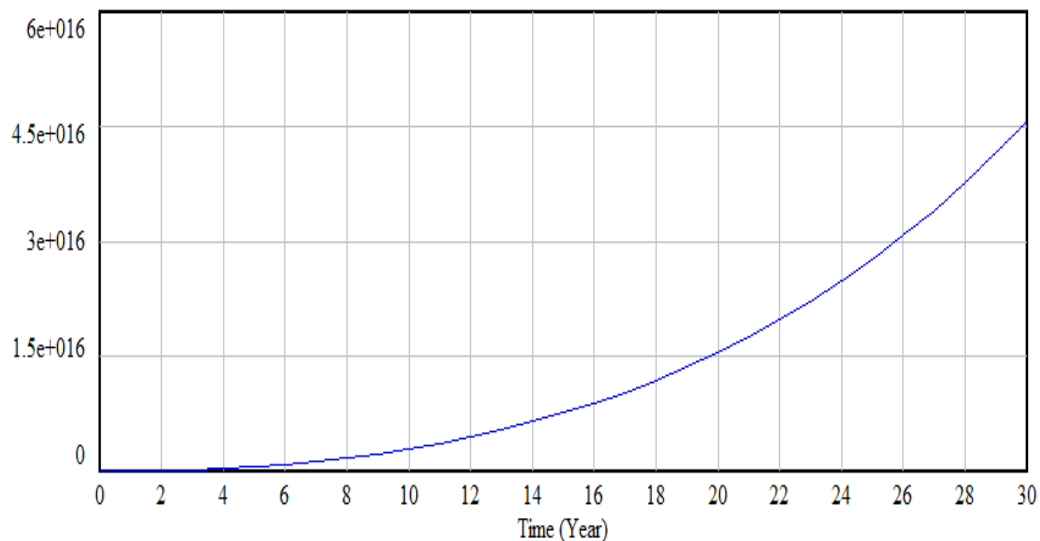
شکل ۱- نمودار جریان بخش محتوایی

#### ۵-۱-۱- سناریو اول بخش محتوایی ادامه روند جاری

در این سناریو انرژی خورشیدی از مرحله ابتدایی یعنی فرهنگ سازی و بستر سازی تا مرحله نصب تجهیزات آن بدون در نظر گرفتن دیگر عوامل بررسی شده است. شبیه سازی تا ۳۰ سال صورت گرفته است.



capacity of solar System



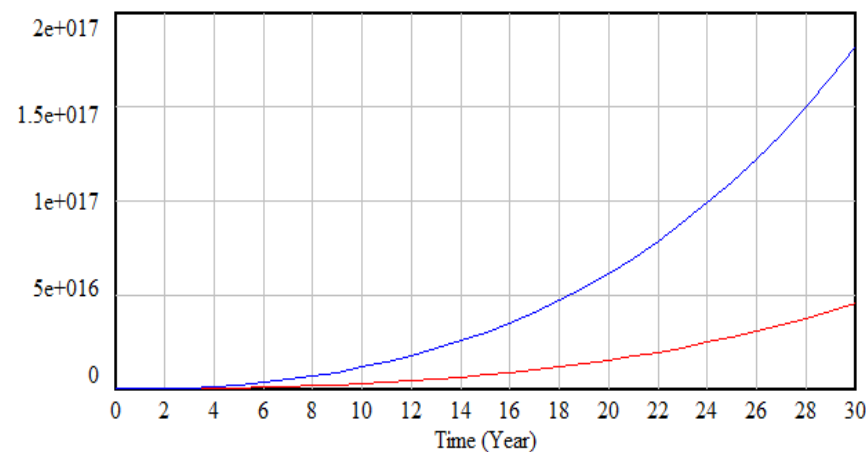
capacity of solar System : 1

شکل ۲- نمودار ظرفیت سیستم خورشیدی سناریو اول بخش محتوایی

#### ۵-۱-۲- سناریو دوم بخش محتوایی: افزایش میزان فرهنگ و تنوع طلبی

برای تشریح مکانیسم فرهنگ سازی محیط های متغیر و پویا از اصطلاح سیستم های فرا باز و تاثیر آنها بر فرهنگ سیستم کمک می گیریم. در سیستم های فرا باز علاوه بر اینکه سیستم ها بر یکدیگر تاثیر گذاشته و از یکدیگر تاثیر می پذیرند در فرایندی پرتحول بر اثر انبساط اجزای زیرسیستم ها (منظور از انبساط، ظهور تغییرات مثبت و در کارکرد زیرسیستم ها خارج از قالب تعریف شده است).

capacity of solar System



capacity of solar System : 2

capacity of solar System : 1

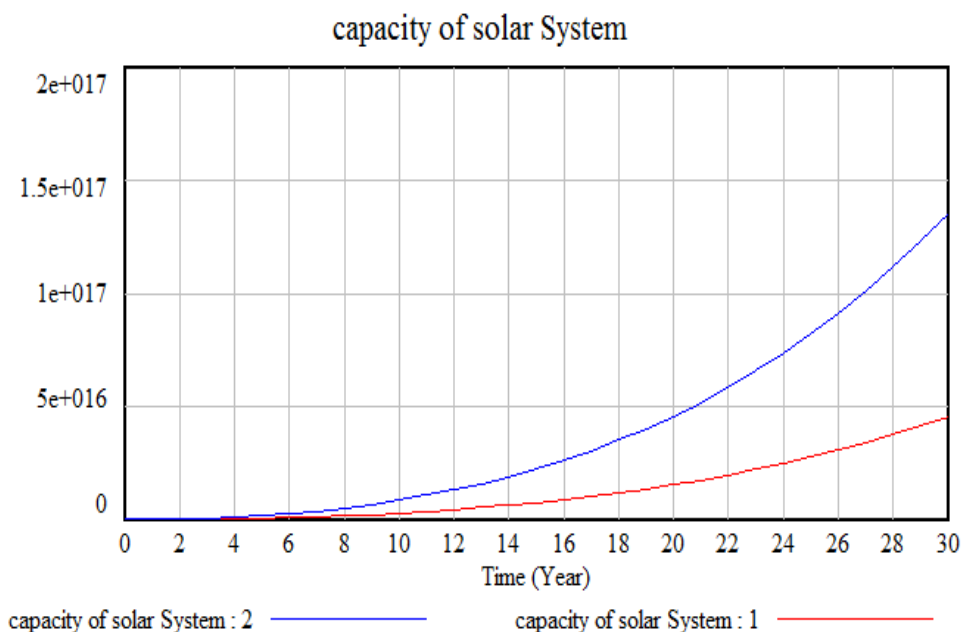
شکل ۳- نمودار ظرفیت سیستم خورشیدی سناریو دوم بخش محتوایی



### ۵-۱-۳- سناریو سوم بخش محتوایی: کاهش نرخ بهره و افزایش میزان تولید ناخالص داخلی

نرخ بهره عبارت است از نرخ که بابت جلوگیری از کاهش ارزش پول پرداختی در امروز و دریافتی در آینده به دلیل ارزش زمانی پول و نرخ تورم از وام‌گیرنده دریافت می‌شود.

تولید ناخالص داخلی یا GDP یکی از مقیاس‌های اندازه‌گیری در اقتصاد است. تولید ناخالص داخلی در برگزیده ارزش مجموع کالاها و خدماتی است که طی یک دوران معین، معمولاً یک سال، در یک کشور تولید می‌شود. در این تعریف منظور از کالاها و خدمات نهایی، کالا و خدماتی است که در انتهای زنجیر تولید قرار گرفته‌اند و خود آنها برای تولید و خدمات دیگر خریداری نمی‌شوند.



شکل ۴- نمودار ظرفیت سیستم خورشیدی سناریو سوم بخش محتوایی

### ۵-۲- شبیه سازی بخش ساختاری

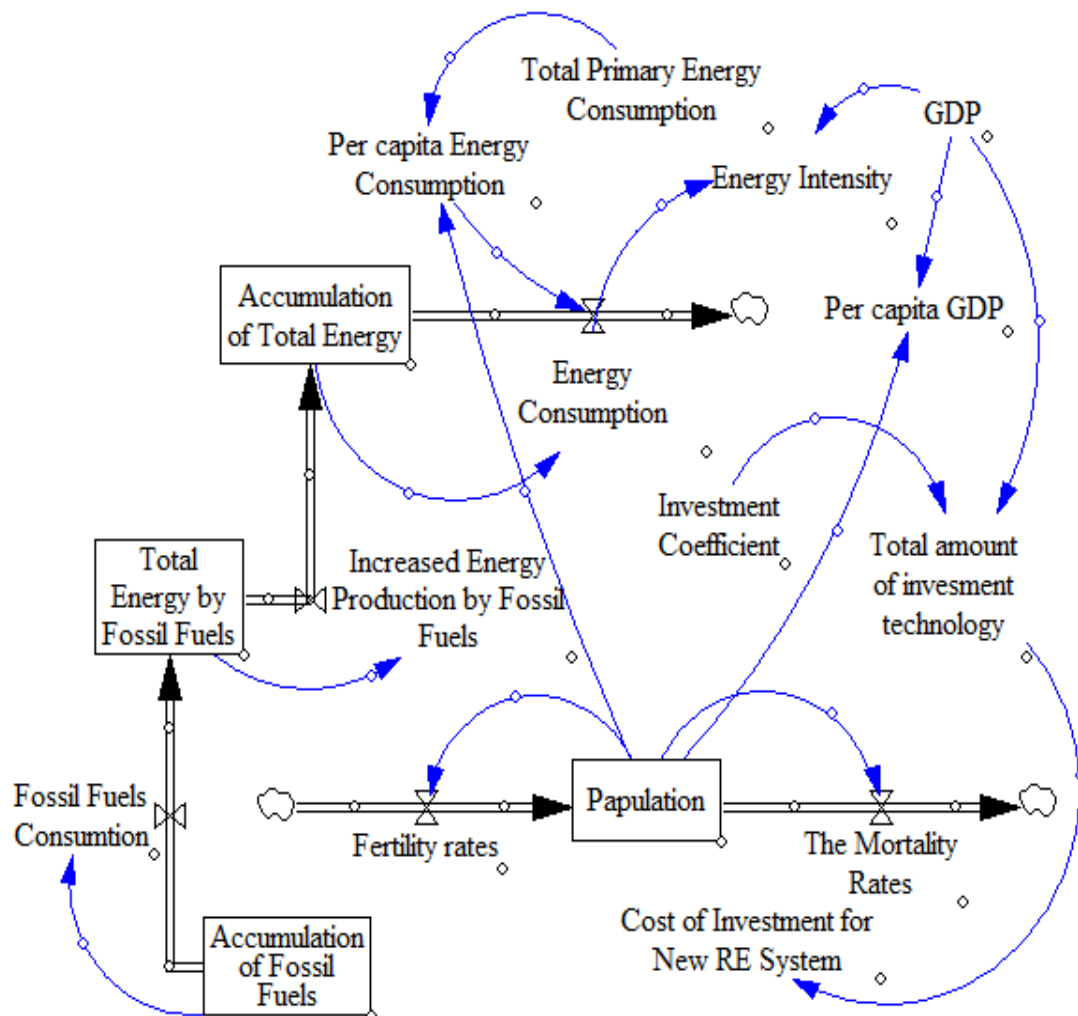
در این بخش سه موضوع مطرح شده که عبارت‌اند از اقتصاد و مدیریت و خصوصی سازی که هر کدام جای بحث دارد. اقتصاد انرژی: تا قرن نوزدهم آنچه که بیشتر در اقتصاد مورد بحث قرار می‌گرفت، زمین و مستغلات بود. اما به تدریج و پس از انقلاب صنعتی در اروپا، منابع طبیعی و بخصوص انرژی نیز مورد توجه اقتصاددانان قرار گرفت. در قرن بیستم و بخصوص پس از جنگ جهانی دوم برنامه ریزان متوجه شدند که هرگونه رشد اقتصادی لاجرم با دسترس بودن منابع طبیعی ملازمه دارد. مدیریت انرژی: گرچه در دو قرن اخیر راه‌هایی برای استفاده بهتر و پیدانمودن منابع جدید انرژی با استعانت از فناوری پیشرفته پیدا شده است، اما همیشه پیشرفت تکنولوژی و دستیابی به ذخایری که تاکنون کشف نشده است، از لحاظ زمانی پس از دوره‌هایی بوده است که نگرانی در مورد کمبود انرژی وجود داشته است. یعنی نااطمینانی از متغیرهای اصلی بازار انرژی‌های پایان پذیر است.

خصوصی سازی انرژی: اگرچه گفته می‌شود که تعریف واژه خصوصی سازی کار بسیار مشکلی است اما در هر حال دو معنای محدود و گسترده برای این واژه وجود دارد. خصوصی سازی در معنای محدود خود عبارت است از واگذاری دارایی‌ها و شرکت‌های دولتی و عمومی به بخش خصوصی به طور کلی شریک کردن آنها در این دارایی‌ها و شرکت‌ها.



اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها

امروزه آزادسازی و خصوصی سازی در تمام بخش های اقتصاد و از جمله بخش انرژی ضرورتی اجتناب ناپذیر قلمداد می شود. فرآیند خصوصی سازی در بخش انرژی یک سری آثار روی عناصر خود بخش و آثاری نیز بر روی سایر عناصر و متغیرهای اقتصاد برجای میگذارد. تغییر قیمت ها در خود بخش انرژی و سایر بخش های اقتصاد، احتمال کاهش در امنیت عرضه محصولات بخش انرژی، بهبود در کیفیت ارائه خدمات به مشتریان، بهبود بهره وری نیروی کار، افزایش سودآوری و ارزش سهام شرکت ها، توسعه گستره بازارها، تحول در فعالیت شرکت های بخش انرژی، تحول در ساختار شرکت های بخش، توجه بیشتر مدیران شرکت ها به مدیریت ریسک، تغییر در سطح اشتغال در کوتاه مدت و بلندمدت و تشدید فشار بر اقشار آسیب پذیر از مهمترین آثاری هستند که اجرای پروسه خصوصی سازی در جامعه بر جای می گذارد. نمودار جریان این بخش به صورت زیر می باشد.



شکل ۵- نمودار جریان بخش ساختاری

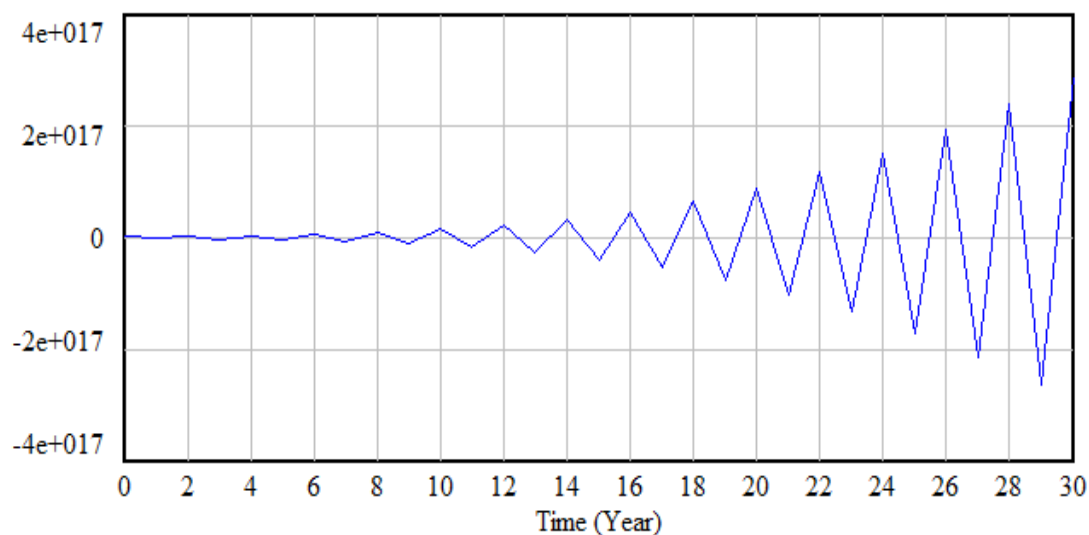




#### ۱-۲-۵- سناریو اول بخش ساختاری؛ ادامه روند جاری

در روند جاری استفاده از سوخت های فسیلی برای تأمین انرژی مد نظر است. حدود ۹۰ درصد بکارگیری انرژی امروزه در کشور ایران توسط سوخت های سنگواره ای تولید می شود. آنچه مشخص است اینکه در طول سال های گذشته به دلیل مشکلات فراوان پیش روی تولید محصولات نفت، گاز و پتروشیمی و نیز عرضه این محصولات به بازار مصرف جهانی، اقتصاد انرژی ایران روند پسرقت را پیموده است. یکی از مهمترین چالش های پیش روی پیشرفت اقتصاد انرژی، مساله مدیریت مصرف داخلی است.

#### Accumulation of Total Energy



Accumulation of Total Energy : 1

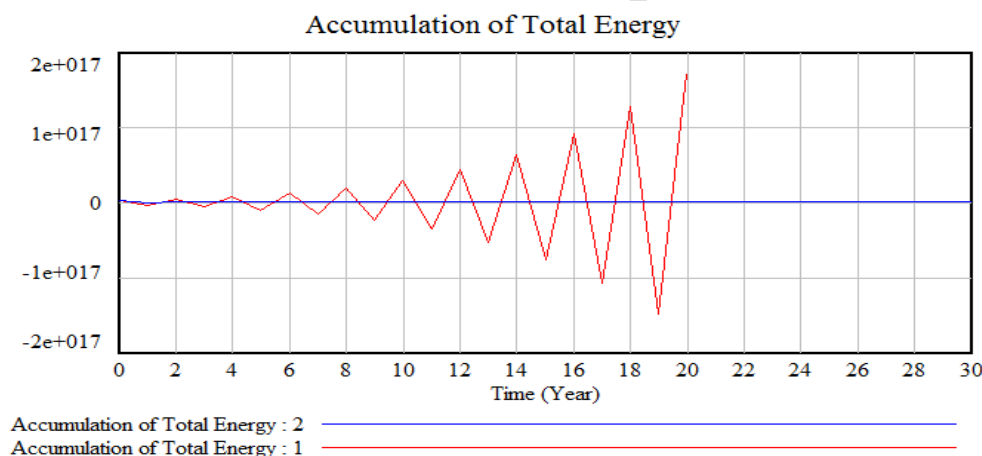
#### شکل ۶- نمودار کل انباشت انرژی سناریو اول بخش ساختاری

نمودارهای فوق نوسانی را در انباشت انرژی و مصرف انرژی نشان می دهد. این نوسان هم به خاطر پویایی در جمعیت و تغییرات آن می باشد و هم به علت نوساناتی که در عرضه و تقاضای انرژی وجود دارد است. علت اینکه در سال های آینده این نوسان بیشتر خواهد شد یکی به دلیل اینکه در آینده تکنولوژی های برتری خواهد آمد که با سوخت های فسیلی سازگار نیست و در بکارگیری انرژی دچار مشکل خواهد شد و دوم اینکه با افزایش جمعیت و تغییراتی که در این حوزه انجام می گیرد عرضه انرژی با نگاه به گذشته مسلماً نوساناتی را هم در مصرف و هم در عرضه ایجاد خواهد کرد.



## ۲-۵- سناریو دوم بخش ساختاری صرفه جویی در بخش مصرف

در نمودارهای زیر همانطور که ملاحظه شد نوساناتی در انباشت انرژی وجود داشت با صرفه جویی انرژی و در واقع کاهش تقاضا نوسان کمتر شده و تقریباً از بین می‌رود. نوسانی که در سیستم وجود دارد یا با نوسانی دیگر از بین می‌رود یا با ایجاد یک سیستم بافری، متغیر انباشت یا حالت همانند یک سیستم بافری عمل می‌کند. در سناریو فوق صرفه جویی و کاهش سرانه مصرف انرژی می‌تواند میزان نوسان موجود در سیستم مصرف و انباشت انرژی را کاهش و یا از بین ببرد.

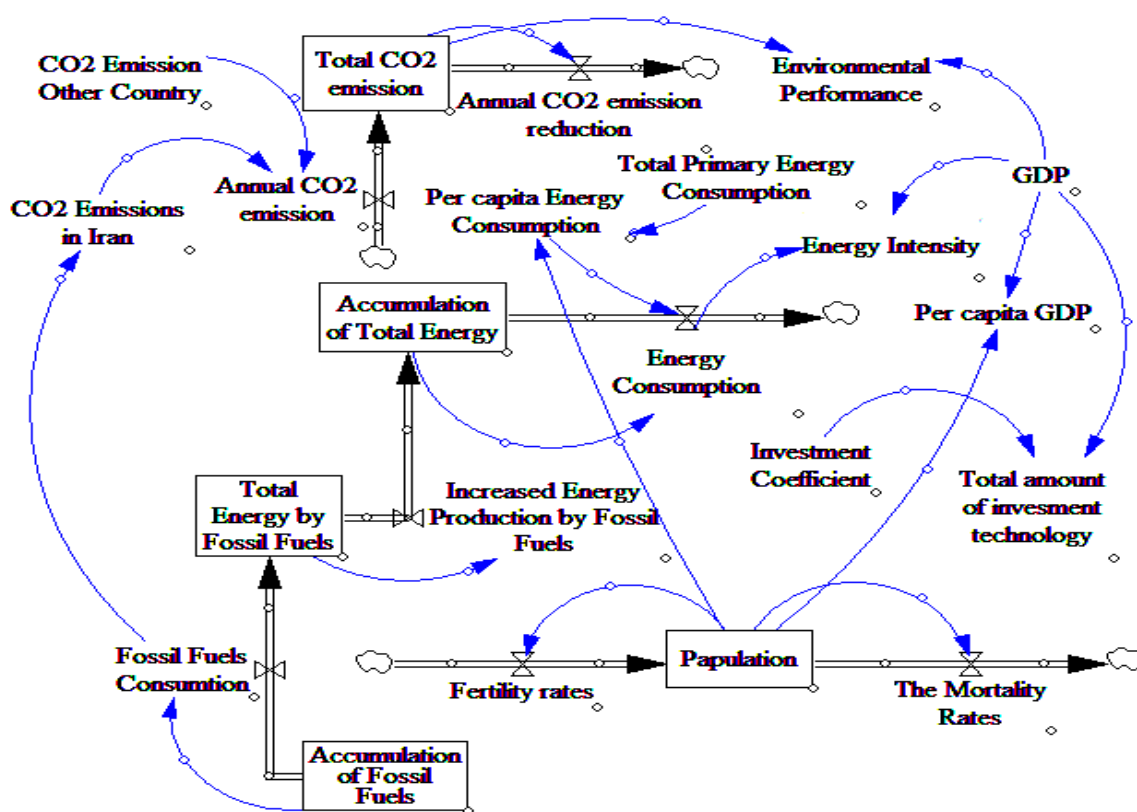


شکل ۷- نمودار کل انباشت انرژی سناریو دوم بخش ساختاری

هر زمان که در مصرف انرژی صرفه جویی می‌کنید، نه تنها پول پس انداز می‌نمایید، بلکه نیاز به سوخت‌های فسیلی مثل نفت، بنزین، زغال سنگ و گازهای طبیعی را پایین می‌آورید. سوختن کمتر سوخت‌های فسیلی به معنی دفع دی‌اکسید کربن کمتر است که جزء مهمترین علل گرم شدن کره زمین و سایر آلاینده‌ها است. نیازی نیست برای صرفه جویی در این سوخت‌ها دست از مصرف بکشید. امروزه یک جایگزین بسیار کارآمد برای تقریباً همه انواع اسباب و وسایل سوختی وجود دارد و این یعنی مصرف‌کننده‌ها قدرت و انتخاب واقعی برای تغییر مصرف انرژی خود با مقیاسی متحول‌کننده دارند.

## ۳-۵- شبیه‌سازی بخش محیطی یا زمینه‌ای

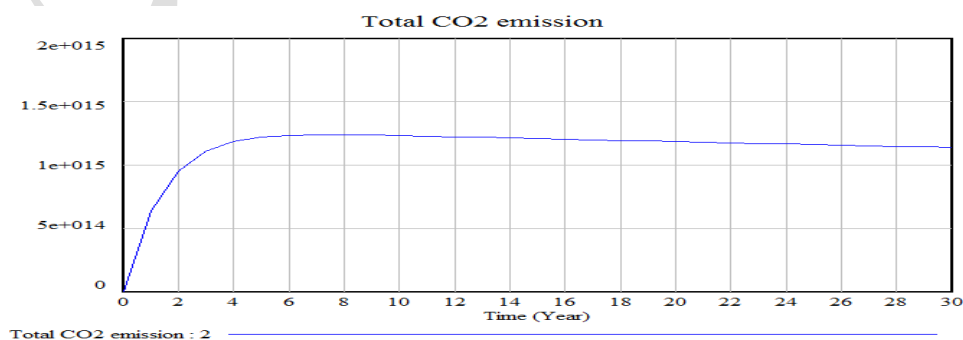
روند کنونی افزایش مصرف انرژی در جهان، بشر را با دو بحران بزرگ روبرو کرده است؛ نخست آلودگی محیط زیست در اثر سوزاندن سوخت‌های سنگواره‌ای و دیگری شتاب فزاینده در جهت به پایان بردن این منابع. تأمین انرژی یکی از اساسی‌ترین پیش‌نیازهای توسعه اقتصادی و بهبود کیفی زندگی بشر است. روند صعودی مصرف انرژی در جهان، که با وقوع انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم میلادی آغاز شد، همچنان ادامه دارد. در حال حاضر، مصرف انرژی جهان معادل ده میلیارد تن نفت در سال می‌باشد. گفتنی است که سرانه مصرف انرژی کشورهای پیشرفته صنعتی تقریباً ۲۰ برابر کشورهای در حال توسعه است (سرانه مصرف انرژی در کشور ما بالا و در خور تأمل است).



شکل ۸- نمودار جریان بخش ساختاری و محیطی

### ۱-۳-۵- سناریو اول بخش محیطی؛ ادامه روند جاری

همان طور که ملاحظه می شود نمودار جریان تا حدود ۱۰ سال دیگر به اوج خود خواهد رسید و به صورت پایدار به انتشار گاز دی اکسید کربن ادامه خواهد داد. این نمودار رفتار هدف جو را نشان می دهد و نمودار تا آستانه ظرفیت تحمل مماس شده است.



شکل ۹- نمودار کل انتشار گاز دی اکسید کربن سناریو اول بخش محیطی



یکی از عوامل افزایش مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه، مصرف غیر صحیح است. آمار نشان می‌دهد که در کشور ما مصرف انرژی از ۱۹۹,۷ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۵۷ به ۵۸۴ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ۱۳۷۴ افزایش یافته است. از کل مصرف نهایی انرژی در سال ۱۳۷۴، حدود سی درصد در بخشهای صنعت و کشاورزی و ۶۰ درصد آن در بخش خانگی و تجاری و بخش حمل و نقل استفاده شده است. این در حالی است که در کشورهای توسعه یافته بیشترین سهم استفاده از انرژی متعلق به بخش صنعت یعنی بخش مولد است. برای صرفه جویی در مصرف انرژی باید وسایل خانگی مصرف کننده به سیستم های با بازدهی بالا تبدیل شوند، فن آوری قدیمی صنایع کشورهای در حال توسعه نوسازی یا جایگزین گردد، و سرانجام راه حل هایی مناسب برای بهینه سازی نمونه های اجتماعی مصرف انرژی (از لحاظ فرهنگی، اقتصادی و غیره) بکار گرفته شود.

### ۲-۳-۵- سناریو دوم بخش محیطی؛ جایگزینی انرژی

از آنجا که مهمترین خسارت ناشی از مصرف سوخت های فسیلی، تمرکز دی اکسید کربن در جو است، اولین گام برای جایگزینی منابع انرژی، استفاده از سوخت های سنگواره ای با کربن کم بجای سوخت های با کربن بالاست. مثلاً استفاده از گاز طبیعی بجای زغال سنگ، بنزین و نفت، انتشار دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد را که از مهمترین عوامل آلودگی هوا هستند، کاهش می‌دهد. اما در عین حال ممکن است در اثر توسعه کاربرد آن ضمن کاهش قابل ملاحظه دی اکسید کربن انتشار متان افزایش یابد. امروزه برخی از کشورهای جهان، بویژه کشورهای فاقد سوخت های سنگواره ای، از انرژی هسته ای بهره می‌گیرند. در حال حاضر، انرژی هسته ای ۱۷ درصد نیروی برق جهان را تأمین می‌کند. گرچه انرژی هسته ای مزایایی دارد، اما استفاده از آن مخاطراتی را نیز به همراه دارد. حوادثی که در نیروگاه "چرنوبیل" در اتحاد جماهیر شوروی سابق " (اوکراین کنونی) و "تری مایل آیلند" آمریکا روی داد، موجب گردید عده زیادی کشته شوند و زمین های وسیعی به مدت زیاد تحت تأثیر مواد فعال تابش زای هسته ای (رادایو اکتیو) قرار گیرند. علاوه بر آن، زباله های اتمی سالها فعال می‌مانند و باید در انبارهای خاص مورد حفاظت ویژه قرار گیرند. در آغاز سده بیستم میلادی بازده تولید برق تنها ۵ درصد بود. در حال حاضر، متوسط جهانی بازده فرآیند تبدیل انرژی اولیه به انرژی ثانویه به حدود ۷۴ درصد می‌رسد. اما متوسط جهانی بازده تبدیل انرژی ثانویه به انرژی مفید، یعنی بازده مربوط به محدوده مصرف کنندگان، از ۴۶ درصد تجاوز نمی‌کند. بنابراین بازده کلی تبدیل انرژی به انرژی مفید تنها ۳۴ درصد می‌باشد بدیهی است که تلاش برای افزایش بازده، موجب کاهش مصرف سوخت و انتشار آلاینده ها می‌گردد.

مهمترین مزایای استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر عبارتند از: وجود ذخایر عظیم پایان ناپذیر، دسترسی آسان و پاکیزگی. با توجه به این ویژگی ها، امروزه بسیاری از کشورهای جهان با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی خود و پیشرفت فن آوری در کاربرد انرژی های تجدید پذیر، از آنها استفاده می‌کنند. انرژی خورشیدی، بادی، زیست توده، زمین-گرمایی، هیدروژن، امواج و جزر و مد دریاها از جمله انرژی های تجدید پذیری هستند که در جهان مورد توجه بسیار قرار گرفته اند. ضرورت های زیست محیطی و محدودیت منابع فسیلی لزوم تغییر سیستم فعلی انرژی و جایگزینی سوخت های سنگواره ای را افزایش داده است. یک سیستم قابل قبول انرژی جایگزین باید مبتنی بر منابع انرژی تجدید پذیر باشد. امروزه برخی از انواع انرژی های نو یا تجدید پذیر، مانند انرژی باد، حتی بدون در نظر گرفتن هزینه زیست محیطی سوخت های فسیلی، قابل رقابت با منابع فسیلی است و به صورت تجاری عرضه می‌شوند. کشور ما با برخورداری از پتانسیل بسیار غنی در



زمینه انرژی های تجدید پذیر، موقعیت مناسبی برای عرضه اینگونه انرژی های در اختیار دارد. شایسته است که با استفاده بهینه از این نعمت های الهی، در برنامه ریزی انرژی کشور جایگاه مناسبی برای انرژی های نو در نظر گرفته شود.

## ۶- نتیجه گیری

روز به روز تقاضای جهانی انرژی افزایش پیدا می کند و هر دو سال دو برابر می شود، که تلاش برای یافتن انرژی جدید را الزامی می کند. از جمله منابع انرژی که می تواند جایگزین مناسب منابع تجدید ناپذیر طبیعی باشد، می توان به خورشید، باد، امواج جذر و مد، آب جاری، انرژی زیستی، انرژی زمین گرمایی و گرمای حاصل از پوسته زمین اشاره کرد. البته شایان ذکر است که استفاده از این منابع جدید، تکنولوژی های جدید و پیشرفته ای را می طلبد که این تکنولوژی را در اختیار اکثر کشورهای جهان سوم که تولید کنندگان اصلی منابع تجدید ناپذیر طبیعی هستند، قرار ندارد. به همین خاطر با شبیه سازی های صورت گرفته نشان می دهد که حدود ۱۵۰ سال آینده سوخت فسیلی در ایران به پایان می رسد، بنابراین باید انرژی جایگزین مانند انرژی های تجدیدپذیر را جایگزین کنیم. ورود این منبع انرژی به سیستم تأمین انرژی کشور علاوه بر اینکه از محیط زیست کشور محافظ کرده و خود این مسأله از زاد و ولد گرفته تا بیماری های تنفسی و غیره در محافظت از لایه ازن هم مؤثر است. بحث اصلی در این مقاله چگونگی رونق اقتصادی با ورود منبع پایان ناپذیر انرژی های تجدیدپذیر است. طبق شبیه سازی صورت گرفته در صورت بکارگیری این منبع انرژی میزان صادرات نفتی و گازی کشور افزایش یافته زیرا مصرف کشور جهت تأمین انرژی کاهش می یابد به همین خاطر با سرمایه گذاری که می توان در زمینه اشتغال زایی و کسب و کار انجام گیرد، هم در تولید ناخالص داخلی و هم در اشتغال تأثیر بالایی خواهد داشت. در سیستم های پویا متغیرهای اهرمی نقش بسزایی دارند که با وجود این منبع انرژی اقتصاد کشور از اقتصاد مبتنی بر نفت به اقتصادی با پشتوانه پایان ناپذیر تبدیل شده، که این مسأله همان اقتصاد مقاومتی است که خود می تواند دلیلی بر حساسیت این موضوع باشد.

در جهان بینی سیستم ها، هدفمندی از ویژگی های هر سیستم است. هدف نهایی و علت غایی که قبلاً از مسائل متافیزیک به شمار می رفت در نگرش سیستمی جایگاه مهمی دارد. فهمیدن و شناخت رفتار سیستم های بازخور، یکی از هدفهای سیستم های پویا است. ساختارهای مسائل واقعی، اغلب پیچیده هستند. سیستم تأمین انرژی از پیچیده ترین سیستمهای بازخور است. شناخت رفتار و پیدا کردن متغیرهای اهرمی این سیستم، جهت بسترسازی یک سیاست جامع و توسعه انرژی های تجدیدپذیر از اهداف این سیستم است.

آنچه در این مقاله بدان پرداخته شد این است که توسعه استفاده از منابع انرژی جدید به جای سوخت فسیلی الزامی است. سیستم های جدید انرژی در آینده باید متکی به تغییرات ساختاری و بنیادی باشد که در آن منابع انرژی بدون آلایندهی نظیر انرژی خورشیدی و بادی و زمین گرمایی و مواد آلی خنثی مانند انرژی زیست توده مورد استفاده قرار گیرد. دستاوردی که از این نوشته عاید می شود به دو بخش کلی تقسیم می شود، اول اینکه ما به دنبال انرژی نو برویم و سعی بر توسعه آن داشته باشیم، دوم اینکه همزمان با استفاده از فناوری های جدید جهت بهینه سازی و صرفه جویی در مصرف انرژی، توسعه انرژی های تجدیدپذیر را دستور کار خود قرار داده و بسترهایی را جهت فرهنگ سازی و آماده سازی تجهیزات این نوع انرژی بکار ببریم.

از پروژه های بزرگ انرژی تجدیدپذیر در مقیاس نیروگاهی که بگذریم، فرصت بی نظیر استفاده از این نوع انرژی ها در مناطق روستایی نباید نادیده گرفت. هزینه انتقال انرژی به این مناطق بسیار زیاد است و در زمان های اوج مصرف هزینه بسیار زیادی به شبکه انرژی کشور وارد می کند. چنین مناطقی پتانسیل های بسیاری چون تولید انرژی از نخاله های و ضایعات



روستایی و شهری و همچنین ضایعات حیوانی (زیست توده) و استفاده از انرژی بادی و خورشیدی و آبی را دارند که می‌تواند در توسعه هرچه بیشتر این انرژی به کشور کمک کنند. باید تدوین قانون حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز تشکیل صندوق حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق تخصیص درصدی از درآمدهای نفت در برنامه‌های دولت یا بخش خصوصی قرار گیرد. اهرم‌هایی چون فرهنگ و تنوع طلبی مردم ایران از متغیرهای مهم جهت تغییر روند سیستم انرژی و حتی اقتصاد انرژی می‌باشد. با بسترسازی مناسب و در عین حال کنترل تقاضا و افزایش تولید ناخالص داخلی بتوان انرژی‌های تجدیدپذیر را توسعه داد. هرچه تسهیلات برای تحقیق و توسعه در این حوزه ایجاد شود می‌تواند به هرچه بیشتر توسعه انرژی‌های نو کمک کند.

## مراجع

- [۱] استرمن، جان د.، پویایی‌شناسی کسب و کار تفکر سیستمی و مدل سازی برای جهانی پیچیده، برارپور، کوروش، موسوی اهرنجانی، پریسا، بهزاد، بنفشه، امامی، مرضیه، فغانی، حسن. چاپ سوم. انتشارات سمت، تهران، (۱۳۹۰)
- [۲] حمیدی زاده، محمدرضا، پویایی‌های سیستم. چاپ اول. انتشارات افق امید، تهران، (۱۳۷۹)
- [۳] ژوئل دوروسنی و جون بیشون، ۱۳۷۰، روش تفکر سیستمی، امیرحسین جهانگللو، انتشارات پیشبرد
- [۴] سنگه، پیتر، پنجمین فرمان (خلق سازمان یادگیرنده)، کمال هدایت، حافظ، روشن، محمد. چاپ هشتم. سازمان مدیریت صنعتی، تهران، (۱۳۸۶)
- [۵] سنگه، پیتر، رقص تغییر چالش‌های تغییر پایدار در سازمان یادگیرنده، اکبری، حسین، سلطانی، مسعود. چاپ سوم. انتشارات آسیا، تهران، (۱۳۸۶)
- [۶] سوشیل، شارما، پویایی‌های سیستم رویکردی کاربردی برای مسائل مدیریتی، تیموری، ابراهیم، نورعلی علیرضا، والی زاده، نریمان. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (۱۳۹۰)
- [۷] مقدم حیدری، غلامحسین، ۱۳۸۷، قیاس ناپذیری پارادایم‌های علمی، چاپ دوم، نشر نی
- [۸] سایت رسمی شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (<http://www.tavanir.org.ir>)
- [۹] گزارش اول و ششم دفتر آگاه سازی سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)

- [10] Mario Richter., "Title Renewable and Sustainable Energy Reviews," Utilities' business models for renewable energy.(2012), pp2483– 2493,
- [11] Alireza Aslani , Kau-Fui V. Wong, "Analysis of renewable energy development to power generation in the United States"(2014)
- [12] Alireza Aslani , Petri Helo, Marja Naaranoja, " Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach"(2014)
- [13] Chiung-Wen Hsu., "Applied Energy," Using a system dynamics model to assess the effects of capital subsidies and feed-in tariffs on solar PV installations(2012). pp. 205–217 ,





The First National Conference of  
The Iranian System **Dynamics** Society

اولین کنفرانس ملی  
انجمن ایرانی پویاشناسی سامانه‌ها



## Dynamic Analysis of Solar energy development in the Iran

Abbas Raeisi<sup>1,\*</sup>, Ali Mohammad Ahmadvand<sup>2</sup>

Industrial Engineering Eyvanekey University, Garmsar, Iran, [Mr.raeisy@gmail.com](mailto:Mr.raeisy@gmail.com)

Department of Industrial Engineering Eyvanekey University, Garmsar, Iran [Alimohamad.ahmadvand@gmail.com](mailto:Alimohamad.ahmadvand@gmail.com)

...

### Abstract

The aim of this project is to implement system thinking and system approach in energy supply system of Iran and Development Study of renewable energy, and replacing it as a clean and optimal energy. In this study, at first the modeling divided to three parts of content, structural and environmental and simulation has been done over the next 30 years for renewable energy. And by changing in each of the levers such as interest rates, GDP, energy investment ratio, diversity and culture making, major changes occurred in improvement of renewable energy. The results of this research developed appropriate infrastructure of increasing in using renewable energy and energy saving policies in society, and by using levers to increase gross domestic product, should be tried on development in renewable energy and following that reducing unemployment and economic growth, and more importantly, healthy environment.

**Keywords:** Systems Thinking, Energy System, System Dynamics Simulation, Renewable Energy

---

<sup>1,\*</sup> Master of Science, Industrial Engineering

<sup>2</sup> Professor of System Management, Tehran, Iran