Iran Futures Studies
Print ISSN: 6365-2423
Online ISSN: 2676-6183

# Analyzing the Effectiveness of EU Climate Policies by Simulating Scenarios to Reduce Carbon Emissions from 2021 to 2030 and Its Impacts on Iranian Environmental Strategic Policies Using a System Dynamics Approach

**Nasser Safaie***
Assistant Professor of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
(Corresponding Author) nsafaie@kntu.ac.ir
**Sajjad Hedayati**
Ph.D. Student in Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
hedayati.s@email.kntu.ac.ir
**Seyed Amir Nasri**
M.A. Student in Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
s.a.nasri74@gmail.com
**Majid Mirzaei**
Assistant Professor of Industrial Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
majidmirzaee@kntu.ac.ir

## Abstract

**Objective:** Climate change due to greenhouse gas emissions, especially carbon dioxide, has dangerous consequences, the most important of which is global warming. The European Union, as a leader in reducing carbon emissions, has taken a number of key steps and set various policies and guidelines. Analyzing the actions and policies adopted by this union could help determine the correct strategy for environmental protection in our country.
**Method:** This study presents a simulation model to analyze the effectiveness of EU policies to achieve related aims by 2030 to reduce carbon emissions, using a system dynamic approach to reduce carbon emissions.
**Findings:** The results show that the adoption of a policy alone cannot have the desired effect in reducing emissions. The results also indicate that the EU ETS emission management system alone has the lowest performance in reducing carbon emissions.
**Conclusion:** The scenario showing the adoption of the EU's three climate policies showed the best impact on reducing emissions by 2030. Among the moderating feedback loops on reducing carbon emissions, and in line with the EU's climate policy, action on energy efficiency and the EU ETS emission management system should be given more attention.
**Keywords:** EU Climate Policies, Carbon Emissions, System Dynamics, Iranian Environmental Strategic Policies, Environmental Protection Organization.

Semiannual Journal of Iran Futures Studies, Research Article,Vol.6, NO.1,Spring & Summer 2021, 127-149
DOI: 10.30479/jfs.2021.14475.1241
Received on 31 October, 2020 Accepted on 21 June, 2021
Copyright© 2021, Safaie, Hedayati, Nasri & Mirzaei
Publisher: Imam Khomeini International University

آینده پژوهی ایران
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۶۳۶۵
شاپا الکترونیکی: ۶۱۸۳-۲۶۷۶

# تحلیل خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا جهت کاهش انتشار کربن در افق زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ و تأثیرات آن در سیاست‌های راهبردی زیست‌محیطی ایران با رویکرد پویایی سیستم‌ها

**ناصر صفایی***
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران(نویسنده مسئول) nsafaie@kntu.ac.ir
**سجاد هدایتی**
دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
hedayati.s@email.kntu.ac.ir
**سید امیر نصری**
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
s.a.nasri74@gmail.com
**مجید میرزایی**
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.majidmirzaee@kntu.ac.ir

## چکیده

**هدف:** تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای بخصوص کربن دی اکسید، پیامدهای خطرناکی را به دنبال دارد که گرمایش زمین مهم‌ترین آن‌هاست. اتحادیه اروپا به عنوان جلودار در مسیر کاهش میزان انتشار کربن، اقدامات اساسی زیادی انجام داده و خط مشی‌ها و سیاست های مختلفی را وضع کرده است. تحلیل اقدامات و خط مشی‌های اتخاذ شده توسط این اتحادیه می تواند در تعیین استراتژی صحیح جهت حفاظت از محیط زیست در داخل کشورمان مفید باشد.
**روش:** این پژوهش با استفاده از رویکرد پویا یی سیستم‌ها و در نظرگیری حلقه‌های بازخوردی تعدیل کننده انتشار کربن ناشی از اعمال خط مشی‌های اقلیمی، یک مدل شبیه‌سازی برای تحلیل اثربخشی سیاست‌های اتحادیه اروپا برای دستیابی به اهداف مرتبط تا سال ۲۰۳۰ به منظور کاهش انتشار کربن ارائه می‌کند.
**یافته‌ها:** نتایج حاصله نشان می‌دهد که اتخاذ یک خط مشی به تنهایی نمی‌تواند اثربخشی مطلوبی در کاهش میزان انتشار داشته باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، سیستم مدیریت انتشار EU ETS به تنهایی، کمترین عملکرد را در کاهش میزان انتشار کربن دارد.
**نتیجه‌گیری:** سناریویی که اتخاذ خط مشی‌های سه گانه اقلیمی اتحادیه اروپا را نشان می‌دهد، بهترین اثرگذاری را در کاهش میزان انتشار تا سال ۲۰۳۰ نشان می دهد. از میان حلقه‌های بازخوردی تعدیل کننده در کاهش انتشار کربن، و بنا بر ترکیب خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا، انجام اقدامات در حوزه کارایی انرژی و سیستم مدیریت انتشارEU ETS بایستی بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا، انتشار کربن، پویایی سیستم‌ها، سیاست‌های راهبردی زیست‌محیطی ایران، سازمان حفاظت محیط زیست ایران.

---

* دو فصلنامه علمی آینده پژوهی ایران، مقاله پژوهشی، دوره ۶، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ۱۲۷-۱۴۹
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۸/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۳/۳۱
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

## مقدمه

در کشور ما برنامه‌های توسعه پنج ساله بعد از قانون اساسی مهم‌ترین اسناد بالادستی به شمار می‌روند. خوشبختانه موضوع محیط زیست در هر برنامه نسبت به برنامه قبل دقیق‌تر مورد توجه قرار گرفته است؛ چنانچه از یک موضوع حاشیه‌ای که فقط در قالب یک تبصره به آن اشاره شود، خارج و مواد و قوانین ویژه به آن اختصاص داده شده است و در تمام بخش‌های مختلف برنامه پنج ساله ششم توسعه (۱۴۰۰-۱۳۹۶) ساری و جاری گشته است. محیط زیست در برنامه ششم دیگر همانند برنامه‌های قبلی به شکل توصیفی و کیفی در لابه لای موضوعات دیگر دیده نشده است، بلکه به عنوان یک موضوع فرابخشی و در قالب دستیابی به اهداف کمی پیش‌بینی شده است. در برنامه ششم در نظر گرفته شده است، کلیه طرح‌ها و برنامه‌های کلان کشور باید مورد ارزیابی راهبردی زیست‌محیطی قرار گیرد تا تبعات غیرقابل قبول بر محیط زیست نداشته باشد. بحث نظام راهبردی محیط زیست یک نقطه عطف در تاریخ محیط زیست است، زیرا موجب طرح برنامه‌های بلندمدت و توسعه پایدار شده است. ارزیابی راهبردی زیست‌محیطی، یک فرآیند و رویکرد سیستماتیک، نوین و آینده‌نگر است که شناسایی، پیش-بینی و ارزیابی اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی را در عالی‌ترین سطوح تصمیم‌گیری مدنظر قرار می دهد که یکی از روش‌های قابل قبول برای توسعه پایدار است. توسعه پایدار عبارت از توسعه ای است که نیازهای نسل فعلی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل آینده در جهت تأمین نیازهای خود تأمین کند.

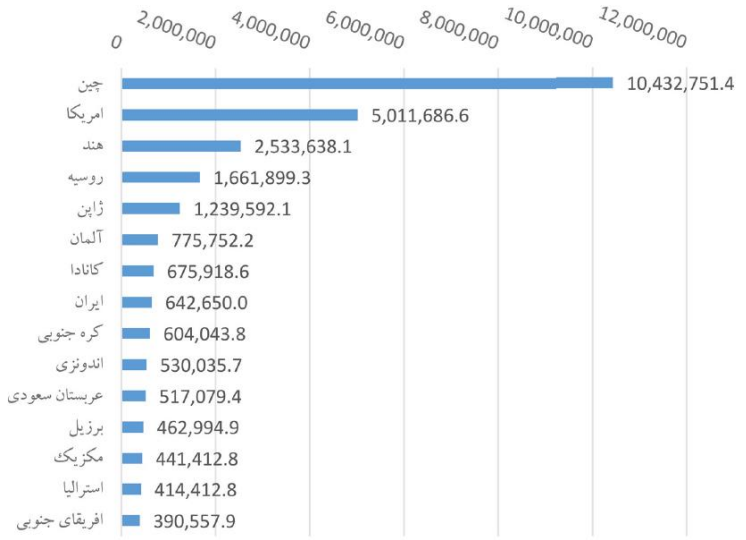
در این برنامه که سال آخر خود را طی می کند، واحدهای سبز مشمول ۲ درصد معافیت مالیاتی شدند، بودجه سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال قبل به میزان ۲ برابر افزایش یافته است. برخی دیگر از ملاحظات مهم این برنامه شامل موارد زیر است:

- گسترش اقتصاد سبز با تأکید بر صنعت کم کربن، استفاده از انرژی‌های پاک، مدیریت زیست‌محیطی پس ماندها و پساب‌ها، اصلاح الگوی تولید انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با آلودگی هوا
- موظف بودن سازمان حفاظت محیط زیست برای افزایش ۲۵ درصدی شاخص‌های پایداری محیط زیست تا پایان برنامه ششم توسعه.
- توسعه حمل و نقل عمومی سبز و غیرفسیلی؛ از جمله برقی برای جلوگیری از انتشار کربن و آلودگی هوا
- اعطای تسهیلات بانکی و اعمال معافیت‌های مالیاتی برای انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های مربوط به اقتصاد کم کربن.

علی‌رغم این نقاط قوتی که در برنامه ششم توسعه در نظر گرفته شده است، فاصله‌ای قابل ملاحظه بین تدوین قانون برنامه و اجرای آن وجود دارد؛ چنانچه مثلا برنامه سوم توسعه کمتر

از ۵۰ درصد به منصه اجرا در آمده است که این امر ناشی از عدم ارتباط هماهنگ بین ارگان-های اجرایی و آگاهی کم سیاست‌گذاران در زمینه محیط زیست و ضعف مدیریت است. بنابراین حاصل نبود قوانین متقن و استانداردهای زیست محیطی از یک طرف و عدم اجرای موفق برنامه‌های تدوین شده به عنوان اسناد بالادستی از طرف دیگر، موجب گستردگی تخریب محیط زیست و افزایش آلودگی هوا؛ از جمله انتشار بیش از حد مجاز گاز دی اکسید کربن در کشور شده است.

همان‌طور که در نمودار (۱) نشان داده شده است، متأسفانه ایران با اینکه در میان کشورهای برتر صنعتی دنیا قرار ندارد، در رتبه هشتم کشورهای دارای بالاترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در جهان است و همچنین به غیر از آلمان، هیچ‌یک از کشورهای اتحادیه اروپا؛ از جمله فرانسه، ایتالیا، انگلستان و ... علی‌رغم صنعتی بودن در بین ۱۵ کشور اول قرار ندارند که این موضوع نشان دهنده سیاست‌گذاری‌های پایدار و درست این کشورها جهت جلوگیری از انتشار این آلاینده است. این نکته قابل توجه است که انتشار دی اکسید کربن بدترین تأثیر را در تخریب آب و هوا و گرمایش کره زمین از میان گازهای گلخانه ای دارد که بنا بر اعلام پایگاه آمار جهانی (Knoema) این مقدار به ۸۲ درصد می‌رسد. بررسی نمودار (۱) نشان می دهد که اتخاذ استراتژی مشخص و کارآمد در کشور ما جهت کاهش انتشار این آلاینده، باید در اولویت‌های تدوین برنامه هفتم توسعه قرار گیرد.




نمودار(۱): نمودار رتبه‌بندی کشورهای دارای بالاترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن ( ۲۰۱۶ )

افت رتبه ایران را در عوامل زیادی از جمله موارد زیر می‌توان خلاصه کرد: مشکلات مدیریتی، پایین بودن سطح آگاهی جامعه در استفاده درست از محیط زیست، کم اهمیت شمردن

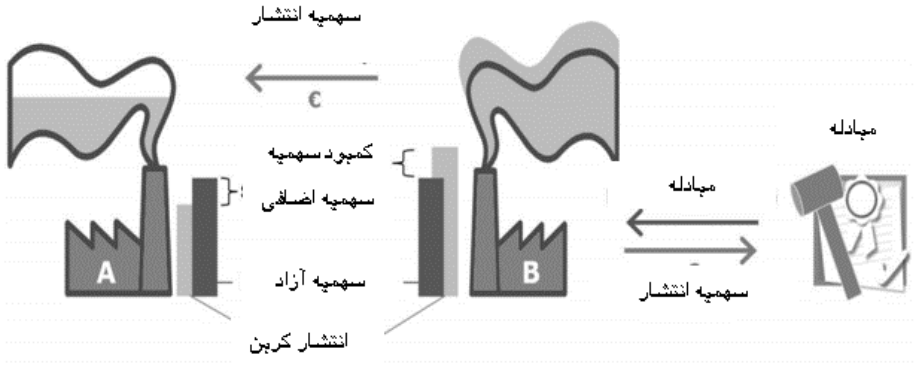
مسایل زیست‌محیطی و نبود آموزش‌های مناسب و فرهنگ‌سازی ناکارآمد و بالاخره عدم الگوبرداری از سیاست‌های اجرایی موفق دیگر کشورها. به این ترتیب، دو راهکار در پیش روست: اول، برطرف ساختن موانع قانونی، فرهنگی، آموزشی و تدوین، ارزیابی و اجرای درست و هماهنگ برنامه‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت زیست‌محیطی در داخل کشور. دوم، مطالعه بر روی مدل‌های موفق سیاست‌گذاری این حوزه در کشورهای دیگر و الگوبرداری از آن‌ها. در این پژوهش، با تأکید بر راه کار دوم و به دست آوردن سناریوهای موفق اجرایی کشورهای دیگر، راه حل‌های دستیابی به راهکار اول پیشنهاد خواهد شد.

توسعه و استقرار خط مشی‌های اقلیمی و متناسب‌سازی آن‌ها در طی افق زمانی، بایستی با نگاه به واقعیت‌های جهان واقع و تجارب کسب شده از آن باشد تا بتواند اثرگذاری مطلوب را داشته باشد. با توجه به تبعات مختلف سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و اقلیمی، اتخاذ سیاست‌ها توسط تصمیم‌گیرندگان بایستی به نحوی باشد که توازن میان حوزه‌های تأثیرگذار حفظ گردد تا بازخوردهای منفی ناشی از اعمال سیاست‌ها را به حداقل برساند. اتحادیه اروپا در مرحله عمل نشان داده است که هم‌زمان با رشد اقتصادی می‌توان در مسیر کاهش انتشار کربن گام برداشت و توانسته است به عنوان جلودار تدوین و اجرای خط مشی‌های اقلیمی، اجماع جامعه جهانی را برای مقابله با تغییرات اقلیمی به وجود آورد. مطابق با توافق انجام گرفته در کنفرانس پاریس در دسامبر سال ۲۰۱۵ میلادی، (COP21)، ۱۹۵ کشور یک توافق جهانی را برای مقابله با تغییرات اقلیمی به تصویب رساندند. این توافق، یک برنامه اقدام جهانی برای مقابله با گرمایش جهانی به میزان کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد و ادامه تلاش تا دستیابی به ۱,۵ درجه سانتی‌گراد را شامل می‌شود.

امضای پروتکل کیوتو توسط اتحادیه اروپا، سبب ایجاد یک پلتفرم جامع برای آغاز فعالیت-ها و خط مشی‌های مرتبط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. این پروتکل برای سال ۲۰۱۲ کاهش ۸ درصدی در انتشار را نسبت به سال پایه ۱۹۹۰ در اتحادیه اروپا هدف‌گذاری کرده بود. سیستم تجارت انتشار اتحادیه اروپا (EU ETS) ، سنگ بنای خط‌مشی اتحادیه اروپا در برابر تغییرات آب و هوایی است و به عنوان یک ابزار کلیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با داشتن صرفه هزینه‌ای عمل می‌کند. این سیستم، اولین بازار کربن و بزرگ‌ترین آن‌ها در دنیاست و بر اساس اصل محدودیت تحت عنوان "Cap and Trade" عمل می‌کند.

سیستم تجارت انتشار اتحادیه اروپا (EU ETS)، یک سیستم تجاری و محدود کننده است که مجموع حجم انتشار کربن صنایع و شرکت‌های هوانوردی داخلی اتحادیه اروپا را که در حدود ۵۰٪ انتشار کربن در کل اتحادیه است را محدود می‌کند و در عین حال به صنایع و

شرکت‌ها اجازه مبادله تجاری سهمیه انتشار را در داخل اتحادیه می‌دهد. ساز و کار کلی این سیستم در شکل شماره (۱) آمده است.




شکل شماره ۱. ساز و کار سیستم EU ETS،[۱]

این سیستم از زمان معرفی در سال ۲۰۰۵ تا کنون دستخوش تغییراتی شده است که در راستای بهبود خط‌مشی‌های اتحادیه اروپا بوده است. برای استقرار این سیستم، بازه‌های زمانی مجزایی تحت عنوان فاز تعریف شده است که به فازهای استقرار معروف هستند. فاز جاری این سیستم، فاز سوم آن است که از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۲۰ را شامل می‌شود. شکل (۲)، ترتیب این فازها را نشان می‌دهد.

شکل شماره ۲. فازهای EU ETS،[۱]

اتحادیه اروپا در حال حاضر خط‌مشی خود را برای کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، با هدف‌گذاری در سه بخش مؤثر در انتشار تنظیم کرده است که این سه بخش با محوریت بخش اول، چارچوب خط مشی‌های اتحادیه اروپا در برابر تغییرات اقلیمی را تشکیل می‌دهند:

۱- تعیین سطح کاهش انتشار کربن مبتنی بر سیستم (EU ETS)

۲- تعیین حداقل سهم انرژی‌های جایگزین

۳- هدف‌گذاری در کارایی انرژی[۱].

در ادبیات موضوع، پژوهشگران زیادی عوامل مؤثر در انتشار کربن و راهکارهای کاهش انتشار را مورد بررسی قرار دادند که عمده این تحقیقات از جنبه اقتصادی به موضوع پرداخته‌اند. توسعه روزافزون جامعه بشری و به تبع آن، افزایش تقاضای انرژی و مصرف انرژی‌های فسیلی برای تأمین تقاضا بخصوص در کشورهای در حال توسعه که منابع اصلی انتشار کربن هستند، در تحقیقات وانگ و لیانگ ۲۰۱۳ مورد تحلیل قرار گرفته است[۲].

همچنین فشار جامعه جهانی برای کاهش میزان انتشار کربن در پژوهش ژانگ و همکاران ۲۰۱۲، بررسی شده است[۳].

محققین زیادی از جمله چوی و همکاران ۲۰۱۰، گش و همکاران ۲۰۱۰ به تحلیل رابطه بین توسعه اقتصادی و میزان انتشار کربن پرداختند [۴-۵]. برخی دیگر به رابطه میزان مصرف انرژی و انتشار کربن توجه کرده‌اند. مارو ۲۰۱۰[۶] و دیگر پژوهشگران؛ مانند پیترز و همکاران ۲۰۱۰، چی و فنسون ۲۰۱۱ نیز روند انتشار گازهای گلخانه‌ای را مورد تحلیل قرار دادند [۷-۸].

بهره‌گیری از رویکردهای تجزیه‌ای به منظور تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار کربن در تحقیقات پژوهشگران زیادی آمده است. در این بین می‌توان به آنگ و همکاران ۱۹۹۸ و وانگ و همکاران ۲۰۰۵ اشاره کرد [۹-۱۰]. نتیجه‌گیری آن‌ها این بود که رشد اقتصادی فاکتور مهمی در میزان انتشار کربن و همچنین شدت انرژی نیز عامل مهمی در کاهش میزان انتشار کربن است. فن و همکاران ۲۰۰۷، نیز شدت و ساختار انرژی را از عوامل مهم اثرگذار روی انتشار کربن دانستند [۱۱].

در همین راستا، تغییرات GDP، ساختار صنعتی، ساختار و شدت انرژی، میزان انتشار کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی و تحلیل‌های منطقه‌ای در تحقیقات اپیک و همکاران ۲۰۰۹ و پائول و باتاچاریا ۲۰۰۴ آمده است [۱۲-۱۳].

عمده تحقیقات منتشر شده بر تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار و شناسایی روابط میان میزان انتشار و متغیرهای مرتبط استوار هستند؛ در حالی که تحقیقات اندکی به آنچه که باید انجام گیرد تا انتشار کربن کاهش یابد، توجه کرده‌اند. لی و همکاران ۲۰۱۲، از جمله کسانی هستند که از رویکرد پویایی سیستم‌ها برای تحلیل مکانیزم‌های کاهنده میزان انتشار کربن با توجه به موقعیت جغرافیایی بهره‌گیری کرده‌اند [۱۴].

موضوع مهم در کاهش میزان انتشار کربن، اقدامات لازم برای تحقق آن است. تحلیل این موضوع که توسعه و تزریق تکنولوژی در بخش عرضه و تقاضا، فاکتورهای اقتصادی؛ نظیر نرخ‌های مالیاتی و جریمه، تغییر و جایگزینی سوخت‌های غیرفسیلی چه تأثیری در کاهش میزان انتشار کربن دارند، خروجی تحقیقات سیم و همکاران ۲۰۰۳، بروک و همکاران ۲۰۰۸، ماندال و همکاران ۲۰۱۱ و چن و همکاران ۲۰۰۷ بوده است [۱۵-۱۸].

بهره‌گیری از مدل MARKAL در تحقیقات ایندو و اینچو ۲۰۰۶، تاینر ۲۰۱۳ و استراچان و کانان ۲۰۰۸ و مدل CGE در پژوهش سو ۲۰۰۴ آمده است [۱۹-۲۲]. او اتخاذ مالیات بر کربن را در اقتصاد امریکا به عنوان عاملی در کاهش انتشار کربن معرفی کرد و منشأ اصلی آن را تولید الکتریسیته دانست. این مدل، در چین نیز برای تحلیل سیاست‌های اقتصادی کلان و تأثیرات آن در بخش انرژی در تحقیق لیانگ و همکاران ۲۰۰۷ آمده است[۲۳].

در راستای تحقیقات مرتبط با ارتباط میان مصرف و تقاضای انرژی و انتشار کربن با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها، حسن و بائیک ۲۰۱۰ از این رویکرد در تحلیل خط مشی‌های اتخاذ شده در فرایند تصمیم‌گیری در سطح خرد انرژی استفاده کردند [۲۴]. از رویکرد پویایی سیستم‌ها در تحلیل عرضه و تقاضای بخش سوخت‌های فسیلی؛ نظیر نفت و گاز به طور گسترده استفاده شده است که این موضوع، اساس تحقیقات چی و همکاران ۲۰۰۹، انصاری و سیفی ۲۰۱۲ و دانگ و همکاران ۲۰۱۲ بوده است [۲۵-۲۷].

از مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها در راستای بررسی سیاست‌های کاهش انتشار کربن می‌توان به تحقیقات فانگ و همکاران ۲۰۰۹، کانچ و اسپرینگل ۲۰۱۳، نسترن و عباس ۲۰۱۳ ، فنگ و همکاران ۲۰۱۳ و نوری و همکاران ۲۰۱۴ اشاره کرد [۲۸-۳۳].

در ادبیات، موضوع مواردی از رویکرد پویایی سیستم‌ها در تحلیل سناریوهای حاصل از ترکیب خط مشی‌های مختلف در پیش‌بینی میزان انتشار کربن یافت نشد. لذا نوآوری این پژوهش را در سه بخش می‌توان بیان کرد:

۱- ارائه یک مدل شبیه‌سازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها برای پیش‌بینی میزان انتشار کربن در اتحادیه اروپا برای سال‌های بین ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از اعتبارسنجی مدل در بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹.

۲- تحلیل سناریوهای مختلف ناشی از ترکیب خط مشی‌های اتخاذ شده توسط اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۳۰ برای مقابله با تغییرات اقلیمی با استفاده از کاهش انتشار.

۳- پیشنهاد خط مشی بهینه که بیشترین اثر را در کاهش میزان انتشار کربن دارد.

بر این اساس، ساختار این پژوهش بر اساس چارچوب خط مشی اتحادیه اروپا در مقابله با تغییرات اقلیمی شکل گرفته است و سپس متدولوژی مدلسازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها برای پیش‌بینی انتشار کربن ارائه می‌گردد. خروجی‌های تحلیلی و بحث در خصوص سناریوهای ناشی از اتخاذ خط مشی‌ها در بخش‌های بعدی پیگیری و نهایتاً الگوگیری برای داخل و نتایج حاصله مورد بحث قرار می گیرد. همچنین پیشنهادهایی برای اجرای درست قوانین و سیاست‌های مدون برنامه توسعه کشور ارائه خواهد گردید.

## چارچوب خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا

در سطح اتحادیه اروپا خط مشی‌های متعددی در راستای مقابله با تغییرات اقلیمی اتخاذ و پیاده‌سازی شده و در حال توسعه هستند. معروف‌ترین این خط مشی‌ها ۲۰-۲۰-۲۰ برای سال ۲۰۲۰ بر مبنای سال ۱۹۹۰ است که اهدافی را برای دستیابی تعیین کرده است:

۱- کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه ای به میزان ۲۰٪ در بخش تولید انرژی، صنایع سنگین و هوانوردی داخلی اتحادیه اروپا از طریق بستر سیستم EU ETS.

۲- جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های دیگر به میزان ۲۰ ٪.

۳- توسعه تکنولوژی و کارایی مصرف انرژی به میزان ۲۰ ٪ .

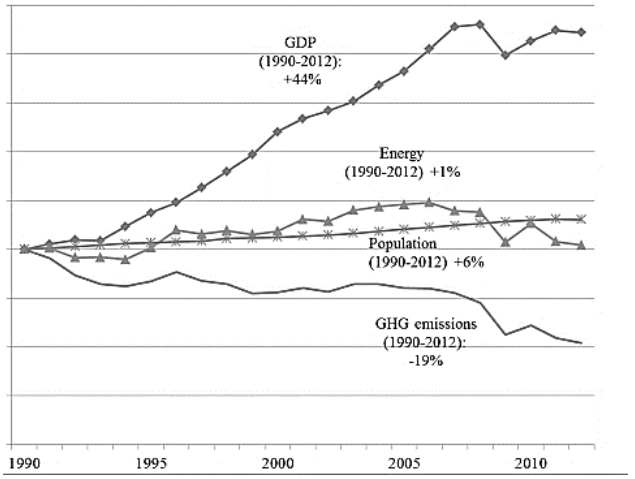
برای بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰، اتحادیه اروپا اهداف تعیین شده در خط مشی‌های اقلیمی را مجدداً در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸ توسعه داده و بازنگری کرده است که در ادامه می‌آیند:

۱- کاهش حداقل ۴۰٪ انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سال پایه ۱۹۹۰.

۲- افزایش حداقل ۳۲٪ سهم انرژی‌های غیرفسیلی نسبت به سال پایه ۱۹۹۰.

۳- افزایش ۳۲,۵٪ کارایی انرژی نسبت به سال پایه ۱۹۹۰.

با توجه به موفقیت‌آمیز بودن اتخاذ این سیاست‌ها در میدان عمل، در اتحادیه اروپا همزمان با رشد اقتصادی، می‌توان این چارچوب را اعتبارسنجی شده دانست و لذا تحلیل اثرگذاری هرکدام از خط مشی‌ها و نیز ترکیب آنها با یکدیگر در کاهش میزان انتشار کربن در این پژوهش مورد توجه قرار می‌گیرد و نهایتاً سناریوی بهینه پیشنهاد می‌شود. شکل شماره (۳)، موفقیت‌آمیز بودن اتخاذ این سیاست‌ها و خط مشی‌ها را در اتحادیه اروپا نشان می‌دهد.




شکل ۳. عملکرد موفق اتحادیه اروپا در اتخاذ سیاست‌های اقلیمی تا سال ۲۰۱۲،[۱]

همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، اتخاذ خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳ توانسته است که علاوه بر رشد GDP میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد و این خود تأییدی بر موفقیت‌آمیز بودن سیاست‌های اخذ شده است.

## متدولوژی

### رویکرد پویایی سیستم‌ها

یکی از چالش‌های اساسی در مسیر رشد جوامع بشری، پیش‌بینی دنیای واقع در آینده است. با توجه به تأکید پویایی سیستم‌ها مبنی بر مسئله‌گرا بودن مدل، به نظر می‌رسد که این

رویکرد را باید علاوه بر بخشی دیدن حوزه انتشار کربن، از جنبه منطقه‌ای و نوع انرژی نیز مورد بررسی قرار داد. عوامل مؤثر در مصرف انرژی می‌تواند شامل: ساخت و ساز، جمعیت، جذابیت‌های منطقه‌ای، کسب و کار و دسترسی به خدمات و امکانات باشد. رویکرد پویایی سیستم‌ها برای تحلیل سیستم‌های پیچیده با متغیرها و رابطه‌های متعدد، روابط پیچیده و عدم قطعیت‌های فراوان کارکرد خوبی را از خود نشان داده است. آنجا که مدل‌سازی دنیای واقع آن قدر پیچیده و دشوار است که نمی‌توان از مدل‌های ریاضی رایج برای دستیابی به هدف برنامه‌ریزان استفاده کرد، پویایی سیستم‌ها می‌تواند چشم‌انداز واقع‌بینانه‌تری را پیش روی تصمیم‌گیرندگان قرار دهد.

سریزدی و همکاران ۲۰۱۷، با مرور ادبیات در مقالات منتشر شده با محوریت سیستم پویا، چارچوبی را با شش گروه شاخص شامل: ساختار مسأله، ذی‌نفعان مسأله، مرز مسأله، پیچیدگی مسأله، پویایی مسأله و ماهیت مسأله طراحی کردند که متشکل از ۲۴ شاخص است و به عنوان چارچوبی جامع در تشخیص مسأله پویا و مناسب برای استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها عمل می‌کند [۳۴]. حیدرپور و همکاران ۲۰۱۷، مدلی برای پیش‌بینی عملکرد پایانه کانتینر در بنادر با رویکرد پویایی سیستم ارائه کردند که در آن عملکرد ترمینال کانتینری از حیث تعداد کانتینر تخلیه و بارگیری شده، زمان کل حضور کشتی از زمان ورود به لنگرگاه تا خروج از بندر و درصد اشغال اسکله ترمینال کانتینری مورد بررسی قرار گرفته است [۳۵].

پویایی سیستم‌ها در دهه ۱۹۵۰ برای کمک به مدیران سازمان‌ها برای درک بهتر از فرایندهای صنعتی توسعه یافت، اما اکنون برای بخش‌های عمومی و خصوصی به منظور طراحی و تحلیل سناریوها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دهه ۱۹۷۰ و هم‌زمان با اهمیت بخش تقاضا در حوزه انرژی، پویایی سیستم‌ها در این حوزه ورود موفقی داشته است، استرمن ۲۰۰۰، برخی از ویژگی‌ها و ارتباطات پویایی سیستم‌ها با مسائل کلان اجتماعی و اقتصادی را ارائه داده است. در ابتدا می‌توان به توانایی شبیه‌سازی تعداد بالایی از متغیرها و تحلیل روند تغییر آن‌ها در طی زمان اشاره کرد. در مرتبه بعدی می‌توان حلقه‌های بازخورد متعددی را در مسأله مدل کرد که نشان از روابط و پیچیدگی‌های بین متغیرها است. بدین ترتیب، مسائل غیرخطی دنیای واقع با پیچیدگی‌های حداکثری قابل مدل‌سازی با استفاده از این رویکرد هستند. تحلیل‌گران با استفاده از روابط علت و معلولی که پویایی سیستم‌ها در اختیارشان قرار می‌دهد، می‌توانند نسبت به تحلیل و بررسی سیستم‌های پیچیده اقدام کنند [۳۶]. جوادیان و همکاران ۲۰۱۲، مروری بر مبانی مدیریت زنجیره تامین و پویایی‌های سیستم انجام دادند و سپس یک طبقه‌بندی از تحقیقات انجام شده در استفاده از پویایی سیستم‌ها در مدیریت زنجیره تأمین را ارائه کردند. همچنین در این مقاله یک مورد کاوی بر مدیریت زنجیره تأمین بزرگ که تولید و توزیع محصولات بهداشتی را با مرکزیت یک شرکت معتبر انجام می‌دهد، انجام شده است و از

تکنیک‌های پویایی‌های سیستم به منظور شناسایی متغیرهای مؤثر در زنجیره تأمین و شیوه‌های بهبود عملکرد آن استفاده شده است [۳۷]. محقر و مروتی ۲۰۰۶، نمونه‌ای از کاربرد روش مدل‌سازی پویایی‌های سیستم برای تحلیل و بهبود رفتار سیستم تولید به‌هنگام را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این پژوهش، ارتباط بین تقاضا برای محصولات، کیفیت محصول تولیدی، موجودی و وضعیت نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه، نرخ تولید و کارایی عرضه‌کنندگان در یک سیستم پویا بررسی شده است [۳۸].

سابقه به‌کارگیری پویایی سیستم‌ها در برنامه‌ریزی استراتژیک انرژی و تحلیل خط مشی‌ها حداقل به ۳۰ سال گذشته برمی‌گردد. آنجا که در انستیتو تکنولوژی ماساچوست MIT مدل-سازی پروژه‌های متعددی از دنیای واقع شروع شد. این دیدگاه در تحقیق النجار ۲۰۱۳ تشریح شده است [۳۹].

## فرایند مدل‌سازی

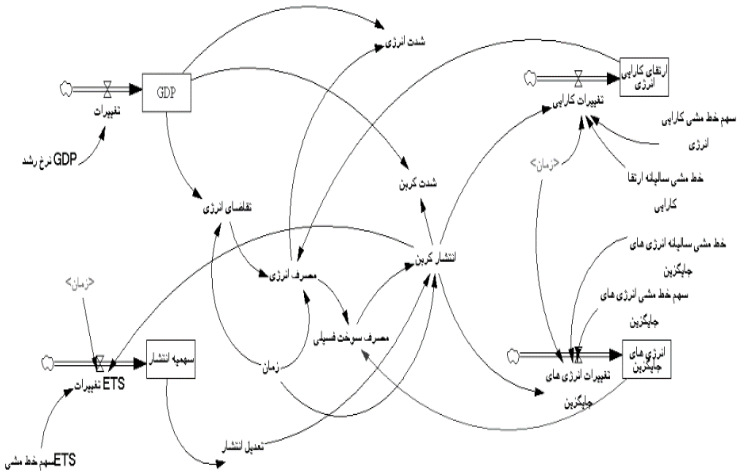
در این پژوهش سعی شده است، بر مبنای چارچوب خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا، یک مدل پویایی سیستم‌ها برای شبیه‌سازی پویایی‌های توسعه اقتصادی، مصرف انرژی و انتشار کربن و اتخاذ تصمیمات تعدیل کننده و برهم کنش‌های آن ها بر یکدیگر ارائه گردد.

## فرضیه دینامیکی

افزایش GDP سبب افزایش میزان نیاز به مصرف انرژی می‌گردد و سپس سبب افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی مورد نیاز خواهد شد. با مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار کربن افزایش می‌یابد و منجر به اتخاذ خط مشی‌های تعدیل کننده می‌شود. درحقیقت، برای جلوگیری از رشد بی‌رویه انتشار کربن، حلقه‌های تعدیل کننده ناشی از اتخاذ خط مشی‌های اقلیمی فعال می‌شوند تا از میزان انتشار کربن بکاهند. بنابراین سه خط مشی ذکر شده در چارچوب خط‌مشی اقلیمی اروپا از طریق ایجاد سه حلقه تعدیل کننده سیستم مدیریت انتشار، انرژی‌های جایگزین و کارایی انرژی وارد عمل می‌شوند. سیستم مدیریت انتشار از طریق تعدیل سهمیه انتشار نسبت به کاهش میزان انتشار کربن اقدام می‌کند. انرژی‌های جایگزین با کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی وارد عمل می‌شود و نهایتاً کارایی انرژی نیز با کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی در کاهش میزان انتشار کربن نقش ایفا می‌کند.

## حلقه‌های علت و معلولی

با توجه به شاخص‌های عددی و ارتباطات علت و معلولی در چارچوب خط مشی‌های اقلیمی، حلقه‌های علت و معلولی به صورت شکل شماره (۴) طراحی شده است.




شکل ۴. نمودار علت و معلولی

در ادامه حلقه‌های مشارکت کننده در این سیستم به تفکیک توضیح داده می‌شوند:

۱- حلقه $B_1$: این حلقه نشان‌دهنده ساز و کار فعال‌سازی خط مشی‌های اقلیمی است که در ارتباط با انتشار کربن فعال می‌شود و حلقه‌ای تعدیل‌کننده است؛ بدین صورت که انتشار کربن موجب اتخاذ خط مشی‌های اقلیمی می‌شود (+) و اتخاذ خط مشی‌های اقلیمی موجب کاهش انتشار کربن خواهد شد (−).

۲- حلقه $B_2$: این حلقه تعدیل کننده مرتبط با ساز و کار اتخاذ خط مشی انرژی‌های جایگزین است. در حقیقت با انتشار کربن، خط مشی‌های اقلیمی فعال می‌شوند (+) و یکی از این خط مشی‌ها، انرژی‌های جایگزین و تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی است. با افزایش سهم انرژی‌های جایگزین، مصرف سوخت‌های غیرفسیلی هم‌راستا با این خط مشی ادامه می‌یابد (+) و این سیاست موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌شود (−). نهایتاً کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی موجب کاهش انتشار کربن خواهد شد (+).

۳- حلقه $B_3$: این حلقه تعدیل‌کننده مرتبط با ساز و کار اتخاذ خط مشی سیستم تجارت کربن EU ETS است. در حلقه با انتشار کربن خط مشی‌های اقلیمی فعال می‌شوند (+). یکی از این خط مشی‌ها سیستم تجارت کربن EU ETS است که با تعدیل سهمیه انتشار کربن، سعی در کاهش انتشار کربن دارد (+).

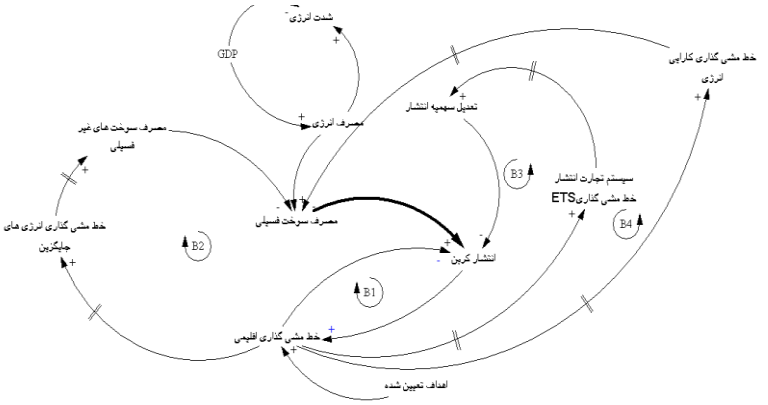
۴- حلقه $B_4$: این حلقه تعدیل‌کننده مرتبط با خط‌مشی کارایی انرژی است که همزمان با انتشار کربن، موجب فعال‌سازی خط مشی‌های اقلیمی می‌شود (+). یکی از این خط مشی‌ها مربوط به افزایش کارایی انرژی است. این افزایش کارایی با تأثیر روی مصرف سوخت‌های

فسیلی از طریق کاهش مصرف و به عبارت بهتر مصرف بهینه، موجب کاهش انتشار کربن می‌شود (-).

در ادامه نمودار حالت و جریان که مبنای اصلی تجزیه و تحلیل عددی است، ارائه می‌گردد.

## نمودار حالت و جریان

محور اصلی مدل‌سازی و شبیه‌سازی انتشار کربن، نمودار حالت و جریان است. بر مبنای مدل علت و معلولی، نمودار حالت و جریان با چهار متغیر حالت و چهار متغیر جریان و ۱۶ متغیر کمکی با استفاده از نرم‌افزار VENSIM مطابق شکل شماره (۵)، طراحی و شبیه‌سازی انتشار کربن توسط این مدل انجام شده است.




شکل شماره ۵. نمودار حالت و جریان

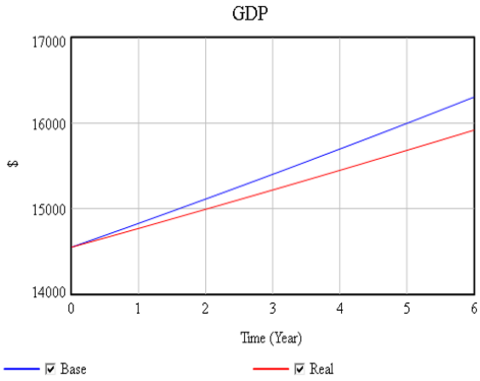
## داده‌ها و اعتبارسنجی

به منظور اعتبارسنجی مدل طراحی شده از داده‌های واقعی بازه زمانی ۲۰۱۳ تا کنون، برگرفته از داده‌های ارائه شده در سایت رسمی اتحادیه اروپا استفاده شده است. نتایج حاصل از مقایسه عملکرد این مدل طراحی شده و داده‌های واقعی در شکل‌های شماره ۶ تا ۱۰ آمده است. رفتار داده‌های مرجع با عنوان «Real» و رفتار مدل طراحی شده با عنوان «Base» در شکل‌های ۱ تا ۶ نشان داده شده‌اند. در تمامی تجزیه و تحلیل‌های عددی، تغییرات در طی زمان بر مبنای ارزش پولی یورو است و تمامی محاسبات در واحد یورو انجام شده است. همچنین در جدول شماره (۱)، اطلاعات متغیرهای مدل آمده است.

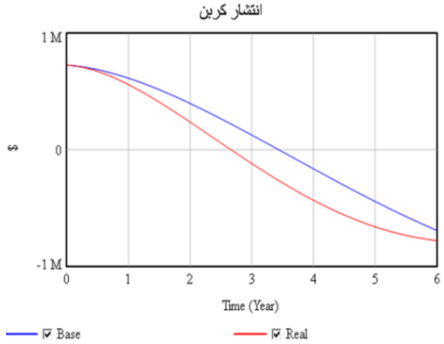
جدول ۱. مشخصات متغیرهای مدل

| ردیف | نام متغیر | نوع | فرمول |
|---|---|---|---|
| ۱ | GDP | حالت | INTEG(GDP*تغییراتInitial value+) |
| ۲ | تغییرات ETS | جریان | (انتشار کربن * سهم خط‌مشیETS، زمان)DELAY1 |
| ۳ | تغییرات انرژی‌های جایگزین | جریان | DELAY1(انتشار کربن* خط‌مشی سالیانه انرژی‌های جایگزین * سهم خط مشی انرژی‌های جایگزین، زمان) |
| ۴ | تغییرات کارایی | جریان | DELAY1(انتشار کربن*خط مشی سالیانه ارتقا کارایی*سهم خط مشی |

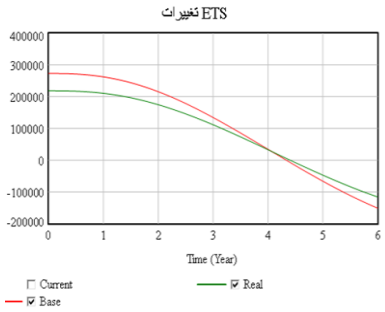
| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | کارایی انرژی, زمان) |
| ۵ | انتشار کربن | کمکی | DELAY1 تعدیل انتشار (مصرف سوخت فسیلی, زمان) |
| ۶ | شدت انرژی | کمکی | مصرف انرژیGDP/ |
| ۷ | شدت کربن | کمکی | انتشار کربنGDP/ |
| ۸ | تقاضای انرژی | کمکی | DELAY1( GDP*0.7, زمان) |
| ۹ | مصرف انرژی | کمکی | DELAY1(تقاضای انرژی*۱,۳, زمان- (ارتقای کارایی انرژی |
| ۱۰ | مصرف سوخت فسیلی | کمکی | DELAY1I(انرژی‌های جایگزین*-۰,۲, ۲, ۷۱۵۶۲۷)+ مصرف انرژی |
| ۱۱ | زمان | کمکی | ۲سال |



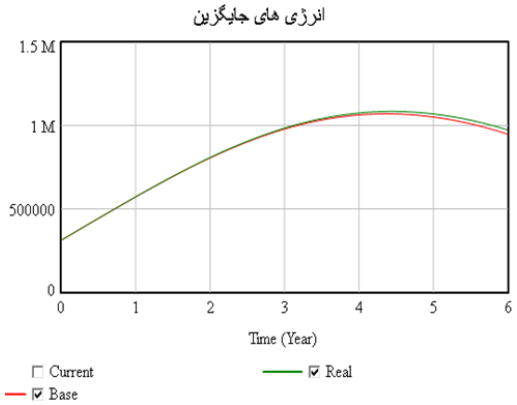

شکل ۶. مقایسه داده های تاریخی Real با مدل Base در GDP



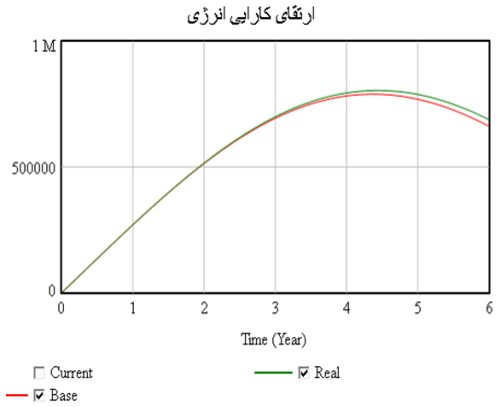

شکل ۷. مقایسه داده‌های تاریخی Real با مدل Base در انتشار کربن




شکل ۸. مقایسه داده‌های تاریخی Real با مدل Base در تغییرات EU ETS




شکل ۹. مقایسه داده‌های تاریخی Real با مدل Base در سهم انرژی‌های جایگزین




شکل ۱۰. مقایسه داده‌های تاریخی Real با مدل Base در ارتقاء کارایی انرژی

## تحلیل سناریوها

به منظور ارزیابی عملکرد خط مشی‌های اقلیمی تعریف شده توسط اتحادیه اروپا برای هدف‌گذاری تا سال ۲۰۳۰، به منظور کاهش انتشار کربن و با استفاده از طراحی مدل پویایی سیستم‌ها، چهار سناریو حاصل از اتخاذ این خط مشی‌ها به صورت زیر تحلیل می‌شوند:

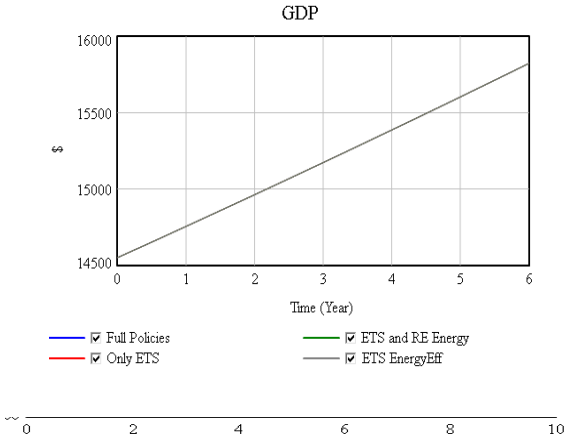
۱- سناریوی اتخاذ خط‌مشی سیستم مدیریت انتشار EU ETS برای ۴۰٪ کاهش در سطح انتشار کربن (Only ETS).

۲- سناریوی اتخاذ همزمان خط مشی‌های EU ETS به میزان ۴۰٪ کاهش انتشار و افزایش سهم انرژی‌های جایگزین به میزان ۳۲٪(ETS and RE Energy).

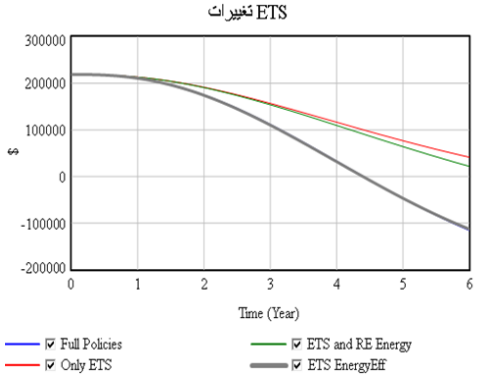
۳- سناریوی اتخاذ همزمان خط مشی‌های EU ETS به میزان ۴۰٪ کاهش انتشار و افزایش کارایی انرژی به میزان ۳۲٫۵٪(ETS EnergyEff).

۴- سناریوی اتخاذ همزمان خط مشی‌های EU ETS به میزان ۴۰٪ کاهش انتشار و افزایش سهم انرژی‌های جایگزین به میزان ۳۲٪ و افزایش کارایی انرژی به میزان ۳۲٫۵٪ (Full Policies).

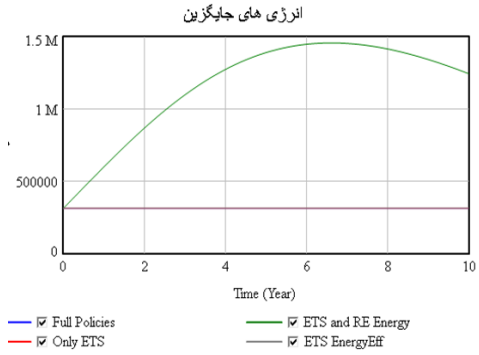
در ادامه با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده، نتایج حاصله در اشکال شماره ۱۱ تا ۱۶ نمایش داده می‌شوند.



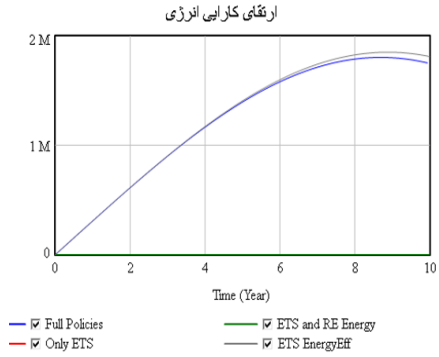

شکل ۱۱.مقایسه عملکرد سناریو ها –GDP



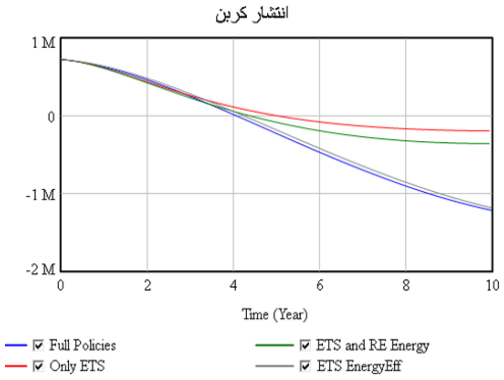

شکل ۱۲. مقایسه عملکرد سناریو ها–تغییرات **EU ETS**



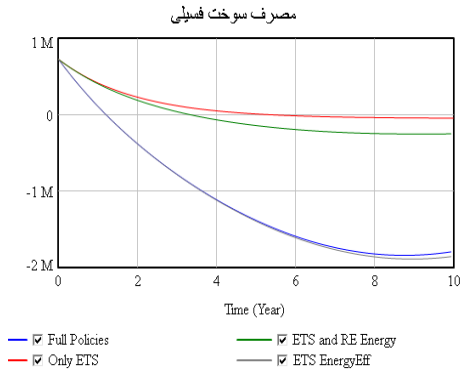

شکل ۱۳. مقایسه عملکرد سناریو ها–انرژی های جایگزین




شکل ۱۴. مقایسه عملکرد سناریو ها–ارتقاء کارایی انرژی




شکل ۱۵– مقایسه عملکرد سناریو ها–انتشار کربن




شکل ۱۶- مقایسه عملکرد سناریوها-مصرف سوخت‌های فسیلی

## بحث و تحلیل سناریوها

نتایج حاصل از مدل طراحی شده در شکل‌های شماره ۱۱ تا ۱۶ نشان داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر نیز بیان شد، همه تجزیه و تحلیل‌ها در واحد یورو تبدیل و انجام گرفته است. در شکل شماره ۱۱، تغییرات درآمد ناخالص اتحادیه اروپا تحت چهار سناریو حاصل از اتخاذ خط مشی‌های سه‌گانه اقلیمی اتحادیه اروپا ارائه شده است که بدیهی است هر چهار سناریو رفتار یکسانی دارند. در شکل شماره ۱۲، رفتار متغیر نرخ تغییرات سیستم تجارت کربن نشان داده شده است و به عبارتی تحت سناریوهای مختلف رفتار این متغیر نشان داده شده است. در شکل شماره ۱۳، رفتار انرژی‌های جایگزین تحت سناریوهای چهارگانه ارائه گردیده است. در شکل شماره ۱۴، موضوع ارتقاء کارایی انرژی و تغییرات آن تحت چهار سناریوی مطرح شده، مورد توجه قرار گرفته است.

همان‌طور که از شکل شماره (۱۵) قابل مشاهده است، اتخاذ همزمان خط مشی‌های سه گانه اقلیمی، دارای بهترین عملکرد در کاهش میزان انتشار کربن است. بر همین اساس می‌توان سناریوی شماره چهار را با توجه به بهترین عملکرد مشاهده شده، توسط مدل شبیه‌سازی شده برای انتشار کربن در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ پیشنهاد داد.

همچنین در شکل شماره ۱۶، رفتار مصرف سوخت‌های فسیلی تحت چهار سناریوی معرفی شده، نشان داده شده است.

برخی نتایج ارزشمند حاصل از مدل شبیه‌سازی شده که اعتبارسنجی آن نیز با استفاده از داده‌های تاریخی به اثبات رسید، به قرار ذیل است:

۱- سناریوی شماره یک، به تنهایی در کاهش میزان انتشار کربن از کارایی خوبی نسبت به سه سناریوی دیگر برخوارد نیست.

۲- سناریوی شماره دو، عملکرد نزدیکی به سناریوی شماره چهار دارد؛ به عبارتی می‌توان ترجیح محل سرمایه‌گذاری‌های آینده را در کارایی انرژی و توسعه تکنولوزی این بخش و همچنین سیستم EU ETS پیشنهاد کرد.

لذا با توجه به تجزیه و تحلیل سناریوها و با توجه به لزوم تدوین برنامه پنج ساله هفتم در سال جاری، آنچه از تحلیل خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا برای کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن می توان برای سیاست‌گذاری‌های کلان آینده زیست محیطی کشورمان ایده گرفت، در موارد زیر بیان گردیده است:

- اصلاح الگوی تولید انرژی و تمرکز بیشتر در اختصاص بودجه و تسهیلات برای تولید انرژی‌های پاک و همچنین کاهش سوخت‌های فسیلی و ترویج مواد سوختی سازگار و دوستدار محیط زیست.
- موظف نمودن دستگاه‌ها و نهادهای دولتی برای تخصیص اعتبارات سالانه به اجرای مدیریت سبز و همچنین موظف نمودن آن‌ها به اختصاص درصدی از فروش و سود به پژوهش‌های مرتبط با محیط زیست که منجر به رونق اقتصاد کم کربن و توسعه حمل و نقل عمومی سبز و غیرفسیلی می‌گردد.
- وجود صنایع بزرگ با تکنولوژی پایین و فرسوده و آلایندگی بالا، مانع به ثمر نشستن فعالیت‌های زیست‌محیطی می‌گردد. این صنایع که عمدتاً ضرر ده هستند، نباید بی‌مهابا از جانب دولت حمایت شوند.

به عنوان نکته پایانی آنچه برای از بین بردن فاصله تدوین قانون‌های حفاظت محیط زیست و اجرای موفق آن‌ها و از بین بردن عدم ارتباط هماهنگ بین ارگان های مرتبط ضروری است، تغییر مکانیسم نظارت و ارزیابی عملکرد برنامه‌های محیط زیست به ایجاد سیستم متمرکز در سازمان محیط زیست و تکمیل اطلاعات آن توسط سایر دستگاه‌های ذی‌ربط و همچنین تدوین و اجرای قدرتمندساز و کار نظارت بر چگونگی تحقق اهداف قوانین و برنامه‌ها در کلیه دستگاه‌ها و سازمان‌هاست.

## نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بخصوص کربن دی‌اکسید، پیامدهای خطرناکی را به دنبال دارد که گرمایش زمین مهم‌ترین آن‌هاست. اتحادیه اروپا به عنوان جلودار در مسیر کاهش میزان انتشار کربن، اقدامات اساسی زیادی انجام داده و خط‌مشی‌ها و سیاست‌های مختلفی را وضع کرده است. تحلیل اثرگذاری این خط مشی‌ها در افق‌های زمانی به سیاست‌گذاران محیط زیست داخلی این امکان را می‌دهد که در زمان‌های مشخصی نسبت به تعدیل اهداف، اقدام متناسب انجام دهند. لذا اهمیت تحلیل خط مشی‌ها از لحاظ عملکرد آن‌ها پیش از به وقوع پیوستنشان با استفاده از شبیه‌سازی و رویکرد پویایی سیستم‌ها در مدل‌سازی

آن یکی از گزینه‌های پیش رو برای تدوین سیاست‌ها و استراتژی‌های حفظ محیط زیست کشورمان تلقی می‌گردد. توجه سیاست‌گذاران روی خط مشی‌های مؤثر و تعدیل آن‌ها به منظور انجام سرمایه‌گذاری‌های بیشتر، از خروجی‌های این مدل‌سازی می‌تواند استخراج شود. در این پژوهش، با ارائه یک مدل شبیه‌سازی با رویکرد پویایی سیستم‌ها، تحلیل سناریوهای حاصل از خط مشی‌های اقلیمی که اتحادیه اروپا برای سال ۲۰۳۰ هدف‌گذاری کرده است، اثر بخشی آن-ها در میزان انتشار کربن به عنوان شاخص مهم گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که اتخاذ یک خط مشی به تنهایی نمی‌تواند اثربخشی مطلوبی در کاهش میزان انتشار داشته باشد. و همچنین سیستم مدیریت انتشار EU ETS به تنهایی، کمترین عملکرد را در کاهش میزان انتشار کربن دارد؛ لذا سناریویی که اتخاذ خط مشی‌های سه گانه‌ی اقلیمی اتحادیه اروپا را نشان می‌دهد، بهترین اثرگذاری را در کاهش میزان انتشار تا سال ۲۰۳۰ می‌تواند در آینده سیاست‌گذاری‌های کشور ما داشته باشد. از میان حلقه‌های بازخوردی تعدیل کننده در کاهش انتشار کربن و بنا بر ترکیب خط مشی‌های اقلیمی اتحادیه اروپا، انجام اقدامات در حوزه کارایی انرژی و سیستم مدیریت انتشار EU ETS بایستی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. با توجه به محدوده مدل شبیه‌سازی شده، توسعه مدل به متغیرهای برون‌زا و تحلیل عوامل مؤثر بر آن‌ها که روی خط مشی‌های اتخاذ شده اثر می‌گذاراند، می‌تواند به عنوان مبنایی برای تحقیقات آتی باشد.

## References

Capros, P., De Vita, A., Höglund Isaksson, L., Winiwarter, W., Purohit, P., Bottcher, H., ... & Witzke, H. P. (2013). EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050-Reference scenario 2013. European Commission.

Wang, Y.F., Liang, S., (2013). Carbon dioxide mitigation target of China in 2020 and key economic sectors. Energy Policy 58, 90e96.

Zhang, X.H., Han, J., Zhao, H., (2012). Evaluating the interplays among economic growth and energy consumption and CO2 emission of China during 1990e2007. Renew. Sustain. Energy Rev. 16, 65e72.

Choi, J.-K., Bakshi, B.R., Haab, T., (2010). Effects of a CO2 price in the U.S. on economic sectors, resource use, and emissions: an input–output approach. Energy Policy 38, 3527–3536.

Ghosh, S., (2010). Examining CO2 emissions economic growth nexus for India: a multivariate co-integration approach. Energy Policy 38, 3008–3014.

Ross Morrow, W., Gallagher, K.S., Collantes, G., Lee, H., (2010). Analysis of policies to reduce oil consumption and greenhouse-gas emissions from the US transportation sector. Energy Policy 38, 1305–1320.

Peters, M., Fudge, S., Sinclair, P., (2010). Mobilising community action towards a low-CO2 future: opportunities and challenges for local government in the UK. Energy Policy 38, 7596–7603.

Chicco, G., Stephenson, P.M., (2011). Effectiveness of setting cumulative CO2 dioxide emissions reduction targets. Energy.

Ang, B.W., Zhang, F.Q., Choi, K.H., (1998). Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. Energy 23 (6), 489e495.

Wang, C., Chen, J., Zou, J., (2005). Decomposition of energy-related CO2 emission in China: 1957e2000. Energy 30 (1), 73e83.

Fan, Y., Liu, L.C., Wu, G., Tsai, H.T., Wei, Y.M., (2007). Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980e2003. Ecol. Econ. 62 (3e4), 683e691.

Ipek, T.G., Serap, T.A., Akbostanci, (2009) E. A decomposition analysis of CO2 emissions from energy use: Turkish case. Energy Policy , ,37 (11), 4689e4699.

Paul, S., Bhattacharya,(2004) R.N. CO2 emission from energy use in India: a decomposition analysis. Energy Policy,, 32 (5), 585e593.

Li, Fujia, et al. "The improvement of CO2 emission reduction policies based on system dynamics method in traditional industrial region with large CO2 emission." Energy Policy 51: 683-695.

Sims, R.E.H., Rogner, H.H., Ken, G. (2003) Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation. Energy Policy, 31, 1315e1326.

Van den Broek, M., Faaij, Andre, Turkenburg, Wim, (2008). Planning for an electricity sector with carbon capture and storage: case of the Netherlands. Int. J. Greenh. Gas Control 2,105e129.

Mondal, M.A.H., Mathur, J., Denich, M. (2011) Impacts of CO2 emission constraints on technology selection and energy resources for power generation in Bangladesh. Energy Policy , 39, 2043e2050.

Chen, W.Y., Wu, Z.X., He, J.K., Gao, P.F., Xu, S.F. (2007) Carbon emission control strategies for China: a comparative study with partial and general equilibrium versions of the China MARKAL model. Energy ,32 (1), 59e72.

Endo, E., Ichinohe, M. (2006) Analysis on market deployment of photovoltaics in Japan by using energy system model MARKAL. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, ,90 (18e19), 3061e3067.

Sarica, K., Tyner, W.E., (2013). Analysis of US renewable fuels policies using a modified MARKAL model. Renew. Energy 50 (0), 701e709.

Strachan, N., Kannan, R. (2008) Hybrid modelling of long-term carbon reduction scenarios for the UK. Energy Econ, 30 (6), 2947e2963.

Sue, W.I., (2004). Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis: Everything You Ever Wanted to Know (but Were Afraid to Ask). Technical note no. 6. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, MA.

Liang, Q.M., Fan, Y., Wei, Y.M. (2007) Carbon taxation policy in China: how to protect energy- and trade-intensive sectors? J. Policy Model, 29 (2), 311e333.

Hassan, Q.U., Baek, S.S. (2010) How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: the case of an energy policy model. Energy Policy, , 38, 2216e2224.

Chi, K.C., Nuttall, W.J., Reiner, D.M. (2009) Dynamics of the UK natural gas industry: system dynamics modelling and long-term energy policy analysis. Technol. Forecast. Soc. Change , 76, 339e357.

Ansari, N., Seifi, A. (2012) A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry. Energy,43, 334e343.

Dong, X., Li, C., Li, J., Huang, W., Wang, J., Liao, R. (2012) Application of a system dynamics approach for assessment of the impact of regulations on cleaner production in the electroplating industry in China. J., Clean. Prod,20 (1), 72e81.

Fong, W.K., Matsumoto, H., Lun, Y.F. (2009) Application of system dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities. Build. Environ, 44, 1528e1537.

Kunsch, P., Springael, J.(2008) Simulation with system dynamics and fuzzy reasoning of a tax policy to reduce CO2 emissions in the residential sector. Eur. J. Oper. Res, 185, 1285e1299.

Feng, Y.Y., Chen, S.Q., Zhang, L.X. (2013) System dynamics modeling for urban energy consumption and CO2 emissions: a case study of Beijing, China. Ecol. Model,252, 44e52.

Nastaran, A., Abbas, S. (2013)A system dynamics model for analyzing energy consumption and CO2 emission in Iranian cement industry under various production and export scenarios. Energy Policy, 58, 75e89.

Nuri, C.O., Gokhan, E., Omer, T. (2014) Towards greening the U.S. residential building stock: a system dynamics approach. Build. Environ., 78, 68e80.

Khadivar A, javaheri S. (2015) System Dynamics simulation for Developing and intenerating knowledge management and Knowledge strategy. IQBQ. 19 (1):117-146.

Haji Gholam Saryazdi A, rajabzadeh Ghatari A, Mashayekhi A N, Hasanzadeh (2017) A. The Dilemma of the Dynamic Problems: Provide a Framework for the Process of Problem Definition. IQBQ. 21 (2):1-26.

Heydarpour, vahid and Zandieh, Mostafa and Farsijani, Hassan and Rabieh, Masoud, (2017) Proposing a Model for Forecasting Port Container Terminal Performance; System Dynamics Approach, Modern Research in Decision Making ,2(2), 109-132.

Sterman, John D. (2000) "Business Dynamics"-Systems Thinking and Modeling for a Complex World,McGraw-Hill.

Javadian nikbakhsh, Khani M.,Mahdavi I., (2012) Identifying effective factors on supply chain performance and improving them by using system dynamics techniques, Case study in Darugar Company Case study in darugar company. IQBQ. 16 (3) :39-58.

Mohaghar A, Sharif Abadi A M.(2006) Modeling Just in Time Production Using System Dynamics Approach. IQBQ. 10 (20) :269-292.

Al-Najjar, Wareef. System dynamics simulation model for forecasting energy demand in Pueblo county, (2013), A. Diss. Colorado State University-Pueblo. Library.