مبانی نظری متصل نمودن مدل های تعادل عام با مدل های 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 , شناسه ارکید : 0009-0004-6573-4993
۲ اقتصاددان – دپارتمان اقتصاد – دانشگاه ویکتوریا – ولینگتون – نیوزلند
ایمیل : nathaniel.robson@vuw.ac.nz , شناسه ارکید : 0009-0001-0775-0408

چکیده

این مقاله روشی را برای پیوند یک مدل تعادل عام اقتصادی با یک مدل انرژی ارائه نموده و آن را بروی مدل های CLIMAT-DGE و TIMES-NZ مربوط به کشور زلاند نو بررسی می نماید.مدل نهایی پیوند مطلوبی را ما بین فناوری های انرژی, ارائه شده توسط مدل TIMES-NZ و ساختار اقتصاد کلان ارائه شده توسط مدل CLIMAT-DGE ایجاد می نماید .همچنین مدل پیوند یافته از درجه یکپارچگی بیشتری برخوردار است .در آخر کاربردهای بالقوه این روش در مطالعه تغییرات ساختاری سیستم انرژی کشور نیوزلند در مسیر کاهش آلاینده ها و دستیابی به اقتصاد سبز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

طبقه بندی JEL: Q5,Q4,Q43, Q50

کلید واژه ها : مدل های انرژی , سیاست انرژی و اقلیم , اتصال مدل ها

در حال انتشار (In Press)

[1] Postal Address : 3 Av. Bernard Hirsch, 95000 Cergy, France, PO BOX:111
Tel-Fax : 00989913792089 , Mobile : 00989046658532 ,correspondence email :ehtesham.n.h@gmail.com

1.مقدمه

نخستین سند تعهدات ملی محیط زیست نیوزیلند کاهش پنجاه درصدی انتشار آلاینده ها را در سال ۲۰۳۰ از سطح ناخالص سال ۲۰۰۵ هدف گذاری نموده است هسته اصلی استراتژی های کاهش انتشار فناوری های انرژی می باشند و پیش بینی می شود با تغییر ساختاری گسترده مواجه شوند . همچنین تأکید فزاینده بر سیاست های اقلیمی کل اقتصاد و تعاملات بین بخش ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. از این رو به تصویر کشیدن دقیق گزینه های فناوری انرژی در دستیابی به تعهدات محیط زیستی و تاثیرات به کارگیری آنها بر اقتصاد کلان حائز اهمیت می باشد .

تعاملات بین سیستم اقتصادی ، بخش‌های انرژی و سیاست‌های اقلیمی را می‌توان با رویکردهای مهندسی از پایین به بالا، عموما در غالب تعادل نسبی و نمایش جزییات بخش انرژی، یا با استفاده از مدل‌های از بالا به پایین در غالب مدل های اقتصاد کلان شبیه سازی نمود . یکی از مزیت‌های اصلی مدل‌های از بالا به پایین، ارزیابی درونی اثرات اقتصادی و اجتماعی است که درک تأثیرات سیاست های اقلیمی بر اقتصاد را تسهیل می‌کنند, اما از سوی دیگر در این مدل ها فقدان نمایش جزئیات تکنولوژیکی وجود داشته و آنالیز های نسبتاً کلی ارائه می شود . برخلاف مدل های اقتصاد کلان، رویکردهای مدل‌سازی از پایین به بالا از درجه بالایی از جزئیات تکنولوژیکی بهره مند هستند و از این رو تصویر بسیار دقیقی از عرضه و تقاضای انرژی و فن‌آوری های مرتبط را ارائه می نمایند (لابریت و همکاران, ۲۰۱۵)[1]. حال آنکه این مدل ها امکان در نظر گرفتن تأثیرات منطقه‌ای ,که مستقیماً به بخش انرژی مرتبط نمی باشند , را ندارند (لانزو همکاران, ۲۰۱۱)[2].

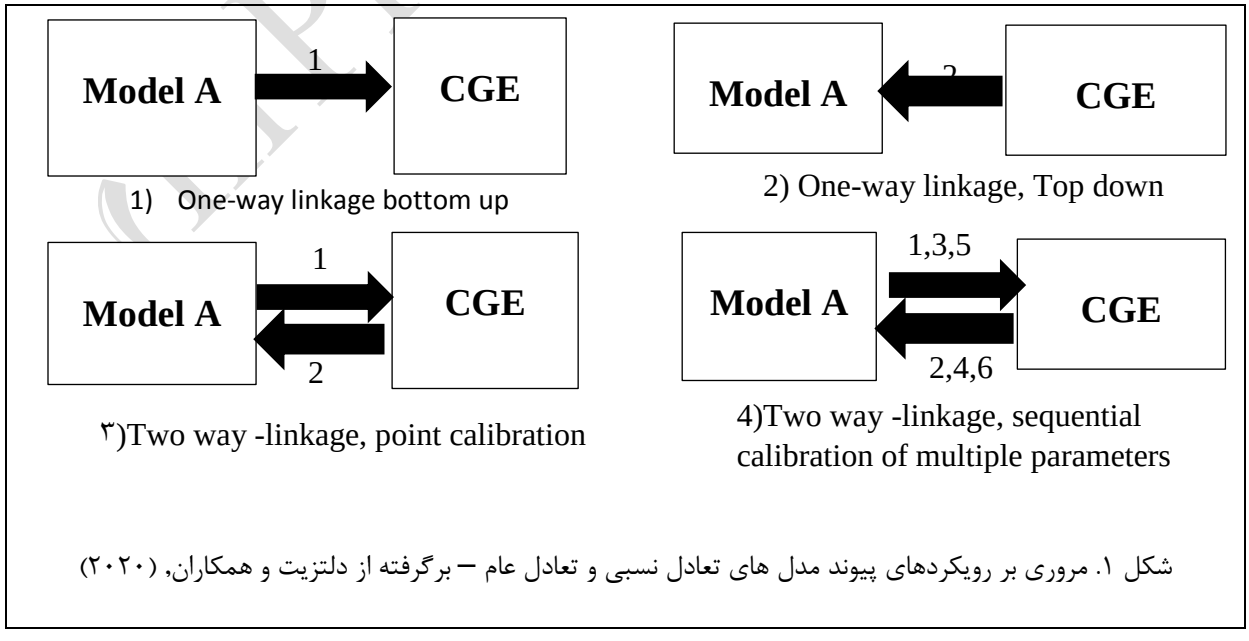
مدل های بالا پایین و پایین به بالا اغلب در چهارچوب مدل های هیبریدی به یکدیگر متصل می شوند تا امکان ارزیابی دقیق تر را فراهم نمایند . در حال حاضر مدل‌سازی سیستم های انرژی به سمت مدل‌سازی ترکیبی و هیبریدی پیش می رود نمایند (لابریت و همکاران, ۲۰۱۵). از نظر هورکاد (۲۰۰۶)[3] یک مدل هیبرید مناسب باید حداقل سه ویژگی را داشته باشد: الف) صریح بودن نمایش فن آوری ها ، ب) واقع گرایی در معادلات خرد اقتصادی و ج) کامل بودن نمایش اقتصاد کلان.در چهارچوب مدل سازی هیبرید ، این پژوهش روشی را به منظور پیوند یک مدل تعادل عام محاسباتی[4] (CGE) با یک مدل انرژی معرفی می‌کند. مدل یکپارچه نهایی روابط درون اقتصاد کلان در بخش‌های مختلف را با جزئیات تکنولوژیکی پیوند زده و از این منظر اعتبار آنالیز های مبتنی بر مدل های تعادل عام را ارتقا می دهد . در پژوهش های مربوط به کار گیری مدل های 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 صرفه جویی 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 نموده اند . اما در به کارگیری مدل های تعادل عام محاسباتی که با مدل های انرژی پیوند یافته باشند , در مورد کشور نیوزلند , نویسندگان این مقاله از وجود مطالعه مرتبطی اظهار بی اطلاعی می نمایند . به منظور تکمیل این خلأ، پیشنهاد متصل نمودن مدل های CLIMAT-DGE و TIMES-NZارائه می شود. این چارچوب به امکان بهره مندی از نقاط قوت هر دو مدل را به صورت همزمان و یکپارچه فراهم می آورد. مدل نهایی تعاملات بین تمام بخش های اقتصاد نیوزلند را که توسط مدل CLIMAT-DGE ارائه می شود و غنای

[1] Labriet et al., (2015)
[2] Lanz et al., (2011)
[3] Hourcade , (2006)
[4] Computational General Equilibrium Models
[5] Diukanova et al.,(2008)
[6] Fernandez et al., (2015)
[7] Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA)
[8] Fernandez et al., 2018
[9] Wang et al., (2021)

تکنولوژیکی مدل TIMES-NZ در غالبی یکپارچه , تحت عنوان یک مدل هیبرید ارائه می نماید . علاوه بر این، رویکرد پیش رو از نظر کاربرد، پیوند مدل های نام برده با روش مذکور امکان مطالعه تغییرات ساختاری در سیستم انرژی نیوزلند را در مسیر دستیابی به تعهدات ملی محیط زیستی و تاثیرات این تغییرات بر اقتصاد کلان را فراهم می کند . ادامه مباحث این مقاله به این صورت خواهند بود : قسمت دوم نگاهی به چالش های کلی این رویکرد دارد و بحث روش شناختی مختصری را در غالب ارائه پیشنهادات در بر دارد . قسمت سوم جزئیات مدل ها را معرفی می نماید . بخش چهارم روشی نوین برای پیوند مدل ها را ارائه می کند . بخش پنجم به معرفی سناریوهای اقلیمی در چهارچوب تعهدات ملی محیط زیستی نیوزلند پرداخته و به کاربردهای بالقوه روش پیشنهاد شده در این پژوهش اشاره می نماید و بخش ششم به نتیجه گیری اختصاص داده شده است .

۲. روش شناسی

در رویکرد کلی را می توان در پیوند مدل هادر نظر گرفت . در پیوند یک طرفه، اطلاعات در یک جهت به اشتراک گذاشته می شوند، بدین معنا که خروجی های یک مدل به عنوان پارامترها یا متغیرهای برون زا در مدل دیگر عمل می کنند. از سوی دیگر، در پیوند دو طرفه بازخورد متناوب بین مدل‌ها در نظرگرفته می شود. رویکردهای پیوند دو طرفه مبتنی بر روش‌های کالیبراسیون تکراری یا متوالی است که شامل مبادله 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، غالبا 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 می باشد . همچنین در صورتی که اهمیت متغیرهای کلیدی مربوط به مدل پیوند یافته بیش از هر مدل به صورت مجزا باشد باشد ، پیوند دو طرفه بر پیوند یک طرفه ترجیح داده می شود. (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۰) این مقاله به پیوند دو طرفه می پردازد ، زیرا هدف ما در برگرفتن متغیرهای انرژی را از مدل تعادل نسبی و اثرات عمومی اقتصاد کلان از مدل تعادل عام می باشد . بر اساس بحث فوق ، این پژوهش رویکرد پیوندی دو طرفه را اتخاذ می نماید که در تصویر زیر در دسته چهارم جای گرفته است .



شکل ۱. مروری بر رویکردهای پیوند مدل های تعادل نسبی و تعادل عام – برگرفته از دلتزیت و همکاران, (۲۰۲۰)

[1] Delzeit et al., (2020)

علاوه بر این، در ادبیات موضوعی مربوطه گاها 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 تاکید می نماید . (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۱)

همچنین در مبحث پیوند نرم و پیوند سخت، آنچه در واقع اهمیت دارد درجه همگرایی متغیر هایی است که در مدل پیوند یافته همپوشانی دارند ، صرف نظر از روشی که برای محاسبه راه‌حل نهایی مدل استفاده می‌شود. (دلتزیت و همکاران, ۲۰۲۱) علاوه بر این از مزایای پیوندهای نرم می توان با عملی بودن، شفافیت و امکان یادگیری و از مزایای اتصال سخت می توان به بهره وری، منحصر به فرد بودن و امکان کنترل پروسه پیوند مدل ها اشاره نمود . (ون, ۱۹۹۶)

۳. معرفی مدل ها

مدل های این پژوهش به گونه ای انتخاب شده اند که بتوانند نماینده خوبی از نوع مدل های مربوط به کلاس خود باشند. هر دو مدل اخیراً توسعه یافته و برای مطالعه تأثیرات سیاست های اقلیمی به کار گرفته شده اند. همچنین در این پژوهش مدل منطقه ای بر مدل جهانی ترجیح داده شده است زیرا که در مساله تغییرات اقلیمی غالب سیاست گذاری ها در سطح ملی انجام می شود . همچنین در مدل های انتخابی بخش های کلیدی مربوط به انرژی، محیط زیست و اقتصاد به خوبی توصیف شده اند . در دسترس بودن داده‌های قابل مناسب و دقیق، امکان ایجاد یک مدل پیچیده از مدل های انتخاب شده را تسهیل می نماید و از آنجایی که رویکرد پیوند می‌تواند پیچیدگی‌های بیشتری را در مدل سازی در بر بگیرد از حیث سیاست گذلری در سطح ملی حائز اهمیت می باشند.(ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷)[2] نمونه هایی در ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) و هلگسن(۲۰۱۸)[3] از مطالعات مربوط به سیاست های اقلیمی در سطح ملی با استفاده از رویکرد پیوند مدل ها وجود دارد.

۳.۱ مدل CLIMAT-DGE

مدل اقلیم و تجارت در تعادل عمومی پویا (CLIMAT-DGE) که توسط موسسه تحقیقات لند[4] ایجاد شده است، یک مدل تعادل عام پویای چند بخشی و چند منطقه ای از بالا به پایین می باشد که توانایی توصیف بخش انتشار گازهای گلخانه ای را با تمرکز قوی بر اقتصاد نیوزلند به عنوان یک منطقه متمایز دارد. (فرناندز و همکاران, ۲۰۱۵) این مدل از مجموعه داده های پروژه تحلیل تجارت جهانی (GTAP) استفاده می کند که ۱۲۹ منطقه و ۵۷ بخش اقتصادی را شامل در بر می گیرد . سال پایه پیش بینی معیار در پایگاه داده های GTAP , سال ۲۰۰۷ می باشد . 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 که مجموعه فرصت‌های عوامل را محدود می‌کند، این مدل رفتار اقتصاد، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر اساس منطقه و بخش پیش‌بینی می نماید. این مدل با استفاده از بسته برنامه ریزی ریاضی برای تعادل عمومی (MPSGE) در نرم افزار GAMS کدگذاری شده است. (فرناندز و همکاران, ۲۰۱۵)

---

[1] Wene ,(1996)

[2] Riekkola et al., (2017)

[3] Helgesen,(2018)

[4] Land Research

مدل CLIMAT-DGE بر اساس نسخه پویا مدل MIT-EPPA مربوط به دانشگاه ام ای تی می باشد .(بابیکر و همکاران ۲۰۰۸)

. شرایط برقراری تعادل در مدل به صورت زیر است :

الف) شرط سود صفر: برقراری این شرط مربوط به متغیر های مصرف کل، سرمایه گذاری و سطح تولید با استفاده از معادلات زیر تضمین می شود.

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

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

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

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

که Et^c تابع هزینه واحد ، p_t شاخص قیمت مصرف کننده ، C سطح مصرف کل Et^I تابع هزینه سرمایه گذاری واحد ،I_t سطح سرمایه گذاری ، 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 می باشد. همچنین زیرنویسهای i , j و t به ترتیب نشان دهنده کالاها , بخش ها و زمان بوده و σ نرخ استهلاک سرمایه می باشد .

ب) شرط تعدیل بازار: برقرا شدن ایم شرط به معنای برابری عرضه و تقاضا در بازارهای کالا، عوامل تولید (کار، سرمایه، انرژی) و انباشت سرمایه با توجه به معادلات زیرمی باشد :

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

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

که درمعادلات فوق D(.) نشان دهنده توابع تقاضای جبران شده و زیر نویس های ID نشان دهنده تقاضای میانی، C تقاضای نهایی، I سرمایه گذاری، X صادرات و M واردات می باشد .

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

$D_{jt}^{\,F}$ نشان دهنده توابع تقاضای عامل ، $F_t^{\,F}$ عرضه عامل و $p_t^{\,F}$ قیمت خدمات عامل (دستمزد و اجاره منابع) می باشند .

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

(In Press) در حال انتشار

ج) شرط تراز درآمد و هزینه: این شرط بیان می کند که ارزش فعلی جریان درآمدها در طول زمان برابر با ارزش فعلی مخارج بوده و مجموع درآمد و استقراض عوامل اقتصادی در هر دوره جاری باید معادل مجموع مخارج و پس انداز باشد . معادلات زیر برقراری شرط فوق را تضمین می کنند:

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

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

که درروابط فوق S پس انداز و B در استقراض می باشد.

3.2مدل 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 می باشد و مبنایی غنی از فناوری های مختلف را برای محاسبه حامل های انرژی در طولانی مدت و افق های زمانی گوناگون فراهم می‌کند.(ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷) TIMES-NZ یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر فناوری است که کل سیستم های انرژی نیوزلند را در بر گرفته و حامل‌های انرژی و فرآیندها را از منابع اولیه تا مصرف نهایی انرژی شامل می شود . این مدل تکنولوژیک از پایین به بالا شرح مفصلی از فناوری‌های انرژی , هزینه ها , زیرساخت های سیستم های انتقال و توزیع، تولید و پردازش سوخت، و ملاحظات امنیت انرژی ارائه می دهد . TIMES از یک حل کننده برنامه ریزی خطی برای به حداقل رساندن کل هزینه سیستم انرژی با در نظر گرفتن افق زمانی مدل شده استفاده می کند. به حداقل رساندن هزینه با انتخاب های ما بین فن آوری و سوخت برای برآورده نمودن تقاضای انرژی مورد انتظار به دست می آید .

۴. پیوند مدل ها

چالش‌های اصلی پیوند مدل‌ها دو مورد را شامل می شود : 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 تفاوت های اساسی ما بین مدل ها ب)شناسایی همپوشانی ها و ج) شناسایی و تصمیم گیری در مورد متغیرهای برونزای مشترک می باشد (ریکولا و همکاران, ۲۰۱۷). تفاوت اصلی بین دو مدل این است که :الف) CLIMAT-DGE یک مدل تعادل عمومی می باشد 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-NZ جریان مواد، کار, سرمایه و انرژی بر اساس انرژی فیزیکی (به واحد انرژی) با نمایش مواد (بر حسب جرم یا حجم)، اعتبارات انرژی تجدیدپذیر (به

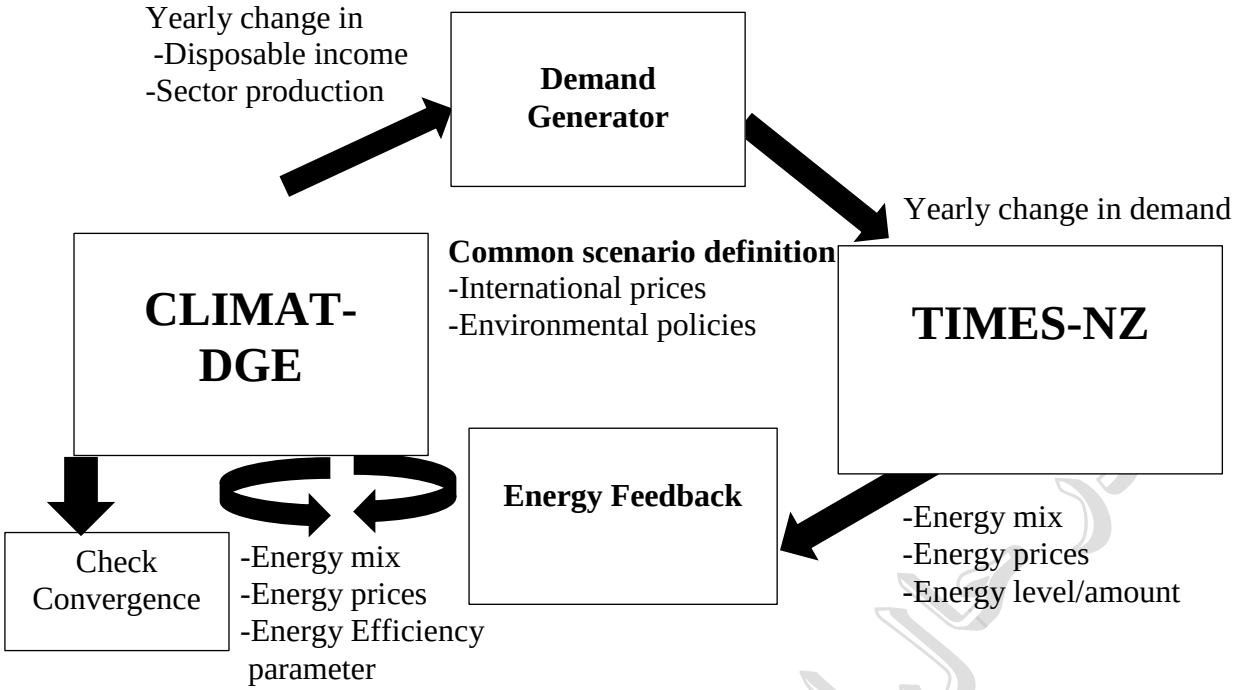
تعداد) و مالیات‌ها (به لحاظ پولی) نمایش داده می شود.ج)در مدل TIMES-NZ تولید کالاها متغیر برون زا می باشد در حالی که در CLIMATE-DGE این متغیر به صورت درون زا توسط مدل تعیین می شوند.

همپوشانی اصلی مدل‌ها این است که تقاضای انرژی برای هر بخش در اقتصاد را هدایت می‌کنند و این متغیرها به نوبه خود میزان انتشار گاز های گلخانه ای را تعیین می‌کنند. در پیوند این دو مدل , این متغیر توسط TIMES-NZ کنترل می شود زیرا تصویر دقیق تری از بخش انرژی ارائه می دهد.

علاوه بر این، از آنجایی که این مدل‌ها از منابع آماری متفاوتی استفاده می‌کنند، هماهنگ نمودن متغیرهایی که در هر دو مدل برون‌زا هستند، حائز اهمیت می باشد 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-DGE نمایش محدودی دارند.یافتن نقاط مشترک که در آن مدل اقتصاد کلان و مدل سیستم انرژی می توانند با هم تعامل داشته باشند، گام اساسی در پیوند دو مدل است. انطباق متقابل باید در مناطق جغرافیایی، بخش ها 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-DGE به TIMES-NZ و در نظر گرفتن جهتی دیگر هنگام انتقال اطلاعات از TIMES-NZ به CLIMAT-DGE استفاده می نماید .

۴.۱ مراحل پیوند مدل ها

این بخش روش پیشنهادی مقاله را برای غلبه بر چالش های موجود در پیوند مدل ها که در بخش پیش اشاره شد با الهام از رویکرد ریکولا و همکاران (۲۰۱۷) و هلگسن و همکاران (۲۰۱۸) شرح می دهد. به صورت کلی 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 می باشد .



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

از سوی دیگر، هزینه خانوار از مدل CLIMAT-DGE به عنوان خوراک در مدل TIMES برای محاسبه تقاضای خدمات انرژی استفاده می شود . در مورد حمل و نقل، میزان تجارت بین منطقه ای همراه با حمل و نقل بین منطقه ای و حاشیه تجاری و مصرف مستقیم خدمات حمل و نقل توسط خانوارها و بنگاه ها تعیین کننده تقاضا خواهد بود.

بازخورد انرژی از مدل TIMES-NZ پارامتر بهره وری انرژی را در مدل CLIMAT-DGE که معمولاً برون زا می باشد را درون زا می نماید . همچنین ، ترکیب انتخاب حامل های انرژی در مدل CLIMAT-DGE به طور کامل توسط نتایج مدل TIMES-NZتعیین می شود. 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 می باشد .همچنین ، تغییرات در جریان های سرمایه گذاری به دلیل تغییرات ساختاری بزرگ در سیستم انرژی ممکن است به شکل ملموسی قابل درک نباشد زیرا هیچ ارتباطی بین تقاضای سرمایه گذاری 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 سرمایه گذاری اشاره می نمایند .

مدل های به کارگرفته شده قبل از پیوند باید تصحیح شوند . به طور مشخص، کشش قیمت تقاضای انرژی در مدل TIMES-NZباید غیرفعال شود زیرا که مدل یکپارچه نهایی از بردارهای تقاضای مدل CLIMAT-DGE استفاده کند. عمده مواردی که در مدل CLIMAT-DGE می بایستی تصحیح شود , معرفی حامل های انرژی ای نوینی است که در مدل در نظر گرفته نشده اند .مانند هیدروژن، زیست توده، و غیره. این امر مستلزم تغییر توابع تولید که به صورت کشش جایگزینی ثابت هستند , در مدل می باشد .نهایتا می بایستی یک معیار همگرایی مناسب تعریف شود . این معیار مقادیر تغییرات متغیرها را ما بین تکرار های بازخورد های بین دو مدل محاسبه نموده و از قرار گرفتن مقدار محاسبه شده در بازه ای مشخص اطمینان حاصل می نماید .به بیان دیگر , در صورتی که همه تغییرات مقادیر متغیر ها کمتر از میزان مورد نظر باشد باشد، متغیر ها همگرا شده اند. .

5.کاربرد های مدل

روش پیشنهادی در این مقاله می‌تواند به عنوان جهارچوبی برای ارزیابی سناریوهای مربوط به تغییرات سیستم‌های انرژی نیوزلند و تاثیرات اقتصادی آن به شکل مطلوبی عمل کند. مورد اول با استفاده از خروجی های مدل TIMES-NZ و مورد دوم با استفاده از خروجی های مدل CLIMAT-DGE به خوبی قابل تجزیه و تحلیل می باشد . در مطالعه تغییرات ساختاری سیستم انرژی نیوزلند، لوک و همکاران (۲۰۱۸)* پرسش پژوهشی قابل تاملی را مطرح می‌نمایند: "با توجه به اینکه تمام فناوری‌های کاهش آلاینده ها عاری از ریسک های اجتماعی، تجاری و یا تکنولوژیکی می باشند ، چگونه می توان دامنه محدود تری از گزینه های تکنولوژیکی را انتخاب نمود " . علاوه بر این، در بررسی اثرات گزینه های انرژی، نحوه تاثیر آنها بر فعالیت اقتصادی و اشتغال ملی به عنوان یک تاثیر کلی حائز تامل می باشد . از این رو در نظر گرفتن یک سناریوی معیار که شامل سیاست های اقلیمی نمی باشد و مقایسه آن با سناریوی در راستای تعهدات ملی محیط زیستی نیوزلند , می تواند در دستیابی پاسخ های قانع کننده ای برای پرسش های فوق مطرح شوند . موضوع حائز اهمیت دیگر بررسی پیامدهای طرح‌های تجارت انتشار آلاینده ها (ETS†) و تاثیرات آن بر متغیر های مهم اقتصاد کلان می باشد . در این راستا امکان مد نظر قرار دادن چندین سناریو با پیکربندی های مختلف ETS و بررسی پ اثرات کلان اقتصادی آنها وجود دارد . چند سناریوهای نمونه در جدول زیر آورده شده است . که شامل یک سناریوی "بلندپروازانه" به منظور دستیابی به میزان آلایندگی صفر تا سال ۲۰۵۰ می باشد .

* Luke et al.(2018)
† Emissions Trading Scheme

سیستم تجارت انتشار آلاینده ها	سیاست اقلیمی	سناریو
NZ-ETS	ندارد	مرجع
NZ-ETS الحاق بخش انرژی برق به سیستم ETS الحاق بخش حمل و نقل به سیستم ETS الحاق بخش تولید به سیستم ETS	دارد نخستین تعهد محیط زیستی نیوزلند	متعهدانه
	دارد (آلایندگی صفر تا سال ۲۰۵۰)	بلند پروازانه

جدول ۱. کاربردهای سناریوهای اقلیمی برای نیوزیلند (پژوهش حاضر)

طرح تجارت گاز های 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)* جدول ۲ خلاصه ای از مطالعات مربوطه به تاثیرات NZETS را بر اقتصاد نیوزلند در چهارچوب مدل های تعادل عمومی ارائه می نماید .

نویسنگان	مدل تعادل عام	بازه در نظر گرفته شده برای سیستم تجارت آلاینده ها
دیوکانووا و آندرو (۲۰۰۸)†	ایستا	تمامی بخش ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده های مربوطه: *CH4 , CO2, N2O*
فرناندز و دیاگنولت (۲۰۱۵)‡	پویا	بخش های اصلی به علاوه بخش تولید , ارزش افزوده و انرژی ,آلاینده های مربوطه: *CH4 , CO2, N2O* و ۱۴ گاز دارای فلوئور
مرکز مطالعات اقتصادی نیوزلند (۲۰۰۸)§	ایستا	تمامی بخش ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده های مربوطه: *CH4 HFCs, PFC SF6 . , CO2, N2O*
مرکز مطالعات اقتصادی نیوزلند (۲۰۱۸)**	پویا	تمامی بخش ها به علاوه بخش کشاورزی آلاینده های مربوط به *CH4 , CO2, N2O*

جدول ۲. کاربردهای مدل های CGE در مطالعه طرح تجارت انتشار گازهای گلخانه ای نیوزیلند برگرفته از ونگ و همکاران (۲۰۲۱)

* Wang et al.,*(*2021)
† Diukanova and Andrew (2008)
‡ Fernandez and Daigneault (2015)
§ NZIER (2008)
** NZIER (2018)

نهایتا برای ارزیابی روش پیوند دو طرفه و مقایسه آن با روش های معمول در ادبیات موضوعی مربوطه , می‌توان تحلیل به‌دست‌آمده از مدل پیوندی را با تحلیل های مستقل از مدل های CLIMAT-DGE و TIMES-NZ مقایسه نمود.

6.نتیجه گیری

این مطالعه روشی بر مبنای بازخورد را برای پیوند یک مدل تعادل عام با یک مدل انرژی که روش دو طرفه نام گذاری شده است , پیشنهاد می‌کندروش پیشنهادی ، نمایش دقیقی از گزینه های انرژی و فناوری که توسط مدل انرژی ترسیم می شود ، با ساختار اقتصاد کلان که توسط مدل تعادل عام ترسیم می شود , ارائه می کند . همچنین , مدل نهایی از درجه سازگاری بیشتری برخوردار می باشد . این روش به منظور پیوند دو مدل تعادل عام و انرژی کشور نیوزلند به نام های CLIMAT-DGEو TIMES-NZ به کار گرفته شده است . نهایتا به تاثیر تغییرات سیستم های انرژی برآمده از سیاست های اقلیمی بر متغیر های کلان اقتصادی با طرح سناریوی های مختلف پرداخته شده است . در این زمینه سیستم نجارت گازهای آلاینده نیوزلند مورد توجه قرار گرفته است .

تامین 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 مفهوم سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند. همه نویسندگان محتوای مقاله را تایید کردند و در مورد تمام جنبه های کار توافق داشتند.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان از مسئولین و داوران مجله تشکر می کنند.

(In Press) در حال انتشار

مراجع

[1] *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://globalchange.mit.edu/publication/15538*)*

[2] *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

[3] *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

[4] *Diukanova, O., Andrew, R., & Lennox, J. (2008). Emission trading in New Zealand: Computable general equilibrium model and evaluation. Auckland, New Zealand: Landcare Research*

[5] *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*

[6] *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 .*

[7] *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).*

[8] *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

[9] *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*

[10] *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

[11] *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

[12] *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*

[13] *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

[14] *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

[15] *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

[16] *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*

[17] *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*

[18] *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*