Research Paper

A Theoretical Framework to Link a Computational General Equilibrium Model with an Energy Model: An Application to New Zealand

Hossein Ehteshamnia*[1], Nathaniel Robson[2]

[1] Research fellow, Department of Economics -ESSEC Business School -France, Email: hossein.ehteshamnia@essec.edu
[2] Economist, School of Economics and Finance - Victoria University of Wellington, New Zealand Email: nathaniel.robson@vuw.ac.nz

10.22080/jeem.2024.27124.1007

Received:
May 22, 2024
Accepted:
May 29, 2024
Available online:
September 23, 2023

Keywords:
Energy system models, Climate and Energy Policy, Soft-linking models
JEL Classification:
Q5, Q4, Q43, Q50.

Abstract

This paper proposes a methodology to link a CGE model with an Energy model. Specifically, an iterative procedure; linking the CLIMAT-DGE model with the TIMES-NZ model is introduced. The linking methodology benefits from a precise representation of energy and technology choices offered by TIMES-NZ, incorporated into CLIMAT-DGE`s coherent macroeconomic structure. By adopting a two-way linkage, we not only seek to increase the model`s consistency but also to add methodological value to this study. Finally, potential applications of this methodology in studying the structural changes in New Zealand's energy system and their implications for the economy are discussed.

© 2023 UMZ. All rights reserved.

*Corresponding Author: Hossein Ehteshamnia
Address: ESSEC Business School -France.
Tel: 00989913792089
Email: ehtesham.n.h@gmail.com

Extended Abstract

1. INTRODUCTION

New Zealand's first Nationally Determined Contribution (NDC1) sets a headline target of a 50 % reduction of net emissions below the gross 2005 level by 2030. Energy technologies are at the heart of emission mitigation strategies and are likely to face a structural change. Moreover, the increased climate policy emphasis is likely to affect the entire economy and the interactions between the sectors as well. It is therefore crucial to have a precise representation of technology choices in achieving NDC1 and access the macroeconomic effects of energy transitions.

The interactions between the economy, energy sectors, and climate policies can be modeled either by bottom-up engineering approaches, often in partial equilibrium, involving detailed representations of the energy sector, or using top-down energy-economy models representing the aggregated effects of energy and climate policies in monetary units. One major advantage of top-down energy models is the endogenous assessment of economic and societal effects which facilitates the understanding of energy policy impacts on the economy. On the other hand, top-down models suffer from a lack of technological detail and deliver rather generalized information. In contrast to macroeconomic modeling, bottom-up modeling approaches incorporate a high degree of technological detail which enables them to present very detailed pictures of energy demand and energy supply technologies, as well as plausible technology futures (Labriet et al., 2015). However, they fail to capture region-wide or sectoral effects not directly related to the energy sector (Lanz et al., 2011).

Top Down and Bottom Up are also frequently linked with each other in the so-called "hybrid" models to allow for more detailed assessments. currently energy system modeling is moving toward hybrid modeling (Labriet et al., 2015). According to Hourcade et al. (2006), a high-quality hybrid model system should incorporate at least three properties: i) technological explicitness, ii) microeconomic realism, and iii) macroeconomic completeness.

In the context of hybrid modeling, this work introduces a methodology to link a CGE model with an energy model. Our integrated model benefits from addressing repercussions across sectors and regions, offered by the CGE model, without losing the sectoral detail. In other words, the linked energy model provides additional quality assurance and credibility of CGE-based assessment by more robust sectoral foundations and explicit technologies.

In the context of New Zealand's economy, Diukanova et al. (2008) and Fernandez et al. (2015) have used the CLIMAT-DGE model, Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA, 2021) has used the TIMES-NZ model, and Fernandez et al. (2018) and Wanget al. (2021) have linked a CGE to a bottom-up agricultural model. However, we are not aware of any studies that adopt model-linking frameworks in the context of energy studies in New Zealand. To fill this void, we propose linking CLIMAT-DGE to TIMES-NZ. This framework allows us to benefit from each model's strength; a consistent description of the interactions between all sectors of the economy, offered by CLIMAT-DGE, and the technological richness of TIMES-NZ. Moreover, we adopt a two-way linking approach not only to increase the

Ehteshamnia, Hossein and Robson, Nathaniel (2023). A Theoretical Framework to Link a Computational General Equilibrium Model with an Energy Model: An Application to New Zealand, *Journal of Energy Economics Modeling*, 1(2): 99-120.

consistency of our model but also to add additional "methodological value ", since there is little work done using the two-way linkage method in the context of national CGE models. In terms of applications, CLIMAT-DGE, with TIMES-NZ, will specifically enable to study of structural changes in New Zealand's energy system along the low carbon transition path and analyze the response of the economy to such energy transition.

Section 2 provides a brief discussion of the methodological aspects of the linking framework by looking at the general and specific challenges of this approach and proposes a method to overcome them. Section 3 introduces the details of the models. Section 4 discusses the methodology used to link the models. Section 5 provides scenarios to reflect the potential applications of our proposed method and the final section concludes.

2. METHODOLOGY

Two general approaches can be distinguished in model linking. In a one-way linkage, the information is shared in one direction, i.e. the outputs from one model serve as exogenous parameters or variables in another model. Conversely, a two-way linkage takes into account the feedback between models. The two-way linking approaches are based on the iterative or sequential calibration methods which consist of repeatedly interchanging certain variables between models until mutual consistency is achieved. (Delzeit et al., 2020).

Best practices depend on the modeling objective: one-way linking is sufficient if the focus is on an economy-wide picture based on given sectoral pathways/constraints. Two-way linking is a better choice if modelers seek a broader PE/CGE consistent picture with multiple dimensions. Furthermore, if the interest is in the results of key variables in all models involved in the linking rather than in the "receiving" model alone, a two-way link is preferable over a one-way link. (Delzeit et al., 2020). This is the case in this research proposal, since we aim to capture the emissions and energy mix variables from the PE model and the general equilibrium effects of policy interventions from the CGE model. Based on the above discussion, we adopt a two-way linking approach corresponding to the fourth type in the figure below.

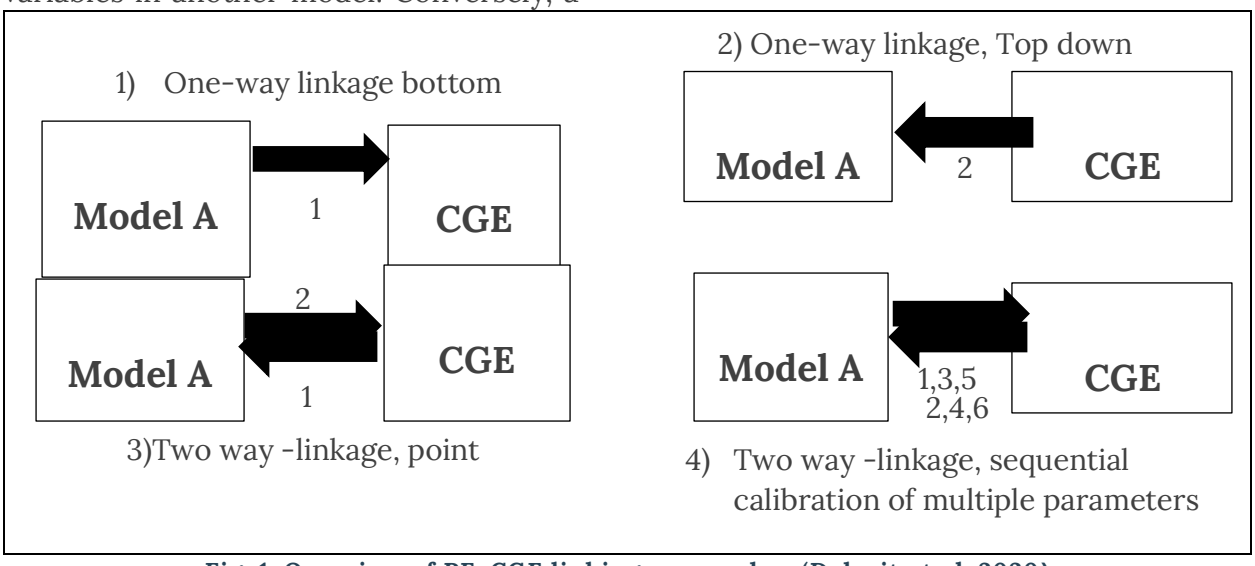


Fig. 1. Overview of PE-CGE linking approaches (Delzeit et al.,2020)

Moreover, the literature sometimes distinguishes between soft and hard linkages, albeit with different connotations: Wene (1996) focuses on the technical link by distinguishing between data exchanges controlled by model users versus computer programs (Delzeit et al., 2020).

Regarding soft links versus hard links, what matters is the degree of convergence of the overlapping variables between the two-way linked models, whatever the method used to compute the combined solution (Delzeit et al., 2020). The advantages of soft-linking can be summarized by practicality, transparency, and learning. Likewise, the advantages of hard-linking can be characterized by productivity, uniqueness, and control. (Wene,1996).

3. THE MODELS

The models of this study are selected in a way that they can be a good representative of their respective model types; they both have been developed quite recently and have both been applied to study the impacts of low-carbon developments and policies.

Moreover, the preference given to a regional model over a global model in this study is mainly due to policy analysis considerations since most of the policy-making takes place at the national level important features of several key sectors concerning energy, environment, and economy, are typically well described. The availability of reliable and detailed data facilitates a more complex model representation (e.g., more detailed sector representations), and since the linking[1] approach can address more complexity, it provides advantages from a national policy perspective (Riekkola et al., 2017). There are examples in Riekkola et al., (2017) and Helgesen et al., (2018) of national studies on climate policy, using linking procedures.

3.1 CLIMAT-DGE

The Climate Mitigation, Adaptation and Trade in Dynamic General Equilibrium (CLIMAT-DGE) model, developed by Land Care Research, is a top-down dynamic, multi-sectoral, and multiregional CGE model that describes the global economy and generation of greenhouse gas (GHG) emissions with a strong focus on New Zealand as a distinct region. (Fernandez et al., 2015)

CLIMAT-DGE uses the Global Trade Analysis Project (GTAP) dataset for 129 regions and 57 economic sectors. The base year of the benchmark projection is 2007 (the latest year included in GTAP); the model then develops a benchmark projection of the economic variables and GHG emissions (from human activities) and simulates scenarios to evaluate the impacts of mitigation policies. Based on long-run conditions and constraints on physical resources that restrict the opportunity set of agents, the model predicts the behavior of the economy, energy use, and emissions by region and sector. CLIMAT-DGE is coded using the Mathematical Programming System for General Equilibrium (MPSGE) package in GAMS. (Fernandez et al., 2015).

CLIMAT-DGE is based on the dynamic version of the MIT-EPPA model (Babiker et

[1] Krook et al., 2017, use a different definition for soft and hard link. Our hard linking approach matches the soft linking definition of Krook et al., 2017.

Ehteshamnia, Hossein and Robson, Nathaniel (2023). A Theoretical Framework to Link a Computational General Equilibrium Model with an Energy Model: An Application to New Zealand, *Journal of Energy Economics Modeling*, 1(2): 99-120.

al., 2008). The equilibrium is maintained under the following conditions:

a) Zero profit: The satisfaction of this condition is assured concerning aggregate consumption, investment, capital, and production level respectively, using the following equations.

$$E_t^{\,c}(p_{it}, p_{jt}) - p_t \geq 0\,, C_t \geq 0\,, [E_t^{\,c}(p_{it}, p_{jt}) - p_t]\, C_t = 0 \quad (1)$$

$$E_t^{\,I}(p_{it}, p_{jt}) - p_{t+1}^{\,K} \geq 0\,, I_t \geq 0\,, [E_t^{\,I}(p_{it}, p_{jt}) - p_{t+1}^{\,K}]\, I_t = 0 \quad (2)$$

$$r_t^{\,K} + (1-\sigma)p_{t+1}^{\,K} - p_t^{\,K} \geq 0\,, [r_t^{\,K} + (1-\sigma)p_{t+1}^{\,K} - p_t^{\,K}]\, K_t = 0 \quad (3)$$

$$E_{jt}^{\,Y}(p_{it}, p_t^{\,F}) - p_{it} \geq 0\,, Y_{it} \geq 0\,, [E_{jt}^{\,Y}(p_{it}, p_t^{\,F}) - p_{it}]\, Y_{it} = 0 \quad (4)$$

Where E_t^c is the unit expenditure function, p_t is the consumer price index, C is the aggregate consumption level, E_t^I is the unit investment cost function, I_t is the level of investment, p_t^K is the price of capital, K_t is the level of capital stock and r_t^k is the rate of return on capital, E_{it}^Y is the unit production cost function, Y_{it} is the level of output and p_{it} is the output price. Please note that subscripts i, j, and t stand for commodities, sectors, and time respectively while σ is the depreciation rate of capital.

b) Market Clearing: Supply equals demand in the commodity market, primary factors markets (labor, capital, energy), and in capital accumulation respectively, according to the following equations:

$$\sum_j D_{ijt}^{\,ID}(p_{jt}.y_{it}) + D_{it}^{\,C}(p_{it}) + D_{it}^{\,I}(p_{it}) + D_{it}^{\,M}(p_{it}) - D_{it}^{\,X}(p_{it}) - y_{it} \geq 0\,. p_{it} \geq 0$$

$$[\sum_j D_{ijt}^{\,ID}(p_{jt}.y_{it}) + D_{it}^{\,C}(p_{it}) + D_{it}^{\,I}(p_{it}) + D_{it}^{\,M}(p_{it}) - D_{it}^{\,X}(p_{it}) - y_{it}]\, p_{it} = 0 \quad (5)$$

where D(.) are the compensated demand functions, and where the superscripts ID denotes

intermediate demand, C final demand, I investment, X exports, and M imports.

$$\sum_j D_{jt}^{\,F}(p_t^{\,F}, y_{it}) + F_t^{\,F} \geq 0, p_t^{\,F} \geq 0\,, [\sum_j D_{jt}^{\,F}(p_t^{\,F}, y_{it}) + F_t^{\,F}]p_t^{\,F} = 0 \quad (6)$$

Where D_{jt}^F is factor demand functions, F_t^F is factor supply, and p_t^F is the price of factor service (wages and resource rents).

$$I_t + (1-\sigma)K_t - K_{t+1} \geq 0\,, p_t^{\,K} \geq 0\,, [\,It + (1-\sigma)K_t - K_{t+1}\,]p_t^{\,K} = 0 \quad (7)$$

c)The income-expenditure balance conditions: This condition states that the present value of the stream of incomes over the agent's lifetime equals the present value of the agent's expenditures over their lifetime and the sum of the agent's income and their borrowings in any current period must equal the sum of their expenditures and savings. The following equations ensure the satisfaction of the income-expenditure condition:

$$p_0{}^K K_{0+} \sum_{Ft} \mathrm{p}_t{}^F \mathrm{F}_t{}^F - \mathrm{P}_{t+1}{}^K \mathrm{K}_{t+1} = \sum_t P_t \; C_t \; (8)$$

$$P_t + C_t + E_t \mathrm{I}_t + S_t = \sum_F \mathrm{p}_t{}^F \mathrm{F}_t{}^F - \mathrm{r}_t{}^K \mathrm{K}_t + \mathrm{B}_t (9)$$

Where S is saving and B is borrowing.

3.2 TIMES-NZ

The Integrated MARKAL-EFOM2 System (TIMES), developed by the International Energy Agency is an energy-economic model generator for local, national, or multi-regional energy systems, and provides a technology-rich basis for calculating energy dynamics over a long-term, multi-period time horizon (Riekkola et al., 2017).

TIMES-NZ is a technology-based optimization model that represents the entire New Zealand energy system, encompassing energy carriers and processes from primary resources to final energy consumption.it is a bottom-up model that requires a detailed description of energy technologies, processes, and costs, plus additional infrastructure such as transmission and distribution systems, fuel production and processing, and energy security considerations. TIMES uses a linear programming solver to minimize the total discounted energy system cost over the entire modeled time horizon. The cost minimization is achieved by choosing between technologies and fuels to meet the expected energy demand.

4. LINKING THE MODELS

The major challenges of linking the models are twofold: i) Differences in model scope and concepts and ii) Differences in data aggregation and data definition.

We refer to steps outlined by Wene (1996) to identify the differences between CLIMAT-DGE and TIMES-NZ: i) identifying basic differences between the models; ii) identifying overlaps; and iii) identifying and deciding upon common exogenous variables. (Riekkola et al., 2017).

The main differences between the two models are that i) CLIMAT-DGE is a general equilibrium model while TIMES-NZ is a partial equilibrium model; ii) CLIMAT-DGE represents the flows of materials, capital labor, and energy in monetary terms while TIMES-NZ is based on physical energy flows (in energy units) with a representation of materials (in mass or volume), renewable energy credits (in number) and taxes (in monetary terms); iii) in TIMES-NZ the production of goods is exogenous while in CLIMATE-DGE they are endogenously determined by the model.

The main overlap of the models is that they drive the energy demand for each sector of the economy, and these variables will in turn determine the resulting emissions. This variable will be governed by TIMES-NZ since it offers a more detailed picture of the energy sector.

Moreover, since models use different statistical sources, harmonizing the variables that are exogenous to both models are crucial as the baseline assumptions have a great impact on model results. However, some variables are not possible to fully harmonize such as biomass or hydrogen resources which have limited representation in the CLIMAT-DGE model.

Finding common measuring points at which the macroeconomic model and the

Ehteshamnia, Hossein and Robson, Nathaniel (2023). A Theoretical Framework to Link a Computational General Equilibrium Model with an Energy Model: An Application to New Zealand, *Journal of Energy Economics Modeling*, 1(2): 99-120.

energy system model can interact is the first step in linking the two models. Mappings should be defined in geographic regions, sectors, and commodities between the two models. In identifying the connection points, we refer to the methodology suggested by Riekkola et al., (2017); focusing on improving the assumptions required by the receiver model through the results generated by the sender model, Riekkola et al., (2017) suggests using "direction-specific "connection points i.e. one direction when transferring information from CLIMAT-DGE to TIMES-NZ and one direction when transferring information from TIMES-NZ to CLIMAT-DGE.

4.1 The linking procedure

This section briefly describes a procedure inspired by Riekkola et al., (2017) and Helgesen et al., (2018) to overcome the linking challenges. Generally speaking, demand projections from CLIMAT-DGE will be fed into TIMES-NZ while the energy system feedback into CLIMAT-DGE is based on the results from TIMES-NZ.

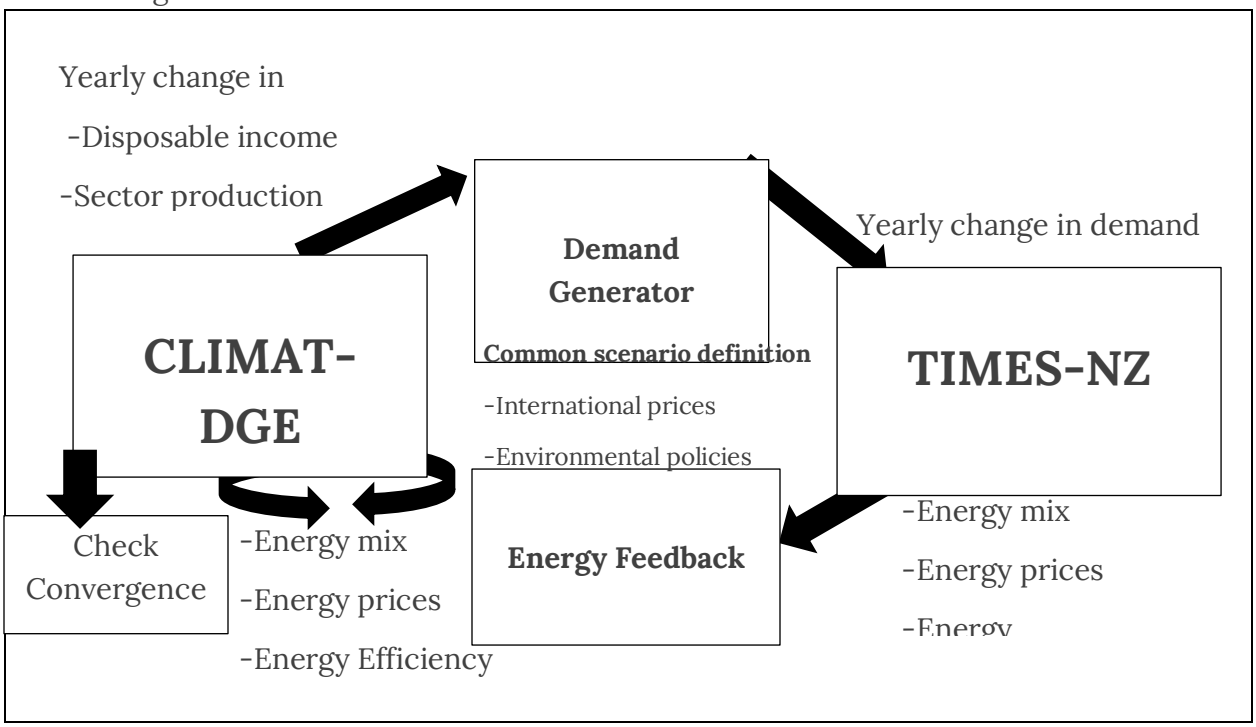


Fig. 2. Overview of the linked model – adapted from Riekkola et al., (2017) and Helgesen et al., (2018)

The demand generator translates economic development parameters from the CLIMAT-DGE model to demand for energy incentive goods in the TIMES-NZ model. Many approaches have been suggested in the literature. For instance, Riekkola et al., (2017) use the historical correlation between the demand for a commodity in physical units described in TIMES and the corresponding sector growth in monetary units according to the national accounts. Helgesen et al., (2018) assume specific energy intensities for each industry and region, measuring the input of energy service per production quantity. Moreover, the household expenditure from CLIMAT-DGE will be used as a driver for energy service demand in TIMES. Regarding transportation, the amount of interregional trade combined with inter-

regional transport and trade margins and direct consumption of transport services by households and firms will determine the demand.

The energy feedback from TIMES-NZ makes the energy efficiency parameter endogenous to CLIMAT-DGE which is normally exogenous. Moreover, the energy mix in CLIMAT-DGE is determined completely by the results from TIMES-NZ. To facilitate this transformation, the production function in CLIMAT-DGE needs to be changed so that the substitution elasticity between different energy inputs is set to zero i.e. Leontief representation.

Moreover, changes in investment flows due to large structural changes in the energy system might not be captured satisfactorily since there is no link between investment demand and the rest of the economy. To overcome this limitation Labriet et al., (2010) and Helgesen et al., (2018) suggest incorporating a technical progress parameter into capital consumption while Riekkola et al., (2017) suggests disaggregating the powers sector to generate a link between power technologies and the demand for capital investment.

Each model needs to be modified before being linked. More precisely, the price elasticity of the energy demand of TIMES-NZ should be deactivated since it must use the demand vectors provided by CLIMAT-DGE. The major modification of CLIMAT-DGE is to introduce new energy forms not present in the model such as hydrogen, biomass, etc. This requires re-writing the nested CES functions of the model.

Finally, we need to define a convergence criterion by calculating the relative changes of variable values between iterations and comparing them against a chosen tolerance. If all changes are below the tolerance, the iterations have converged.

5. APPLICATIONS

Our proposed methodology can serve best as a structure to assess scenarios regarding structural changes in New Zealand's energy systems and the economic implications of such energy transition. The former could be analyzed using the outputs from TIMES-NZ and the latter could be analyzed using the outputs from CLIMAT-DGE.

In exploring structural changes in New Zealand's energy system Luke et al., (2018) propose a good research question: Given all low-emissions generation technologies present either social, commercial, or technological risks that could prevent their deployment, what is the impact of pursuing a narrower set of technological options? Moreover, in exploring the implications of energy transitions, one can think about how the chosen emission-reduction pathway affects economic activity and employment of the nation as a whole. To this aim, one can consider a baseline scenario, as the benchmark, which does not include any climate policies and a scenario consistent with the NDC1 target.

Another interesting theme to explore is the implications of alternative emission trading schemes and their implications on the economy. Hence, one can consider several scenarios with different ETS (Emissions Trading Scheme) configurations to examine their macroeconomic effects. Specifically, examining the macroeconomic impacts of incorporating the energy sector in an ETS. Finally, to assess the two-way linking

Ehteshamnia, Hossein and Robson, Nathaniel (2023). A Theoretical Framework to Link a Computational General Equilibrium Model with an Energy Model: An Application to New Zealand, *Journal of Energy Economics Modeling*, 1(2): 99-120.

methodology one can compare the analysis obtained by the linked model with standalone CLIMAT-DGE and TIMES-NZ models. These scenarios are reflected in the table below. Note that an extra ambitious scenario is also included which reflects the 2050 zero emissions case.

Table 1. Applications of the linking methodology: Climate scenarios for New Zealand

Scenario	Climate Policy	ETS
Baseline	No	NZ-ETS
Commitment	YES(NDC1)	NZ-ETS Incorporating the Electricity sector into ETS Incorporating the Transport sector in ETS Incorporating the Manufacturing sector in ETS
Ambitious	YES (2050 Zero Emissions)	

Reference: Model assessment scenarios proposed by authors

The NZ ETS (NZETS) is among the world's earliest market-based emission trading systems operated at a national level (ICAP, 2019). The scheme covers six gases, namely, carbon dioxide (CO2), methane (CH4), nitrous oxide (N2O), sulfur hexafluoride, hydrofluorocarbons, and perfluorocarbons. (Wang et al., 2021). Table 2 summarizes the NZETS impact studies that adopted computable general equilibrium (CGE) approaches.

Table 2. Applications of CGE models in studying New Zeeland's emission trading scheme

Author(s)	Model class	ETS coverege
Diukanova and Andrew (2008)	Static CGE	All the ETS sectors and agriculture, no cap-and-trade, captures CO2e that involves CO2, N2O and CH4 emissions
Fernandez and Daigneault (2015)	Dynamic CGE	Primary sectors, manufacturing and value-added sectors, and energy sectors, global cap-and-trade, capture CO2 and non-CO2 GHGs that include CH4, N2O, and 14 fluorinated gases.
NZIER (2008)	Static CGE	All the economic sectors and agriculture, with no cap-and-trade, capture CO2e that involves CO2, CH4, N2O, HFCs, PFCs, and SF6.
NZIER (2018)	Dynamic CGE	All the economic sectors and agriculture, with no cap-and-trade, measure CO2e.

Reference: Adapted from Wang et al., (2022)

6. CONCLUSIONS

This study proposes a methodology to link a CGE model with an energy model using an iterative procedure. The linking methodology combines the precise representation of energy and technology choices, offered by the energy model, with the coherent macroeconomic structure, offered by the CGE model. The benefits of our proposed two-way linkage not only increase the model`s consistency but also add methodological value. Moreover, this methodology is applied to two models for New Zealand, namely CLIMAT-DGE and TIMES-NZ. Furthermore, applications of

this methodology have been suggested by discussing several climate scenarios.

Funding
No funding support.

Authors' Contributions
Conception, design, and writing of the manuscript: Ehteshamnia. H; supervision and edit: Robson. N.

Conflict of Interest
The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgement
We want to express our gratitude regarding suggestions for improvement of earlier versions of the manuscript by three anonymous reviewers.

علمی

مبانی نظری متصل‌نمودن مدل‌های تعادل عام با مدل‌های انرژی بررسی موردی اقتصاد نیوزلند

حسین احتشام نیا[1*]، ناتانیل رابسون[2]

[1] پژوهشگر مهمان- گروه اقتصاد-اسک بیزنس اسکول- فرانسه، ایمیل: hossein.ehteshamnia@essec.edu
[2] اقتصاددان- دپارتمان اقتصاد- دانشگاه ویکتوریا- ولینگتون- نیوزلند، ایمیل: nathaniel.robson@vuw.ac.nz

10.22080/jeem.2024.27124.1007

تاریخ دریافت:
۰۲ خرداد ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش:
۰۹ خرداد ۱۴۰۳
تاریخ انتشار:
۰۱ مهر ۱۴۰۲

کلیدواژه ها:
مدل‌های انرژی؛ سیاست انرژی و اقلیم؛ اتصال مدل‌ها
طبقه‌بندی:
Q5,Q4,Q43, Q50.

چکیده

این مقاله روشی را برای پیوند یک مدل تعادل عام اقتصادی با یک مدل انرژی ارائه نموده و آن را بر روی مدل‌های CLIMAT-DGE و TIMES-NZ مربوط به کشور زلاند نو بررسی می‌نماید. مدل نهایی پیوند مطلوبی را ما بین فناوری‌های انرژی، ارائه‌شده توسط مدل TIMES-NZ و ساختار اقتصاد کلان ارائه‌شده توسط مدل CLIMAT-DGE ایجاد می‌نماید. همچنین مدل پیوندیافته از درجهٔ یکپارچگی بیشتری برخوردار است. در آخر کاربردهای بالقوهٔ این روش در مطالعهٔ تغییرات ساختاری سیستم انرژی کشور نیوزلند در مسیر کاهش آلاینده‌ها و دست‌یابی به اقتصاد سبز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

©کلیه حقوق اثر متعلق به دانشگاه مازندران است

* **نویسنده مسئول:** حسین احتشام نیا
آدرس: سک بیزنس اسکول- فرانسه.
تلفن: ۰۰۹۸۹۹۱۳۷۹۲۰۸۹
ایمیل: ehtesham.n.h@gmail.com

۱ مقدمه

نخستین سند تعهدات ملی محیط زیست نیوزیلند کاهش پنجاه درصدی انتشار آلاینده‌ها را در سال ۲۰۳۰ از سطح ناخالص سال ۲۰۰۵ هدف‌گذاری نموده است. هستهٔ اصلی استراتژی‌های کاهش انتشار فناوری‌های انرژی می‌باشند و پیش‌بینی می‌شود با تغییر ساختاری گسترده مواجه شوند. همچنین تأکید فزاینده بر سیاست‌های اقلیمی کل اقتصاد و تعاملات بین بخش‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. ازاین‌رو به تصویر کشیدن دقیق گزینه‌های فناوری انرژی در دست‌یابی به تعهدات محیط زیستی و تأثیرات به‌کارگیری آن‌ها بر اقتصاد کلان حائز اهمیت می‌باشد.

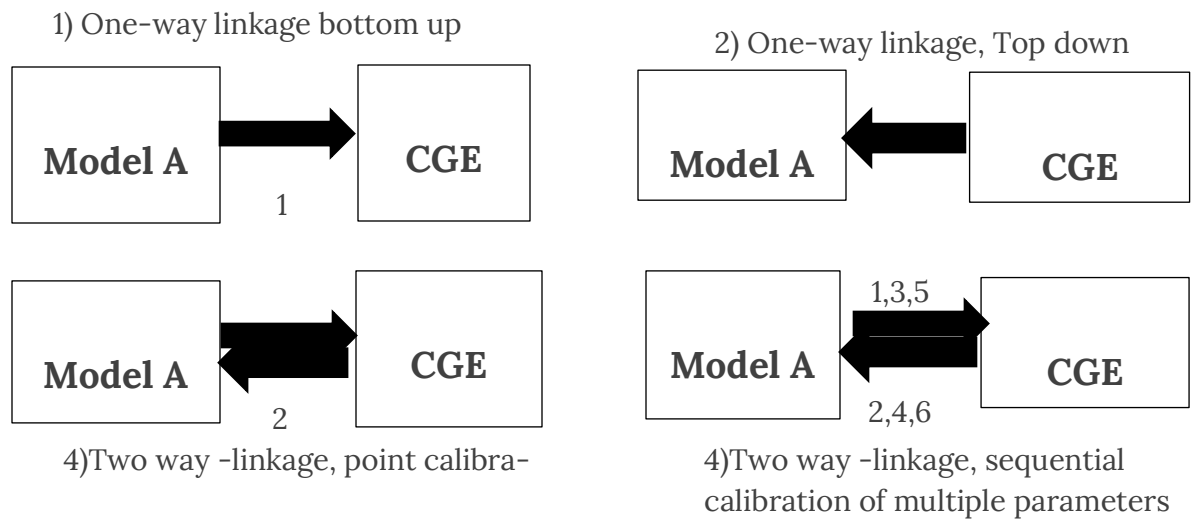
تعاملات بین سیستم اقتصادی، بخش‌های انرژی و سیاست‌های اقلیمی را می‌توان با رویکردهای مهندسی از پایین به بالا، عموماً در قالب تعادل نسبی و نمایش جزییات بخش انرژی، یا با استفاده از مدل‌های از بالا به پایین در قالب مدل‌های اقتصاد کلان شبیه‌سازی نمود. یکی از مزیت‌های اصلی مدل‌های از بالا به پایین، ارزیابی درونی اثرات اقتصادی و اجتماعی است که درک تأثیرات سیاست‌های اقلیمی بر اقتصاد را تسهیل می‌کنند. اما از سوی دیگر در این مدل‌ها فقدان نمایش جزئیات تکنولوژیکی وجود داشته و آنالیزهای نسبتاً کلی ارائه می‌شود. برخلاف مدل‌های اقتصاد کلان، رویکردهای مدل‌سازی از پایین به بالا از درجهٔ بالایی از جزئیات تکنولوژیکی بهره‌مند هستند و ازاین‌رو تصویر بسیار دقیقی از عرضه و تقاضای انرژی و فناوری‌های مرتبط را ارائه می‌نمایند (لابریت و همکاران, ۲۰۱۵)[1]. حال آنکه این مدل‌ها امکان درنظرگرفتن تأثیرات منطقه‌ای را که مستقیماً به بخش انرژی مرتبط نمی‌باشند، ندارند (لانزو همکاران, ۲۰۱۱)[2].

مدل‌های بالا پایین و پایین به بالا اغلب در چهارچوب مدل‌های هیبریدی به یکدیگر متصل می‌شوند تا امکان ارزیابی دقیق‌تر را فراهم نمایند. در حال حاضر مدل‌سازی سیستم‌های انرژی به سمت مدل‌سازی ترکیبی و هیبریدی پیش می‌رود، نمایند (لابریت و همکاران, ۲۰۱۵). از نظر هورکاد (۲۰۰۶)[3] یک مدل هیبرید مناسب باید حداقل سه ویژگی را داشته باشد: الف) صریح بودن نمایش فناوری‌ها، ب) واقع‌گرایی در معادلات خرد اقتصادی و ج) کامل-بودن نمایش اقتصاد کلان. در چهارچوب مدل‌سازی هیبرید، این پژوهش روشی را به منظور پیوند یک مدل تعادل عام محاسباتی[4] (CGE) با یک مدل انرژی معرفی می‌کند. مدل یکپارچهٔ نهایی روابط درون اقتصاد کلان را در بخش‌های مختلف با جزئیات تکنولوژیکی پیوند زده و از این منظر اعتبار آنالیزهای مبتنی بر مدل‌های تعادل عام را ارتقا می‌دهد. در پژوهش‌های مربوط به‌کارگیری مدل‌های تعادل عمومی محاسباتی و انرژی در اقتصاد نیوزلند دیوکانوا و همکاران (۲۰۰۸)[5] و فرناندز و همکاران (۲۰۱۵)[6] از مدل CLIMAT-DGE ، واحد حفظ و صرفه‌جویی انرژی نیوزلند[7] از مدل TIMES-NZ و و فرناندز و همکاران (۲۰۱۸)[8] و ونگ و همکاران (۲۰۲۱)[9] از پیوند مدل CGE و مدل کشاورزی از پایین به بالا استفاده نموده‌اند. اما در به‌کارگیری مدل‌های تعادل عام محاسباتی که با مدل‌های انرژی پیوند یافته باشند، در مورد کشور نیوزلند، نویسندگان این مقاله از وجود مطالعهٔ مرتبطی اظهار بی‌اطلاعی می‌نمایند. به منظور تکمیل این خلأ، پیشنهاد متصل نمودن مدل‌های CLIMAT-DGE و TIMES-NZ ارائه می‌شود. این چارچوب به امکان بهره‌مندی از نقاط قوت هر دو مدل را به

[1] Labriet et al.
[2] Lanz et al.
[3] Hourcade
[4] Computational General Equilibrium Models
[5] Diukanova et al.
[6] Fernandez et al.
[7] Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA)
[8] Fernandez et al.
[9] Wang et al.

صورت هم‌زمان و یکپارچه فراهم می‌آورد. مدل نهایی تعاملات بین تمام بخش‌های اقتصاد نیوزلند را که توسط مدل CLIMAT-DGE ارائه می‌شود و غنای تکنولوژیکی مدل TIMES-NZ در قالبی یکپارچه، تحت عنوان یک مدل هیبرید ارائه می‌نماید. علاوه‌براین، رویکرد پیش رو از نظر کاربرد، پیوند مدل‌های نام برده با روش مذکور امکان مطالعهٔ تغییرات ساختاری در سیستم انرژی نیوزلند را در مسیر دست‌یابی به تعهدات ملی محیط زیستی و تأثیرات این تغییرات را بر اقتصاد کلان فراهم می‌کند. ادامهٔ مباحث این مقاله به این صورت خواهند بود: قسمت دوم نگاهی به چالش‌های کلی این رویکرد دارد و بحث روش‌شناختی مختصری را در قالب ارائهٔ پیشنهادات در بر دارد. قسمت سوم جزئیات مدل‌ها را معرفی می‌نماید. بخش چهارم روشی نوین برای پیوند مدل‌ها ارائه می‌کند. بخش پنجم به معرفی سناریوهای اقلیمی در چهارچوب تعهدات ملی محیط زیستی نیوزلند پرداخته و به‌کاربردهای بالقوه روش پیشنهاد شده در این پژوهش اشاره می‌نماید و بخش ششم به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است. ۲. **روش‌شناسی** در رویکرد کلی را می‌توان در پیوند مدل‌ها در نظر گرفت. در پیوند یک طرفه، اطلاعات در یک جهت به اشتراک گذاشته می‌شوند؛ بدین معنا که خروجی‌های یک مدل به‌عنوان پارامترها یا متغیرهای برون‌زا در مدل دیگر عمل می‌کنند. از سوی دیگر، در پیوند دو طرفه بازخورد متناوب بین مدل‌ها در نظرگرفته می‌شود. رویکردهای پیوند دو طرفه مبتنی بر روش‌های کالیبراسیون تکراری یا متوالی است که شامل مبادلهٔ مکرر متغیرهای خاص بین مدل‌ها می‌شود تا زمانی که سازگاری متقابل حاصل شود (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۰)[1]. انتخاب بهترین شیوه به اهداف مدل‌سازی بستگی دارد: اگر تمرکز بر تصویری در سطح اقتصاد مبتنی بر محدودیت‌های بخشی باشد، غالباً پیوند یک طرفه مناسب خواهد بود؛ اما اگر مدل‌سازان به دنبال تصویر گسترده‌تر تعادل نسبی / تعادل عام سازگار با ابعاد چندگانه باشند، پیوند دو طرفه انتخاب بهتری می‌باشد. همچنین در صورتی که اهمیت متغیرهای کلیدی مربوط به مدل پیوند یافته بیش از هر مدل به صورت مجزا باشد، پیوند دو طرفه بر پیوند یک طرفه ترجیح داده می‌شود (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۰) این مقاله به پیوند دو طرفه می‌پردازد؛ زیرا هدف ما در برگرفتن متغیرهای انرژی را از مدل تعادل نسبی و اثرات عمومی اقتصاد کلان از مدل تعادل عام می‌باشد. بر اساس بحث فوق، این پژوهش رویکرد پیوندی دو طرفه را اتخاذ می‌نماید که در تصویر زیر در دستهٔ چهارم جای گرفته است.

[1] Delzeit et al.



شکل ۱. مروری بر رویکردهای پیوند مدل‌های تعادل نسبی و تعادل عام - برگرفته از دلتزیت و همکاران, (۲۰۲۰)

علاوه بر این، در ادبیات موضوعی مربوطه گاهی بین پیوندهای "نرم" و "سخت" تمایز قائل می‌شوند. در این زمینه ون (۱۹۹۶)[1] بر تمایز بین تبادل داده‌های کنترل‌شده توسط کاربران مدل در مقابل برنامه‌های کامپیوتری تأکید می‌نماید. (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۱)

همچنین در مبحث پیوند نرم و پیوند سخت، آن چه درواقع اهمیت دارد درجه همگرایی متغیرهایی است که در مدل پیوند یافته همپوشانی دارند، صرف نظر از روشی که برای محاسبهٔ راه‌حل نهایی مدل استفاده می‌شود (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۱) علاوه بر این از مزایای پیوندهای نرم می‌توان با عملی بودن، شفافیت و امکان یادگیری و از مزایای اتصال سخت می‌توان به بهره‌وری، منحصربه‌فرد بودن و امکان کنترل پروسه پیوند مدل‌ها اشاره نمود (ون, ۱۹۹۶).

۲ معرفی مدل‌ها

مدل‌های این پژوهش به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند نمایندهٔ خوبی از نوع مدل‌های مربوط به کلاس خود باشند. هر دو مدل اخیراً توسعه‌یافته و برای مطالعه تأثیرات سیاست‌های اقلیمی به کار گرفته شده‌اند. همچنین در این پژوهش مدل منطقه‌ای بر مدل جهانی ترجیح داده شده است؛ زیرا که در مسأله تغییرات اقلیمی غالب سیاست-گذاری‌ها در سطح ملی انجام می‌شود. همچنین در مدل‌های انتخابی بخش‌های کلیدی مربوط به انرژی، محیط زیست و اقتصاد به‌خوبی توصیف شده‌اند. در دسترس بودن داده‌های قابل مناسب و دقیق، امکان ایجاد یک مدل پیچیده را از مدل‌های انتخاب شده تسهیل می‌نماید و ازآنجایی‌که رویکرد پیوند می‌تواند پیچیدگی‌های بیشتری را در مدل‌سازی در بر بگیرد از حیث سیاست‌گذاری در سطح ملی حائز اهمیت می‌باشند (ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷)[2] نمونه‌هایی در ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) و هلگسن (۲۰۱۸)[3] از مطالعات مربوط به سیاست‌های اقلیمی در سطح ملی با استفاده از رویکرد پیوند مدل‌ها وجود دارد.

۲٫۱ مدل CLIMAT-DGE

مدل اقلیم و تجارت در تعادل عمومی پویا (CLIMAT-DGE)که توسط مؤسسهٔ تحقیقات لند[4] ایجاد شده است، یک مدل تعادل عام پویای چند بخشی و چند منطقه‌ای از بالا به پایین می‌باشد که توانایی توصیف بخش انتشار گازهای گلخانه‌ای را با تمرکز قوی بر اقتصاد نیوزلند به‌عنوان یک منطقه متمایز دارد. (فرناندز و همکاران, ۲۰۱۵) این مدل از مجموعه داده‌های پروژهٔ تحلیل تجارت

[1] Wene
[2] Riekkola et al.
[3] Helgesen
[4] Land Research

جهانی (GTAP) استفاده می‌کند که ۱۲۹ منطقه و ۵۷ بخش اقتصادی را در بر می‌گیرد. سال پایه پیش-بینی معیار در پایگاه داده‌های GTAP , سال ۲۰۰۷ می‌باشد. این مدل پیش‌بینی معیاری از متغیرهای اقتصادی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (از فعالیت‌های انسانی) را ایجاد و سناریوهایی را برای ارزیابی اثرات سیاست‌های اقلیمی شبیه‌سازی می‌کند. بر اساس شرایط بلندمدت و محدودیت‌های منابع فیزیکی را که مجموعه فرصت‌های عوامل محدود می‌کند، این مدل رفتار اقتصاد، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر اساس منطقه و بخش پیش‌بینی می‌نماید. این مدل با استفاده از بستهٔ برنامه‌ریزی ریاضی برای تعادل عمومی (MPSGE) در نرم‌افزار GAMSکدگذاری شده است (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۵).

مدل CLIMAT-DGE بر اساس نسخهٔ پویا مدل MIT-EPPAمربوط به دانشگاه ام ای تی می‌باشد (بابیکر و همکاران ۲۰۰۸).

شرایط برقراری تعادل در مدل به صورت زیر است:

لف) شرط سود صفر: برقراری این شرط مربوط به متغیرهای مصرف کل، سرمایه‌گذاری و سطح تولید با استفاده از معادلات زیر تضمین می‌شود.

$$E_t^{\,c}(p_{it}, p_{jt}) - p_t \geq 0 , C_t \geq 0 , [E_t^{\,c}(p_{it}, p_{jt}) - p_t]\, C_t = 0 \quad (1)$$

$$E_t^{\,I}(p_{it}, p_{jt}) - p_{t+1}^{\,K} \geq 0 , I_t \geq 0 , [E_t^{\,I}(p_{it}, p_{jt}) - p_{t+1}^{\,K}]\, I_t = 0 \quad (2)$$

$$r_t^{\,K} + (1-\sigma)p_{t+1}^{\,K} - p_t^{\,K} \geq 0 , [r_t^{\,K} + (1-\sigma)p_{t+1}^{\,K} - p_t^{\,K}]\, K_t = 0 \quad (3)$$

$$E_{jt}^{\,Y}(p_{it}, p_t^{\,F}) - p_{it} \geq 0 , Y_{it} \geq 0 , [E_{jt}^{\,Y}(p_{it}, p_t^{\,F}) - p_{it}]\, Y_{it} = 0 \quad (4)$$

که Et^c تابع هزینه واحد، p_t شاخص قیمت مصرف-کننده، C سطح مصرف کل Et^I تابع هزینهٔ سرمایه-گذاری واحد، I_t سطح سرمایه‌گذاری، pt^K قیمت سرمایه، K_tمیزان سرمایه r_t^k نرخ بازده سرمایه است، E_{it}^Y تابع هزینه تولید واحد، Y_{it} سطح خروجی و p_{it} قیمت خروجی می‌باشد. همچنین زیرنویس‌های i , j و t به ترتیب نشان‌دهندهٔ کالاها، بخش‌ها و زمان بوده وσ نرخ استهلاک سرمایه می‌باشد.

ب) شرط تعدیل بازار: برقرار شدن این شرط به معنای برابری عرضه و تقاضا در بازارهای کالا، عوامل تولید (کار، سرمایه، انرژی) و انباشت سرمایه با توجه به معادلات زیر می‌باشد:

$$\sum_j D_{ijt}^{\,ID}(p_{jt}, y_{it}) + D_{it}^{\,C}(p_{it}) + D_{it}^{\,I}(p_{it}) + D_{it}^{\,M}(p_{it}) - D_{it}^{\,X}(p_{it}) - y_{it} \geq 0 , p_{it} \geq 0$$

$$[\sum_j D_{ijt}^{\,ID}(p_{jt}, y_{it}) + D_{it}^{\,C}(p_{it}) + D_{it}^{\,I}(p_{it}) + D_{it}^{\,M}(p_{it}) - D_{it}^{\,X}(p_{it}) - y_{it}]\, p_{it} = 0 \quad (5)$$

که در معادلات فوق D(.) نشان‌دهندهٔ توابع تقاضای جبران‌شده و زیرنویس‌های ID نشان‌دهندهٔ تقاضای میانی، C تقاضای نهایی، I سرمایه‌گذاری، X صادرات و M واردات می‌باشد.

$$\sum_j D_{jt}^{\,F}(p_t^{\,F}, y_{it}) + F_t^{\,F} \geq 0 , p_t^{\,F} \geq 0 , [\sum_j D_{jt}^{\,F}(p_t^{\,F}, y_{it}) + F_t^{\,F}]\, p_t^{\,F} = 0 \quad (6)$$

D_{jt}^F نشان‌دهندهٔ توابع تقاضای عامل، F_t^F عرضه عامل و p_t^F قیمت خدمات عامل (دستمزد و اجارهٔ منابع) می‌باشند.

$$I_t + (1-\sigma)K_t - K_{t+1} \geq 0 , p_t^{\,K} \geq 0 , [It + (1-\sigma)K_t - K_{t+1}]\, p_t^{\,K} = 0 \quad (7)$$

ج) شرط تراز درآمد و هزینه: این شرط بیان می‌کند که ارزش فعلی جریان درآمدها در طول زمان برابر با ارزش فعلی مخارج بوده و مجموع درآمد و استقراض عوامل اقتصادی در هر دورهٔ جاری باید معادل مجموع مخارج و پس‌انداز باشد. معادلات زیر برقراری شرط فوق را تضمین می‌کنند:

$$p_0{}^K K_{0+} \sum_{Ft} \mathrm{p}_t{}^F \mathrm{F}_t{}^F - \mathrm{P}_{t+1}{}^K \mathrm{K}_{t+1} = \sum_t P_t \; C_t \tag{8}$$

$$P_t + C_t + E_t \mathrm{I}_t + S_t = \sum_F \mathrm{p}_t{}^F \mathrm{F}_t{}^F - \mathrm{r}_t{}^K \mathrm{K}_t + \mathrm{B}_t \tag{9}$$

که در روابط فوق S پس‌انداز و B در استقراض می‌باشد.

۲،۲ مدل TIMES-NZ

سیستم یکپارچه MARKAL-EFOM2 ملقب TIMES که توسط آژانس بین‌المللی انرژی توسعه-یافته است، یک مدل انرژی- اقتصاد برای سیستم‌های انرژی محلی، ملی یا چند منطقه‌ای می‌باشد و مبنایی غنی از فناوری‌های مختلف را برای محاسبهٔ حامل‌های انرژی در طولانی‌مدت و افق‌های زمانی گوناگون فراهم می‌کند (ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷) TIMES-NZ یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر فناوری است که کل سیستم‌های انرژی نیوزلند را در بر گرفته و حامل‌های انرژی و فرآیندها را از منابع اولیه تا مصرف نهایی انرژی شامل می‌شود. این مدل تکنولوژیک از پایین به بالا شرح مفصلی از فناوری‌های انرژی، هزینه‌ها، زیرساخت‌های سیستم‌های انتقال و توزیع، تولید و پردازش سوخت و ملاحظات امنیت انرژی ارائه می‌دهد. TIMES از یک حل‌کننده برنامه‌ریزی خطی برای به حداقل رساندن کل هزینهٔ سیستم انرژی با در نظر گرفتن افق زمانی مدل شده استفاده می‌کند. به حداقل رساندن هزینه با انتخاب‌های ما بین فناوری و سوخت برای برآورده نمودن تقاضای انرژی مورد انتظار به دست می‌آید.

۳ پیوند مدل‌ها

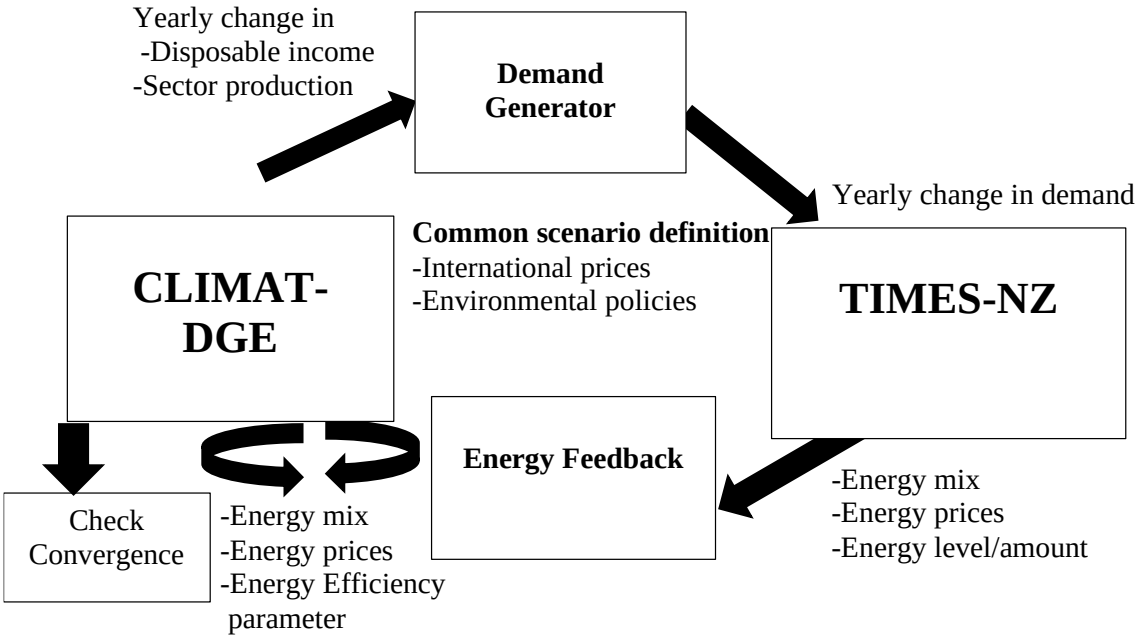
چالش‌های اصلی پیوند مدل‌ها دو مورد را شامل می‌شود: الف) تفاوت در مفاهیم مدل، ب) تفاوت در تجمیع و تعریف داده‌ها. با اقتباس از ون (۱۹۹۶) گام اول مربوط به پیوند دو مدل شامل: الف) شناسایی تفاوت‌های اساسی ما بین مدل‌ها ب) شناسایی همپوشانی‌ها و ج) شناسایی و تصمیم‌گیری در مورد متغیرهای برون‌زای مشترک می‌باشد (ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷). تفاوت اصلی بین دو مدل این است که: الف) CLIMAT-DGE یک مدل تعادل عمومی می‌باشد در حالی که TIMES-NZ یک مدل تعادل نسبی است. ب) در مدل CLIMAT-DGE جریان مواد، نیروی کار، سرمایه و انرژی به صورت واحد پولی نشان داده شده است. در حالی که در مدل TIMES-NZجریان مواد، کار، سرمایه و انرژی بر اساس انرژی فیزیکی (به واحد انرژی) با نمایش مواد (بر حسب جرم یا حجم)، اعتبارات انرژی تجدیدپذیر (به تعداد) و مالیات‌ها (به لحاظ پولی) نمایش داده می‌شود. ج) در مدل TIMES-NZ تولید کالاها متغیر برون‌زا می‌باشد. در حالی که در CLIMATE-DGE این متغیر به صورت درون‌زا توسط مدل تعیین می‌شوند.

همپوشانی اصلی مدل‌ها این است که تقاضای انرژی را برای هر بخش در اقتصاد هدایت می‌کنند و این متغیرها به نوبهٔ خود میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تعیین می‌کنند. در پیوند این دو مدل، این متغیر توسط TIMES-NZ کنترل می‌شود؛ زیرا تصویر دقیق‌تری از بخش انرژی ارائه می‌دهد.

علاوه بر این، ازآنجایی‌که این مدل‌ها از منابع آماری متفاوتی استفاده می‌کنند، هماهنگ نمودن متغیرهایی که در هر دو مدل برون‌زا هستند، حائز اهمیت می‌باشد؛ زیرا که مفروضات اولیه تأثیر زیادی بر نتایج مدل دارند. با این حال، متغیرهایی وجود دارند که هماهنگی کامل آن‌ها ممکن نیست، مانند منابع زیست توده یا هیدروژن که در مدل CLIMAT-DGEنمایش محدودی دارند. یافتن

نقاط مشترک که در آن مدل اقتصاد کلان و مدل سیستم انرژی می‌توانند با هم تعامل داشته باشند، گام اساسی در پیوند دو مدل است. انطباق متقابل باید در مناطق جغرافیایی، بخش‌ها و کالاها بین دو مدل انجام شود. در شناسایی نقاط اتصال، این پژوهش از روش پیشنهادی ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) با تمرکز بر بهبود مفروضات مورد نیاز مدل گیرنده از طریق نتایج تولید شده توسط مدل فرستنده و استفاده از نقاط اتصال جهت محور به معنای در نظر گرفتن یک جهت هنگام انتقال اطلاعات از CLIMAT-DGEبه TIMES-NZ و در نظر گرفتن جهتی دیگر هنگام انتقال اطلاعات از TIMES-NZ به CLIMAT-DGE استفاده می‌نماید.

در ادامه، روش پیشنهادی مقاله برای غلبه بر چالش‌های موجود در پیوند مدل‌ها که در بخش پیش اشاره شد با الهام از رویکرد ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) و هلگسن و همکاران (۲۰۱۸) تشریح شده است. به‌صورت‌کلی روش پیشنهادی ما شامل خوراندن نتایج مربوطه به پیش‌بینی تقاضا از مدل CLIMAT-DGE به مدل TIMES-NZ و بازخورد سیستم انرژی به مدل CLIMAT-DGE بر اساس نتایج TIMES-NZ می‌باشد.



شکل ۲. شمای کلی روش پیشنهادی پیوند دو مدل با اقتباس از ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) و هلگسن و همکاران (۲۰۱۸)

از سوی دیگر، هزینهٔ خانوار از مدل CLIMAT-DGEبه‌عنوان خوراک در مدل TIMES برای محاسبهٔ تقاضای خدمات انرژی استفاده می‌شود. در مورد حمل‌ونقل، میزان تجارت بین منطقه‌ای همراه با حمل‌ونقل بین منطقه‌ای و حاشیهٔ تجاری و مصرف مستقیم خدمات حمل‌ونقل توسط خانوارها و بنگاه‌ها تعیین‌کنندهٔ تقاضا خواهد بود.

بازخورد انرژی از مدل TIMES-NZ پارامتر بهره‌وری انرژی را در مدل CLIMAT-DGE که معمولاً برون‌زا می‌باشد، درون‌زا می‌نماید. همچنین، ترکیب انتخاب حامل‌های انرژی در مدل CLIMAT-DGE به طور کامل توسط نتایج مدل TIMES-NZ تعیین می‌شود. به منظور تسهیل این تبدیل، تابع تولید در مدل CLIMAT-DGE باید به تابع لئونتیف تغییر یابد که در آن که کشش جایگزینی بین ورودی‌های انرژی صفر می‌باشد. همچنین، تغییرات در جریان‌های سرمایه‌گذاری به دلیل تغییرات ساختاری بزرگ در سیستم انرژی ممکن است به شکل

ملموسی قابل درک نباشد؛ زیرا هیچ ارتباطی بین تقاضای سرمایه‌گذاری و بقیه اقتصاد وجود ندارد. برای حل این مشکل، لابریت و همکاران (۲۰۱۰) و هلگسن و همکاران (۲۰۱۸) پیشنهاد می‌کنند که پارامتر پیشرفت فنی در مصرف سرمایه گنجانده شود؛ حال آن که ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) به تفکیک بخش انرژی به منظور ایجاد ارتباط بین فناوری‌های مختلف و تقاضای سرمایه‌گذاری اشاره می‌نمایند.

مدل‌های به‌کارگرفته شده قبل از پیوند باید تصحیح شوند. به طور مشخص، کشش قیمت تقاضای انرژی در مدل TIMES-NZ باید غیرفعال شود؛ زیرا که مدل یکپارچه نهایی از بردارهای تقاضای مدل CLIMAT-DGE استفاده کند. عمده مواردی که در مدل CLIMAT-DGE می‌بایستی تصحیح شود؛ معرفی حامل‌های انرژی‌ای نوینی است که در مدل در نظر گرفته نشده‌اند. مانند هیدروژن، زیست توده و غیره. این امر مستلزم تغییر توابع تولید که به صورت کشش جایگزینی ثابت هستند، در مدل می‌باشد. نهایتاً می‌بایستی یک معیار همگرایی مناسب تعریف شود. این معیار مقادیر تغییرات متغیرها را ما بین تکرارهای بازخوردهای بین دو مدل محاسبه نموده و از قرار گرفتن مقدار محاسبه‌شده در بازه‌ای مشخص اطمینان حاصل می‌نماید. به بیان دیگر در صورتی که همهٔ تغییرات مقادیر متغیرها کم‌تر از میزان مورد نظر باشد، متغیرها همگرا شده‌اند.

۴ کاربردهای مدل

روش پیشنهادی در این مقاله می‌تواند به‌عنوان جهارچوبی برای ارزیابی سناریوهای مربوط به تغییرات سیستم‌های انرژی نیوزلند و تأثیرات اقتصادی آن به شکل مطلوبی عمل کند. مورد اول با استفاده از خروجی‌های مدل TIMES-NZ و مورد دوم با استفاده از خروجی‌های مدل CLIMAT-DGE به‌خوبی قابل تجزیه‌وتحلیل می‌باشد. در مطالعهٔ تغییرات ساختاری سیستم انرژی نیوزلند، لوک و همکاران (۲۰۱۸)[1] پرسش پژوهشی قابل تأملی را مطرح می‌نمایند: "با توجه به اینکه تمام فناوری‌های کاهش آلاینده‌ها عاری از ریسک‌های اجتماعی، تجاری و یا تکنولوژیکی می‌باشند، چگونه می‌توان دامنهٔ محدودتری از گزینه‌های تکنولوژیکی را انتخاب نمود". علاوه بر این، در بررسی اثرات گزینه‌های انرژی، نحوهٔ تأثیر آن‌ها بر فعالیت اقتصادی و اشتغال ملی به‌عنوان یک تأثیر کلی حائز تأمل می‌باشد. ازاین‌رو در نظر گرفتن یک سناریوی معیار که شامل سیاست‌های اقلیمی نمی‌باشد و مقایسهٔ آن با سناریوی در راستای تعهدات ملی محیط زیستی نیوزلند، می‌تواند در دست‌یابی پاسخ‌های قانع‌کننده‌ای برای پرسش‌های فوق مطرح شوند. موضوع حائز اهمیت دیگر بررسی پیامدهای طرح‌های تجارت انتشار آلاینده‌ها (ETS[2]) و تأثیرات آن بر متغیرهای مهم اقتصاد کلان می‌باشد. در این راستا امکان مد نظر قراردادن چندین سناریو با پیکربندی‌های مختلف ETS و بررسی اثرات کلان اقتصادی آن‌ها وجود دارد. چند سناریوهای نمونه در جدول ۱ آورده شده است. که شامل یک سناریوی "بلندپروازانه" به منظور دست‌یابی به میزان آلایندگی صفر تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد.

[1] Luke et al.

[2] Emissions Trading Scheme

جدول ۱. کاربردهای سناریوهای اقلیمی برای نیوزیلند

سیستم تجارت انتشار آلاینده‌ها	سیاست اقلیمی	سناریو
NZ-ETS	ندارد	مرجع
NZ-ETS الحاق بخش انرژی برق به سیستم ETS الحاق بخش حمل‌ونقل به سیستم ETS الحاق بخش تولید به سیستم ETS	دارد نخستین تعهد محیط زیستی نیوزلند	متعهدانه
	دارد آلایندگی صفر تا سال ۲۰۵۰	بلند پروازانه

منبع: پژوهش حاضر

طرح تجارت گازهای آلاینده نیوزلند (NZETS) یکی از اولین سیستم‌های تجارت انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان است. این طرح شش گاز شامل دی اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، هگزا فلوراید گوگرد، هیدروفلوئوروکربن‌ها و پرفلوئوروکربن‌ها را پوشش می‌دهد (ونگ و همکاران, ۲۰۲۱)[1]. جدول ۲ خلاصه‌ای از مطالعات مربوطه به تأثیرات NZETS را بر اقتصاد نیوزلند در چهارچوب مدل‌های تعادل عمومی ارائه می‌نماید.

جدول ۲. کاربردهای مدل‌های CGE در مطالعه طرح تجارت انتشار گازهای گلخانه‌ای نیوزلند برگرفته از ونگ و همکاران (۲۰۲۱)

نویسنگان	مدل تعادل عام	بازه در نظر گرفته شده برای سیستم تجارت آلاینده‌ها
دیوکانووا و آندرو (۲۰۰۸)۲	ایستا	تمامی بخش‌ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده‌های مربوطه: CH4 , CO2, N2O
فرناندز و دیاگنولت (۲۰۱۵)۳	پویا	بخش‌های اصلی به علاوه بخش تولید، ارزش‌افزوده و انرژی، آلاینده‌های مربوطه: CH4 , CO2, N2O و ۱۴ گاز دارای فلوئور
مرکز مطالعات اقتصادی نیوزلند (۲۰۰۸)۴	ایستا	تمامی بخش‌ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده‌های مربوطه: CH4 HFCs, PFC SF6 . , CO2, N2O
مرکز مطالعات اقتصادی نیوزلند (۲۰۱۸)	پویا	تمامی بخش‌ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده‌های مربوط به CH4 , CO2, N2O

نهایتاً برای ارزیابی روش پیوند دو طرفه و مقایسهٔ آن با روش‌های معمول در ادبیات موضوعی مربوطه، می‌توان تحلیل به‌دست‌آمده از مدل پیوندی را با تحلیل‌های مستقل از مدل‌های CLIMAT-DGE و TIMES-NZ مقایسه نمود.

۵ نتیجه‌گیری

این مطالعه روشی بر مبنای بازخورد را برای پیوند یک مدل تعادل عام با یک مدل انرژی که روش دو طرفه نام‌گذاری شده است، پیشنهاد می‌کند روش پیشنهادی، نمایش دقیقی از گزینه‌های انرژی و فناوری که توسط مدل انرژی ترسیم می‌شود، با

[1] Wang et al.
[2] Diukanova and Andrew
[3] Fernandez and Daigneault
[4] NZIER

ساختار اقتصاد کلان که توسط مدل تعادل عام ترسیم می‌شود، ارائه می‌کند. همچنین، مدل نهایی از درجه سازگاری بیشتری برخوردار می‌باشد. این روش به منظور پیوند دو مدل تعادل عام و انرژی کشور نیوزلند به نام‌های CLIMAT-DGEو TIMES-NZ به کار گرفته شده است. نهایتاً به تأثیر تغییرات سیستم‌های انرژی برآمده از سیاست‌های اقلیمی بر متغیرهای کلان اقتصادی با طرح سناریوی های مختلف پرداخته شده است. در این زمینه سیستم تجارت گازهای آلاینده نیوزلند مورد توجه قرار گرفته است.

تأمین مالی
نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع
نویسندگان اعلام کردند که هیچ‌گونه تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان
نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همهٔ نویسندگان، محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی
نویسندگان از مسؤولین و داوران مجله تشکر می‌کنند.

منابع

Babiker, M., A. Gurgel, S. Paltsev & J. Reilly (2008): A Forward-Looking Version of the MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model. Joint Program Report Series Report 161, 18 pages

(http://global-change.mit.edu/publication/15538)

Château, J., Magné, B., & Cozzi, L. (2014). Economic implications of the IEA Efficient World Scenario. OECD Environment Working Papers.

https://doi.org/10.1787/5jz2qcn29lbw-en

Delzeit, R., Beach, R., Bibas, R., Britz, W., Chateau, J., Freund, F., Lefevre, J., Schuenemann, F., Sulser, T., Valin, H., Van Ruijven, B., Weitzel, M., Willenbockel, D., & Wojtowicz, K. (2020). Linking global CGE models with sectoral models to generate baseline scenarios: Approaches, opportunities and pitfalls. Economic Analysis, 5(1), 162–195.

https://doi.org/10.21642/jgea.050105af

Diukanova, O., Andrew, R., & Lennox, J. (2008). Emission trading in New Zealand: Computable

general equilibrium model and evaluation. Auckland, New Zealand: Landcare Research

Diukanova, O., & James, R. L. (2008). Emission trading in New Zealand: Computable general equilibrium model and evaluation. Landcare Research. prepared for the Ministry for the Environment

Energy Efficiency and Conservation Authority 2021 New Zealand Energy Scenarios TIMES-NZ 2.0 - A guide to understanding the TIMES-NZ 2.0 model, Wellington, New Zealand, ISBN: 978-1-99-115220-6 Published in May 2021 by Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA) Wellington, New Zealand.

Fernandez, M., and Adam Daigneault. "The climate mitigation, adaptation and trade in dynamic general equilibrium (CliMAT-DGE) model." Landcare Research Contract Report LC2156 prepared for the Ministry for the Environment (2015).

Fernandez, M. A., & Daigneault, A. J. (2018). MONEY DOES GROW ON TREES: IMPACTS OF THE PARIS AGREEMENT ON THE NEW ZEALAND ECONOMY. Climate Change Economics, 09(03), 1850005.

https://doi.org/10.1142/s2010007818500057

Helgesen, P. I., Lind, A., Ivanova, O., & Tomasgard, A. (2018). Using a hybrid hard-linked model to analyze reduced climate gas emissions from transport. Energy, 156, 196–212. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.005

Koutsandreas, D., Spiliotis, E., Doukas, H., & Psarras, J. (2021). *What is the macroeconomic impact of higher decarbonization speeds? The case of Greece. Energies*, 14(8), 2235.

https://doi.org/10.3390/en14082235

Krook-Riekkola, A., Berg, C., Ahlgren, E. O., & Söderholm, P. (2017). *Challenges in top-down and bottom-up soft-linking: Lessons from linking a Swedish energy system model with a CGE model. Energy*, 141, 803–817.

https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.107

Labriet, M., Drouet, L., Vielle, M., Loulou, R., Kanudia, A., & Haurie, A. (2015). *Assessment of the Effectiveness of Global Climate Policies Using Coupled Bottom-up and Top-down Models. Fondazione Eni Enrico Mattei* (FEEM).

http://www.jstor.org/stable/resrep01141

Lanz, B., & Rausch, S. (2011). *General equilibrium, electricity generation technologies and the cost of carbon abatement: A structural sensitivity analysis. Energy Economics*, 33(5), 1035–1047.
https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.06.003

NZIER. (2008). *The impact of the proposed emissions trading scheme on New Zealand's economy. Retrieved from* https://nzier.org.nz/static/media/filer_public/fa/9a/fa9a8658-fe6a4dcb-b00c099604e60209/nzier_-_quantitative_evaluation_of_proposed_ets.pdf

NZIER. (2018). *Economic impact analysis of 2050 emissions targets. Retrieved from*

https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/media/Climate%20Change/NZIER%20report%2020Economic% 20impact%20analysis%20of%202050%20emissions%20targets%20-%20FINAL.pdf

Reedman, L. J., Kanudia, A., Graham, P. W., Qiu, J., Brinsmead, T. S., Wang, D., & Hayward, J. A. (2018). *Towards zero carbon scenarios for the Australian economy. In Lecture notes in energy (pp.* 261–276).

https://doi.org/10.1007/978-3-319-74424-7_16

Wang, Y., Sharp, B., Poletti, S., & Nam, K. M. (2022). *Economic and land use impacts of net zero-emission target in New Zealand. International Journal of Urban Sciences*, 26(2), 291–308. *https://doi.org/10.1080/12265934.2020.1869582*

Wene, C. (1996). *Energy-economy analysis: Linking the macroeconomic and systems engineering approaches. Energy*, 21(9), 809–824.

https://doi.org/10.1016/0360-5442(96)00017-5.